

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ۱۳، شماره ۵۰، زمستان ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱

صص ۴۰-۵۷

پژوهشی

ارزیابی زمانی - مکانی روند خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات پوشش گیاهی در استان فارس

محمد شریفی پیچون*، استادیار گروه جغرافیا دانشگاه یزد

زهرا بهزادی شهربابک، دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه یزد

فروغ محمدی راوری، دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی محیطی دانشگاه یزد

چکیده

هدف از این مقاله ارزیابی وضعیت خشکسالی استان فارس طی سه دهه اخیر است. استان فارس به دلیل وسعت زیاد، تفاوت در موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیکی نواحی مختلف آن از یک سو و موقعیت قرارگیری این نواحی در برابر توده‌های آب و هوایی مختلف، منطقه‌ای بسیار مناسب جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی، به ویژه خشکسالی است. به همین دلیل، در این پژوهش استان مذکور جهت بررسی خشکسالی از نظر فراوانی، شدت و گستره مناطق مختلف آن در طول یک دوره‌ی آماری ۲۸ ساله (۱۹۹۴-۲۰۲۱) انتخاب شده است. برای انجام این امر از دو شاخص SPI و PNPI و جهت صحت‌سنجی این شاخص‌ها و پیامدهای خشکسالی در این استان از شاخص NDVI استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصله از هر دو شاخص فوق، خشکسالی‌های اقلیمی در طول سه دهه گذشته تداوم داشته و شدت و فراوانی آن‌ها نیز افزایش پیدا کرده است. با این تفاوت که شاخص (SPI) شدت خشکسالی را بهتر نمایش می‌دهد و بر روی گستره‌های حداقلی تأکید دارد، اما شاخص PNPI ضمن ارائه طبقه‌بندی بهتر از شدت خشکسالی، گستره‌های سرزمینی حداکثری را برای نمایش خشکسالی در یک منطقه ارائه می‌کند. به علاوه، بر اساس نتایج حاصله از این دو شاخص نه تنها گستره، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها افزایش قابل توجهی پیدا کرده است، بلکه جابه‌جایی مکانی در شدت و فراوانی خشکسالی‌ها نیز در محدوده استان فارس روی داده است. دلیل آن به نظر در ارتباط با تغییر در ویژگی توده‌های هوای مرطوب وارده به ایران است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، استان فارس، شاخص PNPI، شاخص SPI، شاخص NDVI

* Email: msharifi@yazd.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

۱- مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است که در هر نوع آب و هوایی می‌تواند روی دهد و آثار زیان‌بار آن گسترده‌تر از سایر پدیده‌های طبیعی است؛ پدیده‌ای آرام که به اعتقاد بسیاری دارای مکانیسمی پیچیده بوده و ماهیت آن نسبت به سایر حوادث طبیعی کمتر شناخته شده است (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۱). کشور ایران در یکی از مناطق بسیار خشک جهان قرار دارد و متوسط میزان بارش سالیانه آن ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان حدود یک‌سوم متوسط میزان بارش جهانی است (شکور و همکاران، ۱۳۹۵). هرچند اطلاعات دقیقی از میزان خسارات وارد شده ناشی از خشکسالی در ایران موجود نیست، ولی آمار نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از خسارات وارد شده به کشور، مربوط به سیل و خشکسالی است (غلامی و علی‌بیگی، ۱۳۹۳). برای بررسی خشکسالی شاخص‌های متنوعی ابداع شده است. اساس این شاخص‌ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارندگی از میانگین درازمدت آن در یک دوره زمانی معین استوار است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از شاخص‌های مهم مورد استفاده در مطالعات خشکسالی شاخص بارش استاندارد شده است که در این مطالعه جهت بررسی فراوانی نسبی خشکسالی در استان فارس مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص SPI^1 ، بر اساس سری زمانی بارش تجمعی ماهانه و در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند به تجزیه و تحلیل انواع پدیده‌های خشکسالی بپردازد. همچنین به دلیل ماهیت استاندارد آن می‌تواند برای مقایسه‌ی شرایط خشکسالی در دوره‌های زمانی مختلف و شرایط آب و هوایی گوناگون مورد استفاده قرار بگیرد (بوناکورسو و همکاران، ۲۰۰۳). بر این اساس می‌توان گفت که شاخص SPI ، از زمانی که توسط McKee، در سال (۱۳۹۳) معرفی گشت تا به حال به یکی از پرکاربردترین نمایه‌ها برای تحلیل خشکسالی در سراسر جهان تبدیل شده است (رضیعی و شکوهی، ۱۳۹۰). همچنین، یکی از ساده‌ترین معیارهای بارندگی برای تحلیل خشکسالی یک محل یا یک حوضه، شاخص درصد نرمال بارندگی $PNPI^2$ است. این ویژگی سبب شده است که محققین زیادی، به‌خصوص محققین استرالیایی، از این شاخص برای مطالعه‌ی خشکسالی استفاده کنند. این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۶۴ توسط ویل و همکارانش ارائه شد. تنها فاکتور مورد نیاز جهت محاسبه این شاخص، بارش بوده و در مقیاس زمانی سالانه می‌تواند به کار برده شود (ویلهایت، ۱۹۹۲). در ایران نیز از شاخص‌های ذکر شده در وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی برای پایش وضعیت خشکسالی استفاده می‌گردد.

به طور کلی مطالعات زیادی در ارتباط با ارزیابی و سنجش خشکسالی و استفاده از شاخص‌های متعدد در سطح جهان و همچنین کشور ایران، به‌ویژه در دو دهه گذشته انجام گرفته است که در اینجا به برخی از مهم‌ترین آن‌ها که از دو شاخص SPI و $PNPI$ استفاده کرده‌اند اشاره شده است. هیز و همکاران^۳ (۱۹۹۹) مقایسه‌ای بین دو نمایه بارش استاندارد شده و نمایه پالمر، جهت بررسی خشکسالی‌های دشت‌های جنوبی و جنوب غربی آمریکا انجام دادند و نتیجه گرفتند که نمایه بارش استاندارد شده دست‌کم یک ماه زودتر از نمایه پالمر، وقوع خشکسالی سال ۱۹۹۶ را پایش نموده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله از پژوهش آن‌ها، شاخص SPI ابزاری است که باید به صورت عملیاتی به عنوان بخشی از یک سیستم دولتی، منطقه‌ای یا ملی، برای نظارت بر خشکسالی در ایالات متحده مورد استفاده قرار بگیرد. استینمن^۴ (۲۰۰۳) شش کلاس شدت خشکسالی از خشک تا مرطوب را با استفاده از دو روش پالمر^۵ ($PDSI$) و بارش استاندارد شده (SPI) تعیین و برای تعیین احتمال وضعیت پایدار و دوام هر یک از طبقه‌ها از زنجیره مارکف استفاده نمود. نتایج او نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده کارایی بیشتری نسبت به نمایه پالمر داشته است. ویسنته سرانو^۶ (۲۰۰۷) از شاخص بارش استاندارد شده SPI ، شاخص‌های پوشش گیاهی $NDVI^7$ و VCI^8 را استخراج کرد و از تصاویر سنجنده AVHRR برای دوره آماری ۲۰۰۰ - ۱۹۸۷ جهت بررسی اثر خشکسالی روی فعالیت‌های پوشش گیاهی در

1. Standard Precipitation Index

2. Percent of Normal Precipitation Index

3. Hayes et al

4. Steineman

5. Palmer Drought Severity Index

6. Vicente Serrano

7. Normalized Difference Vegetation Index

8. Vegetation Condition Index

یک منطقه نیمه خشک، واقع در شمال شرقی شبه جزیره ایبری استفاده کرد. نتایج مطالعات او نشان داد که اثر خشکسالی در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه متفاوت بوده و به نوع پوشش اراضی و مکان رویش آن‌ها بستگی دارد. هلدن و کریستین^۱ (۲۰۰۸) از شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر سنجنده AVHRR برای پایش بیابان‌زایی در سطح منطقه‌ای و جهانی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین بارندگی و NDVI همبستگی بالایی در بیشتر مناطق خشک دنیا وجود دارد. پائلو و پریرا^۲ (۲۰۰۹) طی تحقیقی به پیش‌بینی تغییرات خشکسالی از یک حالت به حالت دیگر در منطقه‌ی آلتجو در جنوب پرتغال پرداختند. آن‌ها برای انجام پژوهش خود از شاخص SPI و مدل زنجیره مارکوف در طول یک دوره آماری ۶۷ ساله استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که عوامل مختلفی نظیر وضعیت آب و هوایی، موقعیت و میزان بارش منطقه در گسترش خشکسالی تأثیر به‌سزایی داشته است. سواين و همکاران^۳ (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی کاربرد شاخص‌های خشکسالی هوشناسی شامل شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص خشکسالی مؤثر^۴ (EDI) و شاخص درصد بارش نرمال (PNPI) بر روی بخش مراتودا و ماهاراشترای هند پرداختند. نتایج نشان داد هر سه شاخص نتایج مشابهی را در توصیف خشکسالی هوشناسی نشان می‌دهند و اکثر بخش‌های مراتودا دچار خشکسالی متوسط تا شدید به صورت مکرر بوده‌اند. تفوالا و همکاران^۵ (۲۰۱۸) تعیین زمان وقوع و شدت خشکسالی‌ها و همچنین روند تغییرات بارش سالانه بر اساس شاخص بارش استاندارد شده و داده‌های بارش طولانی مدت (۲۰۱۴-۱۹۱۸) را برای جنوب آفریقا مورد بررسی قرار دادند. نتایج محاسبه‌ی بارش استاندارد شده توسط آن‌ها نشان داد که از دهه‌ی ۱۹۹۰ به بعد، خشکسالی‌های بیشتری در این منطقه روی داده است. ساتیا و لالیتا^۶ (۲۰۱۹) سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص ناهنجاری بارندگی^۷ (RAI) و شاخص درصد بارندگی نرمال (PNPI) را برای پیش‌بینی رویدادهای خشکسالی بلندمدت با استفاده از مدل توماس فیرینگ مقایسه کردند. برای این امر آن‌ها از داده‌های بارش ۶۱ سال (۲۰۱۱-۱۹۵۱) منطقه‌ی تریشی مورد استفاده کردند و نشان دادند که شاخص SPI و PNPI با توجه به شناسایی خشکسالی و تجزیه و تحلیل دقیق برای تعیین ویژگی‌های خشکسالی بلندمدت عملکرد مشابهی داشته‌اند. اما شاخص RAI انحرافات قابل توجهی را در وضعیت خشکسالی نشان داده است. جونگیون و همکاران^۸ در سال ۲۰۲۰ شاخص خشکسالی جدیدی را که مبتنی بر ترکیب شاخص‌های، پیش‌بینی استاندارد شده و شاخص خشکسالی تقاضای تبخیری بود را برای نظارت بر خشکسالی‌های رخ داده در کره جنوبی پیشنهاد کردند. اومونی آدجوون و دادا^۹ (۲۰۲۱) ویژگی‌های خشکسالی در مناطق استوایی نیمه‌خشک نیجریه را طی سال (۲۰۱۲-۱۹۸۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که شدت خشکسالی در مقیاس (SPI) از ۰/۰۱- تا ۴/۴۹- متغیر بوده است. ورهوفن و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۲) به مطالعه‌ی خشکسالی‌های استرالیا با استفاده از روش (Kriging)، که یک روش جدید برای ردیابی خشکسالی فضایی است، پرداختند و نشان دادند که شرایط خشکسالی در جنوب استرالیا، به ویژه در جنوب غربی استرالیا و تاسمانی تشدید شده است؛ در حالی که شمال این کشور شرایط مرطوب طولانی‌تری را سپری می‌کند.

در سطح کشور ایران نیز در دو دهه اخیر مطالعات نسبتاً خوبی در ارتباط با خشکسالی انجام گرفته است که محققین مختلف از شاخص‌های مختلف و متعددی برای انجام آن استفاده نموده‌اند. چناری (۱۳۸۵) به بررسی تغییرات شش نمایه‌ی مختلف خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول شش حالت در البرز جنوبی پرداخت و بیان داشت که حساسیت نمایه‌ها به ثبت گروه‌های خشکسالی و ترسالی به ترتیب از زیاد به کم در نمایه‌های درصد نرمال بارندگی (PNPI)، ناهنجاری بارش (RAI)، دهک‌های بارندگی^{۱۱} (DPI) و معیار بارش سالانه^{۱۲} (SIAP) مشاهده می‌شود.

1. Hellden

2. Paulo & Pereira

3. Swain et al

4. Effective Drought index

5. Tfwala et al

6. Sathya & Lalitha

7. Rainfall anomalies Index

8. Jeongeun et al

9. Omoniy Adejuwon & Dada

10. Verhoeven et al

11. Deciles Precipitation Index

12. Standard Index of Annual Precipitation

محمودزاده (۱۳۸۷) ضرایب همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI شش ماهه و شاخص پوشش گیاهی NDVI را در منطقه فریدون‌شهر مورد بررسی قرار و نشان داد که همبستگی بالایی بین NDVI و SPI در این منطقه وجود دارد. معاضد و همکاران (۱۳۸۸) خشکسالی استان کرمانشاه را با استفاده از نمایه‌های (SPI) و (PNPI) در پنج ایستگاه هواشناسی اسلام‌آباد، روانسر، سرپل ذهاب، کرمانشاه و کنگاور مطالعه و تحلیل و بیان داشت که طی سال‌های (۱۹۹۹-۲۰۰۱) در تمامی ایستگاه‌های استان خشکسالی بلند مدتی روی داده است. اگرچه بر اساس نتایج حاصله، هر دو نمایه نتایج نسبتاً مشابهی داشتند، اما نمایه بارش استاندارد شده، خشکسالی‌ها را شدیدتر و تعداد سال‌های خشک بیشتری را نشان داده است. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۰) پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان گلستان را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI، جهت پایش خشکسالی در یک دوره‌ی آماری ۲۵ ساله تحلیل نمودند و اظهار داشتند که وسعت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش یافته و وضعیت خشکسالی‌ها در پهنه‌ی استان از غرب به شرق کاهش یافته است. ازدری‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱) خشکسالی‌های پاییزه‌ی زاهدان به وسیله‌ی متغیرهای بارش، مقادیر پیشین نمایه SPI، و ۱۹ عدد از نمایه‌های اقلیمی را با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی پیش‌بینی و به این نتیجه رسیدند که مقادیر پیشین نمایه خشکسالی SPI، تنها در تاخیر زمانی یک ماهه نتایج قابل قبولی را برای پیش‌بینی خشکسالی پاییزه ارائه کرده است. مزیدی و برزگر (۱۳۹۴) خشکسالی شهر مروست و تأثیر آن بر روی محصول گندم در یک دوره آماری ۳۰ ساله را مطالعه و با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و درصد نرمال بارندگی (PNPI) نشان دادند که SPI، در مقیاس فصلی و سالانه و شاخص PNPI، فقط در مقیاس فصلی شدت و تداوم خشکسالی را به خوبی نشان می‌دهد. جهانگیر و رحیمی (۱۳۹۶) خشکسالی در سطح استان البرز را با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه سینوپتیک کرج و ۹ ایستگاه هواشناسی و دو شاخص خشکسالی ناهنجاری بارندگی (RAI) و درصد بارندگی نرمال (PNPI) بررسی و مشاهده نمودند که شاخص‌های ذکر شده روندی غالباً مشابه داشته و منحنی‌های مربوط به این دو شاخص در تمامی ایستگاه‌ها تقریباً بر هم منطبق بوده و همبستگی خوبی به صورت دو به دو بین آن‌ها وجود دارد. بخشنده و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه شناخت الگوهای سینوپتیکی رخداد خشکسالی در استان اردبیل با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند و دریافتند که بر اساس شاخص (SPI) شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۲۰۱۷ بوده است. همچنین، بر اساس نتایج حاصله از پژوهش آن‌ها، بیشترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه خلخال با ۱/۸ درصد و کمترین درصد فراوانی وقوع خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های اردبیل با صفر درصد بوده است. بدرق‌نژاد و عربی (۱۴۰۰) از تصاویر ماهواره مودیس و سنجنده ترآ و داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک برای تحلیل دوره خشکسالی در استان‌های قم، چهارمحال بختیاری، اصفهان و مرکزی استفاده کردند و مشاهده کردند که همبستگی قوی بین شاخص وضعیت درجه‌ی حرارت با شاخص بارش استاندارد شده در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. زندی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی ارتباط بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص SPI در نواحی جنوبی کشور ایران را بررسی کردند. آن‌ها برای انجام تحقیق خود ابتدا به محاسبه شاخص SPI در منطقه مورد مطالعه (شامل استان‌های: خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان) پرداختند و در ادامه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از مکانیزم پهنه‌بندی کریجینگ را تهیه کردند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین نتایج حاصل از همبستگی نیز بیانگر روند کاهش میزان پوشش گیاهی بوده است. عربی و همکاران (۱۴۰۱) نیز با استفاده از داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌های موجود در دامنه‌های زاگرس و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به بررسی وضعیت خشکسالی و همچنین کارایی روش‌های سنجش از دور در نمایان‌سازی شرایط خشکسالی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های مورد بررسی، در کنار شاخص اقلیمی قابلیت پایش خشکسالی را دارند. بدین ترتیب، بر پایه‌ی تحقیقات و پیشینه‌های ذکر شده می‌توان بیان داشت که شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ابزارهای مؤثری برای پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی هستند. همچنین نقشه‌های پوشش گیاهی شاخص (NDVI)

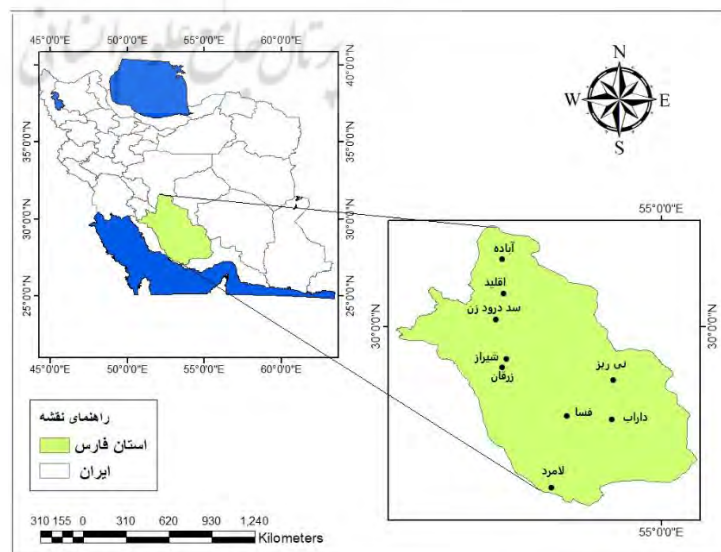
نیز به خوبی تغییرات پوشش منطقه را طی دوره آماری نشان می‌دهند. استان فارس و به ویژه نواحی جنوبی این استان طی دهه‌های اخیر با افزایش قابل توجهی از پهنه‌های خشکی مواجه شده است که حیات گیاهی و جانوری و به‌ویژه زندگی بشر را با مخاطره روبه‌رو کرده است. لذا تحقیق پیرامون تغییرات وضعیت خشکسالی در منطقه و اثراتی که این پدیده بر پوشش گیاهی منطقه داشته لازم دانسته شده است. بدین روی، هدف مطالعه حاضر بررسی و ارزیابی شرایط خشکسالی در استان فارس طی حدود ۳ دهه اخیر با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص درصد بارندگی نرمال (PNPI) برای شناسایی روند و طبقه‌بندی خشکسالی‌های استان است که برای بررسی اثرات و پیامدهای خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده طی دوره آماری و تغییرات آن استفاده شده است. همچنین، در این پژوهش سعی شده است تمامی ایستگاه‌هایی که آمار کافی داشته‌اند در نظر گرفته شده و مورد بررسی و تحلیل قرار بگیرند. به علاوه، برای نمایش بهتر و دقیق‌تر تغییرات پوشش گیاهی در منطقه از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است تا تغییرات در سری زمانی ۲۰ ساله و به صورت ماهانه به خوبی نمایش داده شود.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

استان فارس در جنوب غربی ایران با وسعت ۱۲۲۱۹۹ کیلومترمربع واقع شده است که ۷/۴ درصد از وسعت کشور ایران را به خود اختصاص داده و بین ۲۷ درجه و ۰۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه استان حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۴۰ متر است. در استان فارس به دلیل ویژگی‌های توپوگرافیک، سه ناحیه‌ی آب و هوایی سردسیر، معتدل و گرمسیر قابل مشاهده است. متوسط دما در سردترین ماه سال بین ۷- تا ۲- درجه‌ی سلسیوس و گرم‌ترین ماه سال بین ۳۵ تا ۴۰ درجه‌ی سلسیوس در نوسان است. استان فارس از نظر تقسیمات کشوری، به ۳۶ شهرستان، ۹۴ بخش، ۱۱۵ شهر و ۲۱۷ شهرستان تقسیم شده است. این استان از شمال به اصفهان و کهگیلویه و بویر احمد، از مشرق به استان یزد و کرمان، از مغرب به استان بوشهر و از جنوب به استان هرمزگان محدود شده است. کوه‌های زاگرس با جهت شمال غربی - جنوب شرقی، استان فارس را به دو ناحیه‌ی مشخص طبیعی شامل ناحیه‌ی شمال-شمال غربی و ناحیه جنوب - جنوب شرقی تقسیم کرده است.

شکل ۱- پراکندگی شهرستان‌های مورد مطالعه در استان فارس و مشخص نمودن موقعیت ایستگاه‌های آب و هواشناسی بر روی آن



۲-۲- روش پژوهش

روش به کار رفته در این پژوهش تلفیقی از مطالعات کتابخانه‌ای و تجزیه و تحلیل آماری است. از جمله مهم‌ترین مراحل ارزیابی وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با منابع طبیعی در هر منطقه، تعیین شاخص‌ها به منظور کمی نمودن ویژگی‌های خشکسالی است. شاخص خشکسالی در واقع تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده‌ی خشکسالی اثر می‌گذارد؛ لذا در این پژوهش جهت ارزیابی وضعیت خشکسالی استان فارس از دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI) و جهت بررسی وضعیت پوشش گیاهی استان، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، برای فصل تابستان و سری زمانی ماهانه، استفاده شده است. در واقع، به منظور پایش خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و جهت تحلیل دوره تداوم خشکسالی از شاخص درصد بارش نرمال شده (PNPI) استفاده شده است و در گام بعد، برای پهنه‌بندی شاخص‌های ارزیابی شده از روش درون‌یابی IDW در محیط ArcGIS استفاده شد که مبنای پهنه‌بندی در این مرحله شبکه مربعی در مقیاس سلول‌های ۵×۵ کیلومتری و منطبق بر مختصات ۲.۵ × ۲.۵ دقیقه در شبکه WGS-84 بوده است که تصاویر خشکسالی با توجه به این روش تحلیل فضایی شده‌اند. در آخر رابطه شاخص‌های خشکسالی با شاخص پوشش گیاهی مورد تحلیل قرار گرفته است. بدین روی، جهت بررسی خشکسالی‌های اخیر منطقه، آمار بارش سالانه ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان فارس اخذ گردید. در این تحقیق یک دوره آماری ۲۸ ساله (۱۹۹۴-۲۰۲۱) مبنای قرار گرفته است. از میان شهرستان‌های استان، ۹ ایستگاه (آباد، اقلید، شیراز، فسا، داراب، لامرد، سد درودزن، زرقان و نی‌ریز) برای یک دوره آماری ۲۸ ساله انتخاب شده که موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی از تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به منطقه‌ای و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. همچنین، نمودارهای شدت و مدت خشکسالی در قالب نمودارهای تغییرات شاخص (SPI) و (PNPI) برای منطقه ترسیم گردید. در ادامه شرح مختصری از چگونگی محاسبه آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه‌ی استان فارس

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۱	شیراز	52° 36'	29° 32'	1484
۲	اقلید	52° 40'	30° 52'	2300
۳	آباد	52° 36'	31° 11'	2030
۴	فسا	53° 43'	28° 53'	1288
۵	داراب	54° 17'	28° 47'	1098
۶	سد درودزن	52° 27'	30° 10'	1650
۷	زرقان	52° 42'	29° 46'	1596
۸	نی‌ریز	54° 21'	29° 11'	1632
۹	لامرد	53° 12'	27° 21'	405

۳-۲- شاخص بارش استاندارد (SPI)^۱

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) توسط مکی و همکارانش در سال ۱۹۹۳ به منظور تعیین و پایش خشکسالی در کلرادو ارائه گردید. شاخص SPI، برای احتمال بارش در هر بازه‌ی زمانی کاربرد دارد. اساساً از این شاخص برای بازه‌های زمانی (۳،۶،۱۲،۲۴،۴۸) ماهه استفاده شده و برای کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص در آنالیز داده‌های بارندگی و همچنین برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون کاربرد دارد. به منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصله این محاسبه جدول (۲) ارائه شده است. ویژگی اصلی شاخص SPI، انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری وضعیت خشکسالی منطقه است؛ چرا که مدت زمان خشکسالی‌ها بسیار گسترده است. بر این اساس، هرگاه مقادیر SPI، به طور مداوم منفی باشد و به عبارتی مقدار آن به -۱ و کمتر برسد، نشان‌دهنده‌ی وقوع خشکسالی و مقادیر مثبت آن معرف ترسالی است (آسیایی، ۱۳۸۵). این شاخص با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{x_i - \bar{x}}{SD} \quad (1)$$

x_i = بارش هر ماه یا سال

\bar{x} = میانگین بارش در طول دوره‌ی آماری

SD = انحراف استاندارد

جدول ۲: طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸)

وضعیت	شاخص SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کمتر

لازم به توضیح است که شاخص SPI، یک متغیر استاندارد شده است که انحرافات بیشتر یا کمتر از میانگین را نشان می‌دهد و نتایج آن برای مقیاس کوتاه مدت کاملاً صحیح نیست. زیرا توزیع اولیه‌ی بارش دارای چولگی است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸). میانگین SPI در مقیاس زمانی در یک موقعیت صفر خواهد بود و انحراف معیار آن برابر یک است، این یک مزیت محسوب می‌شود. زیرا SPI، نرمال شده است؛ بنابراین اقلیم‌های خشک‌تر و مرطوب‌تر می‌توانند به همان روش نشان داده شوند. علاوه بر دوره‌های خشکسالی، دوره‌های ترسالی هم به وسیله‌ی این شاخص بررسی می‌شوند. یک حادثه‌ی خشکسالی هر زمانی که SPI، به طور مداوم منفی باشد و شدت آن به ارقام -۱ یا کمتر برسد، اتفاق می‌افتد. این حادثه زمانی که SPI، به مقادیر مثبت برگردد، تمام می‌شود (نوریان و همکاران، ۱۳۸۱).

¹ - Standard Precipitation Index

۴-۲- شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)^۱

این شاخص را ویلک و همکارانش در سال (۱۹۹۸) ارائه کردند. شاخص درصد نرمال بارش PNPI یکی از شاخص‌های ساده خشکسالی است و به همین دلیل محققان زیادی از آن استفاده می‌کنند. این شاخص از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید.

$$PNPI = \frac{pi}{\bar{p}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن Pi مقدار بارندگی در زمان مورد مطالعه و \bar{p} بارندگی نرمال همان زمان به میلی‌متر است.

این شاخص می‌تواند برای بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شود. معمولاً این بازه‌های زمانی از یک ماه تا چند ماه که نمایانگر فصل خاصی است، تا یک سال (یک سال آبی) تغییر می‌یابند. مقادیر این شاخص همواره مثبت بوده و از قسمت پایین محدود به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد. آستانه ۸۰ درصد بارندگی میانگین را می‌توان مرز وقوع خشکسالی در کشور تلقی کرد که هر قدر این درصد کاهش یابد، شدت خشکسالی افزایش پیدا می‌کند. مقادیر مربوط به شاخص PNPI در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول ۳: طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص PNPI (جوانمرد و آسیایی، ۱۳۸۳)

شاخص PNPI به درصد	شدت خشکسالی	ردیف
۸۰ تا ۱۲۰	نرمال	۱
۷۰ تا ۸۰	خشکسالی ضعیف	۲
۵۵ تا ۷۰	خشکسالی متوسط	۳
۴۰ تا ۵۵	خشکسالی شدید	۴
کمتر از ۴۰	خشکسالی بسیار شدید	۵

یکی از اشکالات شاخص درصد نرمال بارندگی این است که متوسط بارندگی اغلب با میانه بارندگی که مقداری متجاوز از ۵۰ درصد بارش رخ داده در یک دوره اقلیمی بلندمدت است، متفاوت است که علت این مسئله آن است که بارندگی ماهانه یا فصلی از یک توزیع نرمال پیروی نمی‌کند (جوانمرد و آسیایی، ۱۳۸۳).

۲-۵- شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)

این شاخص برای اولین بار توسط تاکر^۲ به عنوان شاخصی برای پوشش گیاهی سالم مطرح گردید. در این پژوهش از محصولات فصلی NDVI ماهواره مودیس-ترا (MOD13Q1) با ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر استفاده شد. با توجه به این که بیشترین میزان پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان است، این فصل جهت ارزیابی شاخص NDVI انتخاب شد و تصاویر تابستان‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ انتخاب گردید و جهت نمایش بهتر تغییرات از سری زمانی NDVI به صورت ماهانه و در بازه زمانی ۲۰ ساله در سامانه گوگل ارث انجین کمک گرفته شد که حاصل پردازش ۴۸۰ تصویر برداشت شده در این بازه زمانی است. لازم به ذکر است به علت نبود داده ماهواره‌ای مودیس در سال‌های قبل از ۲۰۰۰، تصویر پوشش گیاهی سال ۱۹۹۴ دیتاست VIP که حاصل تلفیق داده‌های AVHRR و MODIS است از سایت

¹. Percent of Normal Precipitation Index

². taker

NDVI که یکی از شاخص‌های پرکاربرد در زمینه بررسی پویایی‌های گیاهی است؛ با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{red}}{P_{NIR} + P_{red}} \quad (3)$$

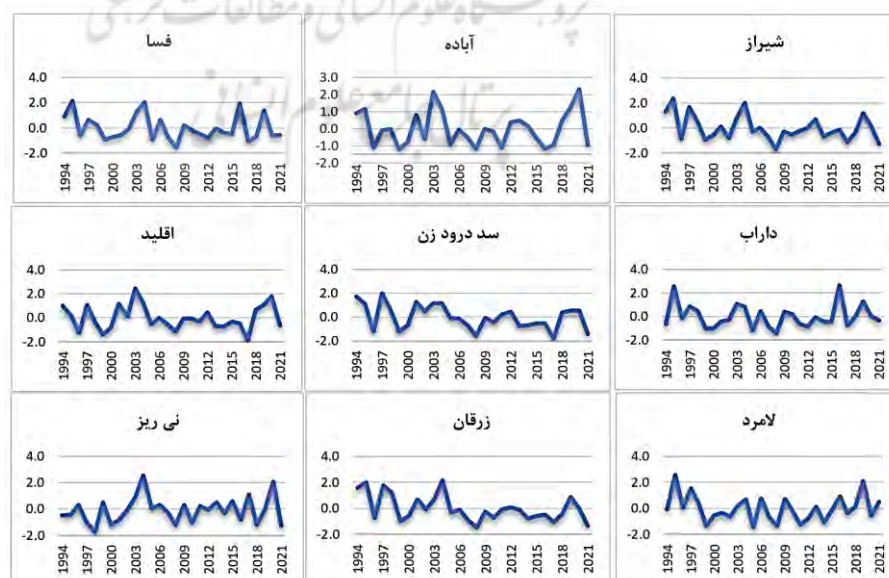
که در این رابطه مقدار P_{NIR} مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۶۷-۸۴۱ نانومتر (باند ۲ مودیس) و مقدار P_{red} به عنوان مقدار بازتاب در باند قرمز با طول موج ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر (باند ۱ مودیس) است. طبق بررسی‌های انجام شده این شاخص توانایی کافی جهت پایش پوشش گیاهی در مناطق نیمه خشک را دارد که در مناطق بسیار وسیع نیز استفاده شده است (Richard and Pocard, 1998).

۳- یافته‌ها

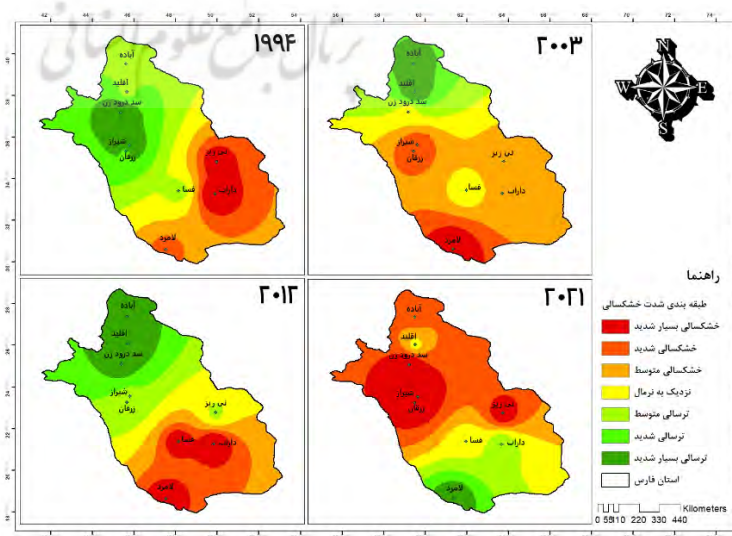
۳-۱- ارزیابی وضعیت خشکسالی استان فارس بر اساس شاخص SPI

در این پژوهش، در ابتدا مقادیر شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۸ ساله مشخص گردید و به صورت نمودار درآمد (شکل ۲). با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در طول دوره آماری مطالعه شده، شدیدترین خشکسالی در اکثر ایستگاه‌ها مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۱ است. یک روند صعودی با شیب تند از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ در ایستگاه‌های نی‌ریز، زرقان و فسا دیده می‌شود که نشان از شدت گرفتن وضعیت خشکسالی طی این سال‌های متوالی دارد. همچنین، یک شیب نزولی بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۶ در اکثر ایستگاه‌ها به جز داراب و لامرد دیده می‌شود که نشان‌دهنده کاهش کوتاه مدت و ناپایدار وضعیت خشکسالی بوده است. بعلاوه، بر اساس این نمودارها مشاهده می‌گردد که بیشترین نوسان مربوط به ایستگاه‌های نی‌ریز و لامرد بوده است. به دلیل آنکه کل ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر فاصله نزدیک به هم هستند؛ تقریباً روند تغییرات شاخص نسبت به بازه زمانی مطالعه شده یکسان بوده است.

شکل ۲: نمایه شاخص استاندارد بارش (SPI) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری (۱۹۹۴-۲۰۲۱).



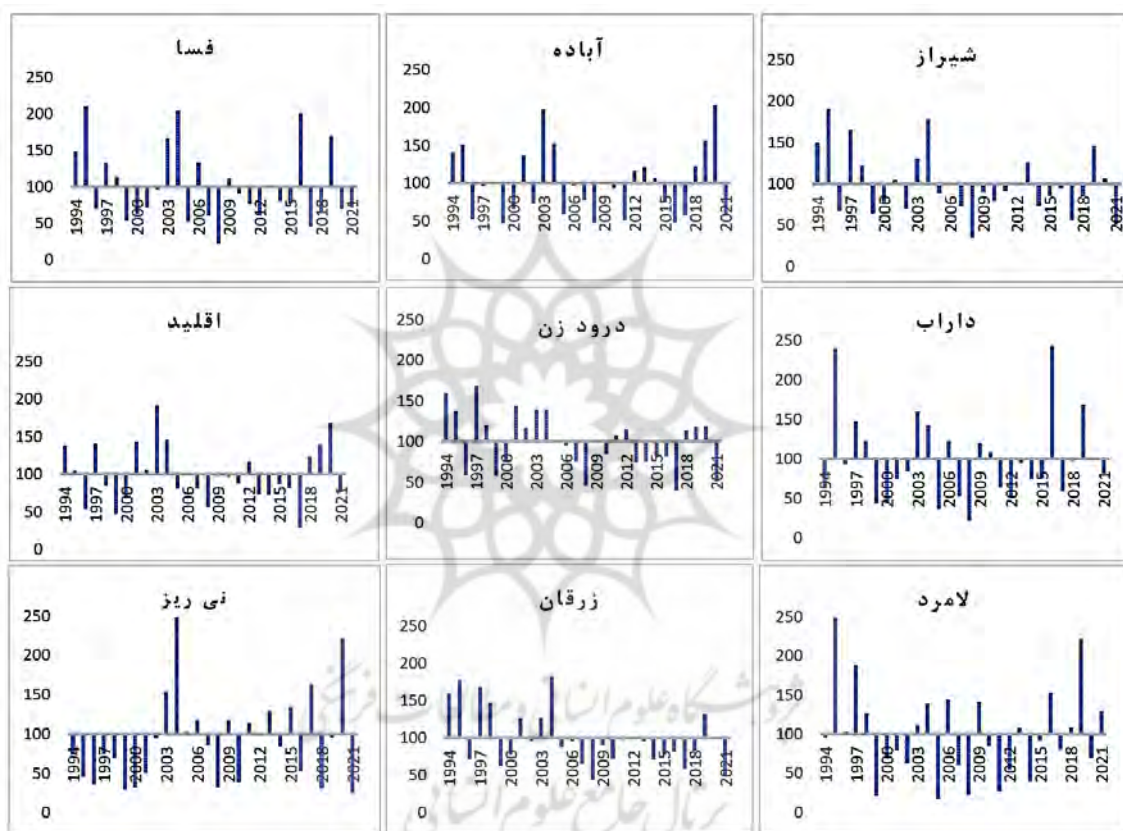
بر اساس مقادیر حاصل شده از شاخص SPI و مشخص نمودن وضعیت خشکسالی‌های استان برای ۹ ایستگاه منتخب، نقشه پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان برای چهار مقطع زمانی مختلف (۱۹۹۴، ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱) ترسیم گردید. با توجه به نقشه‌های تهیه شده از خشکسالی‌های استان فارس بر اساس شاخص SPI (شکل ۳) می‌توان مشاهده نمود که شدت و گستره خشکسالی‌های این ناحیه از ایران در طول حدود سه دهه گذشته افزایش قابل توجهی پیدا کرده است و نه تنها بخش زیادی از استان تحت سیطره خشکسالی قرار داشته است؛ بلکه شدت آن نیز در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. اما نکته مهم‌تر آن است مقدار و شدت خشکسالی‌ها جابه‌جایی مکانی زیادی پیدا کرده است. بر این اساس، بیشترین شدت خشکسالی در سال ۱۹۹۴ مربوط به شهرستان‌های داراب و نی‌ریز بوده است و شهرستان لامرد نیز با خشکسالی شدید روبه‌رو بوده و در رتبه دوم قرار داشته است. در مقابل ایستگاه‌های شیراز، زرقان و سد درودزن دارای وضعیت ترسالی خیلی شدید بوده است که نشان از وضعیت اقلیمی و جوی بهتر این مناطق نسبت به مناطق جنوبی استان در این مقطع زمانی دارد. وضعیت خشکسالی در سال ۲۰۰۳ نسبت به سال ۱۹۹۴ روند افزایشی پیدا کرده؛ ولی از شدت آن کاسته شده است. به طوری که تنها شهرستان لامرد که در جنوبی‌ترین نقطه‌ی استان قرار دارد با خشکسالی خیلی شدید روبه‌رو بوده است. در حالی که اکثر پهنه استان دچار خشکسالی متوسط گشته است. در این سال شمالی‌ترین قسمت‌های استان یعنی شهرستان‌های آباده و اقلید با وضعیت بهتری روبه‌رو بوده‌اند. در سال ۲۰۱۲ پهنه استان از قسمت مرکزی به سمت جنوب دچار وضعیت نرمال تا خشکسالی خیلی شدید بوده و از ناحیه مرکزی به سمت شمال با وضعیت ترسالی متوسط تا بسیار خوب روبه‌رو بوده است. اثرات عامل ارتفاع و ریزش بارش‌های جوی در ارتفاعات از دلایل اصلی آن بوده است. با این وجود، در سال ۲۰۲۱، همان گونه که در نقشه (شکل ۳) مشاهده می‌شود، وضعیت استان از منظر خشکسالی به سمت وضعیت بحرانی حرکت کرده است. به گونه‌ای که می‌توان گفت اکثر پهنه استان دچار وضعیت خشکسالی متوسط تا خیلی شدید بوده است. در این میان شهرستان لامرد تنها منطقه‌ای است که با رنگ سبز مشخص شده که نشان از وضعیت ترسالی آن دارد و از نظر پهنه‌بندی هم روش IDW، به گونه مطلوبی تسری این خشکسالی را در شرق و جنوب شرق استان فارس نشان می‌دهد. البته در غرب استان نیز با شدت کمتری توزیع مکانی این خشکسالی قابل مشاهده است. سایر نقاط به ویژه نی‌ریز، شیراز و سد درودزن به شدت گرفتار خشکسالی بوده که این افزایش شدت حاکی از آن است که در سال‌های پیش رو امکان اینکه برخی از روستاها و حتی شهرهای استان فارس با تنش آبی روبه‌رو شوند، چندان دور از انتظار نیست؛ بنابراین، بر اساس شاخص مذکور، نه تنها شدت و فراوانی خشکسالی‌ها در استان فارس در بازه زمانی مورد مطالعه افزایش پیدا کرده است، بلکه مکان انواع طبقات خشکسالی‌ها از جمله خشکسالی شدید نیز جابه‌جایی مکانی زیادی را تجربه کرده است.



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی شدت خشکسالی (SPI) استان فارس طی دوره (۱۹۹۴-۲۰۲۱)

۳-۲- ارزیابی وضعیت خشکسالی استان فارس بر اساس شاخص PNPI

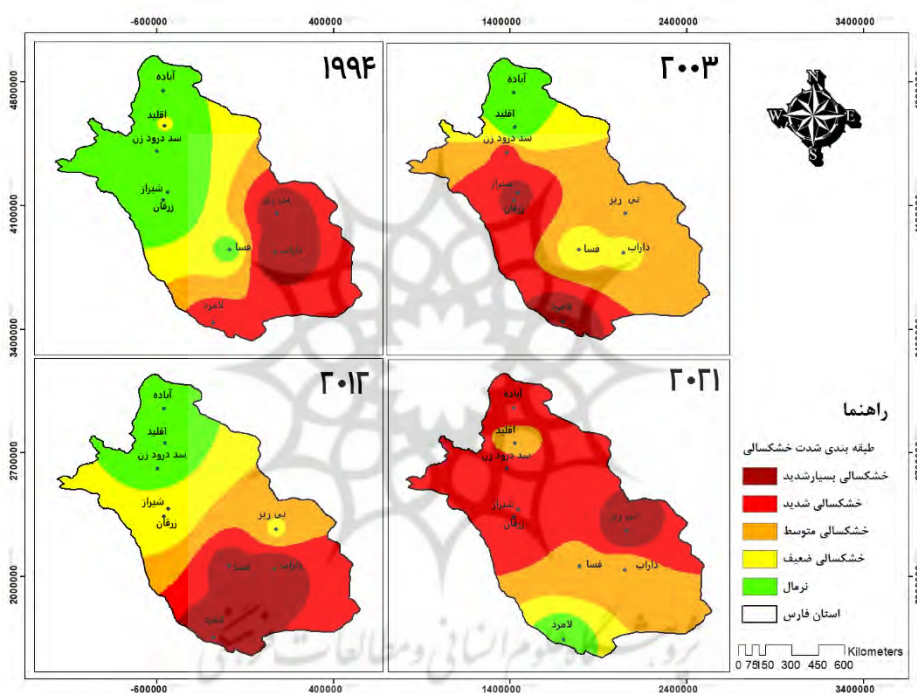
به منظور ارزیابی وضعیت خشکسالی در استان فارس بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (PNPI) طی دوره زمانی مطالعه شده، در ابتدا مقادیر این شاخص بر اساس آمار بارندگی‌های ایستگاه‌های منتخب مشخص گردید و نمودار آن‌ها ترسیم شد (شکل ۴). همان‌طور که اشاره گردید روند تغییرات به دست آمده بر حسب بارش سالانه بوده و مساحت زیر نمودار برای ایستگاه‌های انتخاب شده نشان‌دهنده بزرگی شدت خشکسالی هر ایستگاه است که تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها اتفاق افتاده است و تنها تفاوت آن‌ها در شدت و ضعف این وضعیت است. با استفاده از این شاخص می‌توان به مدت تداوم وضعیت خشکسالی در هر سال پی برد. همچنین، بر اساس نمودارهای ترسیم شده (شکل ۴) وضعیت خشکسالی یا ترسالی در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مطالعه شده حالت پایداری نداشته و تنها در معدود سال‌هایی بارش قابل‌توجهی دیده می‌شود.



شکل ۴: نمودار مقادیر شاخص PNPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری (۱۹۹۴-۲۰۲۱)

بر اساس مقادیر حاصل شده از شاخص (PNPI) و مشخص نمودن وضعیت خشکسالی‌های استان در ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقشه پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان برای چهار مقطع زمانی مختلف (۱۹۹۴، ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱) ترسیم گردید. تجزیه و تحلیل این نقشه‌ها (شکل ۵) نمایانگر آن است که استان فارس در سال ۱۹۹۴ از نظر شدت خشکسالی به سه قسمت تقسیم شده است. شهرستان‌هایی که در سمت غرب و شمال غربی استان قرار دارند دارای وضعیت نرمال بوده و شهرستان‌هایی که در سمت جنوب و جنوب شرقی واقع شده‌اند، دچار خشکسالی متوسط تا خیلی شدید بوده‌اند. در مرکز استان که به صورت یک نوار که از شمال شرقی تا جنوب غربی کشیده شده است، وضعیت خشکسالی ضعیف بوده و تنها شهرستان فسا که به صورت نقطه‌ای سبز در نقشه مشخص است، وضعیتی متمایز داشته

و در حالت نرمال بوده است. در سال ۲۰۰۳ وضعیت پهنه‌بندی استان از نظر خشکسالی تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته است به صورتی که تمامی نواحی استان دچار خشکسالی بوده و تنها شهرستان‌های اقلید و آباده از این وضعیت مستثنی بوده و به حالت نرمال به رنگ سبز در نقشه نمایان شده است. نوار غربی تا جنوبی استان به ویژه شهرستان لامرد در جنوبی‌ترین نقطه استان، با خشکسالی شدیدی روبه‌رو بوده‌اند. سایر شهرستان‌های مورد مطالعه خشکسالی متوسطی را تجربه کرده‌اند. در سال ۲۰۱۲ مناطق جنوبی به شدت تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته و نواحی مرکزی با وضعیت خشکسالی با شدت کمتری مواجه شده‌اند. شهرستان‌های آباده اقلید و مرودشت (ایستگاه سد درودزن) تنها شهرستان‌هایی بوده‌اند که در وضعیت نرمال قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۲۱ کل پهنه استان فارس با خشکسالی چشمگیری روبه‌رو بوده به گونه‌ای که تنها شهرستان لامرد در وضعیت نرمال قرار داشته است و روش IDW، نیز در تطابق با این نتایج بوده و نشان از افزایش شدت خشکسالی در ناحیه جنوب و جنوب شرق استان داشته است. شهرستان نی‌ریز در این سال با بیشترین شدت خشکسالی مواجه بوده و اکثر پهنه استان دارای وضعیت خشکسالی متوسط تا شدید بوده است.

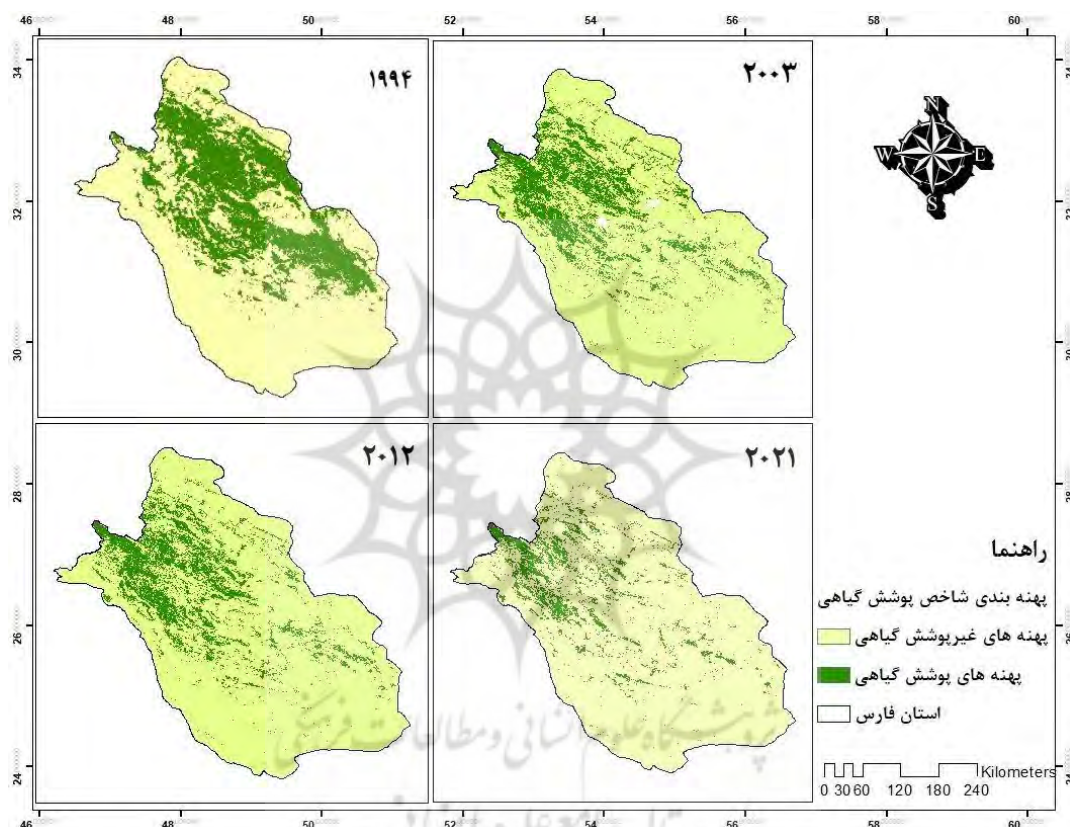


شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی شاخص (PNPI) طی دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۱

۳-۳- اثرات خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در استان فارس

به دلیل حساسیت بالای پوشش گیاهی نسبت به تغییرات اقلیمی، به‌ویژه خشکسالی‌ها، در پژوهش حاضر تغییرات پوشش گیاهی استان فارس در طول دوره آماری مورد مطالعه و به شکل دقیق‌تر در چهار سری زمانی یک ساله مربوط به سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ به دو دلیل مورد بررسی قرار گرفت. یکی به دلیل ارزیابی مقادیر خشکسالی در بخش‌های مختلف استان و صحت‌سنجی شاخص‌های مورد استفاده، و دوم برای درک آثار و پیامدهای مستقیم خشکسالی بر روی اکوسیستم منطقه مورد مطالعه، که بارزترین وجه آن را می‌توان پوشش گیاهی به شمار آورد. با توجه به اینکه بیشترین میزان پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان است، این فصل جهت ارزیابی شاخص NDVI انتخاب شده است. نتایج نشان داد که بر اساس نقشه NDVI، بخش‌های شمالی و شمال غربی استان دارای پوشش گیاهی نسبتاً

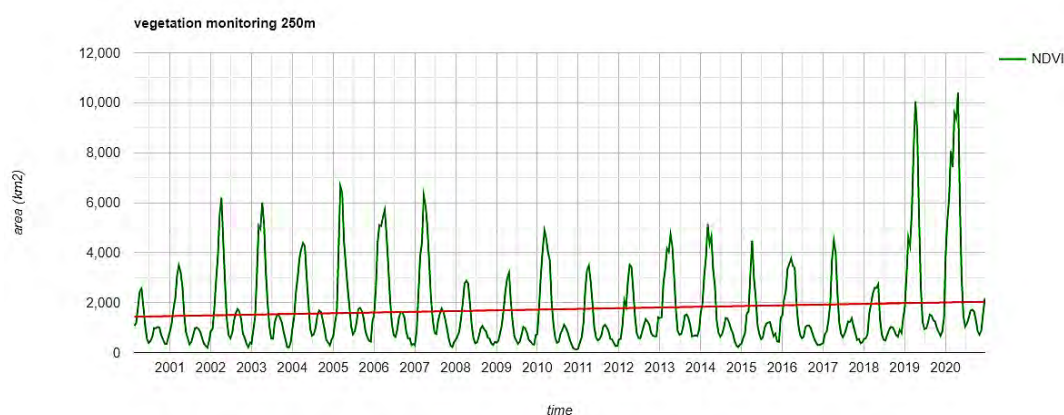
متراکم در سال ۱۹۹۴ بوده است. اما بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه کمترین تراکم پوشش گیاهی را دارا بوده است و اگر پوششی مشاهده می‌شود به صورت پراکنده و با فاصله‌ی بسیار زیاد در گستره استان پخش است (شکل ۶). در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲ میزان پوشش گیاهی منطقه نسبت به سال پایه دچار ضعف گشته است. بر اساس نقشه‌های پوشش گیاهی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، در قسمت نوار شمال شرقی - جنوب شرقی هر چه به سمت جلو آمده از میزان پوشش گیاهی این قسمت هم کاسته شده است. در سال ۲۰۲۱ به وضوح می‌توان کاهش چشمگیر پوشش گیاهی منطقه را در نقشه دید به صورتی که که تنها پهنه‌هایی از استان که پوشش گیاهی سالمی دارد قسمت غرب و شمال غربی استان است (شکل ۶). بدین روی، اثرات شدید خشکسالی را بر روی تراکم و وسعت پوشش گیاهی استان در بازه زمانی مورد مطالعه را به وضوح می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۶: نقشه تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI طی دوره آماری (۱۹۹۴-۲۰۲۱)

در ادامه برای نمایش هرچه بهتر تغییرات پوشش گیاهی از سری زمانی در سامانه گوگل ارث انجین کمک گرفته شد و نتایج آن در قالب نمودار در شکل (۷) نمود پیدا کرده است. با توجه به شکل (۷) مشخص گردید که بیشترین مساحت پوشش گیاهی طی دوره آماری مربوط به فصل بهار و ماه‌های اسفند تا اردیبهشت و کمترین مساحت پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان و ماه‌های مرداد تا شهریور است. همچنین بیشترین میزان پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با مساحتی حدود ۱۰ هزار کیلومتر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دیده می‌شود و کمترین میزان پوشش گیاهی نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ با مساحتی حدود ۷۰۰ کیلومتر در ماه مرداد بوده است. لازم به ذکر است نمودار سری زمانی پوشش گیاهی در تطابق با نقشه پوشش گیاهی است؛ با این اختلاف که در شکل شماره (۶) وضعیت پوشش

گیاهی تنها در فصل تابستان در نظر گرفته شده است؛ ولی سری زمانی تمام فصول را شامل می‌شود تا تغییرات به صورت مشخص‌تری قابل نمایش باشد.



شکل ۷: نمودار سری زمانی پوشش گیاهی ماهانه طی دوره آماری (۲۰۰۱-۲۰۲۰)

۴- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم و به تبع آن خشکسالی‌های ناشی از آن یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی حال حاضر اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک سراسر کره زمین از جمله ایران، به عنوان اکوسیستم‌های حساس و شکننده، است که در آینده نه چندان دور تبعات و پیامدهای ناشی از آن از جمله ناعادلی و زوال در سیستم‌های اکولوژیک از یک سو و چالش‌ها و مشکلات حاد اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی به شکل غیرمترقبه و دور از انتظار پدیدار خواهد شد. چرا که خشکسالی پدیده‌ای مرموز، خزنده و پیچیده بوده که نقش و عملکرد و همچنین آثار و پیامدهای آن، بر خلاف مخاطراتی چون زلزله و سیل، ناگهانی و در بازه زمانی کوتاه نیست و البته گستره‌های بسیار وسیعی را هم در بر می‌گیرد. درک و آگاهی این پدیده پیچیده و بسیار مرموز می‌تواند آمادگی و تاب‌آوری جوامع انسانی را افزایش داده و از تبعات سهمگین اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و حتی ژئوپولیتیکی آن بکاهد. در غیر این صورت، خشکسالی در ابتدا به ناعادلی و آنومالی در سیستم‌های اکولوژیک و سیستم‌های اجتماعی و در نهایت به زوال هر دو منجر می‌گردد. استان فارس به دلیل وسعت زیاد، تفاوت در موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیکی نواحی مختلف آن از یک سو و موقعیت قرارگیری این نواحی در برابر توده‌های آب و هوایی مختلف، منطقه‌ای بسیار مناسب جهت بررسی و ارزیابی تغییرات اقلیمی، به‌ویژه خشکسالی است. به همین دلیل، در این پژوهش استان مذکور جهت بررسی خشکسالی از نظر فراوانی، شدت و گستره مناطق مختلف آن در بازه زمانی حدود ۳۰ سال انتخاب شده است. برای انجام این امر از دو شاخص SPI و PNPI و جهت صحت‌سنجی این شاخص‌ها و پیامدهای خشکسالی در این استان از شاخص NDVI استفاده شده و همچنین برای نمایش هرچه بهتر تغییرات پوشش گیاهی از سری زمانی در سامانه گوگل ارث انجین کمک گرفته شده است. بر اساس نتایج حاصله، خشکسالی‌های اقلیمی در طول سه دهه گذشته تداوم داشته و شدت و فراوانی آن‌ها نیز افزایش پیدا کرده است. در واقع، با تهیه و مقایسه نقشه‌های خشکسالی مبتنی بر شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص درصد نرمال بارش (PNPI) مشخص گردید که هر دو شاخص مناسبی جهت ارزیابی وضعیت خشکسالی در این منطقه از ایران بوده است. با این تفاوت که شاخص (SPI) شدت خشکسالی را بهتر نمایش می‌دهد. همچنین، شاخص SPI بر روی گستره‌های حداقلی و متوسط خشکسالی تأکید دارد، اما شاخص PNPI ضمن ارائه طبقه‌بندی بهتر از شدت خشکسالی، گستره‌های سرزمینی حداکثری را برای نمایش خشکسالی در یک منطقه ارائه می‌کند. همچنین، بر اساس نتایج حاصله از پژوهش

حاضر مشاهده گردید که خشکسالی پدیده‌ای پایدار برای این استان نبوده و طی این دوره شدت آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر و از سالی به سال دیگر تغییر یافته است. با این وجود می‌توان گفت که قسمت‌های شمال، شمال غرب و غرب استان در وضعیت بهتری قرار داشته‌اند و بخش‌های جنوب، جنوب شرق و شرق استان دچار خشکسالی به نسبت شدیدتری در طول دوره آماری مورد مطالعه بوده‌اند. بدین ترتیب، بر اساس نتایج حاصله از به کارگیری شاخص SPI، شدت، فراوانی و گستره خشکسالی‌ها در طول حدود ۳ دهه گذشته افزایش چشمگیری پیدا کرده است. هرچند که شاخص PNPI شدت و گستره خشکسالی‌ها را بسیار بیشتر از شاخص قبلی نشان می‌دهد. به علاوه، بر اساس این دو شاخص نه تنها گستره، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها افزایش قابل توجهی پیدا کرده است، بلکه جابه‌جایی مکانی در شدت و فراوانی خشکسالی‌ها نیز در محدوده استان فارس روی داده است به گونه‌ای که شدت خشکسالی‌ها از جنوب به سمت بخش‌های شمالی منطقه متمایل شده است. دلیل آن به نظر در ارتباط با تغییر در ویژگی توده‌های هوای مرطوب وارده به ایران است. بدین معنی که توده‌های آب و هوای موسمی، بر خلاف توده‌های آب و هوای مدیترانه‌ای، در سال‌های اخیر فعالیت بیشتری داشته و بخش‌های جنوب و جنوب شرق ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند. بعلاوه، بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده می‌توان به وضوح مشاهده نمود که تغییرات زیادی در تراکم و وسعت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در طول دوره حدود ۳۰ ساله دیده می‌شود که مؤید ارزیابی شاخص‌های خشکسالی به کار گرفته شده در این پژوهش است. در واقع، نقشه‌های استاندارد شده پوشش گیاهی انطباق کاملی با نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی شدت خشکسالی در هر دو شاخص را نشان می‌دهد. به سخن دیگر، نتایج حاصل از تغییرات پوشش گیاهی نقشه NDVI طی دوره مورد مطالعه و انطباق آن با نقشه‌های پهنه‌بندی مبتنی بر شاخص‌های به کار گرفته شده در این تحقیق آشکار می‌سازد که دو شاخص مورد استفاده برای تعیین گستره، شدت و فراوانی در استان فارس شاخص‌های مناسب هستند که نتیجه خشکسالی‌های این دوره را می‌توان در کاهش شدید پوشش گیاهی به وضوح مشاهده نمود. نتایج بررسی سری زمانی پوشش گیاهی نیز نشان داد بیش‌ترین مساحت پوشش گیاهی طی دوره آماری مربوط به فصل بهار و ماه‌های اسفند تا اردیبهشت و کمترین مساحت پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان و ماه‌های مرداد تا شهریور بوده است. به عبارتی بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ با مساحتی حدود ۱۰ هزار کیلومتر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دیده می‌شود و کمترین مقدار پوشش گیاهی نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ با مساحتی حدود ۷۰۰ کیلومترمربع در ماه مرداد بوده است. همچنین مشخص شد روش درون‌یابی IDW برای ارزیابی شدت خشکسالی در استان فارس از دقت و اعتبار بالایی برخوردار است و در صورت استفاده از داده‌های معتبر و کافی می‌تواند به خوبی گویای میزان شدت خشکسالی در این استان باشد. بدین روی و بر اساس تحلیل داده‌ها، نقشه‌ها و نتایج حاصله می‌توان بیان داشت که اگرچه پدیده تغییر اقلیم و به تبع آن خشکسالی بیشتر مناطق کره زمین را در چند دهه اخیر تحت تأثیر قرار داده است، اما ویژگی‌های آن از جمله شدت، مدت، فراوانی و گسترش آن در مناطق مختلف کره زمین، حتی در یک ناحیه نسبتاً کوچک مانند استان فارس، به یک شکل نبوده و تفاوت‌های معناداری را نشان می‌دهد. از این‌رو، بایستی در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای به این تفاوت‌ها توجه داشت.

۵- منابع

- ۱- آسیایی، مهدی. ۱۳۸۵. شاخص‌های خشکسالی. تهران: انتشارات سخن‌گستر.
- ۲- اژدری مقدم، مهدی. خسروی، محمود. حسین پور نیکنام، حسین. جعفری ندوشن، احسان. ۱۳۹۱. پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل فازی - عصبی، شاخص‌های اقلیمی، بارندگی و شاخص خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: زاهدان). نشریه‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، ۷۲-۶۱.
- ۳- بخشنده، لایلا. زینالی، بتول. صلاحی، برومند. ۱۳۹۸. تحلیل هم‌دیدگی خشکسالی‌های شاخص (SPI)، مطالعه موردی (اردبیل و خلخال). دومین همایش ملی اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی.
- ۴- بذاق جمالی، جواد. جوانمرد، سهیلا. شیر محمدی، رضا. ۱۳۸۱. پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با استفاده از نمایه استاندارد شده بارش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷، ۲۱-۴.
- ۵- بدراق نژاد، ایوب. عربی، زهرا. ۱۴۰۰. سنجش و تحلیل همبستگی سری زمانی خشکسالی‌ها مبتنی بر تصاویر ماهواره مودیس و شاخص اقلیمی بارش استاندارد شده (SPI) در دامنه شرقی زاگرس. مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۴.
- ۶- بذرافشان، ام البنین. محسنی ساروی، محسن. معینی، ابولفضل. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI). نشریه‌ی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. دوره ۱۸، شماره ۳، ۴۰۷-۳۹۵.
- ۷- جوانمرد، سهیلا. آسیایی، مهدی. ۱۳۸۳. فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم‌شناسی، انتشارات سخن‌گستر.
- ۸- جهانگیر، محمد حسین. رحیمی، فراز. ۱۳۹۶. ارزیابی اثر تغییر اقلیم در استان البرز با استفاده از شاخص‌هایی خشکسالی ناهنجاری بارندگی (RAI) و (PNPI). سومین همایش بین‌المللی معماری عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم.
- ۹- چایچی، مریم. شهبانی فر، مهدی. ۱۳۸۷. پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای در استان تهران. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- ۱۰- چناری، محمد. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات چند نمایه مختلف خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف در نمونه‌های اقلیمی البرز جنوبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۱۱- رضیئی، طیب. شکوهی، علی رضا. ۱۳۹۰. شناسایی برازنده تابع توزیع احتمال بر داده‌های بارش مناطق مختلف آب و هوایی در مقیاس‌های زمانی مختلف (SPI) ایران به منظور محاسبه نمایه بارش استاندارد. اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم ایران، کرج، ایران، ۳۹-۲۸.
- ۱۲- زندی، رحمان. انتظاری، علی‌رضا، باعقیده، محمد. خسروی، مریم. ۱۴۰۰. ارزیابی خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی ایران. پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۱۲، شماره ۲، ۴۹-۳۶.
- ۱۲- شکور، علی. شرفی، حجت‌الله. نخعی، خاطره. جعفری، مهتاب. ۱۳۹۵. رتبه‌بندی خشکسالی روستاها با رویکرد ادراک محیطی از نظر ساکنان روستایی مطالعه‌ی موردی: روستاهای شهرستان جیرفت، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره ۲۳.
- ۱۳- عربی، زهرا. قربانی سالخورد، رضوان. درویشی، یوسف. ۱۴۰۱. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی سری زمانی خشکسالی‌ها مبتنی بر تصاویر ماهواره ترآ و شاخص (SPI) در دامنه زاگرس با تأکید بر عملکرد اقتصادی جوامع روستایی. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۶، شماره ۷۹.
- ۱۴- غلامی، مصیب. علی بیگی، امیر حسین. ۱۳۹۳. ارزیابی ریسک خشکسالی، مطالعه‌ی موردی: شهرستان سر پل ذهاب، پژوهش‌های روستایی، دوره ۵، شماره ۳، ۶۳۸-۶۱۱.

- ۱۵- فرج‌زاده، منوچهر. ۱۳۷۶. پیش‌بینی احتمالاتی خشکسالی در ایران، مجله‌ی مدرس علوم انسانی، شماره ۴.
- ۱۶- کمالی، غلامعلی و همکاران. ۱۳۸۸. هواشناسی کاربردی، انتشارات پژوهشکده هواشناسی و رجا تهران.
- ۱۷- مزیدی، احمد. برزگر مروستی، زهرا. ۱۳۹۴. بررسی وضعیت خشکسالی شهر مروست با استفاده از شاخص‌های SPI و PNPI و اثرات آن بر محصول گندم. اولین کنفرانس بین‌المللی علوم جغرافیایی.
- ۱۸- معاضد، هادی. پناهی، مصطفی. وطن آرا، مجتبی. ۱۳۸۸. بررسی و مطالعه‌ی خشکسالی های استان کرمانشاه با تأکید بر منابع آبی. دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر.
- ۱۹- محمود زاده، عبدالحسین. ۱۳۸۷. بررسی همبستگی شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI در منطقه فریدون شهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- ۲۰- نوریان، علی محمد و همکاران. ۱۳۸۱. گزارش ملی مدیریت ریسک بلایای طبیعی، سازمان هواشناسی کشور.
- 21- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G. and Sutera, A. (2003): Spatial variability of drought: an analysis of SPI in Sicily. *Water Resour. Manag.* 17, 273-296.
- 22- Hayes, M., Svoboda, M., Wilhite, D., Vanyarkho, O., 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 80(3):429-438.
- 23- Hellden, U., Christian, T., 2008. Regional Desertification: a Global Synthesis, *Global and Planetary Change*, Vol. 64, No. 3-4, PP. 169-176.
- 24- Jeongeun, W., Jeonghyeon, C., Okjeong, L., Sangdan, K., 2020. Copula-based Joint Drought Index using SPI and EDDI and its application to climate change. *Weather and Climate Extremes* Volume 26.
- 25- Mishra, A. K., Singh, V.P., 2011. Drought modeling-A review, *Journal of Hydrology*. Volom 403, 157-175.
- 26- Omoniyi Adejuwon, J., Dada, E., 2021. Temporal analysis of drought characteristics in the tropical semi-arid zone of Nigeria. *Scientific African* Volume 14.
- 27- Paulo, A.A., Pereira, L.S., 2009. Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains, *J. Water Resour Manage*, volom 10, 23-69.
- 28- Richard, Y., Pocard, I., 1998. A Ststistical Study of NDVI Sensitivity to Seasonal and Interannual Rainfall Variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (15): 2907-2920.
- 29- Sathya, L., Lalitha, R., 2019. Performance of Drought Indices in Trichy Region, Tamil Nadu. *Current Journal of Applied Science and Technology*.
- 30- Sergio, M., Vicente, S., 2007. Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region, *Natural Hazards*, Vol. 40, No. 1, PP. 173-208.
- 31- Steineman, A., 2003. Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*. Velom 39. 1217-1233.
- 32- Swain, s., Patel, P., Nandi. N., 2017. Application of SPI, EDI and PNPI using MSWEP precipitation data over Marathwada, India. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- 33- Tfwala, C.M., Van Rensburg, L.D., Schall, R., Dlamini, P., 2018. Drought dynamics and interannual rainfall variability on the Ghaap plateau, South Africa, 1918-2014. *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 107, Pages 1-7.
- 34-Verhoeven, E., Wardle, G.M., Roth, G.W., Greenville, A.C., 2022. Characterising the spatiotemporal dynamics of drought and wet events in Australia. *Science of The Total Environment* Volume 846.
- 35- Wilhite, D. A., 1992. Preparing for Drought: A Guidebook for Developing Countries. Climate Unit, United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya.

Temporal-spatial evaluation of the drought process and its effects on vegetation changes in Fars province

Mohammad Sharifi Pichon^{1*}, Assistant Professor of geography, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

Zahra Behzadi Shahrabak, Master's student of environmental hazards, Department of geography, Yazd University, Yazd, Iran

Forough Mohammadi Rauri, Master student of Environmental Climatology, Department of geography, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Our purpose is to evaluate the drought situation in Fars province during the last three decades. Fars province is a suitable region for evaluating climate changes, especially drought, due to its extent, the difference in geographical location and topographic features of its different areas, and the situation of this area among different weather masses. Thus Fars province chooses (9 selected stations) to investigate the drought during a statistical period of 28 years (1994-2021). For this, the SPI and PNPI indices were used. To verify their validity, and the consequences of drought, the NDVI index was used. To validate these indices and the effects of drought in this province, as well as to extract the NDVI index and the NDVI time series, MODIS satellite images, and Terra sensors were used. The results showed that climatic droughts continued during this period along with the difference that the index (SPI) shows the severity of drought better and emphasizes minimum ranges, and the PNPI index displays the maximum range while providing a better classification of drought severity. In addition, based on the results of these two indicators, not only the extent, intensity, and frequency of droughts have increased significantly, but also a spatial shift in the intensity and frequency of droughts within Fars province was observed. The reason seems to be related to the change in the characteristics of moist air masses entering Iran.

Keywords: Drought, Fars province, PNPI index, SPI index, NDVI index

*Email: msharifi@yazd.ac.ir