



تحلیل فراوانی خشکسالی هیدروژئولوژیک حوضه‌ی سد درودزن براساس شاخص جریان رودخانه‌ای

عباسعلی ولی^{۱*}، مهوش محرابی^۲

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹

چکیده

در این تحقیق تحلیل فراوانی خشکسالی هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص جریان رودخانه جهت ارزیابی و تحلیل وقوع زمانی و شدت خشکسالی در حوضه‌ی آبخیز سد درودزن در استان فارس، بررسی شد و نهایتاً جهت تحلیل پراکنش مکانی خشکسالی، پهنه‌بندی خشکسالی صورت گرفت. برای این منظور از آمار دبی ماهانه‌ی ۵ ایستگاه هیدرومتری در حوضه‌ی آبخیز سد درودزن در طول ۲۸ سال استفاده شد. پس از بررسی همگنی داده‌ها، برخی از سال‌ها که فاقد آمار دبی ماهانه در ایستگاه‌های منتخب بودند با استفاده از روش سال‌های مشترک و همبستگی بین آنها بازسازی شد. سپس مقدار شاخص خشکسالی جریان رودخانه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و طول دوره‌ی آمار ۲۸ ساله در ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص جریان رودخانه افزایش شدت خشکسالی در سال‌های اخیر را نشان دادند. در ادامه با استفاده از آزمون نکویی برازش، آزمون‌های کای-اسکوئر و کلوموگروف-اسمیرنوف، توزیع نرمال برای شاخص جریان رودخانه ۳ ماهه، توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برای شاخص جریان رودخانه ۹ و ۶ ماهه، و توزیع نمایی برای شاخص جریان رودخانه ۱۲ ماهه، به عنوان بهترین توزیع‌ها شناخته شدند. سپس دوره‌ی بازگشت مربوط به هر کدام از وضعیت‌های خشکسالی در هر یک از دوره‌های زمانی از روی منحنی تحلیل فراوانی هر ایستگاه به دست آورده شد و نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به آن‌ها ترسیم شد. نتایج به دست آمده از نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که گستره‌ی شمال و شمال‌شرقی حوضه، خشکسالی شدیدتری را نسبت به دیگر نواحی تجربه می‌کند.

کلمات کلیدی: شاخص جریان رودخانه، دوره‌ی بازگشت، پهنه‌بندی، کریجینگ.

مقدمه

نگاهی به تاریخ زیست در روی کره‌ی زمین حاکی از این است که بشر همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی بوده است. از جمله پدیده‌ی خشکسالی که از سایر مخاطرات طبیعی متفاوت است، و رتبه‌ی اول در میان تمام خطرات طبیعی را دارا است (نالباتیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۷۳-۵۶۵). گرچه به عقیده‌ی برخی محققان پیشگیری و ممانعت کامل از وقوع کمبود آب ممکن نیست ولی با برآزش توزیع احتمال مناسب بر داده‌های یک رودخانه می‌توان پیشامد متناظر با احتمال وقوع یا دوره‌ی بازگشت خاصی را تعیین نمود و با تدابیر مدیریتی و اجرایی برنامه‌های مقابله با خشکسالی تأثیرات و پیامدهای آن را کاهش داد (ویلتشر^۲، ۱۹۸۵: ۱۵۱). خشکسالی هیدرولوژیک بر مناطق وسیعی اثر می‌گذارد و از طریق کاهش میزان ذخیره‌ی آب دریاچه‌ها، پایین رفتن سطوح آب زیرزمینی و کاهش دبی جریان رودخانه‌ای تشخیص داده می‌شود. این کاهش در دبی جریان رودخانه از دو دیدگاه زیست محیطی و مدیریتی بر منابع آب تأثیرگذار است (اسلامیان و همکاران، ۱۳۸۳: ۳۸-۲۷). از این رو مقدار جریان رودخانه می‌تواند به عنوان یک عامل کلیدی و مهم در ارزیابی و پیش بینی خشکسالی محسوب گردد که با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه، می‌توان خشکسالی و پیشگیری از آن را بررسی نمود و با تدابیر مدیریتی و اجرایی برنامه‌های مقابله با خشکسالی تأثیرات و پیامدهای آن را کاهش داد (نالباتیس، ۲۰۰۸: ۸۹۷-۸۸۷). شاخص نزولات جوی استاندارد شده به عنوان یک شاخص خشکسالی هواشناسی، وقایع بارندگی را تحلیل می‌نماید، اما در بسیاری از موارد بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک اجتناب‌ناپذیر است، که در اینگونه موارد نیاز به شاخصی می‌باشد که قابلیت تحلیل جریان‌های روش‌های رودخانه‌ای را داشته باشد. بدین منظور روش‌های متنوعی برای بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده‌اند، که در این خصوص می‌توان روش‌های

1- Nalbantıs & et al.,

2- Wiltshir & et al.,

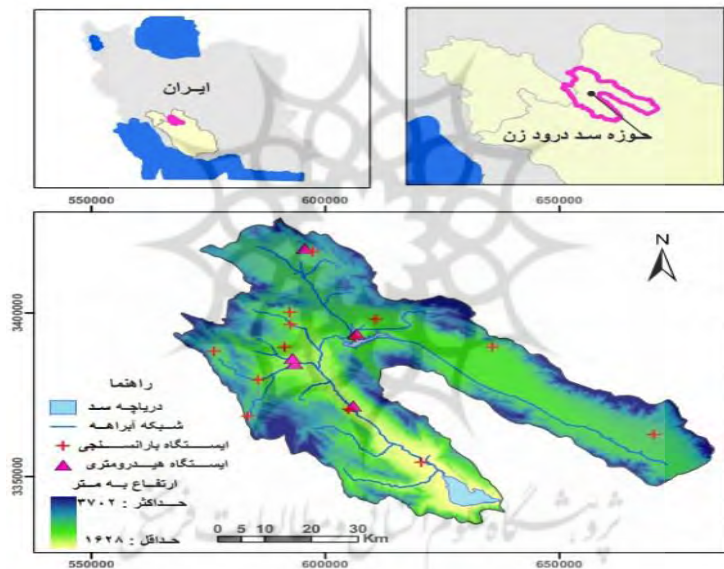
ارائه شده توسط (یوجویچ^۱، ۱۹۶۷) و (زلن هیزیک و سالوای^۲، ۱۹۸۷) را ذکر نمود. در سال‌های اخیر شاخص خشکسالی جریان رودخانه به عنوان یک شاخص خشکسالی هیدرولوژیک توسط (نالبانتیس و تساکریس، ۲۰۰۸) ارائه گردید. این شاخص از قابلیت خوبی در بررسی وضعیت منابع آب حوضه‌های آبریز و مخازن سدها، بخصوص در مواقع خشکسالی برخوردار است، در این راستا بهره‌برداری مناسب از آب ذخیره‌شده در مخازن سدها، به عنوان یک راهکار مناسب برای مقابله با خشکسالی می‌تواند مورد بحث قرار گیرد. آب‌های سطحی که به صورت رودخانه‌های دائمی یا فصلی در منطقه جریان دارد با احداث مخازن سطحی (مخازن آب در پشت سدها) ذخیره شده و بر اساس برنامه‌ی خاصی به تدریج به پایین دست انتقال می‌یابد تا نیازهای مختلف را مرتفع نماید. در دوره‌ی خشکسالی که آب رودخانه‌ها کاهش می‌یابد، بایستی با برنامه‌های دقیق و از قبل تعیین شده، نیاز آبی منطقه تأمین شود. لذا مدیریت سیستم مخازن در دوره‌ی خشکسالی بسیار حساس بوده و نیاز به ابزار و دید نسبت به آینده دارد. همان طور که گفته شد یکی از راهکارهای مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد، اما از آنجا که شاخص‌های خشکسالی تنها پارامترهای خشکسالی به وقوع پیوسته را می‌سنجند، نمی‌توان از آنها در جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب استفاده کرد، ضمن اینکه پایش خشکسالی منطقه‌ای تنها براساس شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ممکن است اطلاعات کافی را ارائه ندهد. بدین منظور در این تحقیق با مدنظر قرار دادن شرایط خشکسالی بر اساس حجم جریان ورودی به مخزن سد، به تعیین خشکسالی‌های منطقه بر اساس شاخص جریان رودخانه پرداخته است.

حوضه‌ی آبخیز سد درودزن از حوضه‌های کوهستانی فلات مرکزی ایران بوده که در شمال غربی استان فارس قرار دارد (شکل ۱). که تقریباً با ۷۶۰ میلیون مترمکعب آب در سال، آب شرب و کشاورزی و صنعتی منطقه و اطراف آن را تأمین می‌کند (گزارش

1- Yevjevich

2- Zelenhasic and Salvai

مهندسين مشاور بوم‌آباد، ۱۳۸۵). اخيرا بدليل خشكسالي با کاهش شديد آب مواجه شده است. از اين رو حفظ و نگهداري مخزن اين سد و تداوم و استمرار در بهره‌برداري از منابع آب مستلزم توجه به حوضه‌ي آبخيز آن و پتانسيل توليد آب پايه رودخانه است. به همين دليل بررسي وضعيت هيدروولوژيكي آب‌هاي سطحي حوضه مي‌تواند جايگاه ويژه‌اي درجهت مديريت خشكسالي کشور داشته باشد (اقتداري، بذرافشان: ۱۳۹۵).



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

سد درودزن در استان فارس ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب شیراز و بر روی رود کر ساخته شده است. ساخت این سد در سال ۱۳۵۱ هجری شمسی به پایان رسید. این سد از نوع مخزنی (خاکی با هسته رسی) است که حجم مرده مخزن ۱۳۳ میلیون مترمکعب و حجم مفید آن ۸۳۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. نوع سرریز بتنی آزاد و مساحت دریاچه ۵۵ کیلومتر می‌باشد. که از شمال غربی استان فارس و از بلندی‌های سلسله جبال

زاگرس، سرچشمه گرفته است. با توجه به قرار داشتن این حوضه در اقلیم نیمه‌خشک، وقوع خشکسالی‌های منطقه‌ای و به خصوص تأثیر آنها بر جریان‌های رودخانه‌ای از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد. از طرفی، در این حوضه وقوع ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌متر بارندگی در طول یک واقعه، با مقادیر روزانه‌ی بین ۵۰-۱۰۰ میلی‌متر که سبب طغیان‌های رودخانه‌ای و وقوع سیلاب‌های شدید می‌گردد، غیرعادی نیست، در حالی که رژیم دائمی جریان رودخانه در سراسر سال نتیجه مستقیم ذوب برف و دبی آب چشمه بوده و لذا وقوع جریان حداکثری در نتیجه‌ی وقایع بارندگی می‌باشد. به‌علاوه، جریان‌های حداکثر با دوره‌های یخبندان و نزدیک یخبندان همزمان می‌باشند. رژیم طغیانی رودخانه کر از یک‌طرف و رژیم دائمی جریان از طرف دیگر و اقلیم نیمه‌خشک منطقه، وابستگی شدید به وقایع بارندگی را نشان می‌دهد و لذا مطالعات خشکسالی را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

در این مطالعه ۵ ایستگاه که مشخصات آنها در جدول (۱) ارائه گردیده است، انتخاب شدند.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه (گزارشات اداره کل آب منطقه‌ی استان فارس)

نام ایستگاه	تاسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع m
خسرو شیرین	۱۳۴۸	۵۲	۳۰/۵۳	۲۳۰۰
دهکده سفید	۱۳۵۳	۵۲/۰۶	۳۰/۳۹	۲۰۸۰
جمال بیگ	۱۳۵۳	۵۱/۵۸	۳۶/۳۰	۱۸۸۰
چم ریز	۱۳۴۷	۵۲/۰۸	۳۰/۲۷	۱۸۴۰
سد درودزن	۱۳۵۱	۵۲/۲۷	۳۰/۱۲	۱۶۲۵

تنها ایستگاه چمریز، آمار کامل را در دوره‌ی زمانی مشخص شده داشت و دیگر ایستگاه‌ها دارای نواقص آماری بودند که جهت مطالعه بازسازی شدند برای انجام بازسازی نواقص آماری روش‌های متعددی وجود دارد از جمله: روش ایستگاه معرف، روش همبستگی بین ایستگاه‌ها، روش محور مختصات و روش نسبت نرمال. به منظور

بازسازی نواقص آماری در این تحقیق، از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شده است. قبل از ایجاد مدل‌های رگرسیونی برای تکمیل آمار ایستگاه‌های شامل آمار ناقص، ماتریس^۱ همبستگی بین ایستگاه‌های مذکور و ایستگاه‌هایی که دارای آمار کامل بودند، در دوره‌ی مشترک آماری و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ایجاد شد. این اقدام با هدف انتخاب مناسب‌ترین ایستگاه‌ها برای بازسازی و با توجه به ضریب همبستگی بالا و سطوح معنی‌دار ۱ درصد و ۵ درصد صورت گرفت. پس از بازسازی نواقص آماری و تکمیل داده‌ها، همگنی آنها جهت تجزیه و تحلیل بهتر با استفاده از روش ران تست^۲ و به کمک نرم‌افزار SSSS بررسی شد که در جدول (۲) ارائه گردیده است (شقاق و سلطانی، ۱۳۹۰: ۲۴۹-۲۳۱). در ادامه‌ی شاخص جریان رودخانه‌ای در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، طی دوره‌ی آماری ۲۸ ساله با استفاده از نسبت تفاضل مجموع دبی متوسط ماهانه و میانگین آن در سال آبی مشخص به انحراف معیار مجموع جریان‌های رودخانه‌ای در همان سال آبی برای هر ایستگاه محاسبه گردید، که در رابطه‌ی (۱) نشان داده شده است. در نهایت بر اساس آن وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک در منطقه تعیین گردید (پاندى، ۳، ۲۰۰۸: ۱۱۴۱-۱۲۷؛ نالباتیس، ۲۰۰۸: ۸۹۷-۸۸۷).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - V_k}{S_k} \quad i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (1) \text{ رابطه‌ی (۱)}$$

در تحلیل فراوانی خشکسالی منطقه‌ی مورد مطالعه هدف اولیه، ارتباط دادن شدت خشکسالی به فراوانی وقوع آنها، از طریق استفاده از توزیع‌های آماری می‌باشد. تحلیل فراوانی وقایع در هیدرولوژی براساس مراحل زیر صورت می‌گیرد: انتخاب توابع توزیع احتمال از نظر تئوری، برازش داده‌های موجود با توابع توزیع تئوری، انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع تئوری که با داده‌ها مطابقت داشته باشد، تعیین متغیر مورد نظر از روی تابع توزیع تئوری در این مطالعه برای تحلیل فراوانی از داده‌های سری‌های مقادیر حد

1- Correlation matrix
 2- Run test
 3- Pany & et al.,

استفاده شده و با توزیعات احتمالاتی نظری برازش داده شده‌اند. با استفاده از آزمون نکویی برازش، آزمون‌های کای-اسکوئر^۱ و کلوموگروف-اسمیرنوف^۲، توزیع‌های مناسب در هر مقیاس زمانی مشخص گردید. سپس دوره‌ی بازگشت مربوط به هر کدام از وضعیت‌های خشکسالی به دست آمده براساس شاخص جریان رودخانه در هر یک از دوره‌های زمانی از روی منحنی تحلیل فراوانی هر ایستگاه استخراج شده و با استفاده از آنها در محیط Arc GIS نقشه‌های پهنه‌بندی آنها به روش کریجینگ ترسیم گردید.

نتایج و بحث

نتایج همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان حداقل ۹۹٪ قابل پذیرش بودند که در جدول (۲) ارائه شده است ($P\text{-value} > 0.01$).

جدول (۲) بررسی همگنی داده‌ها P-Valoue

چمریز	جمال‌بیگ	درودزن	خسروشیرین	دهکده سفید
۱۶۷۶	۱۲۱۶	۱۱۰۳	۱۰۱۴	۴۱۸

نتایج شاخص جریان رودخانه محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی مختلف برای هر ایستگاه در جداول (۳ تا ۷) ارائه شده است.

جدول (۳) شاخص جریان رودخانه در ایستگاه جمال‌بیگ در دوره‌های زمانی مختلف

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۶۵	-۰/۳۴	-۰/۶۹	-۰/۵۶	-۰/۵۳	۷۹	-۰/۴۵	-۰/۶۴	-۰/۷۸	-۰/۷۴
۶۶	۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۸۰	-۰/۳۹	-۰/۶۶	-۰/۷۸	-۰/۷۵
۶۷	-۰/۴۲	۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۰۵	۸۱	۳/۸	۴/۰۷	۴/۰۵	۴/۱۴
۶۸	-۰/۵	-۰/۵۱	-۰/۵۳	-۰/۵۱	۸۲	-۰/۳۵	-۰/۲۸	-۰/۲۴	-۰/۲۵
۶۹	۰/۶۶	۰/۲۴	-۰/۰۶	۰/۰۳	۸۳	-۰/۴۳	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳
۷۰	-۰/۴۴	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۵	۸۴	-۰/۲۵	۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۲

1- Chi-Square test

2- Kolmogorov-Smirnov test

ادامه‌ی جدول (۳)

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۷۱	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۹۱	۰/۸۵	۸۵	-۰/۴۶	-۰/۲۴	-۰/۲۴	-۰/۲۵
۷۲	-۰/۳۱	-۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴۴	۸۶	-۰/۳۸	-۰/۴۷	-۰/۰۱	-۰/۰۱
۷۳	-۰/۳۷	-۰/۷۷	-۰/۸۶	-۰/۸۲	۸۷	-۰/۴	-۰/۷۴	-۰/۸۸	-۰/۸۴
۷۴	۲/۳	۰/۸۶	۰/۵	۰/۴۶	۸۸	-۰/۴۲	-۰/۷۹	-۰/۸۵	-۰/۸
۷۵	-۰/۳۴	-۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۶	۸۹	-۰/۲۸	-۰/۶۱	-۰/۷۳	-۰/۷
۷۶	-۰/۴	۰/۷۹	-۰/۷	-۰/۶۷	۹۰	۰/۴۸	-۰/۲۵	۰/۰۳	-۰/۰۱
۷۷	-۰/۴۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۸۲	۹۱	-۰/۸۶	-۰/۳	-۰/۲۳	-۱/۳
۷۸	۰/۴۶	۰/۰۴	-۰/۰۹	-۰/۰۹	۹۲	۰/۳۲	-۰/۴۹	-۰/۵۹	۰/۲۵
-	-	-	-	-	۹۳	۰/۰۶	۰/۹۳	-۰/۲۳	-۰/۶۴

جدول (۴) شاخص جریان رودخانه در ایستگاه چمریز در دوره‌های زمانی مختلف

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۶۵	-۰/۶	-۱	-۰/۷	-۰/۷	۷۹	-۰/۷۲	-۱	۱/۲۲	-۱/۲۶
۶۶	۲/۲	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۱	۸۰	-۰/۷۸	-۱/۲	-۱/۳	-۱/۳۷
۶۷	-۰/۶۴	-۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۸۱	۱/۶۳	۰/۸۳	۱/۰۸	۱/۰۳
۶۸	-۰/۴۶	-۰/۷	-۰/۷۷	-۰/۷۸	۸۲	-۰/۲۴	-۰/۳۴	۰	-۰/۰۲
۶۹	۰/۶۴	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۸۳	-۰/۵۹	۰/۲۵	۱/۱۲	۱/۱
۷۰	-۰/۷	-۰/۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴	۸۴	۰/۲	۰/۹۱	۰/۳۴	۰/۳۲
۷۱	۱/۳	۰/۵۳	۱/۵۲	۱/۵۸	۸۵	-۰/۳	۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۰۶
۷۲	۰/۰۱	۱/۹	۲/۳۶	۲/۳۹	۸۶	-۰/۴۹	-۱/۹	-۰/۲۴	۰/۰۸
۷۳	۰/۸۹	-۰/۴	-۰/۶۸	-۰/۷	۸۷	۰/۹۳	-۰/۲۳	-۰/۶۴	-۰/۶
۷۴	۲/۲۴	۱/۱	۱/۱۷	۱/۱۳	۸۸	-۱/۱	۲/۷۶	-۱/۵	-۱/۵۱
۷۵	-۰/۳	۰/۰۸	۰/۸۹	۰/۸۷	۸۹	-۱/۲۳	-۱/۳	-۱/۴	-۱/۴۱
۷۶	-۰/۴	-۱	-۰/۸۳	۰/۸۵	۹۰	-۰/۶۷	-۰/۵۰	-۰/۳۹	۰/۲۸
۷۷	-۰/۷	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/۷۴	۹۱	-۰/۴۸	۰/۷۹	۰/۲۵	-۰/۷۷
۷۸	-۰/۶۱	-۰/۳	-۰/۲۵	-۰/۲۷	۹۲	-۰/۸۶	-۰/۹۲	-۱	-۰/۲۵
-	-	-	-	-	۹۳	-۱/۱۵	۰/۲۹	۱/۱۰	۰/۳۴

جدول (۵) شاخص جریان رودخانه در ایستگاه دهکده‌ی سفید در دوره‌های زمانی مختلف

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۶۵	۱/۰۸	-۱	-۱/۱	-۱/۱	۷۹	۰/۳	-۰/۳۳	-۰/۴۷	-۰/۴
۶۶	۲/۶۹	۰/۴۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۸۰	-۰/۵۱	-۰/۸۷	-۰/۹۳	-۰/۹
۶۷	-۰/۸۲	-۰/۷۴	-۰/۶۶	-۰/۶	۸۱	-۰/۵۷	۱/۰۲	۱/۰۴	۰/۹
۶۸	-۰/۵۵	-۰/۸	-۰/۸۳	-۰/۸۳	۸۲	-۰/۷۶	-۰/۸	-۰/۶۸	-۰/۶
۶۹	-۰/۷۷	-۰/۸۳	-۰/۸۸	-۰/۸۸	۸۳	-۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۶۳
۷۰	-۰/۹	-۰/۹۷	-۰/۹۲	-۰/۹۱	۸۴	-۰/۲۶	۲/۴۸	۲/۳	۰/۲
۷۱	-۰/۸۲	-۰/۷۲	-۰/۵۳	-۰/۵	۸۵	۰/۸۷	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۳
۷۲	-۰/۵۹	۱/۱۹	۲/۲۳	۲/۴۷	۸۶	-۰/۲	-۰/۴۷	۰/۱۷	۰/۱۹
۷۳	۱/۰۹	۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۰۱	۸۷	۰/۴۹	-۰/۱۴	-۰/۳	-۰/۳
۷۴	۲/۱۲	۲/۰۶	۱/۷	۱/۶	۸۸	-۰/۷۹	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۱
۷۵	۱/۳	۰/۶۷	۰/۸	۰/۹۳	۸۹	-۰/۷	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۱
۷۶	۱/۰۶	۰/۱	۰	-۰/۰۱	۹۰	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۳
۷۷	۰/۰۸	۰/۸۵	۰/۶۸	۰/۵۷	۹۱	۰/۴۷	-۰/۸۶	-۰/۹۲	۰/۱۹
۷۸	-۰/۰۲	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۳۷	۹۲	-۰/۷۴	-۰/۲	-۰/۴۷	-۰/۳
-	-	-	-	-	۹۳	-۱/۸	-۱/۴	-۱/۲	-۱/۳

جدول (۶) شاخص جریان رودخانه در ایستگاه درودزن در دوره‌های زمانی مختلف

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۶۵	-۰/۰۶	-۱/۰۶	-۰/۷	-۰/۷	۷۹	-۰/۷۲	-۱/۰۷	-۱/۲۲	-۱/۲۶
۶۶	۲/۲	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۱	۸۰	-۰/۷۸	-۱/۲	-۱/۳۱	-۱/۳۷
۶۷	-۰/۶۴	-۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۸۱	۱/۶۳	۰/۸۳	۱/۰۸	۱/۰۳
۶۸	-۰/۴۶	-۰/۷۸	-۰/۷۷	-۰/۷۸	۸۲	-۰/۲۴	-۰/۳۴	۰	-۰/۰۲
۶۹	۰/۶۴	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۸۳	-۰/۵۹	۰/۲۵	۱/۱۲	۱/۱
۷۰	-۰/۷۷	۰/۴	-۰/۲۴	-۰/۲۴	۸۴	۰/۲	۰/۹۱	۰/۳۴	۰/۳۲
۷۱	۱/۳۳	۰/۵۳	۱/۵۲	۱/۵۸	۸۵	-۰/۳	۰/۲۴	-۰/۰۱	۰/۰۶
۷۲	۰/۰۱	۱/۹۲	۲/۳۶	۲/۳۹	۸۶	-۰/۴۹	-۱/۹	-۰/۲۴	۰/۰۸
۷۳	۰/۸۹	-۰/۴۸	-۰/۶۸	-۰/۷	۸۷	۰/۹۳	-۰/۲۳	-۰/۶۴	-۰/۶
۷۴	۲/۲۴	۱/۱۴	۱/۱۷	۱/۱۳	۸۸	-۱/۱	۲/۷۶	-۱/۵۴	-۱/۵۱

ادامه‌ی جدول (۶)

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۷۵	-۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۸۹	۰/۸۷	۸۹	-۱/۲۳	-۱/۳	-۱/۴۴	-۱/۴۱
۷۶	-۰/۴	-۱/۱	-۰/۸۳	-۰/۸۵	۹۰	-۰/۷۹	-۰/۶۶	۰/۲	-۱/۵۶
۷۷	-۰/۷۸	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/۷۴	۹۱	-۰/۷۹	-۰/۸۳	-۰/۳	-۱/۰۶
۷۸	-۰/۶۱	-۰/۳۵	-۰/۲۵	-۰/۲۷	۹۲	-۰/۸۳	-۰/۸۸	-۱/۱	-۰/۹۲
-	-	-	-	-	۹۳	-۰/۸۸	-۰/۹۲	-۱/۲۳	۰/۰۵

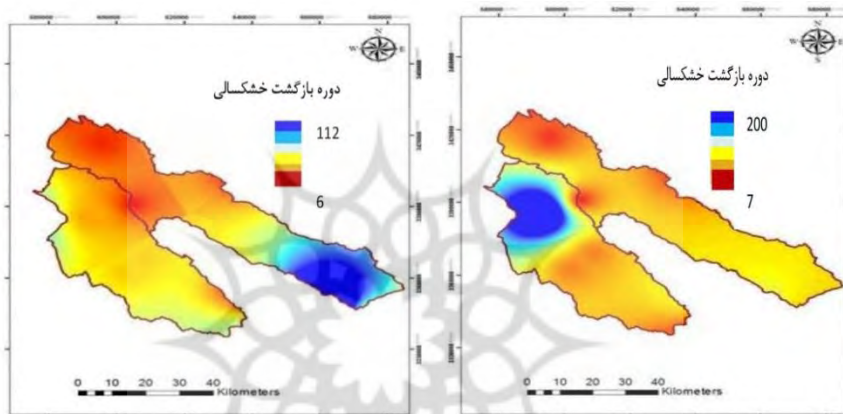
جدول (۷) شاخص جریان رودخانه در ایستگاه خسروشیرین در دوره‌های زمانی مختلف

سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه	سال	۳ماه	۶ماه	۹ماه	۱۲ماه
۶۵	-۲	-۱/۷	-۱/۱۷	-۱/۱	۷۹	-۰/۲	-۰/۹۱	-۱/۰۳	-۱/۰۶
۶۶	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۲۶	۸۰	-۰/۶	-۱/۰۷	-۱/۱۵	-۱/۲۴
۶۷	۰	۰/۱۵	۰/۰۲	۰	۸۱	۲/۵	۱/۹۲	۱/۵۹	۱/۵
۶۸	۰/۹	-۰/۹	-۰/۹۱	-۰/۹۲	۸۲	-۰/۲	۰/۰۱	-۱/۱۹	-۱/۱۳
۶۹	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۵۷	-۰/۵۳	۸۳	-۱	۱/۳۲	۱/۰۱	۰/۹۲
۷۰	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶۵	-۰/۶۲	۸۴	-۰/۹	۰/۶۵	۰/۸	۰/۷۴
۷۱	۰/۱	۰/۳	۱/۱۵	۱/۵۳	۸۵	۰/۳	۰/۵	۰/۳۶	۰/۶
۷۲	۰/۴۸	۱/۸	۱/۷	۱/۳۹	۸۶	۱/۹	۱/۴۶	۱/۹۴	۲/۰۱
۷۳	۱/۵۱	-۰/۱	-۰/۶	-۰/۶۳	۸۷	۱/۴	-۱/۱۲	-۰/۶۴	-۰/۶۶
۷۴	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۲۴	۸۸	-۱	-۱/۸۱	-۱/۶۵	-۱/۶۵
۷۵	-۰/۱۷	-۰/۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۸۹	-۰/۵	-۰/۸۷	-۰/۹۹	-۱/۰۵
۷۶	۰/۳۳	-۰/۷	-۰/۶۵	-۰/۶۲	۹۰	-۰/۳	-۰/۱	۰/۶۵	۰/۸
۷۷	-۰/۹۳	۰/۷۳	۰/۹۹	۰/۹۴	۹۱	-۰/۴	-۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۹۳
۷۸	۰	-۰/۲	-۰/۲۸	-۰/۲۴	۹۲	-۰/۲	۰/۱۳	-۰/۴۷	-۱/۱
-	-	-	-	-	۹۳	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۱۴	-۱/۲۳

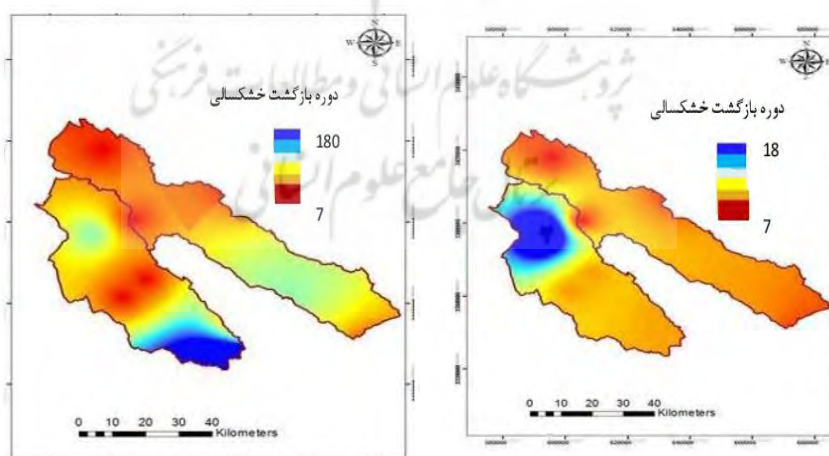
مقادیر منفی در این نتایج نشان‌دهنده‌ی وقوع و شروع خشکسالی در منطقه است. به طور کلی نتایج به دست آمده از شاخص جریان رودخانه در مقیاس‌های زمانی مختلف بسیار مشابه بوده و نشان‌دهنده‌ی شدت خشکسالی در سال‌های (۶۴-۶۵، ۸۸-۸۷ و ۸۹-۸۸) است. که این افزایش شدت در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه بیشتر به چشم

می‌خورد. هم‌چنین تعداد سال‌هایی که در آنها خشکسالی خفیف رخ داده است در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه بیشتر می‌باشد. با استفاده از آزمون نکویی برازش، آزمون‌های کای-اسکوئر و کلوموگروف-اسمیرنوف، توزیع نرمال برای شاخص جریان رودخانه ۳ ماهه، توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برای شاخص جریان رودخانه ۹ و ۶ ماهه، و توزیع نمایی برای شاخص جریان رودخانه ۱۲ ماهه، به عنوان بهترین توزیع‌ها شناخته شدند. سپس دوره‌ی بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۲۵ ساله مربوط به هر کدام از وضعیت‌های خشکسالی در هر یک از مقیاس‌های زمانی از روی منحنی تحلیل فراوانی هر ایستگاه بدست آورده شد، در دوره‌ی بازگشت ۲ و ۵ ساله در هر ۵ ایستگاه در مقیاس‌های زمانی مختلف شاخص SDI بین ۰ و ۱- قرار گرفته است. که خشکسالی در وضعیت خفیف را نشان می‌دهد. در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله، در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شاخص مذکور در ایستگاه‌های دهکده‌ی سفید و چمریز بین ۱،۵- و ۱- قرار گرفته که خشکسالی متوسط را نشان می‌دهد و در بقیه‌ی ایستگاه‌ها شاخص SDI کمتر از ۱- می‌باشد که خشکسالی خفیف را نشان می‌دهد. در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۹ و ۱۲ ماهه در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله نیز، تنها ایستگاه‌ها درودزن و جمال‌بیگ شاخص SDI کمتر از ۱- می‌باشد که نشانه‌ی وقوع خشکسالی خفیف در این دو ایستگاه می‌باشد این در حالیست که در بقیه‌ی ایستگاه‌ها خشکسالی در وضعیت متوسط می‌باشد. در دوره‌ی بازگشت ۲۰ و ۲۵ ساله در مقیاس زمانی ۳ ماهه مقدار شاخص مذکور همانند مقدار آن در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله است، اما در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۹ و ۱۲ ماهه در دوره‌ی بازگشت ۲۰ و ۲۵ ساله شاخص SDI تمامی ایستگاه‌ها در بین ۱- و ۲- یعنی وضعیت خشکسالی شدید و خیلی شدید قرار گرفته‌اند که بر طبق این داده‌ها احتمال گسترش خشکسالی در این منطقه طی چند سال آینده به شدت افزایش می‌یابد. نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی در دوره‌های بازگشت مذکور براساس وضعیت خشکسالی و با استفاده از نرم‌افزار Arc gis ترسیم شد که شکل‌های (۲،۳)، نقشه‌هایی حاصل، گستره‌ی خشکسالی در وضعیت خفیف را نشان می‌دهد. شکل‌های (۳ و ۴)، نقشه‌های حاصل، مناطق با خشکسالی متوسط نشان داده شده است.

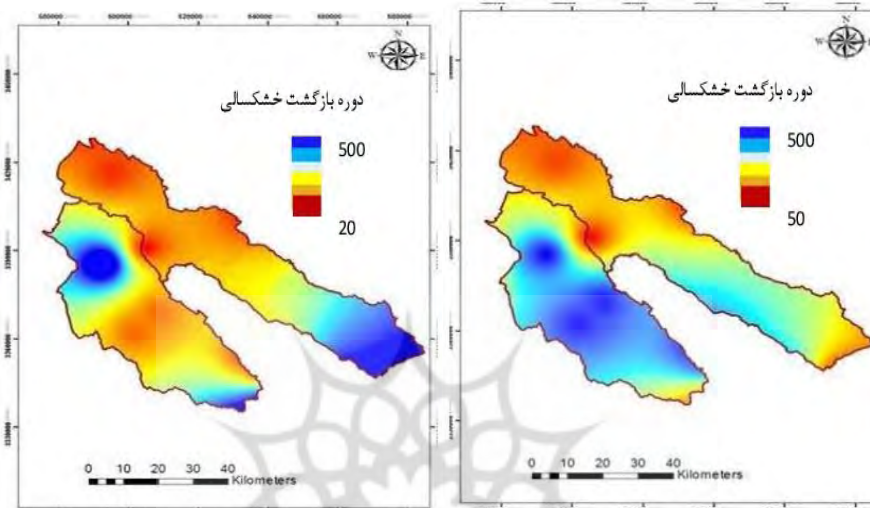
که منطقه‌ی وسیع تری را نسبت به خشکسالی خفیف به خود اختصاص داده است. در شکل‌های (۷ و ۶)، نقشه‌های حاصل، گسترش خشکسالی در وضعیت شدید نشان داده شده است که حاکی از گسترش شدید خشکسالی منطقه در آینده می‌باشد.



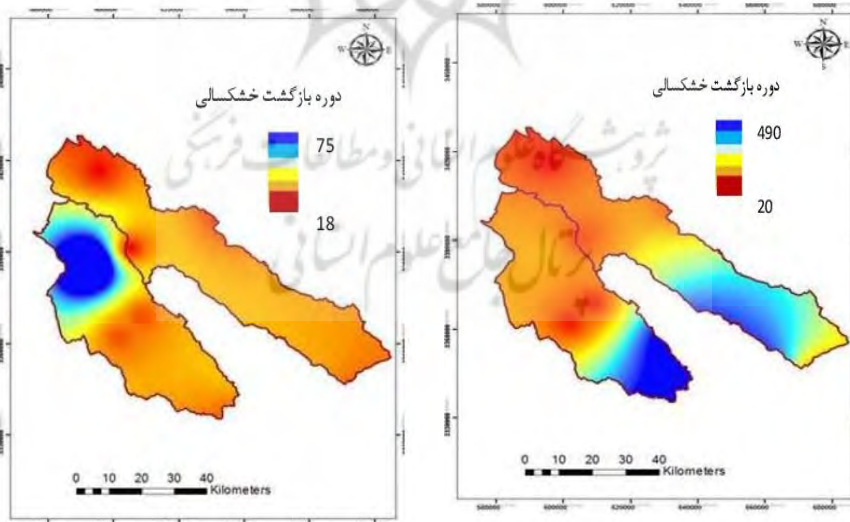
شکل (۲) دوره‌ی بازگشت خشکسالی خفیف براساس شاخص جریان رودخانه ۳ ماهه و ۶ ماهه از راست به چپ



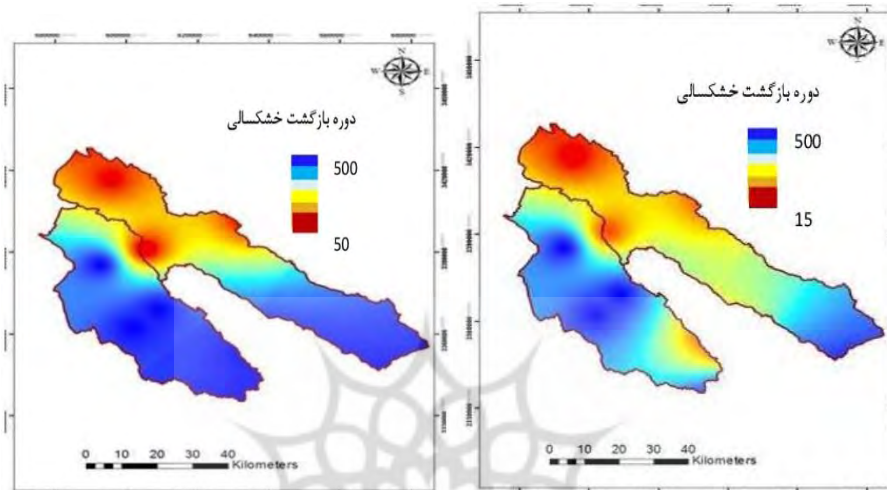
شکل (۳) دوره‌ی بازگشت خشکسالی خفیف براساس شاخص جریان رودخانه ۹ ماهه و ۱۲ ماهه از راست به چپ



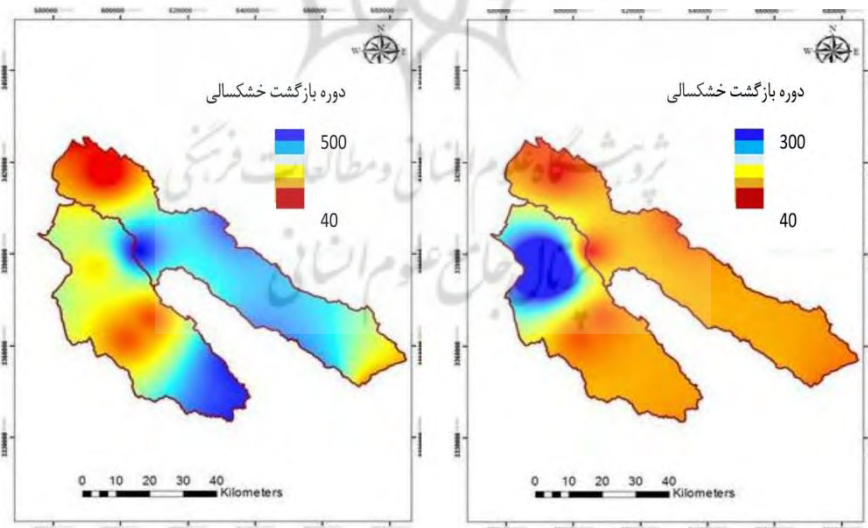
شکل (۴) دوره‌ی بازگشت خشکسالی متوسط براساس شاخص جریان رودخانه ۳ ماهه و ۶ ماهه از راست به چپ



شکل (۵) دوره‌ی بازگشت خشکسالی متوسط براساس شاخص جریان رودخانه ۹ ماهه و ۱۲ ماهه از راست به چپ



شکل (۶) دوره‌ی بازگشت خشکسالی شدید براساس شاخص جریان رودخانه ۳ ماهه و ۶ ماهه از راست به چپ



شکل (۷) دوره‌ی بازگشت خشکسالی شدید براساس شاخص جریان رودخانه ۹ ماهه و ۱۲ ماهه از راست به چپ

بر اساس نقشه‌های ارائه شده در کمتر از ۱۰ سال آینده در تمامی مقیاس‌ها زمانی نواحی شمالی منطقه‌ی خشکسالی خفیف را تجربه خواهد کرد. و طی ۲۰ سال آینده هم بر وسعت خشکسالی و هم بر شدت خشکسالی افزوده می‌شود، به گونه‌ای که نه تنها قسمت‌های شمالی بلکه در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بخشی از نواحی غربی منطقه نیز درگیر خشکسالی متوسط خواهد بود. براساس این آمار طی ۲۰ سال آینده در مقیاس زمانی ۹ ماهه نواحی شمالی و شرقی را به طور کامل خشکسالی فرا می‌گیرد. طبق نتایج در کمتر از ۵۰ سال آینده در مقیاس زمانی ۹ ماهه به جز بخش کوچکی در غرب منطقه بقیه‌ی منطقه را خشکسالی شدید فرا خواهد گرفت. در قسمت شمال غربی منطقه‌ی کوچکی است که در مقیاس‌های زمانی ۳،۶ و ۹ ماهه عدم خشکسالی را داشته و در آینده‌ی خیلی دور این منطقه دچار خشکسالی می‌شود، بنابراین این ناحیه از منطقه مورد مطالعه در وضعیت مناسب قرار دارد، این در حالی است که نواحی شمالی در دوره‌های بازگشت ۵ سال به بالا تمامی وضعیت خشکسالی (خفیف، متوسط، شدید) را تجربه خواهد کرد. و بحرانی‌ترین ناحیه در این منطقه خواهد بود که مستلزم توجه بیشتری است.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه، در مقیاس‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه خشکسالی متوسط صادق است. در ایستگاه هیدرومتری چمریز در سال‌های (۷۸-۸۰ و ۸۹-۸۷ و ۹۰-۹۳) در تمامی مقیاس‌های مورد مطالعه خصوصاً ۹ و ۱۲ ماهه خشکسالی با شدت بیشتری نسبت به دیگر سال‌ها رخ داده است. در ایستگاه هیدرومتری جمال‌بیگ در سال آبی مورد مطالعه خشکسالی به صورت نرمال و خفیف دیده شده است. در ایستگاه خسرو شیرین در سال‌های (۶۴-۶۵) در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه خشکسالی خیلی شدید و در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۹ ماهه خشکسالی شدید و سال‌های (۸۷-۹۳) در مقیاس‌ها زمانی ۹ و ۱۲ ماهه خشکسالی شدید بیشتر رخ داده است. نتایج حاصله در ایستگاه هیدرومتری دهکده‌ی سفید نیز مشابه نتایج

حاصله از ایستگاه هیدرومتری خسروشیرین می باشد. به طور کلی نتایج بدست آمده از شاخص جریان رودخانه در سال آبی مد نظر در همه ایستگاهها بسیار مشابه بوده و نشان دهنده شدت خشکسالی در سالهای (۶۴-۶۵، ۷۸-۸۰ و ۸۷-۹۳) در طول دوره‌ی آماری مورد مطالعه می باشد که هرچه به سالهای اخیر نزدیک تر شده است، بر شدت آن در منطقه افزوده می شود که این افزایش شدت در مقیاس های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه بیشتر به چشم می خورد. هم چنین تعداد سال هایی که در آنها خشکسالی خفیف رخ داده است در مقیاس های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس های زمانی ۳ و ۶ ماهه بیشتر می باشد. نتایج بدست آمده از نقشه های پهنه بندی نشان می دهد در نواحی شمالی و شرقی منطقه خشکسالی خفیف به جز در دوره‌ی زمانی ۶ ماهه در بقیه‌ی دوره های زمانی بازگشت کمتری نسبت به دیگر نواحی منطقه داشتند. در مورد خشکسالی متوسط و شدید، این حالت نیز در قسمت های شمالی منطقه صادق است. این در حالی است که خشکسالی خیلی شدید با دوره‌ی بازگشت بالا در تمامی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. به طور کلی با افزایش دوره‌ی بازگشت بر وسعت و شدت خشکسالی در این منطقه افزوده می شود. خصوصاً نواحی شمالی و شرقی حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه بیشتر در معرض این بلایای طبیعی می باشند. نتایج کلی به دست آمده از شاخص گویای افزایش شدت خشکسالی در سال های اخیر بودند به گونه ای که در سال های ۸۷-۸۹ مقدار خشکسالی در وضعیت های خیلی شدید نیز مشاهده شده است. سال های (۷۸-۸۰ و ۸۷-۸۹) به عنوان خشک ترین سال ها در این مطالعه شناخته شده اند که این حالت حاکی از آن است که خشکسالی رو به پیشرفت بوده و در آینده ای نه چندان دور خشکسالی اکثر نقاط منطقه را در بر خواهد گرفت. بنابراین این منطقه در معرض خسارات و صدمات اقتصادی و اجتماعی خشکسالی هیدروژئومورفیک قرار دارند و لذا در مطالعات منابع آب نیازمند توجه بیشتری می باشند. نتایج تحقیقات مشابه در جهان و ایران تقریباً منطبق با این نتایج می باشد: در این خصوص می توان به مطالعه ای که برای ارزیابی شاخص خشکسالی جریان رودخانه در یونان انجام شده اشاره نمود.

(نالباتیس، ۲۰۰۸: ۸۹۷-۸۸۷) در این تحقیق ضمن تأیید کارآیی شاخص خشکسالی جریان رودخانه، پیشنهاد شده از این روش برای هشدار و وقایع خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، استفاده گردد. در تحقیق دیگری SDI به منظور بررسی وضعیت خشکسالی در رودخانه‌های شمال غرب ایران مورد استفاده قرار گرفت (طبری و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۷-۱۵۱) که محققان ضمن تأیید تجربه، خشکسالی در تمامی رودخانه‌های مورد مطالعه، یک دوره‌ی دوازده ساله را به عنوان بحرانی‌ترین دوره‌ی خشکسالی (در طول دوره‌ی آماری موجود) معرفی نمودند. در تحقیق رنجبر و همکاران در سال ۹۴ از شاخص خشکسالی جریان رودخانه به عنوان راهکاری برای پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از جریان‌های ورودی به مخزن سد استفاده شده است، در این راستا مشکلات استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در مطالعات مربوط به منابع آب بررسی گردیده و همانند تحقیقات قبلی کارآیی از شاخص خشکسالی جریان رودخانه در اینگونه مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است. سلیمانی و همکارانش نیز در سال ۹۳ خشکسالی را بر اساس شاخص SDI بررسی نمودند. مرور بر تحقیقات انجام شده در مسائل خشکسالی بیانگر گستردگی بسیار زیاد موضوع می‌باشد. در این رابطه بررسی خشکسالی از نقطه نظر تحلیل جریان‌های رودخانه‌ای و در چارچوب بررسی و تحلیل منابع آب موجود، همواره مورد توجه محققان بوده است.

Referemces

- Chow, V., Taksan, N., (1997), **Desing criteria for Hydrologic Exteremes**, Jornal of hydrologic Division, ASCE, pp. 425-436.
- Eghdari, M., Bazrafshan, J., Shafiee, M., (2016), **Predicting River Drought Using SPI Index and Markov Chain in Karkheh Catchment**, Journal of Water and Soil Conservation Research, Vol. 23, No. 2, pp.115-130.
- Islamians, S., Soltani, S., (2002), **Flood Frequency Analysis**, Isfahan, Arkan Publications.
- Islamian, S., Zarei ,A., Abrishami Chi,A., (2004), **Regional Estimation of Low Flow Rivers of Mazandaran Watershed**, Journal of Agricultural Science and Technology, Isfahan University of Technology, No. 1, pp.38-27.
- Kumar,R., Chatterjee, C., Kumar, S., (2003), **Regional flood formulas using L-Moments for small watersheds of subzone of India**, Applied Engineering in Agriculture, Vol.19, No.1 , pp.47-53.
- Mahdavi, M., (2002), **Applied Hydrology**, Vol 2, University of Tehran Publications.
- McKee, TB., Doesen, NJ., Kleist, J., (1993), **The relationship of drought frequency and duration to time scales Preprints,8th Conference on AppliedClimatology**, 17–22 January.Anaheim, California. USA, PP. 179–184.
- Moradi, H.R., Rajabi, M., Faragzadeh, M., (2011), **Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran**, Catena, Vol. 84, No. 2, pp.35-46.
- Modaress, R., (2007), **Ragional frequency distribution type of low flow in north of iran by L-Moments**, water resource management, Vol. 22, No. 7, pp.823-841
- Nalbantis, I., Tsakiris, G., (2008), **Assessment of hydrological drought revisited**, Water Resour Manage, Vol.23, pp.881–897.

- Nikbakht, J., Tabari, H., Talaei, P., (2013), **Stream flow drought severity analysis by percent of normal index (PNI) in northwest Iran**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 112, pp.565-573.
- Nalbantis, I., (2008), **Evaluation of a hydrological drought index**, European Water, Vol.23, No. 24, pp.67-77.
- Pandey, RP., Mishra, SK., Singh Ramasastri, KS., (2008), Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India), Water Resour Manage, Vol. 22, pp.1127-1141.
- Shaghagh, E., Soltani, S., (2011), **Comparison of Drought Indices in Yazd Province**, Journal of Agricultural Science and Technology, Natural Resources and Soil Sciences, Vol. 15, No. 57, pp.249-231.
- Soleimani, S., Bahramand, A., (2014), **Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran**, International Journal of Environmental Resources Research, No.13, pp.279-288.
- Tabari, H., Nikbakht, J., Hosseinzadeh Talaei, P., (2013), **Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI)**, Water Resources Management, Vol. 27, No.1, pp.137-151.
- Wiltshir, SE., (1985), **Grouping basins for regional flood frequency analysis**, Hydrology Sciences Journal, Vol. 30, pp.151.