



DOI: 10.22092/ijm.2020.120804

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۶/۲۵  
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

# شناسایی روند تغییرات سالانه و دهه‌های خشک‌سالی حوزه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

فاطمه درگاهیان<sup>۱\*</sup> و سمانه رضوی زاده<sup>۲</sup>

چکیده

در این پژوهش از شاخص خشک‌سالی SPEI برای شناسایی رخداد خشک‌سالی و ترسالی سالانه، روند تغییرات دهه‌ای و مساحت تحت تأثیر آن در حوزه آبخیز کارون بزرگ استفاده شده است. از آنجایی که شاخص خشک‌سالی SPEI بیلان آبی را با در نظر گرفتن بارش، دما و تبخیر و تعرق برآورد می‌کند از آمار بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنت ویت برای آشکار سازی تغییرات زمانی، فراوانی شدت، تداوم خشک‌سالی‌های سالانه و تغییرات دهه‌ای مکانی رخداد خشک‌سالی در طول دوره آماری ۴۶-۱۳۴۵ تا ۹۶-۱۳۹۵ در قالب ۵ دهه استفاده شد. این داده‌ها برای یک شبکه ۴۴×۴۴ کیلومتری در حوزه آبخیز کارون بزرگ استخراج، شاخص خشک‌سالی SPEI اعمال، مساحت پهنه‌های تحت تأثیر خشک‌سالی طی ۵ دهه محاسبه و مناطق با پتانسیل بالای خطر خشک‌سالی شناسایی شد. روند تغییرات زمانی رخدادها نشان داد که با توجه به روند افزایش دما، بر فراوانی، تداوم و شدت خشک‌سالی‌ها در دهه اخیر افزوده شده است. شدیدترین رخداد خشک‌سالی به سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ در دهه پنجم اختصاص داشت. با توجه به نتایج پهنه‌بندی دهه‌ای، دهه پنجم به‌عنوان خشک‌ترین دهه معرفی شد، به طوری که در این دهه ۱۳ درصد مساحت حوزه آبخیز با خشک‌سالی بسیار شدید، ۵۳ درصد با خشک‌سالی شدید و ۲۹ درصد با خشک‌سالی متوسط و ضعیف روبه‌رو بوده است. در مجموع تقریباً ۹۵ درصد از مساحت حوزه دچار خشک‌سالی بوده و شرایط نرمال تنها در محدوده بسیار کوچکی در حدود کمتر از ۵ درصد دیده شده است. آگاهی و علم به روند این تغییرات می‌تواند به تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب با هدف مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز کمک کند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی هواشناسی، تبخیر و تعرق، بیلان آب، حوزه آبخیز کارون

## Identification of annual and decadal changes in drought trends of the Karoun basin using the SPEI index

F. Dargahian<sup>1\*</sup> and S. Razavizadeh<sup>2</sup>

### Abstract

This study used the SPEI drought index to identify drought and wet period occurrences, the trend of decadal changes and the area affected in the Great Karoun Basin. Since the SPEI drought index estimates the water balance in terms of precipitation, temperature, and evapotranspiration, thus, the precipitation, temperature, and potential evapotranspiration data were used based on the Torrent White method to detect temporal variations in the frequency and severity of annual droughts and the spatial variability of the drought occurrence over the study period (1345-46 to 1395-96). These data were extracted in a 44\*44 km grid for the Great Karoun Basin and calculated by applying the SPEI drought index of drought affected zones over five decades and the areas with high potential for drought risk were identified. Trends in time variations showed that the frequency, duration, and severity of droughts increased with the increase in temperature over the last decade. The worst drought occurred in the fifth decade in the year 2007-2008. The results showed that the fifth decade was the driest, so that 13%, 53% and 29% of the basin area were associated with very high drought, high drought, and moderate to severe drought. Overall, approximately 95% of the basin area is facing drought and it was only in a very small range of about 5% of normal conditions. The knowledge of the process of these changes can help water resource management decision makers to integrate watershed management.

**Keywords:** Meteorological drought, evapotranspiration, water balance, Karoun basin

\*۱-استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: fatemeh.dargahian@gmail.com  
۲-استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

1\*-Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran  
E-mail: fatemeh.dargahian@gmail.com  
2-Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran



### ● مقدمه

پایش و تحلیل شرایط خشک‌سالی از نیازهای اصلی مدیریت منابع آب است. خشک‌سالی یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی است که ناشی از کاهش بارش نسبت به میانگین بلندمدت آن است و احتمال وقوع آن در هر اقلیمی وجود دارد. این پدیده صدمات فراوانی را به بخش‌های مختلف و از جمله به بخش منابع آب وارد می‌کند که نمود عینی آن در سال‌های اخیر کمبود آب است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۴). این بلای طبیعی به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و با محدودیت جدی منابع آب، اثر عامل خشکی اقلیم را تشدید می‌کند (کوثری، ۱۳۹۶). با توجه به مشکلات کمی‌کردن ویژگی‌های خشک‌سالی مانند تداوم، شدت و بزرگی خشک‌سالی، شاخص‌های متعددی در دهه‌های اخیر توسعه یافته‌اند. یکی از محدودیت‌های شاخص‌های رایج مانند شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) عدم لحاظ بیلان آب براساس میزان تبخیر و تعرق است. در مقابل شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) براساس بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، بیلان آب را در محاسبه شاخص خشک‌سالی لحاظ می‌کند. شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده، اما شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ روشن‌تری نسبت به خشک‌سالی داشته است و در منابع مختلف این دو شاخص با هم مقایسه و کارایی‌های هرکدام مشخص شده است (Tan & Yang, 2015; Stagge et al., 2015; Vicente-Serrano & Beguería, 2016; Labudová et al., 2017). با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق در بیلان آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در مطالعات خشک‌سالی مورد استفاده قرار گیرد که مطالعات بیشتر در مقیاس‌های زمانی و مکانی را نیاز دارد (نصرتی، ۱۳۹۳). در کشور کره، شدت خشک‌سالی برای فصول زمستان و بهار براساس هر دو شاخص SPI

و SPEI محاسبه شد. نتایج نشان داد که شدت خشک‌سالی براساس شاخص SPEI بیشتر بوده است (Kim et al., 2012). بررسی تأثیر خشک‌سالی بر عملکرد محصولات کشاورزی در گام‌های زمانی متفاوت در جمهوری چک براساس شاخص خشک‌سالی SPEI انجام شد (Potopová et al., 2015). Kim و Sattar (2019) به‌منظور بررسی ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژی از این شاخص استفاده کردند. با توجه به تأثیر دما در محاسبه SPEI، تفاوت قابل توجه بین مقادیر شاخص استاندارد مبتنی بر بارش و شاخص تبخیر و تعرق مبتنی بر دما، زمینه کارایی و صحت شاخص SPEI را فراهم می‌کند (مصطفی زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵). شاخص خشک‌سالی SPI و SPEI در دشت جیرفت محاسبه و با شاخص خشک‌سالی آب زیرزمینی GRI مقایسه و تحلیل شده است (نژادمقبلی و همکاران، ۱۳۹۶). زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۹۳) از این شاخص برای پایش وضعیت خشک‌سالی در ایستگاه سینوپتیک همدان و تحت تأثیر تغییرات اقلیم در دهه‌های آتی استفاده کردند.

### ● داده‌ها و روش تحقیق

در این پژوهش از شاخص خشک‌سالی SPEI جهت پایش خشک‌سالی حوزه آبخیز کارون بزرگ و مساحت تحت تأثیر خشک‌سالی در ۵ دهه استفاده شده است. با توجه به اهمیت کاربرد شاخص خشک‌سالی SPEI به‌ویژه برای عرض‌های جغرافیایی پایین در محدوده حوزه آبخیز، نمودار سالانه این شاخص و مساحت تحت تأثیر خشک‌سالی بررسی شده است. نتایج نشان داد که عواملی مانند بارندگی، دما، تبخیر و رطوبت نسبی بر وقوع، شدت و تداوم خشک‌سالی تأثیرگذار هستند. از جمله شاخص‌های معروف پایش خشک‌سالی شاخص «پالمر» است که امروزه به‌دلیل عدم زیرساخت‌های مناسب به‌طور گسترده استفاده نمی‌شود. شاخص بسیار پرکاربرد دیگری که توسط سازمان هواشناسی جهانی در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد شده شاخص SPI است؛ اگرچه این شاخص بهتر از دیگر شاخص‌های مبتنی بر بارش، وضعیت خشک‌سالی را در اقلیم‌های متفاوت نشان می‌دهد؛ اما عدم استفاده از پارامتر دما و نادیده گرفتن اثر آن بر تبخیر، به‌ویژه در

مناطق خشک و نیمه‌خشک که تأثیر بیشتری بر از دست رفتن موجودی آب قابل دسترس دارد، یکی از معایب آن است. سازمان جهانی هواشناسی در سال ۲۰۱۳ شاخص SPEI را به‌عنوان شاخص مناسب برای تبیین شروع، شدت و تداوم خشک‌سالی توصیه کرده است، شاخص یادشده توسط Vicente-Serrano و همکاران معرفی شده بود. در این شاخص که یک متغیر استاندارد و قابل مقایسه در اقلیم‌های متفاوت است (Hernandez & Uddameri, 2014)، پارامتر تبخیر - تعرق در کنار بارش و دمای ماهانه محاسبه می‌شود و می‌تواند در مقیاس‌های یک ماهه تا چندساله بیان‌کننده خشک‌سالی در یک منطقه باشد.

### خشک‌سالی

#### یکی از پرهزینه‌ترین

#### مخاطرات طبیعی است که

#### ناشی از کاهش بارش نسبت به

#### میانگین بلندمدت آن است و احتمال

#### وقوع آن در هر اقلیمی وجود دارد. این

#### پدیده صدمات فراوانی را به بخش‌های

#### مختلف و از جمله به بخش منابع آب

#### وارد می‌کند که نمود عینی آن در

#### سال‌های اخیر کمبود آب است

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ بین طول‌های ۴۵' ۵۱° و ۴۸' ۴۸° و عرض‌های ۲۹° ۵۴' تا ۳۷° ۳۲' شمالی قرار دارد که ۴/۱ درصد از مساحت کل کشور را دربرمی‌گیرد. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، حوضه آبریز کارون بخشی از حوضه آبریز خلیج با مساحت ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع است که در محدوده ۸ استان اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، مرکزی، فارس و همدان واقع شده است. در این میان بیشترین و کمترین سهم مساحت به ترتیب مربوط به استان خوزستان و همدان است. حوزه آبخیز کارون متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که از ارتفاعات زاگرس میانی سرچشمه می‌گیرند. حوزه کارون دارای شرایط اکولوژیک و اقلیمی مناسبی برای

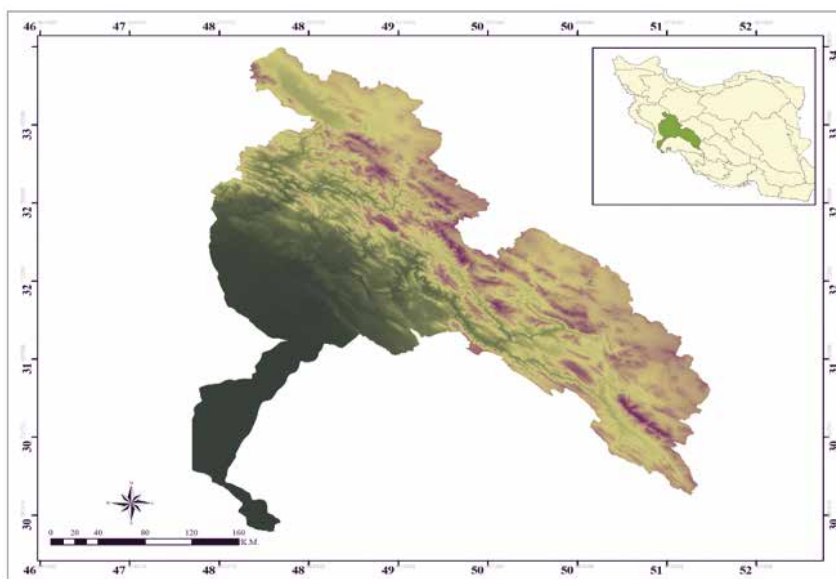
که  $\alpha$  پارامتر مقیاس،  $\beta$  پارامتر شکل و  $\gamma$  پارامتر اصلی برای مقادیر  $D$  در محدوده  $-\infty < D < \infty$  است. به این ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال، مقدار شاخص SPEI استخراج می شود. شاخص SPEI می تواند در مقیاس های زمانی مختلف مانند ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۴۸ ماه محاسبه شود. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است. از آنجایی که این شاخص می تواند برای پایش و ارزیابی دوره های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد در این پژوهش از آن استفاده شد و براساس مقادیر آن در جدول ۱ شدت خشک سالی و ترسالی مشخص شد.

جدول ۱- مقادیر مربوط به طبقات خشک سالی و ترسالی براساس شاخص SPEI (مرکز ملی خشک سالی)

معیار SPEI	شرح	وضعیت
$-0.49 < SPEI < +0.49$	نرمال	۱
$-0.99 < SPEI < -0.5$	خشک سالی ملایم	۲
$-1.49 < SPEI < -1$	خشک سالی متوسط	۳
$-1.99 < SPEI < -1.5$	خشک سالی شدید	۴
$SPEI < -2$	خشک سالی بسیار شدید	۵
$+0.5 < SPEI < +0.99$	ترسالی ملایم	۶
$+1 < SPEI < +1.49$	ترسالی متوسط	۷
$+1.5 < SPEI < +1.99$	ترسالی شدید	۸
$+2 < SPEI$	ترسالی بسیار شدید	۹

### یافته های تحقیق

حوزه آبخیز کارون بزرگ به واسطه تأمین ۷۸ درصد انرژی برق آبی و ۱۳ درصد تولیدات کشاورزی نقش انکارناپذیری در تأمین انرژی و غذای کشور دارد (ارشدی و باقری، ۱۳۹۲). این حوزه با داشتن حدود ۱۲ سد بزرگ احداث شده و در حال احداث و با پتانسیل تولید ۲۰ هزار مگاوات نیرو از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. پرآب ترین و طولانی ترین رود ایران در این حوزه واقع شده است، بنابراین آشکارسازی و شناسایی رفتار رخدادهای خشک سالی و ترسالی از نظر فراوانی، تداوم، شدت و نیز پهنه بندی مکانی این ویژگی ها در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

خشک سالی برای هر دهه محاسبه و تحلیل شد. محاسبه شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

این شاخص در مقیاس های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل براساس معادله تورنت ویت محاسبه می شود. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای یک ماه به صورت رابطه (۱) محاسبه خواهد شد.

رابطه (۱)

$$Di = Pi - PET$$

مقادیر  $D$  در مقیاس های زمانی مختلف از رابطه (۲) محاسبه می شود.

رابطه (۲)

$$D = \sum P_{n-i} - PET_{n-i}$$

یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشک سالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده های  $D$  را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب ترین تابع توزیع نشان داده است که تابع لجستیک لگاریتمی، برازش خوبی بر سری زمانی داده ها در مقیاس های زمانی مختلف دارد (Vicente Serrano et al., 2010).

رابطه (۳)

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}$$

ایجاد رویشگاه ها و زیستگاه های با ارزشی در بخش غربی فلات ایران است که همین موارد باعث افزایش تنوع زیستی منطقه شده و ارزش اکولوژیک و ژنتیک آن را بیشتر کرده است.

### روش کار

شاخص های خشک سالی برای ارزیابی کیفیت و کمیت پدیده خشک سالی مورد استفاده قرار می گیرند. این شاخص ها با توجه به منطقه و هدف مطالعه کاربردهای متفاوتی دارند. جهت بررسی روند تغییرات دهه های خشک سالی در حوزه آبخیز کارون بزرگ از داده های بارش شبکه ای با قدرت تفکیک  $44 \times 44$  کیلومتر استفاده شده است، این داده ها براساس میان یابی داده های بارش روزانه ایستگاه های سنجش بارش هواشناسی و شرکت آب منطقه ای به روش کریجینگ استخراج شدند. از آنجایی که برای محاسبه مقادیر شاخص های SPEI علاوه بر مقادیر بارش نیاز به مقادیر تبخیر و تعرق است؛ مقادیر مورد نیاز تبخیر و تعرق نیز با استفاده از داده های دمای میانگین و از روش تورنت ویت محاسبه شده است. داده های دما و تبخیر و تعرق نیز به همان روش کریجینگ میان یابی از داده های روزانه ایستگاه های سینوپتیک و کیماتولوژی هواشناسی، ایستگاه های هواشناسی و تبخیرسنجی شرکت مدیریت منابع آب ایران به دست آمد. داده ها برای یک دوره آماری ۵۰ ساله در قالب ۵ دهه سامان دهی و شاخص



درازدت، برای شناسایی مناطق دارای ریسک خشک‌سالی و مناطق دارای پتانسیل تولید منابع آبی در راستای مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز، اهمیت زیادی دارد.

### خشک‌سالی سالانه براساس شاخص SPEI در حوزه آبخیز کارون بزرگ

بررسی رخدادهای خشک‌سالی و ترسالی سالانه حوزه آبخیز کارون بزرگ نشان داد که در دهه‌های اول سیکل‌های کوچک خشک‌سالی و ترسالی به تناوب رخ داده است، اما در دهه اخیر با توجه به روند افزایش دما در این حوزه بر فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها افزوده شده است. به طوری که شدیدترین خشک‌سالی در سال ۱۳۸۶-۸۷ رخ داده است. در سال ۱۳۹۵-۹۶ نیز در حوزه خشک‌سالی از نوع بسیار شدید و البته با شدت اتفاق افتاده است. نکته قابل توجه تداوم رخداد خشک‌سالی در دهه اخیر است که در یک دوره زمانی ۱۰ ساله فرصت جبران کمبود بارش از کل حوزه را سلب کرده است.

### خشک‌سالی دهه اول، سال آبی ۱۳۴۶-۵۵، حوزه آبخیز کارون

در این دهه حوزه آبخیز کارون براساس طبقات خشک‌سالی و ترسالی شاخص SPEI، ۸ طبقه از ۹ طبقه را دربرمی‌گیرد. در ۴ درصد از مساحت حوزه، ترسالی بسیار شدید و در ۵/۵ درصد آن، به‌ویژه در بالادست حوزه آبخیز، ترسالی شدید رخ داده است. تقریباً ۳۲ درصد حوزه در شرایط ترسالی متوسط و ۱۸ درصد حوزه در ترسالی خفیف قرار داشتند،

به‌طورکلی ۵۹/۴ درصد از مساحت حوزه با ترسالی همراه بوده است. ۲۲ درصد حوزه شرایط نرمال داشته و ۱۸ درصد آن تحت تأثیر انواع خشک‌سالی بوده است.

### خشک‌سالی دهه دوم، سال آبی ۱۳۵۶-۶۵، حوزه آبخیز کارون

در این دهه از مساحت ترسالی حوزه کاسته شده و شرایط نرمال بر آن حاکم است. بیشترین مساحت حوزه (۶۳ درصد) در شرایط نرمال، تنها ۱۸ درصد در شرایط ترسالی خفیف و تقریباً ۱۹ درصد تحت تأثیر خشک‌سالی (بیشتر از نوع خشک‌سالی خفیف) قرار گرفته است.

### خشک‌سالی دهه سوم، سال آبی ۱۳۶۶-۷۵، حوزه آبخیز کارون

در این دهه تقریباً حوزه با پرآبی مواجه بوده است، به طوری که در ۷۲ درصد حوزه انواع ترسالی، در ۶/۸ درصد حوزه ترسالی شدید، در ۲۸/۸ درصد حوزه ترسالی متوسط و در ۳۶/۴ درصد ترسالی خفیف مشاهده شده است، شرایط نرمال در ۲۷ درصد مساحت حوزه حاکم بوده و کمتر از ۱ درصد حوزه دچار خشک‌سالی شده است.

### خشک‌سالی دهه چهارم، سال آبی ۱۳۷۶-۸۵، حوزه آبخیز کارون

برخلاف دهه سوم که شرایط ترسالی غالب بود، در دهه چهارم مشابه دهه دوم شرایط نرمال در حوزه بیشتر دیده شد، به طوری که شرایط نرمال ۴۳/۳ درصد مساحت حوزه را پوشش داد. پس از شرایط نرمال خشک‌سالی خفیف با تقریباً ۴۱ درصد بیشترین سطح حوزه را به

خود اختصاص داده است. تنها ۱۴ درصد حوزه با ترسالی خفیف مواجه بوده است، در مجموع شرایط به سمت خشک‌سالی پیش رفته است.

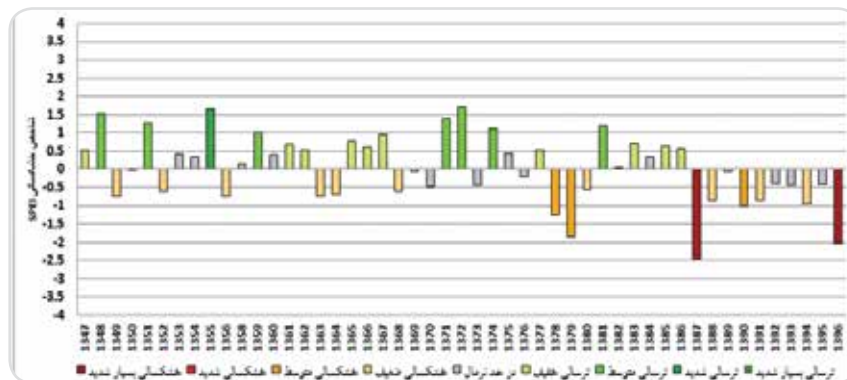
### خشک‌سالی دهه پنجم، سال آبی ۱۳۸۶-۹۵، حوزه آبخیز کارون

دهه پنجم در میان تمام دهه‌های مورد بررسی، به‌عنوان خشک‌ترین دهه شناخته شد، شرایط خشک‌سالی در این دهه غالب بوده است، به طوری که تقریباً ۵۳ درصد حوزه با خشک‌سالی شدید، ۱۳ درصد آن با خشک‌سالی بسیار شدید و ۲۹ درصد آن با خشک‌سالی متوسط و ضعیف همراه بوده است. در مجموع تقریباً ۹۵ درصد از مساحت حوزه با خشک‌سالی مواجه بوده است و تنها در محدوده بسیار کوچکی حدود ۱ درصد شرایط ترسالی و در کمتر از ۵ درصد شرایط نرمال بوده است.

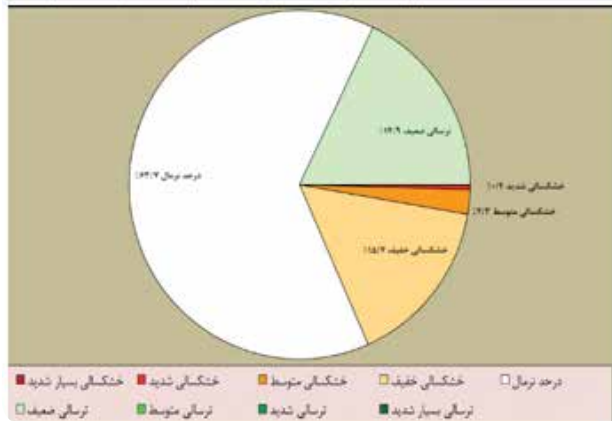
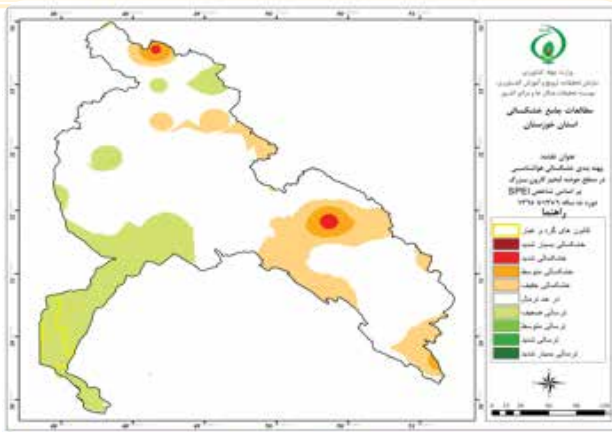
### ● نتیجه‌گیری

در خشک‌سالی‌های پی‌درپی فرصت جبران کمبود آب در سال‌های متوالی از دست می‌رود. تداوم خشک‌سالی هرچند با شدت کم و خفیف، نسبت به خشک‌سالی‌های شدیدی که پس از آن یک دوره ترسالی حتی ضعیف تا متوسط رخ می‌دهد، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به اکوسیستم منطقه تحت‌تأثیر وارد می‌کند. خشک‌سالی و ترسالی در یک منطقه نسبت به شرایط نرمال آن رخ می‌دهد. در گذشته دوره رخداد ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها در حوزه کارون بزرگ کوتاه‌مدت بوده و خشک‌سالی‌ها نیز از شدت کمتری برخوردار بودند؛ محاسبه شدت، فراوانی و تداوم ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها با استفاده از نمایه آشکارکننده شدت خشک‌سالی و ترسالی SPEI، برای حوزه کارون بزرگ، نشان داد که در دهه اخیر بر فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی‌ها افزوده شده و دو رخداد خشک‌سالی بسیار شدید رخ داده که در کل دوره ۵۰ ساله مورد بررسی بی‌سابقه بوده است.

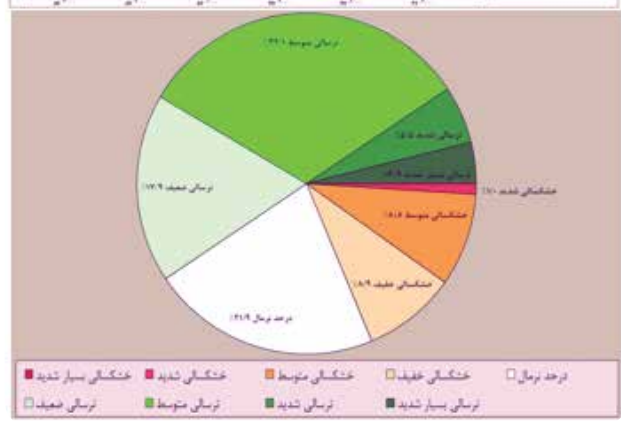
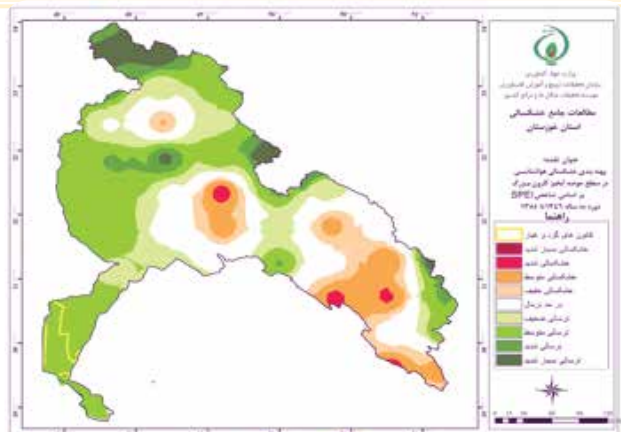
بررسی تغییرات مکانی دهه‌ای نشان داد که در دهه اول شرایط غالب در حوزه ترسالی بوده است، به طوری که ۵۹/۴ درصد از مساحت حوزه در شرایط ترسالی، ۲۲ درصد حوزه در شرایط نرمال و ۱۸ درصد مساحت حوزه



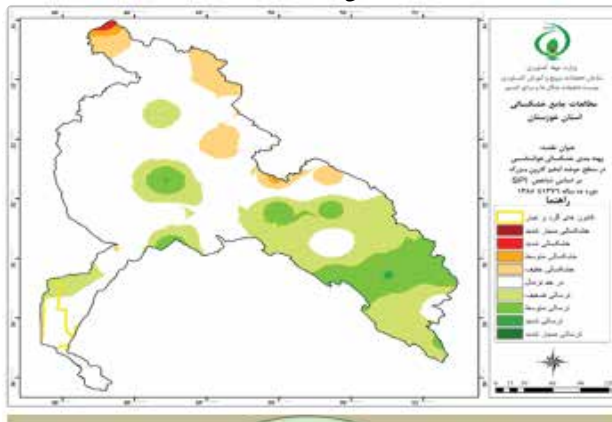
شکل ۲- روند تغییرات خشک‌سالی براساس شاخص SPEI در حوزه کارون بزرگ



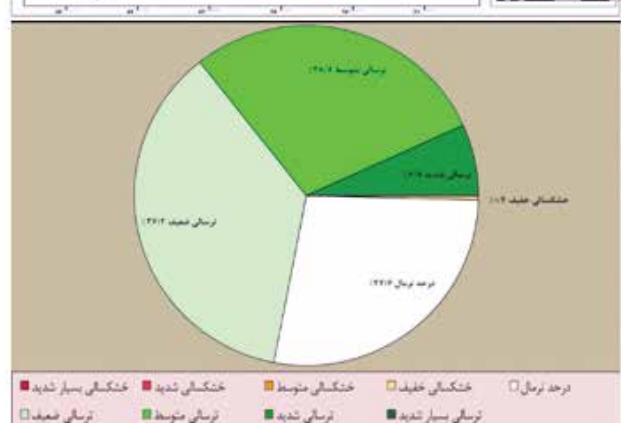
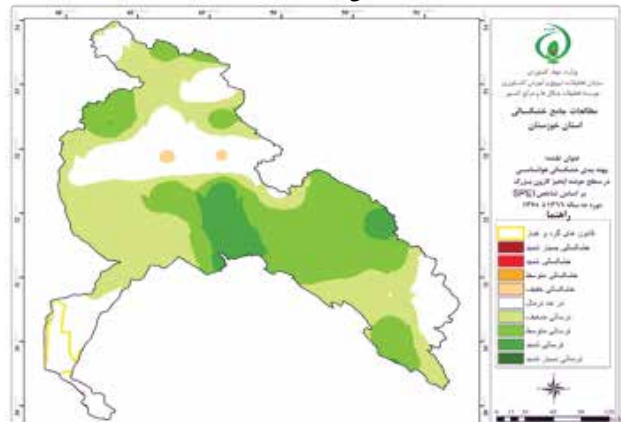
شکل ۴- پهنه‌بندی و مساحت خشک‌سالی در دهه دوم حوزه آبخیز کارون سال آبی ۶۵-۱۳۵۶



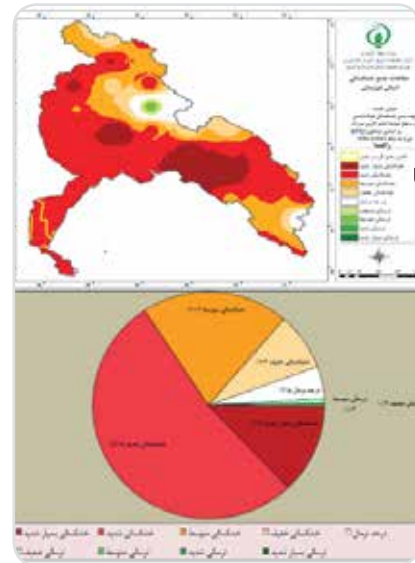
شکل ۳- پهنه‌بندی و مساحت خشک‌سالی در دهه اول حوزه آبخیز کارون سال آبی ۵۵-۱۳۶۶



شکل ۶- پهنه‌بندی و مساحت خشک‌سالی در دهه چهارم حوزه آبخیز کارون سال آبی ۸۵-۱۳۷۶



شکل ۵- پهنه‌بندی و مساحت خشک‌سالی در دهه سوم حوزه آبخیز کارون سال آبی ۷۵-۱۳۶۶



شکل ۷- پهنه‌بندی و مساحت خشک‌سالی در دهه پنجم حوزه آبخیز کارون سال آبی ۹۵-۱۳۸۶

تحت تأثیر انواع خشک‌سالی بوده است. در دهه دوم از مساحت ترسالی حوزه کاسته و شرایط نرمال برحوزه مستولی شده است. بیشترین مساحت حوزه با ۶۳ درصد دارای شرایط نرمال و تنها ۱۸ درصد آن دارای شرایط ترسالی خفیف بوده است و تقریباً ۱۹ درصد حوزه تحت تأثیر خشک‌سالی از نوع خفیف قرار گرفته است. در دهه سوم حوزه با پرآبی مواجه شده و شرایط ترسالی در حوزه غالب است. به طوری که ۷۲ درصد حوزه با انواع ترسالی، ۲۷ درصد با شرایط نرمال و کمتر از ۱ درصد حوزه با شرایط خشک‌سالی روبه‌رو شده است. در دهه چهارم شرایط غالب بر حوزه نرمال است، به طوری که ۴۳/۳ درصد از سطح حوزه در شرایط نرمال، تقریباً ۴۱ درصد آن در خشک‌سالی خفیف و تنها ۱۴ درصد حوزه در شرایط ترسالی خفیف بوده است، در مجموع شرایط به سمت خشک‌سالی پیش رفته است. حوزه در دهه پنجم خشک‌ترین شرایط را تجربه کرده است، به طوری که تقریباً در ۹۵ درصد حوزه خشک‌سالی، در محدوده بسیار کوچکی حدود ۱ درصد، ترسالی و در کمتر از ۵ درصد آن شرایط نرمال مشاهده شده است. خشک‌سالی‌های شدید و مداوم حوزه در دهه اخیر علاوه بر تأثیر مستقیم بر اکوسیستم‌های طبیعی به تشدید فعالیت کانون‌های گردوغبار در پایین‌دست حوزه کمک کرده، مدیریت آب حوزه را تحت تأثیر قرار داده و برنامه‌های

تخصیص آب را با مشکل مواجه کرده است.

### ● سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح «مطالعات جامع مقابله با گردوغبار کانون‌های داخلی استان خوزستان» در مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور است که بدین‌وسیله از همکاری معاونت پژوهشی مؤسسه قدردانی می‌شود.

### ● منابع

ارشدی، م.، باقری، ع.، ۱۳۹۲. تحلیل سیستم منابع آب حوزه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سیستم‌ها. مجله تحقیقات منابع آب، ۹(۳): ۱۳-۱.

اسکندری دامنه، ح.، زهتابیان، غ. ر.، خسروی، ح. و آذره، ع.، ۱۳۹۴. بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. فصلنامه علمی و پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سیهر، ۲۴(۹۶): ۱۱۳-۱۲۰.

زارع‌ایبانه، ح.، قبایی‌سوق، م. و مساعدی، ا.، ۱۳۹۳. پایش خشک‌سالی بر مبنای شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه خاک آب، ۲۹(۲): ۳۷۴-۳۹۲.

کوثری، م. ر.، اختصاصی، م. ر. و ملکی‌نژاد، ح.، ۱۳۹۶. بررسی روند خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۶(۱۴): ۹۱-۱۰۵.

مصطفی‌زاده، ر. و ذبیحی، م.، ۱۳۹۵. تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار (R) بررسی موردی: استان کردستان. فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳): ۶۴۳-۶۳۳.

مرکز ملی خشک‌سالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۷. گزارش وضعیت خشک‌سالی هواشناسی کشور سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵.

نصرتی، ک.، ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) جهت شناسایی خشک‌سالی در اقلیم‌های مختلف ایران. فصلنامه علوم محیطی، ۱۲(۴): ۶۳-۷۴.

نصرتی، ک.، محسنی‌ساروی، م. و شهبازی، ر.، ۱۳۹۳. مقایسه و کاربرد دو شاخص بارش استاندارد شده و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در استان تهران. مجله مدیریت بیابان، ۲۲(۳): ۹۰-۷۷.

نژادمقبلی، ن.، مساعدی، ا.، آذری، م. و اسماعیلی، ک.، ۱۳۹۶. ارزیابی خشک‌سالی براساس شاخص‌های SPI و SPEI و ارتباط آنها با خشک‌سالی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت جیرفت)، چهاردهمین همایش ملی آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳-۴ آبان ۱۳۹۶، صفحه ۱-۱۰.

Hernandez, E. A., and Uddameri, V., 2014. Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas. Environmental Earth Sciences, 71(6): 2491-2501.

Kim, B. S., Sung, J. H., Kang, H. S., and Cho, C. H., 2012. Assessment of drought severity over South Korea using standardized precipitation evapo-transpiration index (SPEI). Journal of Korea Water Resources Association, 45(9): 887-900.

Labudová, L., Labuda, M., and Takáč, J., 2017. Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. Theoretical and applied climatology, 128(1-2): 491-506.

Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Türkott, L., and Soukup, J., 2015. Performance of the standardized precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. Agricultural and Forest Meteorology, 202: 26-38.

Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., and Stahl, K., 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). International Journal of Climatology, 35(13): 4027-4040.

Sattar, M. N., and Kim, T. W., 2019. Probabilistic characteristics of lag time between meteorological and hydrological droughts using a Bayesian model. Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences, 30(1):709-720.

Tan, C., Yang, J., and Li, M., 2015. Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. Atmosphere, 6(10): 1399-1421.

Vicente-Serrano, S. M., and Beguería, S., 2016. Comment on 'Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)' by James H. Stagge et al. International Journal of Climatology, 36(4): 2120-2131.