

## بررسی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص درصد نرمال در استان فارس

سید مسعود سلیمان‌پور<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا قصابی‌عروجی<sup>۲</sup>، محبوبه معتمدنیا<sup>۳</sup>

\*- (نویسنده‌ی مسئول) استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران (m.soleimanpour@yahoo.com)

۲- کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری (ghasabi\_hamid@yahoo.com)

۳- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری (mmoatamednia@yahoo.com)

### چکیده

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در پهنه‌ی وسیعی از کشور ایران به اشکال متفاوت قابل مشاهده است. این پدیده محدودیت و کمبود منابع آب، محدودیت رشد گیاهان، افزایش تبخیر و تعرق، دما و دیگر پارامترها را به همراه دارد که بروز آن سبب عدم تعادل طبیعی در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای شده و اثرات این مسأله می‌تواند تغییرات زیادی بر روی منابع کشاورزی، آبی و سطح رفاه اقتصادی و اجتماعی انسان را به همراه داشته باشد. با توجه به اهمیت این پدیده و تأثیر مخربی که بر زندگی انسان و محیط زیست آن داشته، این پژوهش به بررسی خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از شاخص درصد نرمال (PNI) در دوره‌ی زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ و در ۲۹ ایستگاه هواشناسی در استان فارس اقدام نموده است. نتایج نشان داد در تمام ایستگاه‌های انتخابی، به غیر از سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۶ که دارای وضعیت نرمال خشک‌سالی بوده‌اند؛ در بقیه‌ی سال‌ها حداقل یکی از کلاس‌ها و شدت‌های خشک‌سالی در آن‌ها اتفاق افتاده است به طوری که از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۲، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷ و ۱۳۹۰ خشک‌سالی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تداوم داشته است. همچنین در همه‌ی ایستگاه‌ها بیش‌ترین فراوانی، مربوط به خشک‌سالی‌های بسیار شدید بوده است به طوری که در ۲۸ ایستگاه، حداقل ۲۰۰ ماه از ۳۷۲ ماه دوره‌ی آماری، خشک‌سالی بسیار شدید اتفاق افتاده است. بیش‌ترین فراوانی در ایستگاه‌های فداغ، مَهر، لامرد و آباده طشک به ترتیب با فراوانی ۲۷۵، ۲۵۵، ۲۵۲ و ۲۲۵ ماه بوده است. نتایج این پژوهش تأکید فراوان بر مسأله‌ی خشک‌سالی و شدت آن در استان فارس دارد و توجه بیش‌تر تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان در راستای سازش با تغییر اقلیم و مدیریت بهینه‌ی منابع آب و خاک را می‌طلبد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، شاخص خشک‌سالی، تغییرات زمانی

## مقدمه

بخش وسیعی از ایران به علت واقع شدن در قلمرو اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، همواره بارش کمی دریافت می‌کنند و به این ترتیب در اکثر اوقات با کمبود آب مواجه‌اند. متأسفانه از ۴۰ نوع حادثه غیرمترقبه به ثبت رسیده در جهان، ۳۱ نوع از آن در کشور ایران به وقوع پیوسته به طوری که ایران دهمین کشور بلاخیز جهان به شمار می‌رود. حدود یک سوم از خشک‌سالی‌های جهان در ایران است و بخش گسترده‌ای از ایران با خشکی مواجه است (سرحدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک واقع شده که میانگین بارندگی آن در حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده که تقریباً یک چهارم میانگین جهانی است که حدود ۸۰ درصد آن تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (مهدوی، ۱۳۸۱؛ اربابی‌سبزواری، ۱۳۸۹؛ تیموری و همکاران، ۱۳۹۴).

پدیده‌ی خشک‌سالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که در میان حوادث طبیعی جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تعداد فراوانی این پدیده از نظر شدت، مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه، بیش‌تر از سایر بلایای طبیعی بوده است. اختلاف برای دستیابی به منابع آب، به خطر افتادن بهداشت عمومی و تاثیرات منفی زیست‌محیطی و اکولوژیکی نمونه‌هایی از این مورد هستند (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). همچنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که برخلاف سایر بلایای این پدیده به تدریج و در یک دوره‌ی زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیش‌تری نسبت به سایر بلایای طبیعی ظاهر شود. در واقع خشک‌سالی به عنوان یک پدیده‌ی خزنده توصیف شده و توصیف زمانی و مکانی آن بسیار مشکل است (Vangelis و Tsakiris، ۲۰۰۴؛ Patel و همکاران، ۲۰۰۷؛ علیزاده، ۱۳۸۷؛ اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی است تاحدودی آن را یک پدیده‌ی خزنده می‌دانند، از سویی خشک‌سالی برخلاف سایر بلایای طبیعی کم‌تر منجر به خسارات ساختاری می‌شود، لذا کمکرسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها مانند سلیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (کویانی، ۱۳۸۰؛ کریمی‌احمدآباد و قره‌چلو، ۱۳۸۸؛ شعبانی، ۱۳۸۸؛ منتصری و همکاران، ۱۳۹۷). از آن‌جا که خشک‌سالی تأثیر زیادی بر انسان و محیط زیست پیرامون آن‌ها گذاشته لذا نکته کلیدی در خشک‌سالی، درک ابعاد طبیعی و اجتماعی آن است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). Joetzjer و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی خشک‌سالی آب‌شناختی در مقیاس‌های زمانی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه‌ی رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی و آمازون نشان دادند که نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی تجربی باید در مناطق گرم با دقت بیش‌تری مدنظر قرار گیرند. Haslinger و همکاران (۲۰۱۴)، یک تحلیل منطقه‌ای دقیق از ارتباط میان نمایه‌های خشک‌سالی هواشناسی و جریان رودخانه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط این دو نمایه برای حوضه‌هایی که در آن‌ها ذخایر برف و آب زیرزمینی‌شان زیاد است، معنی‌دار نیست. Van Loon و Laaha (۲۰۱۵)، در بررسی شدت خشک‌سالی آب‌شناختی با استفاده از ویژگی‌های اقلیمی و حوضه‌ای نشان دادند که در نتیجه تغییرات، شدت خشک‌سالی آب‌شناختی به شدت وابسته به فرایندهای هیدرولوژیکی می‌باشد. Moreira (۲۰۱۶) جهت بررسی خشک‌سالی از نمایه‌ی بارش استاندارد شده (SPI) با استفاده از مدل لگاریتم خطی و در بازه‌ی زمانی شش و دوازده ماهه در کشور پرتغال در دو دوره‌ی خشک و تر سال اقدام نمود. نتایج وی نشان داد که این مدل دارای عملکرد خوبی در تخمین نمایه‌ی مذکور داشته است. Wu و همکاران (۲۰۱۸) به منظور بررسی اثر وجود مخزن بر روی خشک‌سالی از داده‌های جریان و بارش ماهیانه‌ی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ و گزارش‌های ماهیانه‌ی ورود و خروج یک مخزن بزرگ در حوضه‌ی رودخانه‌ی دونگینگان در جنوب چین و از نمایه‌ی جریان استاندارد و SPI با مقیاس زمانی مختلف استفاده نمودند. نتایج نشان داد که عملیات مخزن در دوره‌ی پس از مخزن (۱۹۷۴-۲۰۱۵) تأثیر قابل توجهی (تأثیر مثبت) بر تکامل کوتاه مدت همراه با کاهش دوره‌ی خشک‌سالی و کاهش میزان آن داشته به طوری که همبستگی خطی بین دو نمایه‌ی خشک‌سالی هواشناسی و آب‌شناختی در مقایسه با دوره‌ی قبل از مخزن (۱۹۶۰-۱۹۷۲) تغییر کرد. خلجی و شایان‌نژاد (۱۳۸۰) در پژوهش خود، جهت مبارزه با بحران‌های کم‌آبی در مناطق شهر کرد، زابل و زاهدان از روش تعیین شدت و تداوم خشک‌سالی با تحلیل عددی بارش‌های مناطق ذکر شده استفاده نموده و نتیجه گرفتند که علی‌رغم وجود دو اقلیم کاملاً متفاوت مشکلات خشک‌سالی در هر دو حالت وجود داشته و خسارات زیادی را از جنبه‌های مختلف به مردم این مناطق تحمیل می‌نماید. سلطانی و مدرس (۱۳۸۵) به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی احتمال وقوع خشک‌سالی، در ۲۲ ایستگاه استان اصفهان وضعیت‌های به دست آمده از روش گیبزو ماهر به عنوان زنجیره‌ی مارکف در نظر گرفتند و دوره‌ی بازگشت آن‌ها برای هر ایستگاه را به دست آوردند.

سپس با استفاده از روش کریجینگ معمولی نقشه‌ی دوره‌ی بازگشت خشک‌سالی استان اصفهان ترسیم شد. برنا و همکاران (۱۳۸۹) به منظور بررسی خشک‌سالی استان خوزستان به مقایسه‌ی شاخص‌های خشک‌سالی RAI، PN، SIAP پرداختند. در این پژوهش با استفاده از شاخص مذکور وضعیت خشک‌سالی در دو ایستگاه سینوپتیک آبادان و دزفول در طول دوره‌ی آماری ۴۵ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فراوانی و توالی خشک‌سالی‌ها با درجات مختلف در ایستگاه آبادان بیش‌تر از دزفول است. بر اساس دو شاخص RAI و SIAP فراوانی خشک‌سالی‌های بسیار شدید در ایستگاه دزفول بیش‌تر از آبادان است و تنها در شاخص PN فراوانی خشک‌سالی‌های شدید ایستگاه آبادان بیش‌تر از دزفول دیده شد. قنواتی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به پایش و مقایسه‌ی روند خشک‌سالی در شهرستان آمیدیه بر اساس شاخص‌های SIAP، Z، RAI و SPI پرداختند. نتایج ایشان نشان داد مناسب‌ترین شاخص در تعیین میزان خشک‌سالی در این شهرستان، به ترتیب شاخص‌های RAI، SPI و SIAP می‌باشد و شاخص Z به دلیل استاندارد کردن داده‌ها بر اساس بارش‌های بسیار بالا، و پراکندگی شدید داده‌ها روش مناسبی محسوب نمی‌شود. اسدزاده و همکاران (۱۳۹۵) اقدام به پایش و تخمین خشک‌سالی با استفاده از جمع‌آوری داده‌های ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی دشت مراغه و تبریز که در شرق دریاچه‌ی ارومیه قرار گرفته‌اند با استفاده از مدل هوشمند عصبی- فازی تطبیقی و نمایه‌ی SPI در مقیاس زمانی ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه نمودند. نتایج نامبردگان نشان از توانایی بالایی عملکرد مدل ANFIS در تخمین خشک‌سالی هم در مقیاس زمانی کوتاه و بلندمدت داشته است. منتصری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی وضعیت خشک‌سالی در دو حوضه‌ی زربنه‌رود و سیمینه‌رود توسط نمایه‌ی بارش استاندارد شده، SPI با استفاده از داده‌های بارش ماهانه‌ی ۳۱ ایستگاه در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ - ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی سالیانه و ماهیانه (یک تا ۴۸ ماهه) پرداختند. شد. بررسی نمایه SPI طی چهار دهه‌ی گذشته، نشان می‌دهد به‌طور کلی زیرحوضه‌های جنوبی دریاچه‌ی ارومیه پس از تجربه‌ی دو دوره‌ی ترسالی و یک دوره‌ی خشک‌سالی، در ۷۰ درصد سال‌ها در شرایط نرمال به‌سر برده‌اند. پس از وقوع خشک‌سالی طی دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۰۰ به‌رغم حاکمیت شرایط نرمال تا سال ۲۰۰۰، روند کاهشی تراز دریاچه‌ی ارومیه ادامه یافته است که نشان می‌دهد علاوه بر تأثیر شرایط اقلیمی و کاهش بارش‌ها، عوامل دیگری نظیر بهره‌برداری نامناسب و برداشت بیش از حد از منابع آبی در سال‌های اخیر عامل اصلی تشدید بحران در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه بوده است.

استان فارس از جمله مناطقی است که در جنوب کشور قرار گرفته و به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک کشور و وجود انواع خشک‌سالی در مناطق مختلفی برای مطالعه‌ی خشک‌سالی وجود دارد که یکی از این روش‌ها تحلیلی داده‌های بارندگی است که از عمومی‌ترین روش‌ها به شمار می‌رود. استان فارس طی چند سال گذشته خشک‌سالی و کمبود شدید بارندگی کم‌تر از میانگین سال‌های قبل را تجربه کرده است. این کمبودها در مناطق نسبتاً پُر آب نیز مشهود بوده و در چند سال اخیر بخش‌های مختلف استان فارس به ویژه بخش کشاورزی و منابع طبیعی را تهدید نموده است. علاوه بر کمبود بارش، توزیع نامناسب فصلی بارندگی موجب تشدید اثرات زیان‌بار خشک‌سالی گردیده است. توزیع نامناسب فصلی بارش از جمله خصوصیات است که ریسک‌پذیری زراعت را افزایش داده و همواره کلیه‌ی برنامه‌ریزی‌ها را تهدید می‌کند. این پژوهش سعی دارد تا با پایش خشک‌سالی هواشناسی در استان فارس با استفاده از شاخص در صد نرمال به بررسی این پدیده بپردازد. نتایج این بررسی می‌تواند در ایجاد استراتژی مدیریت پیشگیری از خسارات، و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود به عنوان بخشی از عوامل ایجاد و تشدید بحران آب، کاربرد داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

استان فارس با مساحتی بالغ بر ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع، ۸/۱ درصد از مساحت کشور را شامل می‌گردد و پنجمین استان بزرگ کشور می‌باشد. این استان بین ۲۷°۰۳' تا ۳۱°۴۲' عرض شمالی و ۵۵°۳۶' طول شرقی قرار دارد. استان فارس از شمال با اصفهان، از شرق با استان‌های یزد و کرمان، از غرب با استان کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب و جنوب غرب با استان بوشهر، از جنوب و جنوب شرق با استان کرمان هم‌مرز است. استان فارس دارای ۸/۶ میلیون هکتار مرتع، ۱/۲۱۲ میلیون هکتار جنگل و ۱/۶ میلیون هکتار اراضی زراعی می‌باشد (آوند و همکاران، ۱۳۹۲؛ قصابی‌عروجی، ۱۳۹۳).

## روش پژوهش

هدف این پژوهش، بررسی خشک‌سالی در استان فارس در یک دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از شاخص درصد نرمال می‌باشد. به این منظور، از آمار ۲۹ ایستگاه هواشناسی به واسطه‌ی موجودیت داده‌ها و نحوه‌ی پراکنش آن‌ها استفاده شد (شکل ۱). از آن‌جا که تعداد سال‌های آماری موجود بنا بر تأسیس ایستگاه‌ها متفاوت است به طوری که آمار یک ایستگاه ممکن است مربوط به یک دوره‌ی خشک بوده و آمار ایستگاه دیگر مربوط به دوره‌ی پر باران باشد، لذا در مرحله‌ی بعد اقدام به یک دوره‌ی مشترک آماری با حداقل حذف داده و حداکثر طول دوره آماری گردید (مهدوی، ۱۳۸۱؛ علیزاده، ۱۳۸۲). با توجه به موارد ذکر شده دوره‌ی مشترک آماری ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ (۳۱ سال) برای پژوهش حاضر در نظر گرفته شد. از آن‌جا که تاریخ تأسیس متفاوت ایستگاه‌ها، بروز سوانح طبیعی مانند سیل، زلزله، حریق و غیره، نقایص فنی دستگاه‌های آماربرداری، حذف آمار غلط توسط کارشناسان ارشد کنترل‌کننده باعث می‌شود که در بعضی سال‌ها دارای آمار ناقص در دوره‌ی مشترک آماری پژوهش مورد نظر بوده که برای برطرف کردن آن اقدام به بازسازی داده‌های ناقص با استفاده از ضریب همبستگی در نرم‌افزار SPSS21 شد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴). پس از پیش‌پردازش اولیه بر روی داده‌ها از قبیل بازسازی داده‌های ناقص، بررسی همگنی داده‌ها با استفاده از روش منحنی جرم مضاعف و آزمون توالی (Wijngaard و همکاران، ۲۰۰۳)، جهت محاسبه شاخص خشک‌سالی‌ها، از نمایه‌ی PNI با توجه به رابطه‌ی (۱) داده‌های ماهیانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی ۲۹ ایستگاه در استان فارس با طول دوره‌ی آماری مشترک ۳۱ ساله طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، به طوری که برای هر یک از این ایستگاه‌ها مقادیر و PNI در پایه‌های زمانی سالیانه برآورد شد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در استان فارس

## شاخص درصد نرمال

این شاخص (نمایه) از جمله ساده‌ترین نمایه‌ها برای ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی است که از تقسیم میزان بارندگی رخداد بر مقدار بارندگی نرمال (میانگین درازمدت) به دست می‌آید و بر حسب درصد بیان می‌شود. این نمایه برای دوره‌های زمانی ماهیانه، فصلی و سالیانه محاسبه می‌شود و از رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید. این نمایه از لحاظ آماری مشابه با SPI بوده و ارزیابی تقریباً یکسانی را از لحاظ شدت ارائه می‌دهد اما از آن‌جایی که در این نمایه، بارندگی ماهیانه و فصلی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند لذا کاربرد کم‌تری نسبت به نمایه‌ی SPI دارد.

$$P = \frac{P_i}{P}$$

رابطه‌ی (۱)

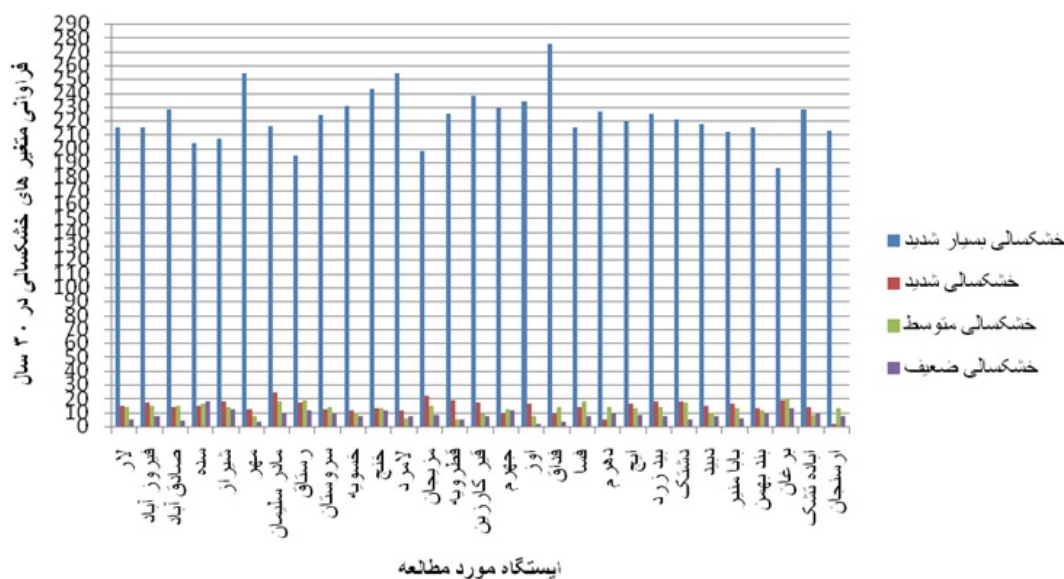
که در آن:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{P}$  میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۱ ارائه شده است (Cook و Jacoby، ۱۹۸۳).

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص درصد نرمال (PNI)

رتبه PNI	مقادیر PNI	کلاس
۱	۷۰-۸۰ درصد	خشک‌سالی جزئی
۲	۵۵-۷۰ درصد	خشک‌سالی متوسط
۳	۴۰-۵۵ درصد	خشک‌سالی شدید
۴	کم‌تر از ۴۰ درصد	خشک‌سالی بسیار شدید

### نتایج و بحث

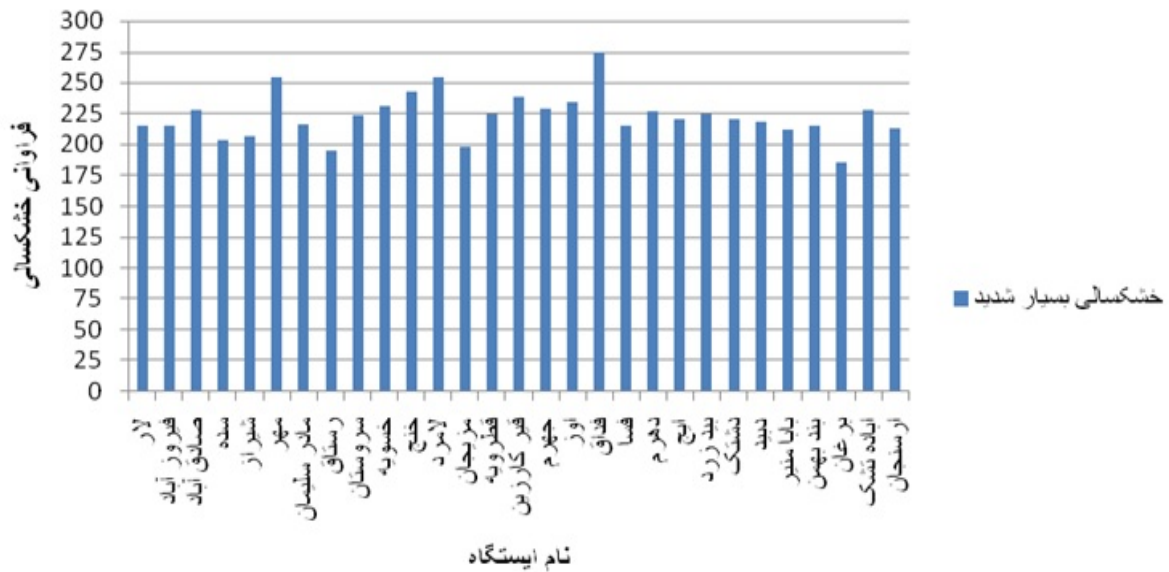
نتایج پایش خشک‌سالی استان فارس بر اساس شاخص درصد نرمال در شکل ۲ ارائه شده است. شاخص درصد نرمال بارندگی ماهانه‌ی محاسبه شده و فراوانی متغیرهای خشک‌سالی این شاخص در شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی بیش‌ترین فراوانی در طول ۳۷۲ ماه مورد محاسبه (مربوط به ایستگاه فداغ با ۲۷۵ ماه) و کلاس خشک‌سالی بسیار شدید می‌باشد (قصابی‌عروجی، ۱۳۹۳).



شکل ۲- پایش خشک‌سالی استان فارس بر اساس شاخص درصد نرمال

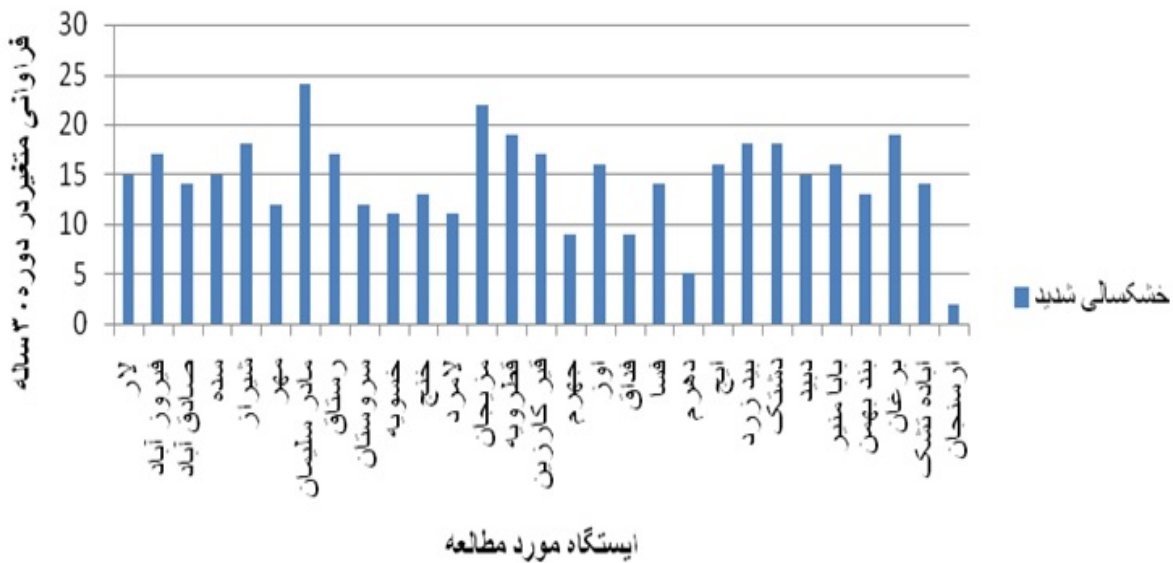
نتایج مستخرج از شکل ۳ مؤید این نکته است که در همه‌ی ایستگاه‌ها بیش‌ترین فراوانی، مربوط به خشک‌سالی‌های بسیار شدید است به طوری که در ۲۸ ایستگاه حداقل ۲۰۰ ماه از ۳۷۲ ماه دوره‌ی آماری، خشک‌سالی بسیار شدید حاکم بوده و بیش‌ترین فراوانی در ایستگاه‌های فداغ، مَهر، لامرد و آباد طشک به ترتیب با فراوانی ۲۷۵، ۲۵۵، ۲۵۲ و ۲۲۵ ماه بوده است؛ به طور کلی در سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۷۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و در نهایت ۱۳۸۷ خشک‌سالی بسیار شدید فراوانی بیش‌تری نسبت به سال‌های دیگر داشته‌اند (قصابی‌عروجی، ۱۳۹۳). همچنین در سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۵ به غیر از ۱۳۷۸ در هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه خشک‌سالی بسیار شدید اتفاق نیفتاده است. نتایج این پژوهش با نتایج خلیج و شایان (۱۳۸۰) و مرادی و همکاران (۱۳۸۶) افزایش وجود خشک‌سالی‌های شدید بوده هم‌راستا است.





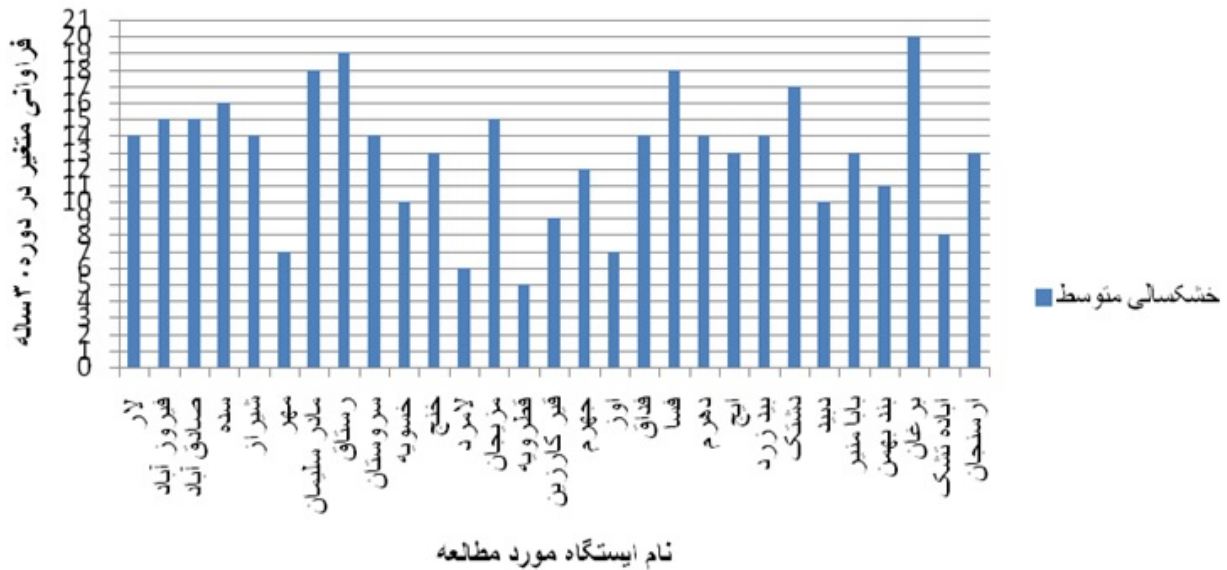
شکل ۳- فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص درصد نرمال

نتایج حاصل از شکل ۴ نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های مادر سلیمان، مزینان، قطرویه و برغان به ترتیب با ۲۴، ۲۲، ۱۹ و ۱۹ ماه بیش‌ترین فراوانی از خشکسالی‌های شدید در دوره‌ی آماری مورد مطالعه اتفاق افتاده است.

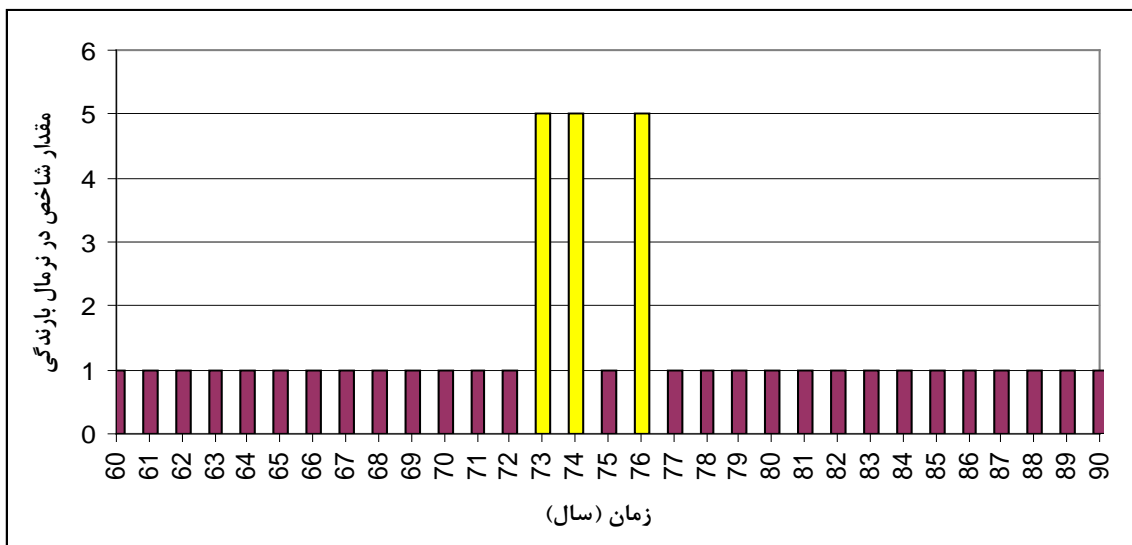


شکل ۴- فراوانی خشکسالی‌های شدید در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص درصد نرمال

نتایج حاصل از شکل ۵ نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های برغان، رستاق، فسا و مادر سلیمان به ترتیب با ۲۰، ۱۹، ۱۸ و ۱۸ ماه بیش‌ترین فراوانی از خشکسالی‌های متوسط در دوره‌ی آماری مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به موارد مطرح شده و بررسی وضعیت خشکسالی‌ها، استان فارس در محدوده‌ی کلاس‌های بسیار شدید، نسبتاً شدید، متوسط، ضعیف و نرمال در طول دوره‌ی آماری مندرج در شکل ۶ نشان می‌دهد که تمام ایستگاه‌های انتخابی به غیر از سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۶ که نرمال بوده‌اند بقیه‌ی سال‌ها حداقل یکی از حالت‌های خشک‌سالی در آن‌ها اتفاق افتاده است؛ به طوری که از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۲، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰ خشک‌سالی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تداوم داشته است (شکل ۶).



شکل ۵- فراوانی خشکسالی‌های متوسط در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص درصد نرمال



شکل ۶- پایش خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص درصد نرمال

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که در سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۷۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و در نهایت ۱۳۸۷ خشک‌سالی بسیار شدید فراوانی بیشتری نسبت به سال‌های دیگر حاکم بوده است. همچنین با توجه به شکل ۲ مشخص می‌شود که در ایستگاه‌های برغان، رستاق، مادر سلیمان و فسا بیش‌ترین فراوانی از خشکسالی‌های نسبتاً شدید اتفاق افتاده است که به ترتیب ۲۰، ۱۹، ۱۸ و ۱۸ ماه از کل ماه‌های مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده مطالعات گسترده‌تر با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی در مناطق مختلف استان فارس و مقیاس حوزه‌ی آبخیز با در نظر گرفتن تعداد ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی بیشتر، و مقایسه‌ی آن با شاخص‌های آب‌سنجی و همچنین استفاده از دیگر نمایه‌های خشک‌سالی در سایر حوزه‌ی آبخیز استان و به تبع آن در کل کشور پیشنهاد می‌شود. بررسی عوامل مؤثر در این زمینه از قبیل پوشش گیاهی، خاک، شیب و غیره بر روی پدیده‌ی مذکور از دیگر پیشنهاد‌های این پژوهش می‌باشد.

## منابع

- آوند، م.ت.، ا.ح. پارسامهر، و م. موسی‌زاده. ۱۳۹۲. بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده‌ی SPI (مطالعه‌ی موردی: استان فارس). مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸ صفحه.
- اربابی‌سبزواری، ا. ۱۳۸۹. تحلیل اثر خشکسالی Z نرمال بارندگی در سامانه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه‌ی کاشان. فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، ۳ (۷): ۱۲۴-۱۰۵.
- اسدزاده، ف.، م. بایزیدی، و م. کاکی. ۱۳۹۵. پایش و تخمین خشکسالی ایستگاه‌های باران‌سنجی شرق دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از مدل عصبی- فازی تطبیقی. مجله‌ی اکوهیدرولوژی، ۳ (۲): ۲۱۸-۲۰۵.
- برنا، ر.ف.، و. عظیمی، و ن. سعیدی‌دهکی. ۱۳۸۹. مقایسه‌ی شاخص‌های SIAP، PN، RAI در بررسی خشکسالی‌های استان خوزستان با تأکید بر ایستگاه‌های آبادان و دزفول. فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی جغرافیای طبیعی، ۳ (۹): ۸۸-۷۷.
- تیموری، ف.، خ. قربانی، ج. بذرافشان، و ح. شریفان. ۱۳۹۴. مطالعه‌ی تطبیقی نمایه‌های هواشناسی با نمایه‌های هیدرولوژیکی برای پایش خشکسالی به روش داده‌کاوی (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه آرازکوسه، استان گلستان). مجله‌ی تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶ (۳): ۴۱۳-۴۰۵.
- حجازی‌زاده، ز.س.، م. جوی‌زاده، و س.م. موسوی. ۱۳۸۹. بررسی سیر خشکسالی اقلیمی و اثرات آن بر کشت گندم در استان بوشهر. فصلنامه‌ی علمی پژوهشی جغرافیای ایران، ۸ (۲۴): ۴۴-۲۷.
- خلجی، م.، و م. شایان‌نژاد. ۱۳۸۰. تعیین و تداوم خشک‌سالی با یک روش اصلاح شده جدید برای مبارزه با بحران‌های کم‌آبی در مناطق شهرکرد، زاهدان و زابل. مجموعه مقالات کنفرانس مبارزه با بحران کم‌آبی.
- سرحدی، ع.س.، و. سلطانی، و ر. مدرس. ۱۳۸۷. ارزیابی و تحلیل گستره خشک‌سالی در استان اصفهان بر پایه‌ی چهار شاخص مهم خشک‌سالی. مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ۶۱ (۳): ۵۷۰-۵۵۵.
- سلطانی، س.، و ر. مدرس. ۱۳۸۵. تحلیل فراوانی و شدت خشک‌سالی هواشناسی استان اصفهان. مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۱): ۲۶-۱۵.
- شعبانی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی کاربرد روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی شدت‌های خشک‌سالی استان فارس. مجله‌ی مهندسی آب، ۲ (۱): ۳۶-۳۱.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا، ۸۱۱ صفحه.
- قصابی‌عروجی، ح.ر. ۱۳۹۳. پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی استان فارس با استفاده از نه شاخص خشک‌سالی و تکنیک‌های GIS. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ۱۹۰ صفحه.
- فتواتی، ر.، س.م. سلیمان‌پور، و ل. جوکار. ۱۳۹۲. پایش و مقایسه‌ی روند خشک‌سالی در شهرستان امیدیه بر اساس شاخص‌های Z، SIAP، RAI و SPI. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان، ۸ صفحه.
- کارآموز، م.، و ش. عراقی‌نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۸۰ صفحه.
- کاوپانی، م.ر. ۱۳۸۰. بررسی اقلیمی شاخص‌های خشکی و خشک‌سالی. نشریه‌ی تحقیقات جغرافیایی، ۱۶ (۱): ۸۹-۷۱.
- کریمی‌احمدآباد، م.، و س. قره‌چلو. ۱۳۸۸. بررسی نتایج روش‌های پهنه‌بندی خشک‌سالی با دو رویکرد مختلف در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۸ صفحه.
- محمدی، ف.، ا. مهدوی‌نژاد، ف. مطرقی، و م. اسدی. ۱۳۹۷. مقایسه‌ی شاخص‌های خشک‌سالی در حوضه‌ی محمدآباد تفت، یزد. مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران با رویکرد پیوند چرخه‌ی آب و اکولوژی در مناطق خشک برای پایداری سرزمین، دانشگاه یزد، ۵ صفحه.
- مرادی، ح.، م. رجبی، و م. فرج‌زاده. ۱۳۸۶. تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشک‌سالی‌های استان فارس. فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴ (۱): ۹۷-۱۰۹.
- منتصری، م.، ا. نوریجو، ج. بهمنش، و م. اکبری. ۱۳۹۷. بررسی ترسالی و خشک‌سالی هواشناسی در حوضه‌های جنوبی دریاچه‌ی



ارومیه (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌های آبریز زیرین رود و سیمینه‌رود). مجله‌ی علمی-پژوهشی اکوهیدرولوژی، (۱): ۲۰۲-۱۸۹.

- مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۶۴ صفحه.

- Cook, E.R., and G.C. Jacoby. 1983. Potomac River streamflow since 1730. As reconstructed by tree-rings. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 22(10):1659- 1672.
- Haslinger, K., D. Koffler, W. Schnier, and G. Laaha. 2014. Exploring the link between meteorological drought and streamflow, effects of climate-catchment interaction. *Water Resource Journal*, 50 (3):2468-2487.
- Joetzjer, E., H. Douville, C. Delire, P. Ciais, B. Decharme, and S. Tyteca. 2013. Hydrologic benchmarking of meteorological drought indices at interannual to climate change timescales: a case study over the amazon and Mississippi river basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(12): 4885-4895.
- Moreira, E.E. 2016. SPI drought class prediction using log-linear models applied to wet and dry seasons. *Journal Physic and chemistry of the earth*, 94: 136-145.
- Patel, N., R.P. Chopra, and V.K. Dadhwal. 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized recipitation index. *Meteorological Applications*, 14(4): 329-336.
- Tsakiris, G., and H. Vangelis. 2004. To ward a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management Journal*, 18: 1-12.
- Van Loon, A.F., and G. Laaha. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment Characteristics. *Journal of Hydrology*, 526: 3-14.
- Wijngaard, J.B., AM.G. Klein Tank, and G.P. Konnen. 2003. Homogeneity of 20th century European daily precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23: 679-692.
- Wu, J., Z. Hu, H. Yao, X. Chen, X. Chen, Y. Zheng, and Y. He. 2018. Impacts of reservoir operations on multi-scale correlations between hydrological drought and meteorological drought. *Journal of Hydrology*, 563: 726-736.