

## تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی‌ها در حوضه آبریز سد کارون یک

کیما محمدی بابادی، علیرضا نیکبخت شهبازی\* و حسین فتحیان<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۶)

### چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی رابطه زمانی و مکانی خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و شناسایی خشکسالی در حوضه آبریز سد کارون یک انجام شده است. داده‌های آماری هواشناسی بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷ به‌عنوان طول دوره آماری انتخاب شد. رابطه بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با هر یک از شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی و شناسایی خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی در ادامه خشکسالی هواشناسی رخ داده و از همبستگی بسیار بالایی با خشکسالی هواشناسی برخوردار بوده است. شدیدترین خشکسالی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ رخ داده است. بررسی‌ها نشان داد هر سه سال یک‌بار حوضه با یک خشکسالی هواشناسی و سپس خشکسالی هیدرولوژیکی همراه می‌شود. نتایج نشان داد بیشترین همبستگی مربوط به شاخص هواشناسی ۱۲ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص هواشناسی و هیدرولوژیکی ۶ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی سه ماهه با دو ماه تأخیر است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیکی تقریباً با دو تا سه ماه تأخیر خود را در کل حوضه آبریز نشان می‌دهد و هرچه از این زمان یعنی ۴ ماه یا بیشتر می‌شود همبستگی بین این دو شاخص از بین می‌رود و کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به پهنه‌بندی‌های خشکسالی مشاهده شد که در طول دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۹ اکثر خشکسالی‌ها ناشی از کاهش بارش در شمال غرب حوضه کارون یک رخ داده است و این مسئله با کاهش میزان رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری خود را نشان داده است. البته در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ وضعیت رواناب به‌طور موقت بهبود داشته است و از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ مجدد وضعیت خشکسالی‌ها از منظر مکانی به روال قبلی بازگشته است.

واژه‌های کلیدی: سد کارون یک، خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، شناسایی خشکسالی

۱. گروه علوم و مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
\* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: [nikbakhta@gmail.com](mailto:nikbakhta@gmail.com)

## مقدمه

خشکسالی به طور کلی به معنای کم شدن میزان بارش یک دوره نسبت به میانگین بارش دراز مدت است و یکی از مهم ترین مسائلی است که در رشته اقلیم شناسی مورد بحث قرار می گیرد. خشکسالی از جمله مخاطرات طبیعی است که به صورت کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی جامعه تأثیر می گذارد. پایش به موقع و دقیق از انواع خشکسالی ها، گام مؤثری در جهت برنامه ریزی برای کاهش خسارات ناشی از خشکسالی است. تأخیر در وقوع هر یک از انواع خشکسالی ها، از جمله موانع موجود برای بیان صحیح وضعیت خشکسالی در محدوده مورد نظر است. بر این اساس برای بررسی دقیق خشکسالی بایستی هر سه نوع خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و آبشناختی همزمان بررسی و با تلفیق آنها ارزیابی درستی از وقوع و گستره خشکسالی در یک محدوده به دست آورد. معمولاً خشکسالی هواشناسی با تأخیر زمانی در یک منطقه منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی می شود. رابطه زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بستگی به ویژگی های فیزیوگرافی حوضه آبریز، نوع کاربری اراضی، نفوذ آب و نوع سازندها دارد. خشکسالی موجب کاهش سریع جریان های سطحی و افت سطح آب زیرزمینی و تغییر کیفیت منابع آب و خاک می شود. لذا برای کاهش خطرات خشکسالی ارزیابی تداوم و وقوع آن ضروری است (۸).

درخصوص مقایسه شاخص های خشکسالی با یکدیگر و پهنه بندی آن تحقیقات مختلفی صورت گرفته است از جمله در یک تحقیق شاخص های خشکسالی SPI و شاخص شناسایی خشکسالی (Reconnaissance Drought Index) را به صورت موردی در دو ایستگاه قزوین و تاکستان مورد مقایسه قرار گرفت و نشان داد که تفاوت معناداری میان دو شاخص ارزیابی و پایش خشکسالی وجود ندارد ولی شاخص RDI در مورد خشکسالی های بسیار شدید از حساسیت بیشتری برخوردار بود. همچنین در مورد خشکسالی کشاورزی در صورت موجود

بودن آمار بلندمدت، شاخص RDI موفق تر از شاخص SPI عمل می کند (۱۶). در تحقیق دیگری به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی با استفاده از شاخص های خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد شده، دهک ها و درصد از نرمال و تعیین وسعت خشکسالی با استفاده از روش میان یابی معکوس فاصله وزن دار (Inverse Distance Weighted) در استان خراسان نتیجه گرفتند که در سراسر استان خراسان شمالی وسیع ترین و شدیدترین خشکسالی ها به ترتیب در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. همچنین طولانی ترین خشکسالی ها مربوط به سال های ۱۹۹۷-۱۹۹۴ است که با توجه به قابلیت شاخص SPI در برآورد بازه های زمانی مختلف محاسبه شد (۱۳). به جهت ارزیابی دقت روش های زمین آماری کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و روش معین عکس فاصله در پهنه بندی و تهیه نقشه های خشکسالی روی داده در استان فارس در سال ۱۳۸۹ براساس دو شاخص ناهنجاری بارندگی (Rainfall Anomaly Index) و شاخص دهک بارش (Decile Precipitation Index) بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در پهنه بندی خشکسالی براساس شاخص DPI روش کریجینگ معمولی و در مورد شاخص RAI، روش عکس فاصله دارای نتایج بهتری نسبت به سایر روش های درونیابی است. همچنین با توجه به نقشه های رسم شده بر اساس دو شاخص RAI و DPI به ترتیب ۶۰/۹۱ درصد و ۵۱/۰۵ درصد از مساحت استان در سال ۱۳۸۹ درگیر خشکسالی بوده است (۲۵).

تحقیقات مختلفی روی شاخص های خشکسالی و رابطه آنها با یکدیگر صورت گرفته است (۴، ۶، ۱۴، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). به عنوان نمونه در تحقیقی از نمایه SDI دوازده ماهه برای نوسانات جریان رودخانه های شمال غرب ایران استفاده کردند. نتیجه این پژوهش نشان داد سال های اخیر با خشکسالی شدید هیدرولوژیکی همراه بوده است (۱۸). به منظور تحلیلی بر رخدادهای خشکسالی در منطقه کارپاتیان

شناخت بهتر وضعیت خشکسالی مناطق، مستلزم انجام پژوهش‌های محلی و منطقه‌ای، با توجه به ویژگی‌های هر منطقه است. بر این اساس این پژوهش در سطح حوضه آبریز کارون یک به منظور بررسی و مقایسه نتایج شاخص‌های خشکسالی، در یک دوره طولانی مدت در مقیاس زمانی و مکانی انجام شد. لذا با هدف بررسی رابطه زمانی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و پهنه‌بندی خشکسالی در حوضه تحقیق حاضر انجام شد.

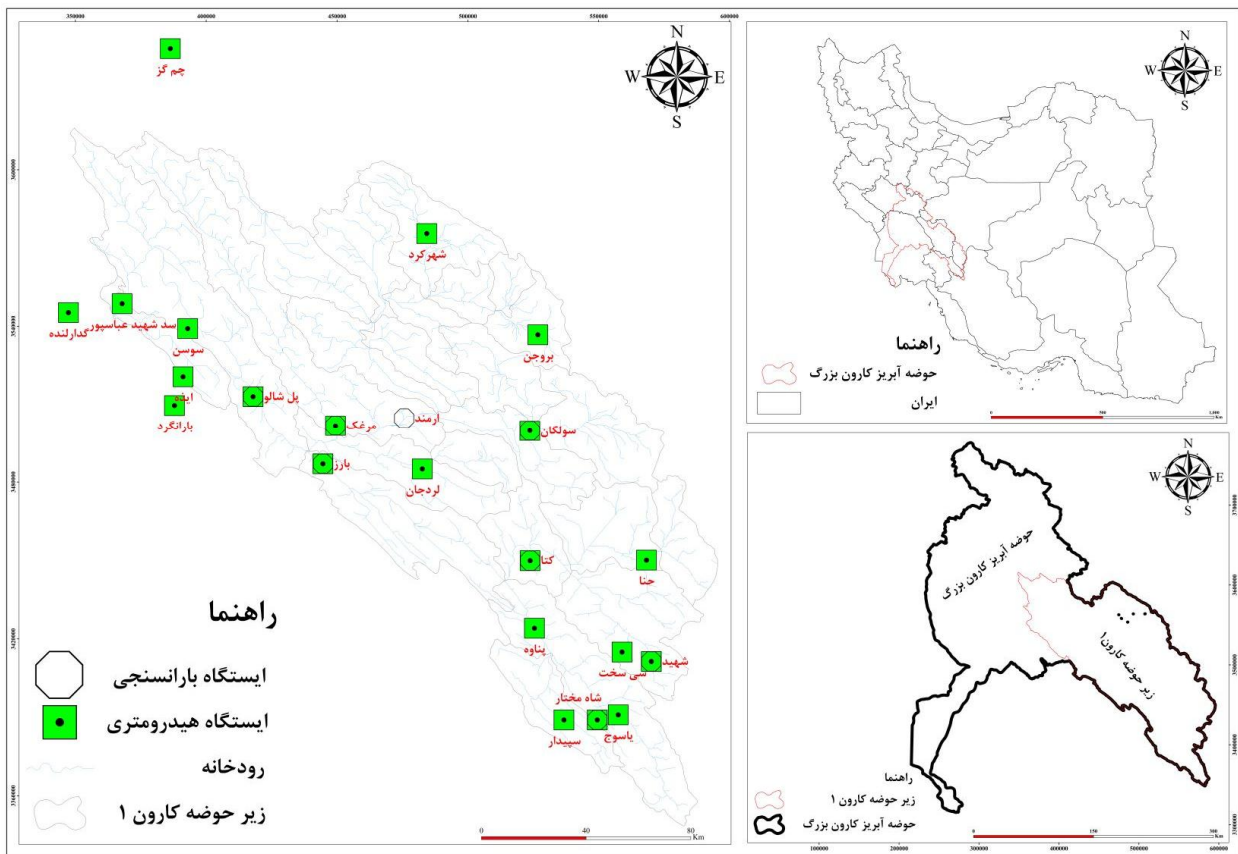
## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ (زیرحوضه سد کارون یک) پرآب‌ترین رود ایران است. طول رودخانه کارون ۹۵۰ کیلومتر و وسعت حوضه آبریز آن ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع است (وسعت حوضه آبریز در محل سد کارون یک، ۲۷۰۰۰ کیلومتر مربع است). حوضه آبریز کارون بزرگ در طول جغرافیایی ۳۰ تا ۳۴ درجه شمالی و در عرض جغرافیایی ۴۸ تا ۵۲ درجه شرقی واقع شده است. شکل (۱) حوضه‌های مربوط و موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در جدول (۱) ایستگاه‌های آماری مورد استفاده آنها را می‌توان مشاهده کرد. طول آماری ایستگاه‌های مورد استفاده از سال ۱۳۴۹-۵۰ تا ۱۳۹۶-۹۷ است. به دلیل اینکه مطالعه خشکسالی‌ها نیازمند بررسی داده‌های طولانی مدت است. پس از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، که شامل ۶ ایستگاه باران‌سنجی و نه ایستگاه هیدرومتری است. بازسازی نواقص آماری محدودی صورت گرفت که در نهایت یک دوره آماری ۲۵ ساله، از سال آبی ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ (سال میلادی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷) در ایستگاه‌های منتخب کارون یک شد. شکل (۲) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری در حوضه آبخیز را نشان می‌دهد. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل

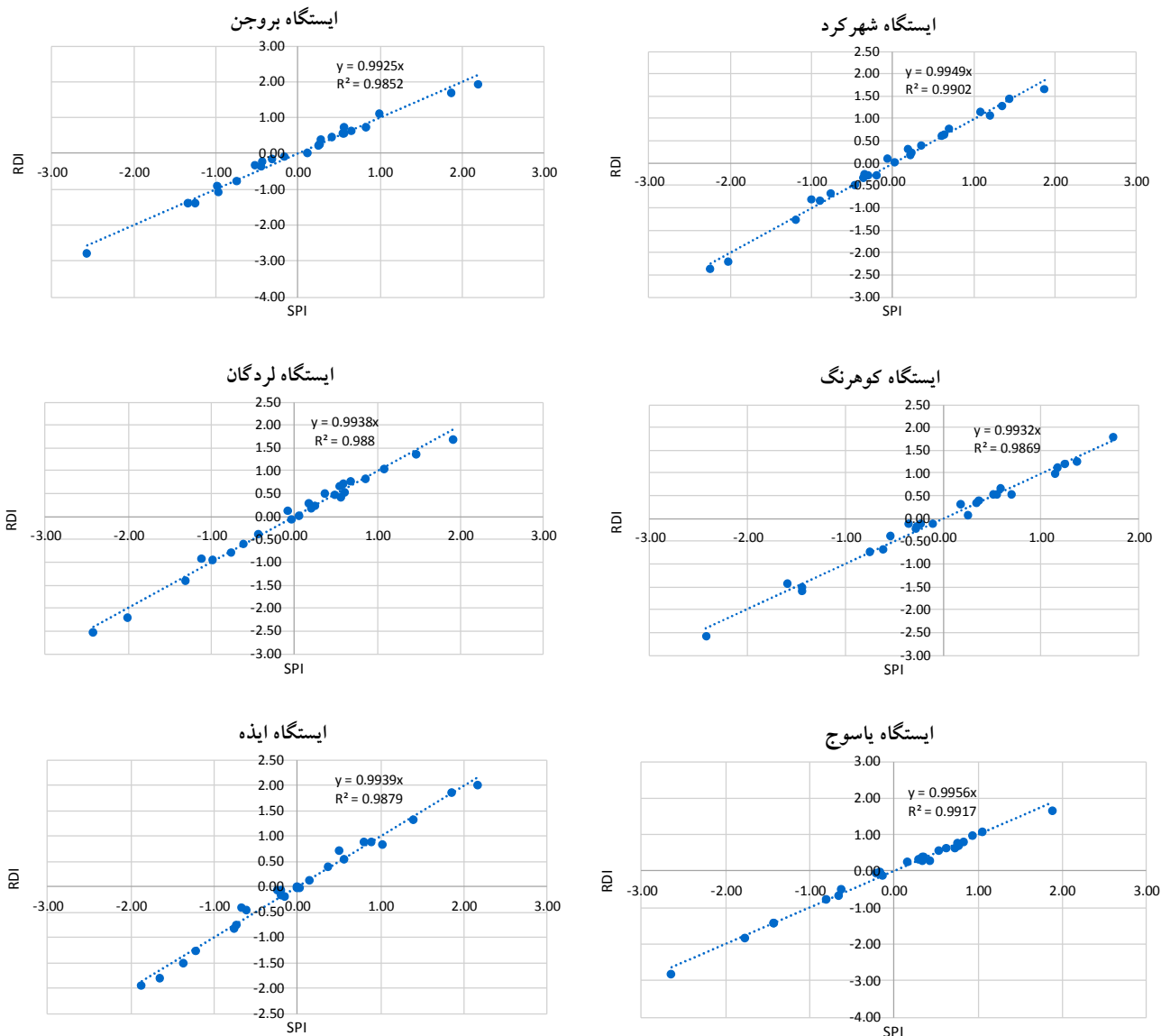
در ایتالیا بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ از آمار ۵۰ ساله روزانه بارش و دما مربوط به دوره آماری سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. چهار شاخص خشکسالی در سلول‌های ۰/۱ در ۰/۱ درجه محاسبه شد. شاخص‌های SPI، SPEI و RDI در دوره‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه تخمین زده شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های SPI، SPEI و RDI به خصوص در دوره تجمعی ۱۲ ماهه بسیار قابل قیاس هستند (۱۵). در یک تحقیق به منظور بررسی ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های SPI و SDI در حوضه آبریز اترک انجام گرفته نشان داد که رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنادار است و این همبستگی در گام زمانی سه ماهه به بیشترین حد می‌رسد (۱۲). در تحقیق دیگری به منظور بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه سد کرج نتایج نشان داد که وقوع خشکسالی هواشناسی پس از یک ماه اثر خود را روی آب‌های سطحی نشان می‌دهد (۳). همچنین در یک تحقیق رابطه بین شاخص SDI و SPI مورد بررسی قرار گرفت و همبستگی زیادی از خود نشان داد. شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌تواند تا حد قابل قبولی در مقیاس‌های زمانی برابر با هم هماهنگی و همبستگی داشته باشد (۲۳). در یک تحقیق به منظور بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی بر خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در یونان همبستگی شاخص RDI در گام‌های زمانی مختلف با شاخص SDI بررسی شد و بیشترین همبستگی در گام زمانی ۹ ماهه و ۱۲ ماهه مشاهده شد (۲۱).

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده در پژوهش‌های پیشین در بررسی انواع خشکسالی از نمایه SPI برای خشکسالی هواشناسی، از نمایه جریان رودخانه‌ها برای خشکسالی آب شناختی و از نمایه پوشش گیاهی برای خشکسالی کشاورزی استفاده شده است. با توجه به اینکه انواع خشکسالی از لحاظ مکانی، زمانی و از نظر شدت و مدت متفاوت است، لذا



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ و ایستگاه‌های حوضه آبریز کارون یک جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
شهرکرد	۲۰۵۰	۵۰° ۵۱'	۳۲° ۱۷'
لردگان	۱۵۸۰	۵۰° ۴۹'	۳۱° ۳۱'
ياسوج	۱۸۲۱	۵۱° ۴۱'	۳۰° ۵۰'
ایذه	۷۶۴	۴۹° ۵۲'	۳۱° ۵۱'
بروجن	۲۱۴۰	۵۱° ۱۸'	۳۱° ۵۷'
کوه‌رنگ	۲۲۲۰	۵۰° ۰۷'	۳۲° ۲۶'



شکل ۲. رابطه بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی شناسایی در ایستگاه‌های مختلف

آن، این روش به‌عنوان روش مبنی برای بررسی و ارزیابی خشکسالی در مناطق مورد نظر و ارائه روشی به‌منظور پیش‌بینی بارش مورد استفاده قرار گرفته است. در این قسمت به مبانی این روش اشاره خواهد شد. یکی از پارامترهای معتبر در خصوص تعیین رژیم بارش، نمایه بارش استاندارد شده است. این پارامتر را به‌منظور تعریف و پایش هواشناختی بارش ارائه داده‌اند (۱۰ و ۱۱). امروزه مرکز اقلیم کلرادو، مرکز اقلیم منطقه‌ای غرب ایالات متحده و مرکز ملی مبارزه با خشکسالی ایالات متحده از این شاخص برای پایش

متغیرهای اقلیمی دما و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی (جدول ۲) حوضه، متغیرها و مشخصات هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه، جریان رودخانه‌های اصلی حوضه است.

نمایه خشکسالی هواشناسی (نمایه بارش استاندارد شده) با توجه به استقبال محققین از شاخص SPI و محتوای آماری دقیق این شاخص (۷ و ۱۴) در ارزیابی‌های کمی بارش و خشکسالی مبتنی بر

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ارمند	۱۰۵۰	۵۰° ۴۶'	۳۱° ۴۱'
بارز	۸۱۵	۵۰° ۲۵'	۳۱° ۳۱'
باتاری	۱۵۲۰	۵۱° ۲۰'	۳۰° ۵۱'
کنا	۱۶۰۰	۵۱° ۱۵'	۳۱° ۱۱'
مرغک	۸۶۰	۵۰° ۲۸'	۳۱° ۳۹'
پل شالو	۷۰۰	۵۰° ۰۸'	۳۱° ۴۵'
شهید	۲۲۲۰	۵۱° ۴۴'	۳۰° ۵۰'
شاه مختار	۱۷۳۰	۵۱° ۳۱'	۳۰° ۴۱'
سولگان	۲۱۵۰	۵۱° ۱۴'	۳۱° ۳۸'

در عبارت فوق پارامترهای توزیع گاما  $\alpha$  و  $\beta$  برای مقادیر  $x$  مثبت قابل تعریف هستند و  $\Gamma(\alpha)$  نیز تابع گاما برای مقدار  $\alpha$  است. پس از تعیین شاخص SPI، در جدول (۳) اقلیم‌های متناظر با حدود شاخص‌های SPI با توجه به پیشنهاد مک کی و همکاران تعیین می‌شود (۹).

#### نمایه خشکسالی هیدرولوژیکی (شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای SDI)

در تحقیق حاضر شاخص SDI به‌عنوان شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی مشابه شاخص SPI محاسبه شد. در این روش فرض می‌شود که سری‌های زمانی حجم جریان‌های ماهانه رودخانه‌ای به‌صورت  $Q_{ij}$  موجود است که اندیس  $i$  سال هیدرولوژیکی و اندیس  $j$  ماه مربوط به سال هیدرولوژیک است. اساس این سری بر اساس رابطه زیر استوار است:

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^k Q_{ij} \quad (2)$$

مبنای  $k$  ماهانه است و مقادیر آن از ۱ تا ۶ به‌ترتیب بیان‌کننده دوره‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه است. شاخص SDI بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای  $V_{ik}$  برای

شرایط فعلی خشکسالی در ایالات متحده سود می‌برند. این شاخص امکان مشخص کردن بی‌سابقه بودن یک خشکسالی یا یک ترسالی در مقیاس زمانی مشخص برای هر منطقه‌ای از زمین که دارای سابقه آمار تاریخی باشد را می‌دهد. توزیع گاما، چگونگی سری‌های زمانی اقلیمی بارش را به‌خوبی بیان می‌کند. توزیع گاما با تابع چگالی احتمال یا تناوبش تعریف می‌شود. در واقع این شاخص معرف مقدار عددی انحراف معیار است که یک پدیده بارشی از میانگین دارد. ولی از آنجایی که برای بازه‌های زمانی کوتاه، توزیع بارش اصلی به طرفین کشیده می‌شود و به‌عبارتی از حالت اولیه خود منحرف می‌شود، نمی‌تواند کاملاً بیانگر این مقدار باشد. این شاخص به تحلیل‌گر امکان تشخیص میزان و کیفیت وقوع یک حادثه خشکسالی یا یک ترسالی را در مقیاس زمانی مشخص برای هر منطقه‌ای با سابقه آمار تاریخی مناسب ارائه می‌دهد. تام (۲۴) دریافت که توزیع گاما، چگونگی تغییرات فراوانی سری‌های زمانی اقلیمی بارش را به‌خوبی بیان می‌کند توزیع گاما با تابع چگالی احتمال یا تناوبش تعریف می‌شود:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

جدول ۳. مقادیر SPI و وضعیت اقلیمی متناظر با آن (۱۱)

نمایه مربوطه	حدود SPI	اقلیم
EW	+۲	بسیار مرطوب
VW	۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
MW	۱ تا ۱/۴۹	مرطوب ملایم
NW	۰ تا ۰/۹۹	نرمال مرطوب
ND	۰ تا -۰/۹۹	نرمال خشک
MD	-۱ تا -۱/۴۹	خشک ملایم
VD	-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
ED	-۲ و کمتر	بسیار خشک

جدول ۴. جدول خشکسالی هیدرولوژیکی با روش SDI

محدوده	وضعیت خشکسالی	ردیف
0 < SDI	فاقد خشکسالی	۰
-1 < SDI < 0	خشکسالی ملایم	۱
-1.5 < SDI < -1	خشکسالی متوسط	۲
-2 < SDI < -1.5	خشکسالی شدید	۳
SDI < -2	خشکسالی خیلی شدید	۴

روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال  $i$  از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود:

$$a_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (4)$$

در این فرمول  $P$  بارندگی و  $ET$  تبخیر و تعرق پتانسیل در  $j$  امین ماه سال  $i$  هستند. مقدار  $i$  از یک تا  $N$  (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال هر سال است که از فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^i = \frac{a_0^i}{a_0} - 1 \quad (5)$$

دوره مبنا ( $k$ ) مربوط به سال  $i$  سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \overline{V_k}}{S_k} \quad (3)$$

که در آن  $V_k$  و  $S_k$  به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنا  $k$  است. جدول (۴) طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی را بر مبنای شاخص SDI نشان می‌دهد.

#### نمایه شناسایی خشکسالی (شاخص RDI)

این شاخص در سال ۲۰۰۵ ارائه شد (Tskiris and Vangelis, 2005). برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است.

جدول ۵. مقادیر RDI و وضعیت اقلیمی متناظر با آن

RDI	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	نرمال
۱-۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط
۱-۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
۲- یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید

$T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب دمای حداقل و حداکثر درجه حرارت در دوره مورد نظر برحسب درجه سانتی گراد،  $R_a$  تابش خورشیدی در بالای جو که برای ماه‌های مختلف سال و عرض‌های جغرافیایی مختلف، مقدار متفاوت به خود می‌گیرد و  $k_t$  ضریب تصحیح است.  $k_c$  ضریب گیاهان است و برای محصولات مختلف از نشریه فائو به دست می‌آید. در این تحقیق با کدنویسی در نرم‌افزار متلب میزان شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SDI محاسبه شد. مبنای محاسبات میزان شاخص‌های خشکسالی بلندمدت یک‌ساله بوده است که امکان مقایسه سال‌های آبی و تشخیص سال‌های با خشکسالی بیشتر فراهم باشد.

#### تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و پهنه بندی خشکسالی

شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده با استفاده از روش عکس فاصله وزن‌دار در حوضه آبریز کارون یک پهنه‌بندی شده و در هر سال تغییرات مکانی خشکسالی با استفاده از نقشه در محیط ArcGIS به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های معمول میان‌یابی برای پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی عبارتند از IDW، Spline و کریجینگ (۱۳). روش Spline یک سطح با حداقل انحنای را روی نقاط استفاده شده برای میان‌یابی برآزش می‌دهد. به عبارتی یک تابع

که در این فرمول  $\bar{a}_0$  میانگین حسابی اعداد  $a_0$  هر سال است. برای محاسبه شاخص استاندارد شده RDI از مقادیر سالانه  $a_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $y_i$  به دست خواهد آمد. سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد محاسبه و شاخص استاندارد RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

$$RDI_s^i = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\sigma_{yk}} \quad (6)$$

تفسیر مقادیر به دست آمده از این روش بر اساس جدول (۵) خواهد بود.

#### محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع و محصولات کشاورزی

برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع روش‌های متفاوتی وجود دارد که داده‌های مورد نیاز متفاوتی دارند. برای محاسبه میانگین تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در طول دوره رشد در صورت وجود آمار و اطلاعات ایستگاهی می‌توان از اطلاعات ایستگاه‌ها استفاده کرد. در این تحقیق از مدل هارگرویز سامانی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده شد:

$$ET_0 = 0.0135K_T R_a TD^{0.5} (T + 17.8) \quad (7)$$

$$K_T = 0.00185TD^{0.5} - 0.0433TD + 0.4023$$

$$TD = T_{max} - T_{min}$$

$$ET_C = K_C ET_0$$



شاخص‌های محاسبه شده مشاهده شد که در طول دوره مورد مطالعه سه سال مرطوب، ده سال نرمال و دوازده سال خشک وجود دارد. شدیدترین خشکسالی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ مصادف با ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ رخ داده است. بررسی‌ها نشان داد هر سه سال یکبار حوضه با یک خشکسالی هواشناسی و سپس خشکسالی هیدرولوژیکی همراه می‌شود. شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI محاسبه شده تقریباً بر هم منطبق هستند. این امر ناشی از روند محاسبه یکسان این دو شاخص در ایستگاه‌های منتخب است. در مورد شاخص خشکسالی SDI انطباق مشخصی با شاخص هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب وجود ندارد. رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در کل حوضه آبریز کارون یک بررسی شد. نتایج نشان داد که انطباق بین این شاخص با شاخص هواشناسی وجود دارد. این مطلب نشان می‌دهد که هنگامی که کل حوضه را مدنظر قرار می‌دهیم شرایط خشکسالی یکسانی از منظر هیدرولوژیکی و هواشناسی فراهم می‌شود. درحالی که با مدنظر قرار دادن هر یک از ایستگاه‌ها هواشناسی و هیدرومتری خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً با تأخیر رخ خواهد داد.

نتایج فراوانی و دسته‌بندی خشکسالی در سال‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به میزان شاخص‌های محاسبه شده سال‌های آبی ۱۹۹۴ و ۲۰۰۱-۱۹۹۷ و ۲۰۱۰-۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ سال‌های خشک هستند و در دسته خشک قرار می‌گیرند با بررسی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز به‌صورت جداگانه تقریباً همین نتیجه حاصل می‌شود و لذا نتایج به‌دست آمده نشان داد که در ایستگاه‌های کل حوضه میزان خشکسالی‌ها با شدت و ضعف مختلف اتفاق افتاده است. در کل حوضه آبریز فراوانی سال‌های خشک بیشتر از سال‌های نرمال و مرطوب بوده است. به‌منظور بررسی رابطه بین به‌خصوص خشکسالی هواشناسی با خشکسالی شناسایی یا خشکسالی هیدرولوژیکی همبستگی بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با شکل (۲) همبستگی بین شاخص خشکسالی

ریاضی را طوری بر سطح برآزش می‌کند که از نقاط مشترک بگذرد. در زمین آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد کرد به‌شرط آنکه مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است قرار گیرد. برآورد مقادیر متغیر با توزیع و ساختار فضایی و ارزیابی خطای همراه با این برآورد کریجینگ نامیده می‌شود. مدل IDW یکی از روش‌های معمول میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است که در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هر چه فاصله از مبدأ افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد. روش میان‌یابی بین سلول‌های ارزشی به‌کار رفته در یک ترکیب وزنی خطی از یک دسته نقطه نمونه را تعیین می‌کند. روش IDW همسایگی نقاط انتخاب شده را در نظر می‌گیرد که متغیر با کاهش اثر فاصله از مکان نمونه‌اش، ترسیم شده است. در این تحقیق بر اساس نظر و کاربرد سایر محققین در این زمینه از روش IDW برای حوضه آبریز سد کارون یک استفاده شده است. برای پهنه‌بندی خشکسالی حوضه آبریز کارون یک از شاخص خشکسالی هواشناسی، شناسایی و هیدرولوژیکی استفاده شده است. این سه شاخص در بازه زمانی یک‌ساله محاسبه و برای محاسبه RDI داده‌های ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) مورد نیاز است که با استفاده از روش تورنت-وایت در نرم‌افزار DrinC محاسبه شد. سپس جدولی که شامل نام ایستگاه و مختصات UTM مقادیر SPI، RDI و SDI محاسبه شده برای هر ایستگاه است، تشکیل شده و داده‌ها وارد محیط نرم افزار ArcGIS شد و پهنه‌بندی خشکسالی انجام شد.

## نتایج و بحث

شاخص‌های خشکسالی برای سال‌های آماری در کل حوضه محاسبه شد. به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان شاخص خشکسالی سالانه محاسبه شد. پس از بررسی



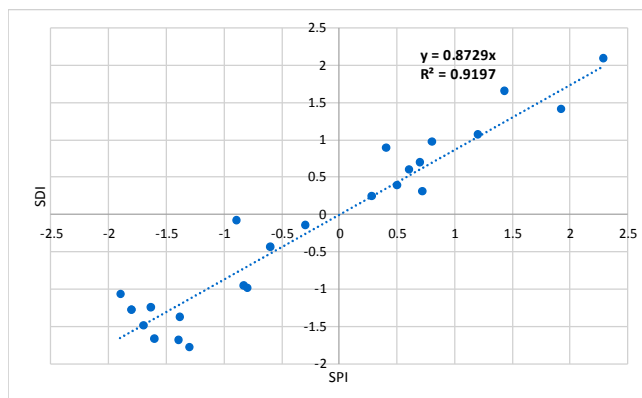
شکل ۳. رابطه بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های مختلف

خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه در زیرحوضه‌های کارون یک وجود ندارد. به نظر می‌رسد بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه مناسب نیست و می‌بایست در مقیاس سه ماهه و با تأخیر زمانی مورد بررسی قرار بگیرد. که با توجه به کمبود داده‌ها امکان محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس سه‌ماهه وجود نداشت.

رابطه بین شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در کل حوضه در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اگر حوضه سد کارون

SPI و RDI با ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹۵ است که نشان‌دهنده رابطه بسیار نزدیک این دو شاخص با یکدیگر است.

با توجه به همبستگی بالای بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی شناسایی می‌توان رابطه بین یکی از آن دو را با خشکسالی هیدرولوژیکی بررسی کرد. رابطه مستقیم بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در شکل (۳) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود رابطه مستقیمی بین این دو شاخص وجود ندارد و ضریب تعیین برای همبستگی بین این دو شاخص بسیار پایین است. لذا می‌توان نتیجه گرفت رابطه خطی بین خشکسالی هواشناسی و



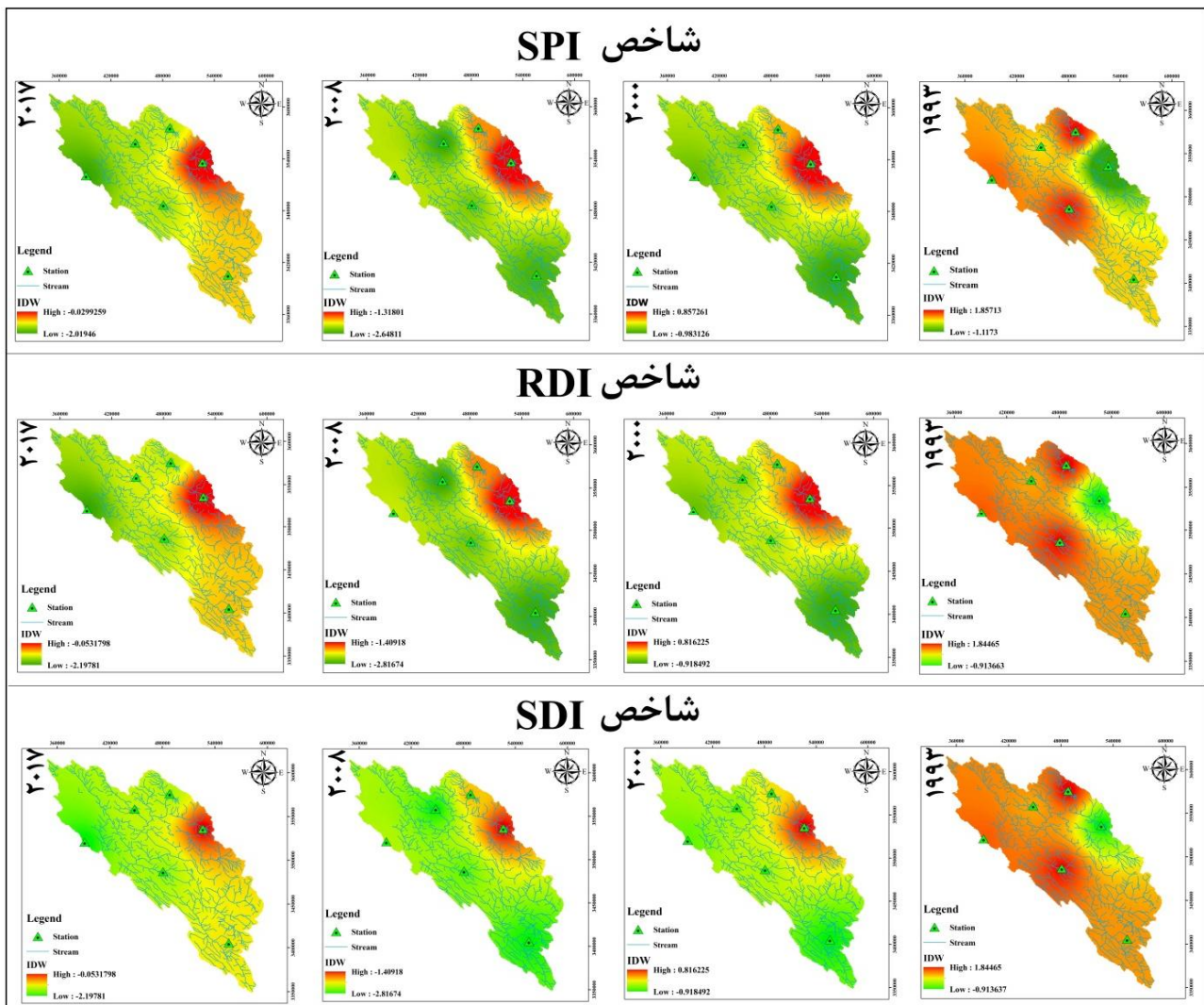
شکل ۴. رابطه بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در کل حوضه کارون یک

حوضه کارون یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری منتخب استفاده شد. به دلیل نزدیک بودن شاخص SPI و RDI از شاخص خشکسالی هواشناسی برای بررسی همبستگی بین خشکسالی‌ها با خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده شد. بیشترین ضریب همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به صورت سالانه و بدون تأخیر زمانی وجود دارد. به طور کلی با توجه به مزیت‌های SPI (منعطف بودن و قابلیت استفاده در مقیاس‌های متعدد زمانی و مکانی) در سطح خرد و کلان و با اینکه نتایج آن، مناسب بودن شاخص را از نظر تشخیص زمان شروع خشکسالی، پایش و پیش‌بینی آن به اثبات رسانده است، در مناطق با دمای زیاد و تبخیر و تعرق زیاد بارندگی به‌تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده وقوع خشکسالی باشد. در شکل (۵) پهنه‌بندی شاخص‌های محاسبه شده به‌طور نمونه در سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ نشان داده شده است همچنین آبراهه‌های حوضه نیز ترسیم شده است. با توجه به پهنه‌بندی‌های خشکسالی مشاهده شد که در طول دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۹ اکثر خشکسالی‌های ناشی از کاهش بارش در شمال غرب حوضه کارون یک رخ داده است و این مسئله با کاهش میزان رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری خود را نشان داده است. البته در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ وضعیت رواناب به‌طور موقت بهبود داشته است و از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ مجدد وضعیت خشکسالی‌های از منظر مکانی به روال قبلی بازگشته است.

یک را برای بررسی خشکسالی در نظر بگیریم رابطه بسیار نزدیکی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد. برای شناسایی مناسب‌ترین فاصله زمانی میان دو خشکسالی و اینکه چقدر طول می‌کشد که خشکسالی هواشناسی در یک منطقه به خشکسالی هیدرولوژیکی تبدیل شود تأخیر زمانی میان این دو شاخص بررسی شد بدین صورت که هر زمان در منطقه خشکسالی رخ داد، بعد از چند مدت تأثیر آن بر خشکسالی هیدرولوژیکی نمایان می‌شود. برای مشخص شدن این تأخیر زمانی سری‌های شاخص SDI در تأخیرهای زمانی یک تا چهار ماهه و بدون تأخیر زمانی در مقابل شاخص SPI قرار گرفت و میزان ضریب همبستگی آنها بررسی شد. مقادیر محاسبه شده در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین همبستگی مربوط به شاخص هواشناسی ۱۲ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص هواشناسی و هیدرولوژیکی ۶ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی سه ماهه با دو ماه تأخیر است. در ضمن آزمون معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی نیز بررسی شد و می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیکی تقریباً با دو تا سه ماه تأخیر خود را در کل حوضه آبریز نشان می‌دهد و هر چه از این زمان یعنی ۴ ماه یا بیشتر می‌شود همبستگی بین این دو شاخص از بین می‌رود و کاهش می‌یابد. به‌منظور بررسی نظم زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ۱ ماهه، ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه در سطح کل

جدول ۵. ضریب همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی برای کل حوضه با تأخیر زمانی

ایستگاه	دوره زمانی - تأخیر زمانی	یک ماه تأخیر	دو ماه تأخیر	سه ماه تأخیر	چهار ماه تأخیر
حوضه کارون یک	۱	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۲
	۳	۰/۴۱	۰/۵	۰/۴	۰/۱۱
	۶	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۴۴	۰/۳۶
	۱۲	۰/۶۱	۰/۶	۰/۶۵	۰/۵۱



شکل ۵. پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SDI محاسبه شده در حوضه آبریز کارون یک در سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

شاخص‌های خشکسالی برای سال‌های آماری در کل حوضه کارون یک محاسبه شد. در ضمن به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان شاخص خشکسالی سالانه محاسبه شد که در شکل نشان داده شده است. پس از بررسی شاخص‌های محاسبه شده مشاهده شد که در طول دوره مورد مطالعه سه سال مرطوب، ده سال نرمال و دوازده سال خشک وجود دارد. شدیدترین خشکسالی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ مصادف با ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ رخ داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد هر سه سال یک‌بار حوضه با یک خشکسالی هواشناسی و سپس خشکسالی هیدرولوژیکی همراه می‌شود. با توجه به میزان شاخص‌های محاسبه شده سال‌های آبی ۱۹۹۴ و ۲۰۰۱-۱۹۹۷ و ۲۰۱۰-۲۰۰۶ و ۲۰۱۷ سال‌های خشک هستند و در دسته خشک قرار می‌گیرند با بررسی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز به صورت جداگانه تقریباً همین نتیجه حاصل می‌شود و لذا نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های کل حوضه میزان خشکسالی‌ها با شدت و ضعف مختلف اتفاق افتاده است. در کل حوضه آبریز فراوانی سال‌های خشک بیشتر از سال‌های نرمال و مرطوب بوده است. با توجه به همبستگی بالای بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی شناسایی می‌توان رابطه بین یکی از آن دو را با خشکسالی هیدرولوژیکی بررسی کرد. رابطه مستقیم بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده شد رابطه مستقیمی بین این دو شاخص وجود ندارد. ضریب تعیین برای همبستگی بین این دو شاخص بسیار پایین است. لذا می‌توان نتیجه گرفت رابطه خطی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه در زیرحوضه‌های کارون یک وجود ندارد. به نظر می‌رسد بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس سالانه مناسب نیست و می‌بایست در مقیاس سه‌ماهه و با تأخیر زمانی مورد بررسی قرار بگیرد. که با توجه به کمبود داده‌ها امکان محاسبه شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس سه‌ماهه وجود

طبق تحقیقات علوی‌نیا و همکاران (۲) می‌توان با یک مدل تجربی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی را از طریق شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه سد کارون یک پیش‌بینی کرد و اینکه با تحلیل ۲۵ سال از آمار بارندگی و رواناب حوضه وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبریز کارون بیشتر متأثر از وضعیت آب و هواشناسی سال جاری و سال قبل است که با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که بیشترین همبستگی مربوط به شاخص هواشناسی ۱۲ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص هواشناسی و هیدرولوژیکی ۶ ماهه با سه ماه تأخیر و شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی سه ماهه با دو ماه تأخیر است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیکی تقریباً با دو تا سه ماه تأخیر خود را در کل حوضه آبریز نشان می‌دهد و هر چه از این زمان (یعنی ۴ ماه) بیشتر می‌شود همبستگی بین این دو شاخص از بین می‌رود و کاهش می‌یابد. همچنین طبق تحقیقات کوشکی و همکاران (۱۲) بین شاخص خشکسالی SPI و SDI در حوضه آبریز کرخه در چهار گام زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه همبستگی معناداری وجود دارد و خشکسالی هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی خیلی کوتاه پس از خشکسالی هواشناسی در این حوضه رخ می‌دهد که نشان‌دهنده نتایج مشابه برای حوضه آبریز مورد بررسی در این تحقیق است. نتایج مشابهی در تحقیق اسکندری و همکاران (۵) حاصل شده است به طوری که وقوع خشکسالی هواشناسی به صورت کوتاه‌مدت یا با تأخیر یک ماهه بیشترین تأثیر را در وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در استان تهران دارد. با توجه به پهنه‌بندی‌های خشکسالی مشاهده شد که در طول دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۹ اکثر خشکسالی‌ها ناشی از کاهش بارش در جنوب غرب استان رخ داده است و این مسئله با کاهش میزان رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری خود را نشان داده است. البته در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ وضعیت رواناب به طور موقت بهبود داشته است و از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ مجدد وضعیت خشکسالی‌های از منظر مکانی به روال قبلی بازگشته است.

زمانی سری‌های شاخص SDI در تأخیرهای زمانی یک تا چهار ماهه و بدون تأخیر زمانی در مقابل شاخص SPI قرار گرفت و میزان ضریب همبستگی آنها بررسی شد. در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود رابطه بین سایر شاخص‌های خشکسالی مانند شاخص خشکسالی کشاورزی با هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر مورد بررسی قرار گیرد و خسارات ناشی از آن در سطح حوضه آبریز شناسایی شود. همچنین می‌توان با تحلیل آماری رابطه‌ای چندمتغیره برای پیش‌بینی خشکسالی با توجه به شاخص‌های محاسبه شده در حوضه پیشنهاد داد.

نداشت. رابطه بین شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در کل حوضه بررسی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اگر حوضه سد کارون یک را برای بررسی خشکسالی در نظر بگیریم رابطه بسیار نزدیکی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد. برای شناسایی مناسب‌ترین فاصله زمانی میان دو خشکسالی و اینکه چقدر طول می‌کشد که خشکسالی هواشناسی در یک منطقه به خشکسالی هیدرولوژیکی تبدیل شود تأخیر زمانی میان این دو شاخص بررسی شد بدین صورت که هر زمان در منطقه خشکسالی رخ داد، بعد از چند مدت تأثیر آن بر خشکسالی هیدرولوژیکی نمایان می‌شود. برای مشخص شدن این تأخیر

#### منابع مورد استفاده

1. Akhtari, R., M. H. Mahdian and S. Morid. 2007. Spatial analysis of SPI and EDI drought indices in Tehran province. *Journal of Iranian Water Resources* 3(3): 27-38. (In Farsi).
2. Alavinia, S. H., S. J. Sadatinezhad and Kh. Abdollahi. 2011. Provide a model for prediction of hydrological drought in Karoon-1 basin. *Environmental Erosion Research Journal* 1(1): 45-56.
3. Azareh, A., M. R. Rahdari, E. R. Sardooi and F. A. Moghadam. 2014. Investigate the relationship between hydrological and meteorological droughts in Karaj dam basin. *European Journal of Experimental Biology* 4(3): 102-107.
4. Chen, S., P. Yu and Y. Tang. 2010. Statistical downscaling of daily precipitation using support vector machines and multivariate analysis. *Water Resources Management* 385: 13-22.
5. Eskandari Damaneh, H., G. Zehtabian, H. Khosravi and A. Azareh. 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. doi: 10.22131/sepehr.2016.18947.
6. Fisher, T., M. Gemmer, B. Su and T. Scholten. 2013. Hydrological long-term dry and wet periods in the Xijiang River basin, South China. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 135-148.
7. Hashemi, Z. 2012. Drought zoning using the SPI index and its effects on the environment (Case study: Chaharmahal va Bakhtiari province). *International Journal of Environmental Science and Bioengineering* 00(51): 13-25.
8. Koushki, R., M. Rahimi, M. Amiri, M. Mohammadi and J. Dastorani. 2017. Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkheh watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology* 4(3): 687-698. doi: 10.22059/ije.2017.62496
9. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales, Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, pp. 233-236, January 15-20, Dallas, Texas.
10. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorology Society, Boston, 179-184.
11. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorology Society 233-236.
12. Mofidipoor, N., V. Brady Sheikh, M. Ownegh and A. Sydaldyn. 2011. The analysis of relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak. *Journal of Watershed Management Research* 3(5): 16-26. (In Farsi).
13. Mohammadian A., M. Kohi, A. Adineh Beigi and F. Rasooli Jawad. 2012. Drought monitoring using indices PNI and DI, SPI, and their zoning (Case study: North Khorasan Province). *Journal of Soil and Water Conservation Studies* 17(1): 177-184.
14. Nikbakht Shahbazi, A. R. 2015. Climate change impact on meteorological droughts in watershed scale (Case study:

- southwestern Iran). *International Journal of Engineering & Technology* 4(1): 1-11.
15. Serogio, M. and S. Vicente. 2006. Differences in patterns of drought on different time scales: An analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management* 20: 37-60. DOI: 10.1007/s11269-006-2974-8.
  16. Shokohi, A. 2012. Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). *Irrigation and Water Engineering* 3(1): 111-122.
  17. Spinoni, J., G. Gustavo Naumann, H. Hugo Carrao, P. Paulo Barbosa and J. Jürgen Vogt. 2014. World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010. *International Journal of Climatology* 34: 2792-2804.
  18. Szalai, S. and C. Szinell. 2000. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary - Case study. PP. 161-166. In: Vogt J. V. and F. Somma, (Eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Kluwer, Dordrecht.
  19. Tabari, H., J. Nikbakht and P. H. Talaei. 2013. Hydrological Drought Assessment in northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water Resources Management* 27: 137-151.
  20. Taherzadeh, A. 2006. Drought analysis using GIS and RS in Minab basin. M.Sc Thesis, Modares University, Tehran.
  21. Tigkas, D., H. Vangelis and G. Tsakiris. 2012. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment* 440: 33-41.
  22. Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2005. Towards a drought watch systems based on spatial SPI. *Water Resources Research Management* 18: 1-12.
  23. Vardipour, A., M. Azarakhsh, A. Mosaedi and J. Farzadmehr. 2014. The relationship between meteorological and hydrological droughts Mashhad plain. The National Conference of Sciences and Environment Engineering, Ahvaz Province. (In Farsi).
  24. Yan-jun, L., Z. Xiao-dong, L. Fan and M. Jing. 2012. Analysis of drought evolvement characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe river basin. *Procedia Engineering* 28: 434-437.
  25. Zamani, R., S. Abdollahi and R. Mirabbasi. 2015. Trend analysis of hydro-meteorological parameters of the four major dams in southwest of Iran. *Arid Regions Geographic Studies* 5(18): 55-75.

## Analysis of the Relationship between Spatial and Temporal Droughts in Karoon 1 Dam Basin

A. Nikbakht Shahbazi, K. Mohammadi Babadi\* and H. Fathian<sup>1</sup>

(Received: August 5-2019; Accepted: October 28-2019)

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between time and spatial features of meteorological, hydrological and agricultural droughts in Karoon 1 Dam basin. Meteorological and statistical data were accordingly selected to evaluate the drought situation between 1993 and 2016. The results showed that hydrological droughts occurred in the meteorological drought and had a very high correlation with this year's meteorological drought. The most severe droughts occurred between 2006 and 2011. Studies also showed that every three years, the basin was accompanied by a meteorological drought and then a hydrological drought. The results also showed that the highest correlation was observed with the 12-month meteorological index, with a delay of 3 months, and the 6-month meteorological and hydrological index with a delay of 3 months and a three-month hydrological drought index with a delay of two months. Therefore, it could be concluded that hydrological droughts showed a delay of almost two to three months in the entire catchment area; since this period was 4 months or more, the correlation between these two indicators was eliminated and decreased. Also, due to drought zones, during the period from 1993 to 2009, most of the droughts were caused by rainfall reduction in the southwest of the province, and this was associated with a reduction in runoff in its hydrometric stations. Of course, in 2009-2012, the runoff status had been temporarily improved, and from 2012 to 2017, the drought situation had again returned spatially to the previous routine.

**Keywords:** Karun 1 Dam, Agriculture Drought, Hydrological Drought, Meteorological Drought.

---

1. Department of Water Resources Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding author, Email: nikbakhta@gmail.com