

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی، خشک‌سالی، شاخص خشکی، شاخص شناسایی خشک‌سالی، نرم‌افزار متلب

مقدمه

خشک‌سالی یا همان دوره کم‌آبی که به‌موجب آن یک منطقه با کمبود یا فقدان منابع و ذخایر آب مواجه می‌شود از معضلات بزرگ مناطق خشک جهان است. دوره کم‌آبی نسبت به مناطق مختلف و ویژگی‌های گوناگون آن مناطق سنجیده می‌شود و به همین علت نمی‌توان مضامین مربوط به آن را برای تمامی زمان‌ها و مکان‌ها تعمیم بخشید. یک ناحیه‌ی خشک به‌صورت قراردادی به‌عنوان ناحیه‌ای تعریف می‌گردد که بارندگی سالانه آن از ۲۵۰ میلی‌متر کم‌تر باشد. دوره‌ی خشکی که می‌تواند از چند ماه تا چندین سال به طول انجامد موجب عدم توازن در میزان آب، نابودی گیاهان، کم شدن عمق آب‌های سطحی، کاهش رطوبت خاک و شدت جریان برای استفاده در نیروگاه‌های برق آبی می‌شود. خشک‌سالی جدی‌ترین معضل فیزیکی برای کشاورزی در همه جای جهان محسوب می‌گردد. کثرت تعاریف مربوط به خشک‌سالی، حاکی از تنوع و گستره‌ی وسیع این مقوله است که این تعاریف بر حسب نیاز در نواحی گوناگون و راهکارهای متعدد به این پدیده در رشته‌های علمی گوناگون، شکل گرفته. دونالد ویلهایت، اقلیم‌شناس و مایکل گلانتز، دانشمند علوم اتمسفر در مقاله‌ای با عنوان «درک پدیده‌ی خشک‌سالی: نقش تعاریف [۱۹]»، تعاریف متعدد خشک‌سالی را بر مبنای چهار ره‌یافت بنیادین برای سنجش پدیده‌ی خشک‌سالی طبقه‌بندی نمودند: آب‌وهواشناسی، هیدرولوژیکی (آب‌شناسی)، زراعتی و اقتصادی-اجتماعی. سه دسته‌ی اول روش‌های اندازه‌گیری و سنجش دوره‌ی کم‌آبی را به عنوان یک پدیده‌ی فیزیکی مورد بررسی قرار می‌دهد. اما دسته چهارم دوره‌ی کم‌آبی را از دیدگاه عرضه و تقاضا بررسی می‌نماید و آثار کمبود آب را در نظام‌های اقتصادی-اجتماعی، ردگیری می‌کند. از اواسط قرن بیستم غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی‌اکسیدکربن که در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی، تغییرات در کاربری اراضی و فعالیت‌های کشاورزی بوجود می‌آید افزایش چشم‌گیری داشته‌است که این امر منجر به تغییرات اقلیمی بالاخص در مناطق مدیترانه و خاورمیانه شده و باعث افزایش شدت و مدت خشک‌سالی در این مناطق گشته‌است. خشک‌سالی در مناطق خشک جهان امری طبیعی است که ممکن است در هر منطقه و در هر بازه زمانی رخ دهد از این رو

پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشک‌سالی در استان فارس بر پایه میانگین متحرک پارامترهای اقلیمی توسط دو شاخص هیدرولوژیکی RDI و AI

محمدحسین جهانگیر^۱ و راحیل ابراهیم پور^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

چکیده

خشک‌سالی از معضلات بزرگی است که گریبان‌گیر کشورهای واقع در عرض‌های جنب حاره‌ای هم‌چون ایران است. استان فارس که از جمله استان‌های جنوبی و در حوزه گردشگری و کشاورزی حائز اهمیت بوده، مدت‌هاست که با مشکل خشک‌سالی و کم‌آبی مواجه است لذا بررسی روند خشک‌سالی در این استان جهت مدیریت بهتر معضل خشک‌سالی و بهبود وضعیت کشاورزی و گردشگری کشاورزی ضرورت دارد. هدف پژوهش حاضر بررسی روند خشک‌سالی این استان با استفاده از شاخص خشکی^۳ و شاخص شناسایی خشک‌سالی^۴ است. پارامترهای مورد استفاده در این شاخص‌ها، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل بوده که در همین راستا از داده‌های بارندگی و دمای بیشینه ۱۰ ایستگاه در سال‌های آماری ۱۳۷۸-۱۳۹۹ استفاده و با به‌کارگیری روش لاری‌جانسون تبخیر و تعرق هر ایستگاه محاسبه گردید. شاخص‌ها و نمودارهای لازم توسط نرم‌افزار متلب (a2020) ترسیم و بر اساس نتایج بدست‌آمده میانگین بیش‌ترین و کم‌ترین شدت خشک‌سالی به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۳ رخ داد، هم‌چنین سال ۱۳۹۹ وضعیت خشک و نرمال را نمایش داد. در انتها با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده از نرم‌افزار ArcMap(10.8)، افزایش شدت خشک‌سالی در نواحی جنوبی و مرکزی استان مشاهده شد.

۱- نویسنده مسئول و دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: mh.jahangir@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

3. Aridity Index (AI)

4. Reconnaissance Drought Index (RDI)

پایش آن یک ابزار مدیریتی مهم در بخش آب و کشاورزی است. در راستای کمی سازی خشک سالی و بررسی آن از شاخص های متفاوتی استفاده می گردد، این شاخص ها از عناصر مهم و کلیدی در برآورد خشک سالی هستند. شاخص های خشک سالی از داده های باران، برف، رواناب و دیگر پارامترهای ذخایر آبی برای تبدیل شدن به یک نمونه بزرگ قابل فهم ایجاد گردیدند. به علاوه شاخص های خشک سالی برای استفاده بیشتر از داده های خام جهت قابل فهم بودن آن ها و ایجاد قدرت تصمیم گیری برای طراحان و برنامه ریزان معمولاً به صورت یک عدد نشان داده می شود. از جمله شاخص های معروف و پرکاربرد می توان به شاخص دهک ها^۱، شاخص شدت خشک سالی پالمر^۲، شاخص درصد از نرمال^۳، شاخص ناهنجاری بارش^۴، شاخص رطوبت زراعی^۵، شاخص خشکی^۶، شاخص خشک سالی بالم و مولی^۷، شاخص ذخیره آب سطحی^۸، شاخص بارندگی^۹، شاخص شناسایی خشک سالی^{۱۰}، شاخص بارش استاندارد^{۱۱}، شاخص کمبود رطوبت خاک^{۱۲} و شاخص خشک سالی ویژه زراعی^{۱۳} اشاره کرد. در این پژوهش از دو شاخص خشکی و شاخص شناسایی خشک سالی به دلیل سهولت محاسبات، در دسترس بودن اطلاعات بلندمدت و در عین حال بدست آمدن نتایج قابل قبول استفاده شد. در هر دو شاخص از دو پارامتر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل که با استفاده از داده های هواشناسی و بارندگی بدست می آیند استفاده می شود. دو پارامتر مذکور (بارش، تبخیر و تعرق) از عوامل مهم هواشناسی هستند که کمیت و پراکنش زمانی و مکانی آنها در عرض هایی مختلف جغرافیایی تغییر می کند. بررسی تغییرات عوامل فوق الذکر به همراه دیگر عوامل اقلیمی، زمینه ی مطالعات اقلیمی بسیاری در دهه های اخیر بوده است. امانی و همکاران [۱] در پژوهش خود با عنوان بررسی خشکی تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در گندم دیم استان فارس با استفاده از شاخص خشکی، به این نتیجه دست یافتند که در اثر افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی در آینده، شاخص خشکی کاهش می یابد و در مناطق مختلف استان روند متفاوتی نشان خواهد داد. هم چنین با توجه به پژوهش هایی که نوری و همکاران [۱۵] تحت عنوان بررسی روند تغییرات شاخص خشکی طی دوره ۱۹۹۶-۲۱۰۰ در شمال غرب ایران انجام دادند، به نظر می رسد که کاهش بارش و افزایش

تبخیر جو در مناطق شمال غربی و غرب کشور باعث خشک تر شدن اقلیم مناطق غرب و شمال غربی شده است و در آینده باعث تغییر کلاس اقلیمی در برخی شهرها مانند تبریز، از نیمه خشک به خشک خواهد شد. زارع ابیانه و همکاران [۲۱] به بررسی روند تغییرات شاخص خشکی در نیمه جنوبی ایران پرداختند. نتایج نشان داد روند بارش در طی دوره مورد مطالعه صعودی و روند تبخیر و تعرق نزولی بوده البته این نکته نیز حائز اهمیت است که طول دوره ی آماری مورد مطالعه بسیار تأثیرگذار است. فرهنگ فر و همکاران [۷] پژوهشی در راستای معرفی شاخصی برای ارزیابی خشکی با استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه های اصلی انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که این شاخص شهرستان های مورد مطالعه را دقیق تر تقسیم بندی نموده و تفاوت های جزئی اقلیمی میان آنها را مورد ارزیابی قرار داده است. محمدی و همکاران [۱۱] برآورد میزان تبخیر و تعرق تابستانه گیاه نیشکر در استان خوزستان با استفاده از داده های اقلیمی را انجام دادند که بر اساس آن به علت همگنی بالای عناصر جوی در فصل گرم مانند دما، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی تنها سرعت متفاوت باد در این استان باعث افزایش قابل توجه تبخیر و تعرق می شود. اسدی و کرمی [۲] مطالعه ای جهت برآورد میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص های تجربی انجام دادند. در این مطالعه مشخص شد در فصول مختلف و با توجه به عرض جغرافیایی، ارتفاع و عوامل محلی دیگر میزان تبخیر و تعرق تغییر می کند و کم یا زیاد می شود. شکوهی [۱۷] در پژوهش مقایسه شاخص های شناسایی خشک سالی و بارش استاندارد برای تحلیل خشک سالی در مقیاس ایستگاهی با تکیه بر خشک سالی کشاورزی در قزوین و تاکستان عنوان کرد که هیچ یک از این دو شاخص برتری خاصی نسبت به یکدیگر ندارند و نمی توان به علت بالاتر نشان دادن تعداد خشک سالی های شدید در شاخص شناسایی خشک سالی این شاخص را جایگزین شاخص بارش استاندارد نمود. ترابی طباطبایی و شمس نیا [۱۸] به مقایسه ی روش های مختلف تخمین تبخیر-تعرق بالقوه بر نتایج شاخص شناسایی خشک سالی در استان تهران پرداختند و عنوان کردند شاخص شناسایی خشک سالی، شاخصی قوی و مناسب جهت ارزیابی شدت خشک سالی می باشد و حتی در صورت در دسترس بودن حداقل اطلاعات مانند بارش و دما می توان خشک سالی را با استفاده از شاخص شناسایی خشک سالی محاسبه نمود و نتایج قابل اعتمادی به دست آورد. مساعدی و همکاران [۱۳] به تعیین خصوصیات خشک سالی بر اساس شاخص شناسایی خشک سالی و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره های مختلف زمانی پرداختند و بیان کردند با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی ایران، تابستان های خشک و بدون بارش شرایطی طبیعی و نرمال در اکثر مناطق است و به عبارتی عدم بارندگی در طول ماه های تیر تا شهریور دلیل بر بروز خشک سالی در این ماه ها نیست بلکه خشکی در این ماه ها وضعیتی نرمال در اکثر شهرهای ایران به شمار می رود. مطالعاتی که زندگی لک و همکاران [۲۰] در ارزیابی دوره ی بازگشت

- 1 Deciles Index (DI)
2. Palmer Drought Severity Index (PDSI)
3. Percent of Normal (PN)
4. Rainfall Anomaly Index (RAI)
5. Crop Moisture Index (CMI)
6. Aridity Index (AI)
7. Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI)
8. Surface Water Supply Index (SWSI)
- 9 Rainfall Index (RI)
10. Reclamation Drought Index (RDI)
11. Standardized Precipitation Index (SPI)
12. Soil Moisture Deficit Index (SMDI)
13. Crop Specific Drought Index (CSDI)

خشک‌سالی کشاورزی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص شناسایی خشک‌سالی نتیجه گرفتند که در صورت عدم بارندگی و افزایش دما که افزایش تبخیر و تعرق را به دنبال دارد شدت خشک‌سالی در سال‌های زراعی آینده افزایش می‌یابد و این تداوم خشک‌سالی منابع و سفره‌های آب زیرزمینی را نیز در معرض خطر قرار می‌دهد. دولت‌آبادی و خاشعی‌سیوکی [۵] در پژوهش برآورد عملکرد زعفران با استفاده از شاخص شناسایی خشک‌سالی در استان خراسان جنوبی دریافتند که تبخیر و تعرق بر خشک‌سالی تاثیر کلیدی دارد و شاخص شناسایی خشک‌سالی نسبت به شاخص‌هایی که تنها با یک پارامتر مانند بارندگی محاسبه می‌شوند برتری دارد. بختیاری [۳] در مطالعه‌ای با عنوان کاربرد شاخص‌های آسایش اقلیمی و خشک‌سالی کشاورزی جهت تعیین مقاصد گردشگری کشاورزی در استان کرمان از شاخص آسایش اقلیمی و شناسایی خشک‌سالی استفاده نمود زیرا گردشگری و به‌طور ویژه گردشگری کشاورزی تحت تاثیر شرایط اقلیمی است و وقوع خشک‌سالی بصورت مستقیم و غیرمستقیم بر آن اثر دارد. جمالی و خورانی [۹] به بررسی خشک‌سالی و ترسالی استان هرمزگان با استفاده از نمایه شناسایی خشک‌سالی پرداختند و فراوانی وقوع ترسالی و خشک‌سالی را مطالعه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در حالت نرمال است و پدیده‌ی خشک‌سالی همراه با شدت و ضعف‌هایی در ایستگاه‌های مختلف دیده می‌شود. اقتدارنژاد و همکاران [۶] در مطالعه‌ی خود تحت ارزیابی تطبیقی شاخص‌های بارش استاندارد، شناسایی خشک‌سالی و شاخص خشک‌سالی جریان^۱ در تحلیل مشخصه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در دشت بم، عنوان کردند از آنرو که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مقدار تبخیر چند برابر بارش می‌باشد و دما نقش به سزایی در تغییرات تبخیر و تعرق دارد، به منظور پایش خشک‌سالی به جای شاخص پرکاربرد بارش استاندارد از شاخص شناسایی خشک‌سالی استفاده شود تا بتوان اثر دما را نیز به‌عنوان عامل مستقیم تاثیرگذار بر خشک‌سالی اعمال نمود. بر اساس تحقیقات بذرافشان و همکاران [۴] در مطالعه‌ی خود با عنوان ارزیابی تطبیقی شاخص‌های بارش استاندارد، شناسایی خشک‌سالی و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد^۲ در تحلیل روند شدت، مدت، زمان و فراوانی خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، در اقلیم سرد که تبخیر و تعرق نقش زیادی در خشک‌سالی ندارند شاخص‌های بارش استاندارد و شناسایی خشک‌سالی نتایج تقریباً مشابهی را نشان می‌دهند. شکوهی و مروتی [۱۷] به ارزیابی عملکرد شاخص‌های شناسایی خشک‌سالی و بارش استاندارد از وضعیت خشک‌سالی حوضه‌ی دریاچه ارومیه پرداختند و عنوان نمودند در صورتیکه شدت یا بزرگی خشک‌سالی‌های شدید مطرح نباشد تفاوتی میان دو شاخص بارش استاندارد و شناسایی خشک‌سالی وجود ندارد اما در

1. Streamflow Drought Index (SDI)

2. Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)

خشک‌سالی‌های شدید شاخص شناسایی خشک‌سالی حساس‌تر عمل می‌کند. رضایی و همکاران [۱۶] در ارزیابی انتخاب تابع توزیع احتمالاتی مناسب در استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی بارش استاندارد و شناسایی خشک‌سالی دریافتند که توابع توزیع لوگ‌نرمال و گاما برای شاخص شناسایی خشک‌سالی و توابع نرمال و گاما برای شاخص بارش استاندارد برای برازش سری داده‌های مورد بررسی مناسب‌ترند. نوحه‌گر و همکاران [۱۴] در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی خشک‌سالی و تاثیر آن بر منابع آب سطحی و زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که با توجه به فرضیه‌ی سنج کارآمد شاخص بارش استاندارد مقارن با سال وقوع کمینه‌ی بارش در طول دوره‌ی مورد مطالعه نسبت به شاخص شناسایی خشک‌سالی عملکرد تقریباً بهتری برای نشان دادن خشک‌سالی‌های شدید را داراست زیرا در این حوزه تبخیر و تعرق بعثت رطوبت بالای هوا تاثیر کمی در خشکی دارد. به‌علاوه مقیمی و همکاران [۱۰] به شبیه‌سازی شاخص‌های شناسایی خشک‌سالی و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد در ایستگاه‌های فاقد آمار پرداختند و عنوان کردند که نتایج اعتبارسنجی مدل‌های برازش داده شده برای مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان‌گر توان بالای این مدل‌ها جهت شبیه‌سازی شاخص‌های شناسایی خشک‌سالی و بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده در ایستگاه‌های فاقد آمار کافی می‌باشد. با وجود این که خشک‌سالی ممکن است در تمامی مناطق دارای آب و هوای گوناگون اتفاق بیفتد اما ویژگی‌های آن در هر منطقه متفاوت است بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده وضعیت روند خشک‌سالی در دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۹ در استان فارس مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس از استان‌های جنوبی ایران و با مساحتی حدود ۱۴۴۰۰۰ کیلومتر مربع، دارای ۷/۴ درصد از مساحت ایران و چهارمین استان بزرگ کشور محسوب می‌شود. میانگین بارندگی سالانه‌ی فارس تقریباً ۳۲۰ میلی‌متر است. عمده‌ی آب مورد نیاز این استان از آب‌های زیرزمینی که بصورت منابع کارستی هستند تامین می‌شود، به‌علاوه آب‌های سطحی ۱۸ درصد از آب مورد استفاده را تأمین می‌کند. برداشت سالانه از منابع آب زیرزمینی و آب‌های سطحی به ترتیب ۱۱/۷ و ۲/۲ میلیارد متر مکعب برآورد شده‌است [۸]. فارس از استان‌های مهم و پیش‌تاز در بخش کشاورزی است، این استان بیش‌ترین محصول گندم کشور را طی ۲۶ سال گذشته تولید می‌کند. به‌علاوه دارای محصولات زراعی و باغی گوناگونی از جمله انجیر، گردو، انواع مرکبات بویژه لیمو، خرما، سیب، انار، چغندر، پنبه، انواع حبوبات، غلات و زعفران نیز می‌باشد. به‌دلیل تنوع آب و هوایی که در نقاط مختلف این استان وجود دارد بخش کشاورزی و باغداری در تمامی فصول فعال بوده و محصولات گوناگونی به بازارهای داخلی و خارجی عرضه می‌نمایند. اما این استان نیز مانند سایر مناطق مختلف کشور در چند سال اخیر دچار کم‌آبی

$$PET=0.004755D_m+24.4 \quad (2)$$

در رابطه فوق D_m دمای حداکثر است که در این معادله بر حسب فارنهایت نوشته می شود و بنابراین تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب سانتی متر بدست می آید.

جدول ۱- طبقه بندی شدت خشکی بر اساس شاخص AI

Table 1. Drought severity classification based on AI index

شدت خشکی (Aridity Intensity)	دامنه شاخص خشکی (Aridity index range)
خیلی خشک (Hyper Arid)	<0.05
خشک (Arid)	0.2_0.05
نیمه خشک (Semi-Arid)	0.5_0.2
نیمه مرطوب خشک (Dry sub humid)	0.65_0.5
نیمه مرطوب تر (Wet sub humid)	0.75_0.65
مرطوب (Humid)	>0.75

شاخص شناسایی خشک سالی

شاخص شناسایی خشک سالی شاخصی نسبتاً جدید است که نخستین بار در سال ۲۰۰۴ میلادی توسط تساکریس و ونجلیس ارائه شد، البته اطلاعات جامع تر درباره این شاخص در سال های ۲۰۰۵ توسط تساکریس و ونجلیس و ۲۰۰۷ توسط تساکریس و همکاران ارائه گردید. این شاخص نیز مانند شاخص خشکی از دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می کند و به دلیل استفاده از داده های کم، حساسیت و انعطاف پذیری بالا استفاده از این شاخص رو به فزونی است. در جدول ۲ بازه های این شاخص برای کلاس بندی اقلیم مشخص شده است. برای محاسبه شاخص شناسایی خشک سالی از فرمول زیر استفاده می گردد [۱۳]:

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}} \quad \text{and } j=1(1)12, i=1(1)N \quad (3)$$

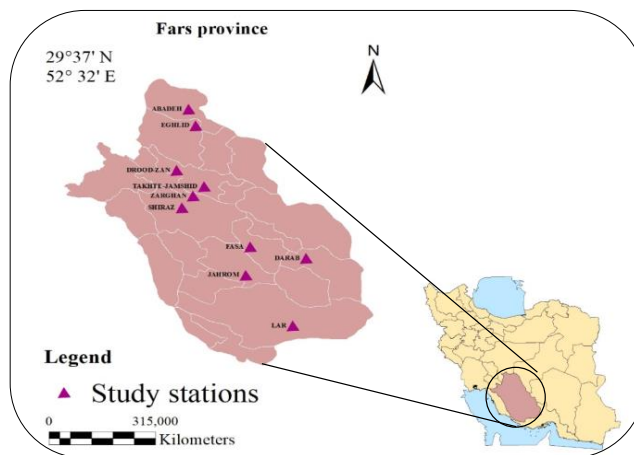
$$RDI_n = \frac{a_0}{\bar{a}} - 1 \quad (4)$$

در فرمول ذکر شده P بارندگی بر حسب میلی متر، PET تبخیر و تعرق بالقوه بر حسب میلی متر، $\bar{a}$ میانگین حسابی a_0 و RDI_n بیانگر شاخص بهنجار شناسایی خشک سالی می باشد. در ادامه می توان مقادیر RDI استاندارد شده را با این فرض که a_0 از توزیع لوگ نرمال پیروی می کند به صورت زیر بدست آورد:

$$RDI_{st} = \frac{y - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y} \quad (5)$$

که در این صورت y ، $\bar{y}$ و $\hat{\sigma}_y$ به ترتیب نمایانگر $\ln(a_0)$ ، میانگین حسابی y و انحراف معیار آن می باشند. قابل ذکر است چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند

و خشک سالی گردیده و به همین علت باعث بروز نگرانی هایی شده است. در تحقیق حاضر سعی می شود با استفاده از شاخص های خشکی و شناسایی خشک سالی روند خشک سالی در این استان مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان فارس

Fig 1. Geographical location of Fars province

شاخص خشکی

شاخص خشکی در سال ۱۹۹۲ توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل ارائه گردید. این شاخص از دو پارامتر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان ورودی استفاده می نماید بنابراین نسبت به شاخص هایی که خشک سالی را فقط بر مبنای بارندگی می سنجند (مانند شاخص بارش استاندارد) دارای حساسیت بیشتری است [۱]. در طبقه بندی این شاخص که در جدول ۱ بیان شده، اقلیم به شش کلاس تقسیم می شود. فرمول محاسبه ی شاخص خشکی AI به صورت زیر است [۱]:

$$AI = \frac{P}{PET} \quad (1)$$

که در فرمول فوق P بارندگی بر حسب میلی متر و PET تبخیر و تعرق پتانسیل بر حسب میلی متر می باشد. روش های گوناگونی برای محاسبه ی مقدار PET وجود دارد مانند روش پنمن مانیت، تورنت وایت، بلینی کریدل و... اما برخی روش ها به دلیل دارا بودن داده های زیاد، محدودیت برای برخی اقلیم و دماها، غیرقابل دسترس بودن داده ها و پیچیدگی، کم تر مورد استفاده قرار می گیرند. ماوروماتیس در سال ۲۰۰۷ ثابت کرد که وقتی بخواهیم یک شاخص خشک سالی را بدست آوریم، بکاربردن روش های ساده یا پیچیده برای محاسبه PET نتایجی مشابه را بوجود می آورد و در نتایج پایانی تغییرات محسوسی ندارند. بنابراین در تحقیق حاضر از رابطه ی لاری جانسون که نیاز به داده ی کمتری دارد و راحت تر برای تمامی ایستگاه ها با اقلیم و دمای متفاوت محاسبه می گردد استفاده شده است، که فرمول آن به شرح ذیل می باشد [۱۲]:

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکی بر اساس شاخص RDI

Table 2. Drought severity classification based on RDI index

دامنه شاخص خشکی (Aridity index range)	شدت خشکی (Aridity Intensity)
$2 \leq$	ترسالی بسیار شدید (Extremely Wet)
1.5_1.99	ترسالی شدید (Severely Wet)
1_1.49	ترسالی متوسط (Moderately Wet)
-0.99_0.99	نرمال (Normal)
-1.49_-1	خشک سالی متوسط (Moderately Drought)
-1.99_-1.5	خشک سالی شدید (Severely Drought)
≤ -2	خشک سالی بسیار شدید (Extremely Droughty)

جدول ۳- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه ی استان فارس

Table 3. Geographical characteristics of the studied stations in Fars province

نام ایستگاه (station name)	طول جغرافیایی (longitude)	عرض جغرافیایی (latitude)
آباد	52.67	31.18
داراب	52.43	29.46
سد درود زن	54.41	30.20
اقلید	52.68	30.90
فسا	53.29	28.55
جهرم	53.33	28.30
لار	54.28	27.68
شیراز	52.32	29.37
تخت جمشید	52.53	29.56
زرقان	52.43	29.46

مربوطه برای تحلیل و بررسی بهتر و آسان‌تر ترسیم شد.

نتایج

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد کدهای مربوط به شاخص‌های خشکی و شناسایی خشک‌سالی در نرم‌افزار متلب (a2020) نوشته و پس از محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل، برای هر ایستگاه شاخص‌های خشکی و شناسایی خشک‌سالی بصورت سالانه، میانگین متحرک سه ماهه، شش ماهه، نه ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه استخراج گردید. بر اساس جداول طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌ها، هر چه نمودار بر روی محور عمودی عدد بیش‌تر یا به عبارت دیگر به سمت بالاتر حرکت کند، از شدت خشک‌سالی کاسته و اقلیم منطقه به سمت ناحیه‌ی مرطوب‌تر تمایل بیش‌تری پیدا می‌کند. لذا با توجه به نمودارهای حاصل خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال‌ها مربوط به هر ایستگاه بدست آمد که اطلاعات آن در جدول ۴ ذکر شده است. همان‌گونه که در جدول ۴ قابل رؤیت است مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال‌ها بر اساس هر دو شاخص به جز در ایستگاه آباد، با هم مطابقت دارند اما بطور کلی شاخص خشکی، خشک‌سالی را با شدت بیش‌تری نسبت به شناسایی خشک‌سالی نمایش داد به

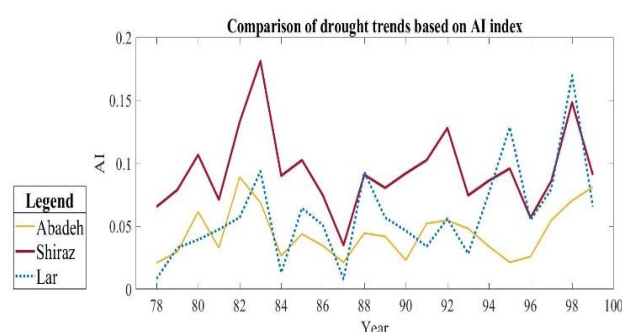
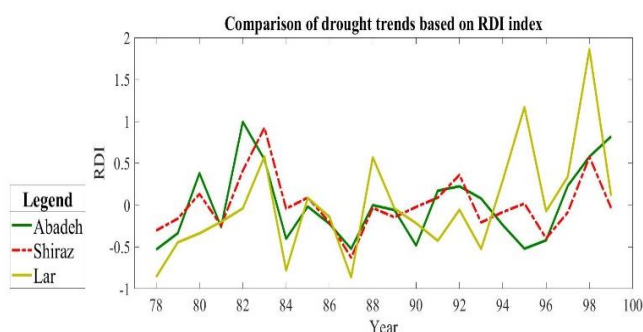
نیازی نیست در فرمول (۳) آنها را بصورت ماهانه با هم جمع کرد. برای بررسی روند خشک‌سالی‌های اخیر در استان فارس از داده‌های ۱۰ ایستگاه مربوط به سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۹ استفاده و اطلاعات آن‌ها در جدول ۳ بیان شد. در ادامه شاخص‌های خشکی و شناسایی خشک‌سالی برای هر ایستگاه محاسبه گردید. با توجه به توضیحات مذکور، داده‌های لازم برای محاسبه شاخص خشکی و شاخص شناسایی خشک‌سالی از جمله بارندگی و دمای حداکثر برای ایستگاه‌های مورد نظر جمع‌آوری گردید. هم‌چنین با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای آماری مانند متلب (a2020) محاسبات با دقت و سرعت بیش‌تری انجام شد. بنابراین فرمول‌های لازم در این نرم‌افزار کدنویسی شده و با استفاده از رابطه‌ی لاری جانسون تبخیر و تعرق بالقوه برای هر ایستگاه محاسبه گردید، با بکارگیری داده‌های سالانه، وضعیت خشک‌سالی با توجه به شاخص‌های مذکور برای هر ایستگاه بصورت سالانه مورد بررسی قرار گردید، سپس با استفاده از داده‌های ماهانه‌ی سال‌های آماری موجود (۱۳۷۸-۱۳۹۹) روند خشک‌سالی به صورت میانگین متحرک سه ماهه، شش ماهه، نه ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه برای هر ایستگاه محاسبه گردید و نمودارهای

جدول ۴- نتایج مربوط به خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه
stations Table 4. Results for the driest and wettest years of the

RDI				AI				نام ایستگاه Station name
مقدار the amount of	مرطوب‌ترین سال Wettest year	مقدار the amount of	خشک‌ترین سال driest year	مقدار the amount of	مرطوب‌ترین سال Wettest year	مقدار the amount of	خشک‌ترین سال driest year	
0.994	1382	-0.520	1395	0.088	1382	0.020	1378	آباده
1.621	1395	-0.759	1387	0.210	1395	0.019	1387	داراب
0.527	1380	-0.572	1396	0.215	1380	0.060	1396	سد درودزن
0.959	1382	-0.703	1396	0.207	1382	0.031	1396	اقلید
1.278	1383	-0.766	1387	0.188	1383	0.019	1387	فسا
1.287	1395	-0.772	1387	0.201	1395	0.020	1387	جهرم
1.860	1398	-0.862	1387	0.169	1398	0.008	1387	لار
0.923	1383	-0.627	1387	0.181	1383	0.035	1387	شیراز
0.898	1383	-0.573	1387	0.180	1383	0.040	1387	تخت جمشید
0.996	1383	-0.519	1387	0.181	1383	0.043	1387	زرقان

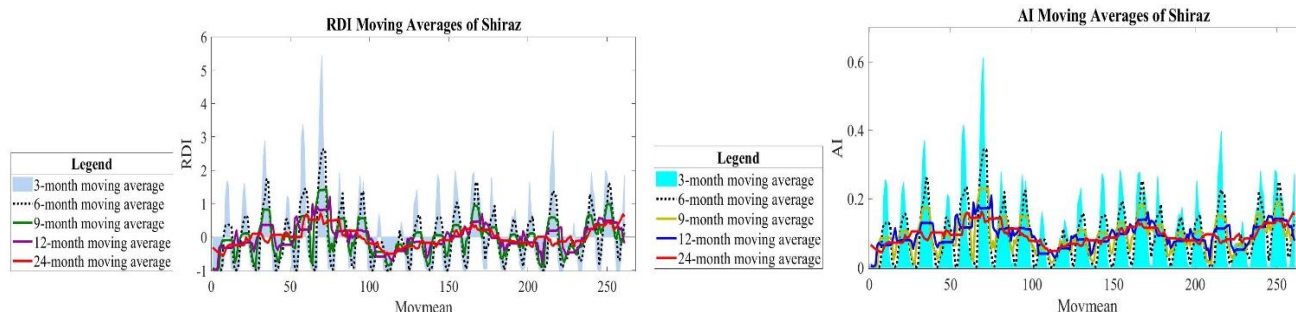
نمودارها، مشاهده می‌شود که روند خشک‌سالی در سه ایستگاه تقریباً مشابه است ولی شدت خشکی در ایستگاه شیراز نسبت به لار و آباده کم‌تر، و ایستگاه لار خشک‌سالی‌های شدیدتری را تجربه کرده است. نمودار مربوط به میانگین‌های متحرک ایستگاه شیراز بر اساس هر دو شاخص خشکی و شناسایی خشک‌سالی در شکل ۳ نشان داده شد. این نمودار نشان داد خشک‌سالی‌ها در میانگین متحرک ۳ ماهه بیش‌ترین شدت و در میانگین متحرک ۲۴ ماهه شدت کم‌تری را تجربه می‌کنند، این امر بیانگر این موضوع است که تغییرات شدت

گونه‌ای که در سال ۱۳۹۹ غالب ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص شناسایی خشک‌سالی وضعیت نرمال، اما بر اساس شاخص خشکی وضعیت خشک را نشان دادند. میانگین بیش‌ترین شدت خشک‌سالی در دوره آماری مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ و میانگین کم‌ترین شدت خشک‌سالی در سال ۱۳۸۳ به‌وقوع پیوست. برای مقایسه‌ی روند خشک‌سالی از سه ایستگاه آباده در شمال، شیراز در مرکز و لار در جنوب استان استفاده و نمودارهای مربوطه ترسیم و در شکل ۲ ارائه گردید. با توجه به تشابه سیر نزولی و صعودی



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ی روند خشک‌سالی

Fig 2. Drought trend comparison chart



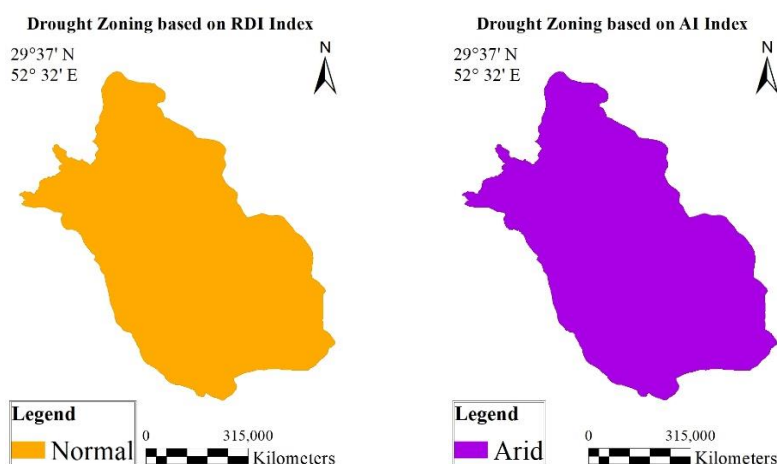
شکل ۳- نمودار مقایسه‌ی میانگین‌های متحرک
Fig 3. Moving averages comparison chart

اما در شاخص شناسایی خشک‌سالی اثر عامل تبخیر و تعرق کم‌تر بوده و شدت خشکی ضعیف‌تر برآورد می‌شود. در شکل ۵ پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی در سال ۱۳۹۹ بر اساس دو شاخص نشان داده شد، بر اساس شاخص خشکی شدت خشکی در مناطق جنوبی استان بیش‌تر و در مناطق شمالی از شدت خشکی به مراتب کاسته می‌شود. بر اساس شاخص شناسایی خشک‌سالی بیش‌ترین شدت خشک‌سالی مربوط به مناطق مرکزی و کم‌ترین شدت خشک‌سالی در شمال استان به چشم می‌خورد. با عنایت به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که هرچه رطوبت منطقه بیش‌تر و تبخیر و تعرق کم‌تر باشد کارایی شاخص شناسایی خشک‌سالی نیز افزایش می‌یابد و بالعکس هر چه منطقه‌ی مورد مطالعه خشک‌تر و تبخیر و تعرق بیش‌تر باشد شاخص خشکی جهت برآورد خشک‌سالی مناسب‌تر است. با تمام تفاسیر می‌توان عنوان کرد از مزایای این دو شاخص نیازمندی به اطلاعات محدود و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز است که در عین سادگی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند و لذا این امر با مطالعات ترابی طباطبایی و شمس‌نیا [۱۸] مطابقت دارد.

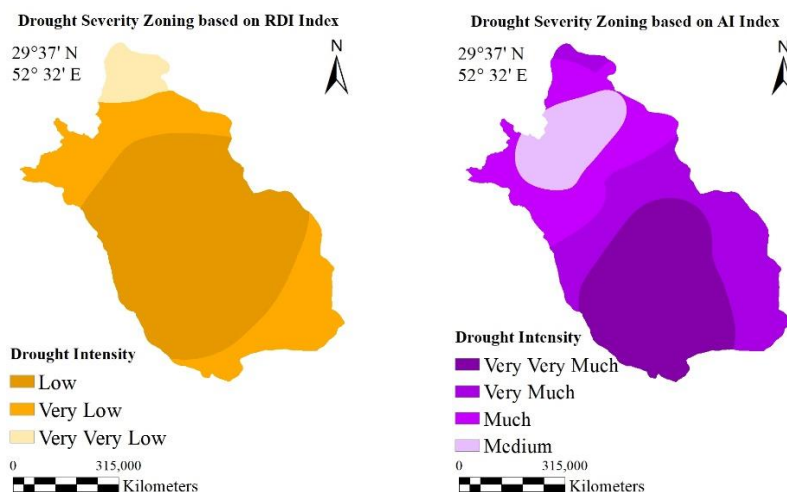
خشک‌سالی در فواصل زمانی کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد.

بحث و نتیجه‌گیری

در انتها نقشه‌ی پهنه‌بندی خشک‌سالی استان فارس مربوط به سال ۱۳۹۹ بر اساس هر دو شاخص، توسط نرم‌افزار ArcMap(10.8) ترسیم و در شکل ۴ نشان داده شد. اعداد و ارقام سال ۱۳۹۹ نشان داد که تمامی ایستگاه‌ها در یک بازه‌ی خشکی نسبت به هر شاخص قرار می‌گیرد، به طوری که بر اساس شاخص خشکی تمامی ایستگاه‌ها در کلاس اقلیم خشک و بر اساس شاخص شناسایی خشک‌سالی تمامی ایستگاه‌ها در وضعیت نرمال قرار گرفتند، بنا بر نتایج شاخص شناسایی خشک‌سالی عدم بارندگی در فصول گرم در مناطقی خشک جهان چون ایران، امری طبیعی و نرمال تلقی می‌شود و با نتایج حاصل از پژوهش مساعدی و همکاران [۱۳] مطابقت دارد. این موضوع نشان‌دهنده‌ی صحت نتیجه‌ی قبل مبنی بر نمایش خشکی با شدت بیش‌تر توسط شاخص خشکی است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص خشکی پارامتر تبخیر و تعرق را به میزان بیش‌تری دخالت داده و به همین علت خشک‌سالی شدیدتری را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه‌ی پهنه‌بندی خشک‌سالی
Fig 4. Drought zoning map



شکل ۵- نقشه‌ی پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی

Fig 5. Drought severity zoning map

Agricultural Ecology, 5(4), 452–461. (In Persian)

8. Hassaniha, H., & Khanderoyan, M. 2010. Drought and the situation of water resources in Fars province. First National Desert Conference, Science, Technology and Sustainable Development, 7, 1–6. (In Persian)

9. Jamali, Z., & Khourani, A. 2014. Study of Drought and Wetlands in Hormozgan Province Using Drought Identification Index (RDI). Extension and Development of Watershed Managment, 2(4).

10. Moghimi, M., Khajeie, F., & Mahmoudi, M. 2019. Simulation of RDI and SPEI indices in stations without sufficient statistics. Iranian Water Resources Research, 15(2), 342–346. (In Persian)

11. Mohammadi, H., Azizi, G., Khoshakhlagh, F., & Khazaei, M. 2016. Estimation of summer evapotranspiration of sugarcane in Khuzestan province using climatic data. (In Persian)

12. Mohammadi, H., Hanafi, A., & Soltani, M. 2010. Estimation of potential evapotranspiration in Isfahan stations. Geographical Landscape, 5(12). (In Persian)

13. Mosaedi, A., MohammadiMoghaddam, S., & Kavakebi, G. 2017. Determining drought characteristics based on Drought Identification Index (RDI) and examining its changes in different regions and time periods. Water and Soil Conservation Research, 23(6), 27–52.

14. Nohegar, A., Ghashghayezade, N., Heidarzade, M., Idoun, M., & Panahi, M. 2016. Drought Assessment and Its Impact on Surface and Groundwater Resources (Case Study: Minab River Watershed). Earth Knowledge Research, 7(3), 28–43. (In Persian)

15. Nouri, M., Homayee, M., & Banayan, M. 2017. Investigation of the trend of drought index changes during the period 1961-

منابع

1. Amani, Z., Deihimfard, R., & MokhtasiGoli, A. 2011. Drought study under temperature change conditions due to climate change in rainfed wheat of Fars province using drought index. Production of Crops, 9(2), 151–174. (In Persian)
2. Asadi, M., & Karami, M. 2015. Estimation of evapotranspiration in Fars province using experimental indicators. Applied Research in Geographical Sciences, 20(56). (In Persian)
3. Bakhtiyari, A. 2019. Application of climatic comfort indicators and agricultural drought to determine agricultural tourism destinations in Kerman province. Agricultural Meteorology, 6(2), 71–79. (In Persian)
4. Bazrafshan, O., Mahmoudzadeh, F., Asgarinezhad, A., & Bazrafshan, J. 2019. Adaptive Evaluation of SPI , RDI , and SPEI indices in Analyzing the Trend of Intensity , Duration , and Frequency of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran. 42(3), 117–131.
5. DolatAbadi, S., & KhasheieSivaki, A. 2019. Estimation of saffron yield using RDI drought index (Case study: South Khorasan province). Saffron Research, 7(1), 161–176. (In Persian)
6. Eghtedarnezhad, M., Bazrafshan, O., & SadeghiLari, A. 2017. Comparative evaluation of SPI, RDI and SDI indices in the analysis of meteorological and hydrological drought characteristics (Case study: Bam plain). Water and Soil Knowledge, 26(42), 69–81. (In Persian)
7. Farhangfar, S., Kamboziya, J., Deihimfard, R., Soufizade, S., & Mirbagheri, B. 2013. Introduction of an index for drought assessment using the principal component analysis technique.

19. Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions.
20. ZandiLak, H., Foladvand, H., & BOustani, F. 2014. Evaluation of the return period of wheat drought in Fars province using RDI index. *Water Resources Engineering*, 7(22), 1–10. (In Persian)
21. ZareAbyane, H., Varkeshi, M., & Dinpazhoh, Y. 2011. Investigating the trend of drought index changes in the southern half of Iran. *Water and Soil Knowledge*, 21(2), 81–92. (In Persian)
- 2100 in northwestern Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8(4), 439–453. (In Persian)
16. Rezaee, H., Khanmohammadi, N., Montaseri, M., & Behmanesh, J. 2018. Evaluating the Selection of the Most Suitable Probability Distribution Function for Using the RDI and SPI Drought Indices. *Water and Soil Knowledge*, 28(1), 29–40. (In Persian)
17. Shokohi, A., & Morovati, R. 2014. Performance evaluation of drought and standard rainfall identification indices of drought status of Urmia Lake basin. *Watershed Engineering and Management*, 6(3), 232–246. (In Persian)
18. Tababayee, F., & Shamsniya, A. 2019. Different methods for estimating potential evapotranspiration on the results of drought identification index in Tehran province. *Water Resources Engineering*, 11. (In Persian)

Drought Monitoring and Zoning in Fars Province Based on the Moving Average of Climatic Parameters by Two Hydrological Indicators RDI and AI

M.H. Jahangir¹ and R. Ebrahimpour²

Received: 15-05-2021 Accepted: 15-11-2021

Abstract

Drought is one of the major problems facing countries in subtropical offerings such as Iran. Fars province, which is one of the southern provinces in the field of tourism and agriculture, has long been facing the problem of drought and water shortage, so the study of drought in this province to better manage the problem of drought and improve the situation of agriculture and agricultural tourism is necessary. The purpose of this study is to investigate the drought trend in this province using drought index and drought identification index. The parameters used in these indicators are potential rainfall and evapotranspiration. In this regard, rainfall and maximum temperature data of 10 stations in the statistical years 1999-2020 were used and the evapotranspiration of each station was calculated using Larry-Johnson method. Necessary indicators and diagrams were drawn by MATLAB software (a2020) and based on the obtained results, the average maximum and minimum drought intensity occurred in 2008 and 2004, respectively, also in 2020 showed a dry and normal situation. Finally, according to the zoning maps obtained from ArcMap software (10.8), an increase in drought intensity was observed in the southern and central parts of the province.

Keywords: *Drought, Drought identification index (RDI), Drought index (AI), Drought severity zoning, MATLAB*

1. Corresponding Author and Associate Professor of Department of New Energy and Environment, Faculty of Modern Science and Technology, University of Tehran. Email: mh.jahangir@ut.ac.ir

2. Master student of Eco Hydrology, Department of New Energy and Environment, Faculty of Modern Sciences and Technologies, University of Tehran