

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، چاه‌های پیزومتری، خشک‌سالی، منابع آب زیرزمینی

مقدمه

عدم کفایت بارش برای ادامه‌ی حیات گیاهی و جانوری از ویژگی‌های ذاتی آب‌وهوای مناطق خشک می‌باشد، اما کاهش غیرمنتظره بارش یا بارش‌های کمتر از میانگین درازمدت در مدت معین در منطقه‌ای که کاملاً خشک نیست، خطرهای زیادی به وجود می‌آورد که از این پدیده، به خشکسالی تعبیر می‌شود [۲۴]. خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که به محض وقوع، گستره جغرافیایی وسیعی را در بر می‌گیرد و ممکن است تا مدت طولانی یک منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده و آثار ناشی از آن تا مدت‌ها در منطقه بماند. این پدیده طبیعی مرتبط با هواشناسی و هیدرولوژی است که در دامنه وسیعی بر پارامترهای محیطی اثراتی نظیر کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشت زمین می‌گذارد. به عبارتی فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی، پوشش گیاهی، زندگی انسان، حیات وحش و اقتصاد محلی و ملی شدیداً متأثر از این پدیده هستند و از طرفی با فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، دامداری، صنعتی و غیره تشدید می‌شود [۲]. خشکسالی که وضعیتی از کمبود بارش و افزایش دماست، در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد و پدیده‌ای برگشت‌پذیر است [۲۶]. خشکسالی را به چهار نوع اصلی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی - اجتماعی می‌توان دسته‌بندی کرد [۷].

خشکسالی هواشناسی، بیشتر از کشاورزی و هیدرولوژیکی به وقوع می‌پیوندد [۲۳]. شاخص‌های خشکسالی به‌عنوان کلیدی جهت کمی‌سازی تعریف خشکسالی در اجرای برنامه‌های خشکسالی به شمار می‌روند [۲۷ و ۲۸]. برای تعیین ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی، تاکنون شاخص‌های متعددی ارائه شده است. یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی ساده و روشنی از خصوصیات اصلی آن یعنی تداوم، شدت و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۴ به علت سادگی محاسبه، استفاده از داده‌های قابل‌دسترس بارندگی،

تحلیل مکانی و پایش خشکسالی اقلیمی با سه شاخص ZSI، SPI و EDI (مطالعه موردی: استان اصفهان)

علی یزدان‌پناهی^۱، خالد احمدالی^{۲*}، مهدی گل‌افشانی^۳
 تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۰۷

چکیده

خشکسالی و کمبود آب می‌تواند سبب ایجاد بحران‌های جدی در زندگی انسان‌ها شود. خشکسالی پدیده‌ای برگشت‌پذیر است که می‌تواند به طور غیرمستقیم سبب بحران‌های اجتماعی، به خطر افتادن بهداشت عمومی، تأثیرات منفی بر محیط‌زیست و اکولوژی و ... گردد. در این مطالعه به منظور تحلیل خشکسالی اقلیمی استان اصفهان، از داده‌های بارش ۲۱ ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ استفاده شد و شاخص‌های SPI، EDI و ZSI با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. جهت پهنه‌بندی مقادیر محاسبه شده شاخص‌های مذکور، از نرم‌افزار ArcGIS10.3 و تخمین گر کریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که شدت هر سه شاخص مورد استفاده متفاوت بود. طوری که در نتایج شاخص SPI، مساحت کلاس‌های خشکسالی متوسط و شدید از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ به ترتیب از صفر به ۲/۷ و ۱۶/۱ درصد افزایش داشت. نتایج شاخص ZSI در کلاس ترسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در سال ۱۳۹۶ به ترتیب کاهش ۹۵/۹، ۹۵/۱ و ۹۷/۳ درصدی نسبت به سال داشته است. در شاخص EDI، عمده مساحت استان در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به ترتیب در کلاس‌های ترسالی بسیار شدید، ترسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید به ترتیب با درصد مساحت ۳۳/۶، ۴۹/۸ و ۴۴/۶ قرار گرفتند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- استادیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، Email: khahmadauli@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل های مکانی شناخته می شود [۸]. با توجه به اهمیت خشکسالی، مطالعات داخلی و خارجی فراوانی در این راستا انجام شده است که می توان به برخی از مهم ترین مطالعات انجام شده در این زمینه اشاره نمود.

لوکاس و همکاران [۱۳] در تحقیقی با استفاده از داده های ۲۸ ایستگاه با طول آماری ۴۰ سال، اقدام به محاسبه ی سه شاخص بارش استاندارد شده، ناهنجاری های بارش^۱ (RAI) و شاخص Z بارندگی پرداختند. نتایج نشان داد که هر سه شاخص مورد استفاده، کارایی یکسانی را در تعیین شدت و تداوم خشکسالی دارند. Xia و همکاران [۲۹] از شاخص SPI برای تجزیه و تحلیل تنوع مکانی و زمانی خشکسالی در پاکستان، طی دوره آماری (۱۹۶۰-۲۰۰۷) در مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده نمودند. نتایج حاصل از تحقیق آن ها نشان داد که خشکسالی های بزرگ و گسترده در نواحی بزرگ پاکستان در حال رخ دادن است. کیم و همکاران [۱۲] از شاخص SPI به منظور بررسی الگوی زمانی و مکانی خطر خشکسالی در کره جنوبی استفاده کردند و استفاده از این روش در برآورد خطر در مناطق مورد مطالعه را خوب ارزیابی کردند. پارامودیس و همکاران شاخص بارش استاندارد شده SPI در اندونزی را ارزیابی کردند. شه و همکاران [۲۵] در منطقه سورت واقع در گجرات هند شاخص خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه را در مقایسه با مقدار واقعی خشکسالی ایستگاه پیدا کردند و نتایج روش SPI نشان دهنده تنوع به ترتیب ۵۰ درصد نرمال روبه مرطوب و نرمال روبه خشک است.

نتایج پرامودیا و انیشی [۲۱] نشان داد که شدت خشکسالی در سال ۲۰۱۵ بیشتر از باقی سال ها بوده و به وضوح ناهنجاری اقلیمی طی دوره مطالعه قابل رویت است.

بروغنی و همکاران [۵] به تحلیل ارتباط خشکسالی های هیدروژئولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخص های SWI و SPI پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که خشکسالی اقلیمی و هیدروژئولوژیکی از نظم خاصی تبعیت نمی کند و بیشترین شدت و فراوانی خشکسالی در غرب دشت سبزوار بوده است. شرق دشت از شرایط نرمال و ترسالی برخوردار بوده و خشکسالی هیدروژئولوژیکی با یک سال تأخیر نسبت به خشکسالی اقلیمی اتفاق می افتد. صالحوند و همکاران [۲۳] به پهنه بندی خشکسالی با شاخص های (CZI^۲، DI^۳ و SPI) در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که ضرایب همبستگی ایستگاه های این استان، مقادیر نسبتاً بالایی دارند. بهشتی راد و بهشتی راد [۳] به

بررسی کارایی روش های پهنه بندی شدت خشکسالی در استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ از سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و معکوس فاصله، از عملکرد مناسب تری برخوردار است. خرم بخت و همکاران [۱۱] در تحقیقی به ارزیابی شاخص های SPI، CZI، ZCI و RDI در منطقه اردستان پرداختند. نتایج نشان داد که دوام خشکسالی بر حسب ZCI بیش از سایر شاخص هاست همچنین شاخص SPI سختی بیشتری را نمایان می سازد. نصر الهی و همکاران [۱۹] به بررسی خطر خشکسالی در استان سمنان با استفاده از شاخص SPI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در گام زمانی سه ماهه، مناطق شمالی و مرکزی و در گام زمانی ۱۲ ماهه، مناطق جنوبی استان از خطر خشکسالی بیشتری برخوردارند. حسینی و همکاران [۹] در تحلیل خشکسالی های شمال غرب ایران، با استفاده از شاخص اکتشاف خشکسالی^۵ (RDI) گزارش کردند که تمامی ایستگاه های مورد مطالعه طی دوره آماری موجود، خشکسالی ها را به تناوب تجربه نموده اند. بروغنی و همکاران [۴] از شاخص های PNI، SPI و ZSI به منظور پهنه بندی خشکسالی و تعیین بهترین شاخص در استان خراسان رضوی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ، جهت پهنه بندی خشکسالی مناسب تر بوده است. در این پژوهش با توجه به اهمیت مطالعه ی پدیده خشکسالی در سطح کشور خصوصاً در استان اصفهان، با محاسبه ی شاخص های مختلف خشکسالی هواشناسی (شاخص های ZCI، SPI و EDI) از ۲۱ ایستگاه سینوپتیک برای دوره آماری (۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶) با طول دوره آماری مشترک ۲۵ ساله، ضمن ارزیابی شدت خشکسالی و بررسی وضعیت خشکسالی استان، مناسب ترین شاخصی که وضعیت خشکسالی را بیان می کند، تعیین شده و نهایتاً نقشه های متغیر فضایی شدت خشکسالی بر اساس شاخص های استفاده شده در ابتدا، وسط و انتهای دوره مورد بررسی، با استفاده از بهترین تخمین گر ترسیم شد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان که در مرکز ایران واقع شده، ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت کشور است که مساحتی حدود ۱۵۷ کیلومتر مربع را دارد و بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی نصف النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع استان از سطح حدود ۱۶۰۰ متر است. بر اساس دوره ی آماری (۶۵ ساله)، میانگین سالانه حداکثر دمای هوا، ۲۳/۵ درجه سانتی گراد و میانگین سالانه حداقل آن ۹/۲ درجه سانتی گراد است. همچنین میانگین سالانه بارش در بازه زمانی مذکور در این

1. Rainfall Anomaly Index
2. China-Z index
3. Deciles Index
4. Percent of Normal Index

5. Reconnaissance Drought Index

اصفهان، ۱۵۵/۸ می باشد. شکل (۱) موقعیت استان و ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

در این تحقیق داده‌های مربوط به بارش استان از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. با توجه به این که از ۲۱ ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده، بعضی ایستگاه‌ها در سال‌های اخیر تأسیس شده و یا دارای آمار ناقصی بوده، پس از برطرف نمودن نقص آماری، طول دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶) انتخاب شد. برای محاسبه شاخص‌های ZSI، SPI و EDI، ابتدا داده‌های مربوط به بارش از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ به صورت سالانه میانگین گرفته شد. برای تبدیل اطلاعات این پایگاه داده به فایل متنی (TXT) با برنامه نویسی در نرم افزار Grads به فرمت قابل استفاده در نرم افزار MATLAB تبدیل شد و محاسبات مربوط به شاخص‌های مذکور برای دوره آماری مورد مطالعه انجام گرفت. برای ترسیم نقشه‌های حاصل از محاسبه شاخص‌های ZSI، SPI و EDI، از نرم افزار ArcGIS10.3 و تخمین گر کریجینگ که بر اساس مرور منابع بهترین تخمین گر برای پهنه بندی خشکسالی است، استفاده شد.

شاخص‌های مورد استفاده

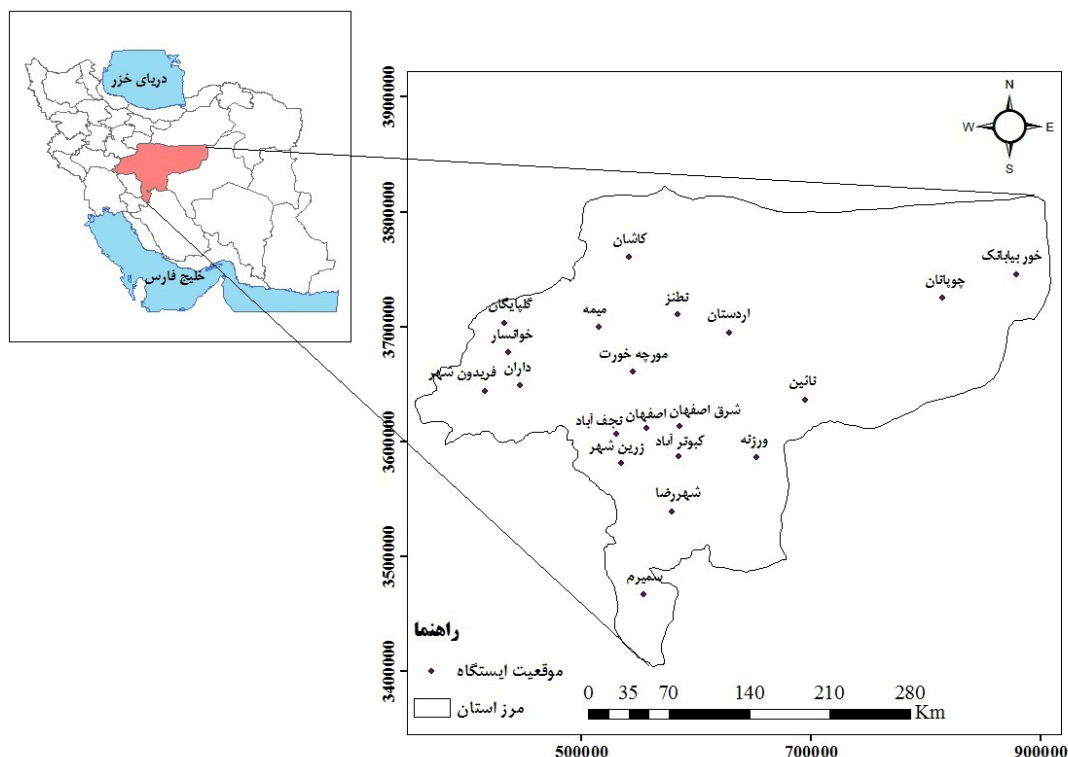
شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

این شاخص توسط مک و همکاران [۱۵] در دانشگاه ایالت کلرادو ارائه شد. اساس این شاخص محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. برای محاسبه شاخص SPI می‌توان بارندگی

ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه ماهه، شش ماهه و...) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پیرسون تیب سه برازش داد [۱]. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود. به طوری که استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود [۱۶]. مقادیر مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. در این روش مقادیر شاخص SPI با استفاده از رابطه (۱) استخراج و با توجه به جدول (۱) شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی طبقه بندی می‌شود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

که در آن SPI شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده، P_i میانگین بارندگی هر سال، $\bar{P}$ میانگین بارندگی کل سال‌ها، SD انحراف معیار کل سال‌ها. برای محاسبه شاخص SPI می‌توان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر محدوده زمانی دلخواه را با استفاده از یک توزیع مناسب توزیع گاما و یا پیرسون تیب سه برازش داد. زمانی که مقادیر بارندگی هر گام زمانی برای هر ماه از سال به تابع توزیع گاما برازش داده شد، تابع بدست آمده نشان دهنده احتمال تجمعی یک رویداد بارش برای آن ماه از دوره آماری است که ایجاد طبقه بندی



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

مقادیر SPI را ممکن می‌سازد. پس از محاسبه SPI، طبقه‌بندی کلاس‌های شدت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI بر مبنای جدول (۱) صورت گرفت.

جدول ۱: طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI [۱۵]

طبقه خشکسالی و ترسالی	مقادیر SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
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

شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)

شاخص خشکسالی مؤثر توسط یوان و ویلهیت [۹] ارائه گردید. در این شاخص خشکسالی به‌طور روزانه پایش می‌شود. اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص بارش مؤثر (EP) روزانه با یک تابع کاهشی وابسته به زمان می‌باشد. به عبارت دیگر EP هر روز، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ماقبل خود می‌باشد که در آن بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر وزن بیشتری را دارا می‌باشند. شاخص خشکسالی مؤثر شاخصی است توانمند که از داده‌های روزانه در تعریف خشکسالی و تخمین کمبود آب بهره می‌برد [۲۲]. این شاخص با رفع نقاط ضعف فوق، در تعیین تداوم زمانی و پایش خشکسالی‌ها و تفکیک مناسب‌تر رده‌های خشکسالی موفق‌تر عمل می‌کند [۹]. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره فرضی کمبود آب آغاز می‌شود و در ادامه محاسبات، دوره واقعی آن تعیین خواهد شد. این دوره فرضی می‌تواند ۳۶۵ (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره طولانی) و یا ۱۵ روز (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. در این تحقیق دوره ۳۶۵ روزه (که دوره بارندگی قالب جهانی و حاکم بر کشور است) انتخاب شد. به منظور محاسبه شاخص EDI می‌توان از روابط زیر استفاده نمود [۱۷]:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PR N_j)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j (1/N)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$DEP = EP - MEP \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط فوق، PRN_j بارش مورد نیاز برای بازگشت به شرایط نرمال، $ST(PR N_j)$ انحراف استاندارد مقادیر PRN_j در هر روز، EP بارش مؤثر و MEP میانگین بارش مؤثر، n اشاره به تداوم واقعی، $m-1$ مقدار بارش تا $m-1$ روز قبل و n تعداد روز می‌باشد. که در آن، طبقه‌بندی هر یک از شاخص‌ها به‌صورت زیر می‌باشد.

جدول ۲: طبقات خشکسالی شاخص EDI [۲۶]

کلاس	مقدار EDI
ترسالی بسیار شدید	بزرگ‌تر یا مساوی ۲/۵
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۲/۵
ترسالی متوسط	۰/۷ تا ۱/۵
نرمال	-۰/۷ تا ۰/۷
خشکسالی متوسط	-۱/۵ تا -۰/۷
خشکسالی شدید	-۲/۵ تا -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کوچک‌تر یا مساوی -۲/۵

شاخص ZSI^۲

مبنای محاسبه‌ی این شاخص، انحراف از میانگین نسبت به انحراف استاندارد داده‌های آماری است. اصولاً میزان شاخص ZSI، وضعیت بارش نسبت به میانگین را تعیین می‌کند. اگر نمره‌های انحراف از میانگین را بر انحراف استاندارد تقسیم کنیم، نمره‌ی استاندارد به دست می‌آید. شاخص ZSI برخلاف شاخص SPI نیاز به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع مانند گاما و یا پیرسون نوع سه ندارد. برای تبدیل داده‌های بارش به شاخص ZSI از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۴]:

$$Z - Score = \frac{P_i - \bar{P}}{s} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در این رابطه P_i : بارش سال موردنظر، $\bar{P}$: بارش میانگین و s : انحراف استاندارد از میانگین است. طبقه‌بندی مقادیر ZSI در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- طبقه‌بندی مقادیر شدت خشکسالی بر اساس شاخص ZSI [۱۴]

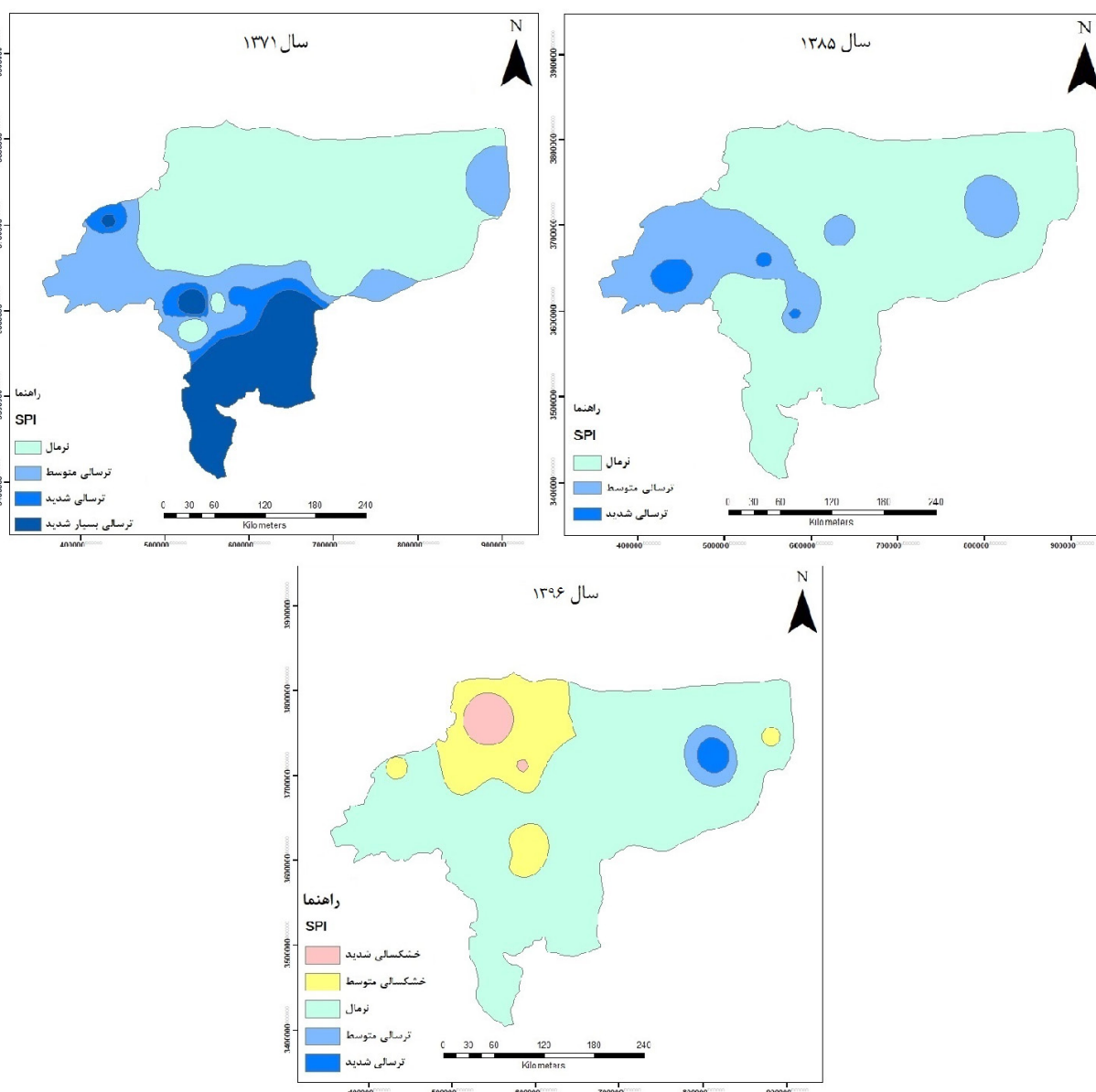
طبقه خشکسالی و ترسالی	مقادیر ZSI
ترسالی بسیار شدید	$> 1/25$
ترسالی شدید	$0/84$ تا $1/28$
ترسالی متوسط	$0/52$ تا $0/84$
ترسالی ضعیف	$0/25$ تا $0/52$
نرمال	$0/25$ تا $-0/25$
خشکسالی ضعیف	$-0/25$ تا $-0/52$
خشکسالی متوسط	$-0/52$ تا $-0/84$
خشکسالی شدید	$-0/84$ تا $-1/25$
خشکسالی بسیار شدید	$< -1/25$

2. Z-score index

1. Effective Drought Index

نقشه‌ی پهنه‌بندی خشکسالی شاخص‌های SPI، ZSI و EDI رسم شده توسط تخمین‌گر کریجینگ برای سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج پهنه‌بندی شاخص SPI حاکی از آن است که در سال ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ شرایط خشکسالی در اغلب بخش‌های استان، در وضعیت نرمال قرار گرفته است. در وضعیت نرمال غرب و جنوب استان اصفهان در وضعیت ترسالی شدید و جنوب شدید قرار داشتند. به‌طوری‌که با گذر زمان در سال ۱۳۸۵، جنوب و غرب استان به ترتیب در وضعیت نرمال و ترسالی متوسط قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۶، اغلب گستره‌ی استان در وضعیت نرمال قرار گرفته و نسبت به سال ۱۳۷۱ و ۱۳۸۵ قسمت شمال استان در وضعیت متوسط شدید و متوسط قرار گرفته و قسمتی کمی از شرق ترسالی متوسط و شدید دارد (شکل ۳).

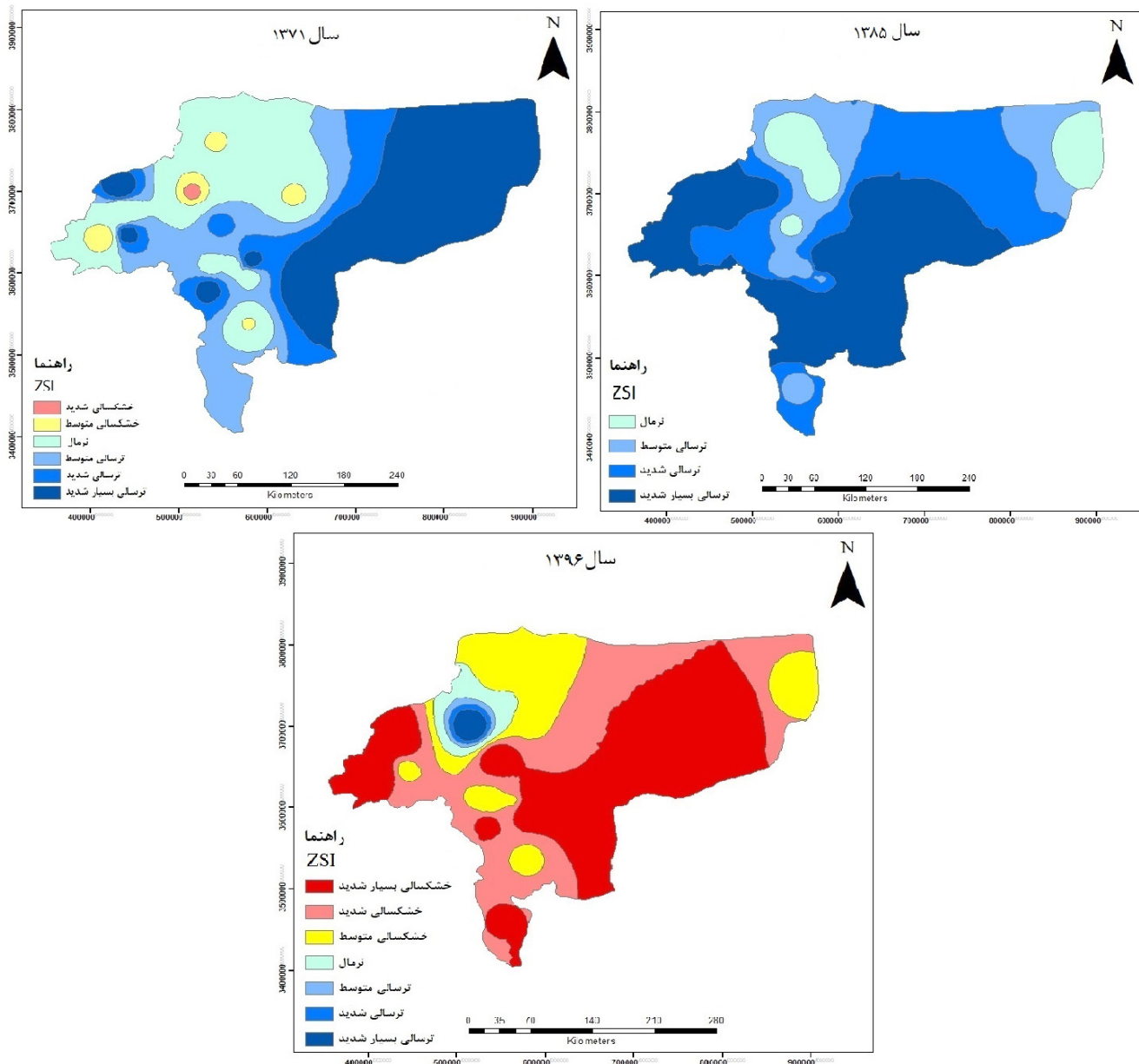
در این مطالعه از سه شاخص SPI، ZSI و EDI جهت بررسی خشکسالی موردمطالعه و بررسی قرار گرفت و با استفاده از داده‌های آماری بارش مربوط به ایستگاه‌های بارندگی استان اصفهان جهت بررسی وضعیت خشکسالی و دوره‌های خشکسالی در این استان تهیه و با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB مقادیر شاخص‌ها مذکور محاسبه گردید. سپس درصد احتمال وقوع خشکسالی برای هر یک از شاخص بدست آمد که در مرحله قبل برای ایستگاه‌های مختلف محاسبه شده بود، به صورت یک بانک اطلاعاتی مکانی به محیط ArcGIS 10.3 وارد شده و از مدل کریجینگ معمولی نقشه‌های مربوطه تهیه گردید. کریجینگ نسبت به سایر تخمین‌گرهای مکانی، در تحلیل مکانی شدت خشکسالی از دقت بالاتری برخوردار است [۱۰ و ۱۹].



شکل ۳: نقشه‌ی هم مقدار شاخص SPI در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ در استان اصفهان

با توجه به شکل (۴) ملاحظه می‌گردد که بر اساس شاخص ZSI، با گذر زمان از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۸۵ و سپس سال ۱۳۹۶ از شدت ترسالی‌ها کاسته شده و وضعیت خشکسالی‌ها به سمت طبقه‌ی شدید و بسیار شدید تغییر پیدا می‌کند، به‌گونه‌ای که در سال‌های ۱۳۷۱ و ۲۰۱۳ اغلب گستره‌ی استان شرایط ترسالی‌های شدید و بسیار شدید دارد. در سال ۱۳۷۱ غرب استان و قسمت‌های از جنوب در طبقه ترسالی بسیار شدید و شمال غرب استان در وضعیت نرمال قرار دارد. همچنین در سال ۱۳۸۵ اغلب بخش‌های استان به‌جز در غرب و شمال غربی استان که در وضعیت نرمال قرار دارد بقیه استان دارای شرایط ترسالی بسیار شدید و شدید است. نقشه‌ی هم‌مقدار شاخص خشکسالی EDI برای سال‌های ۱۳۷۱،

۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ در شکل (۵) حاکی از آن است که با گذر زمان از سال ۱۳۷۱ تا سال ۱۳۹۶، از شدت ترسالی‌ها کاسته شده طوری که از ترسالی‌های شدید به خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید در اغلب قسمت‌های استان می‌رسیم. در سال ۱۳۷۱ اغلب بخش‌های استان به‌جز بخش میانی و شمال که در وضعیت نرمال و در بخش‌های غربی و شرقی که در وضعیت خشکسالی شدید و متوسط دارد، بقیه استان در وضعیت ترسالی بسیار شدید و شدید قرار دارد. در سال ۱۳۸۵ قسمت غرب استان در وضعیت ترسالی بسیار شدید و شرق استان در ترسالی شدید قرار دارد که این سال نسبت به سال ۱۳۷۱ مساحت طبقه شدید و بسیار شدید افزایش داشته است. در سال ۱۳۹۶، اغلب گستره‌ی استان در وضعیت خشکسالی بسیار شدید و

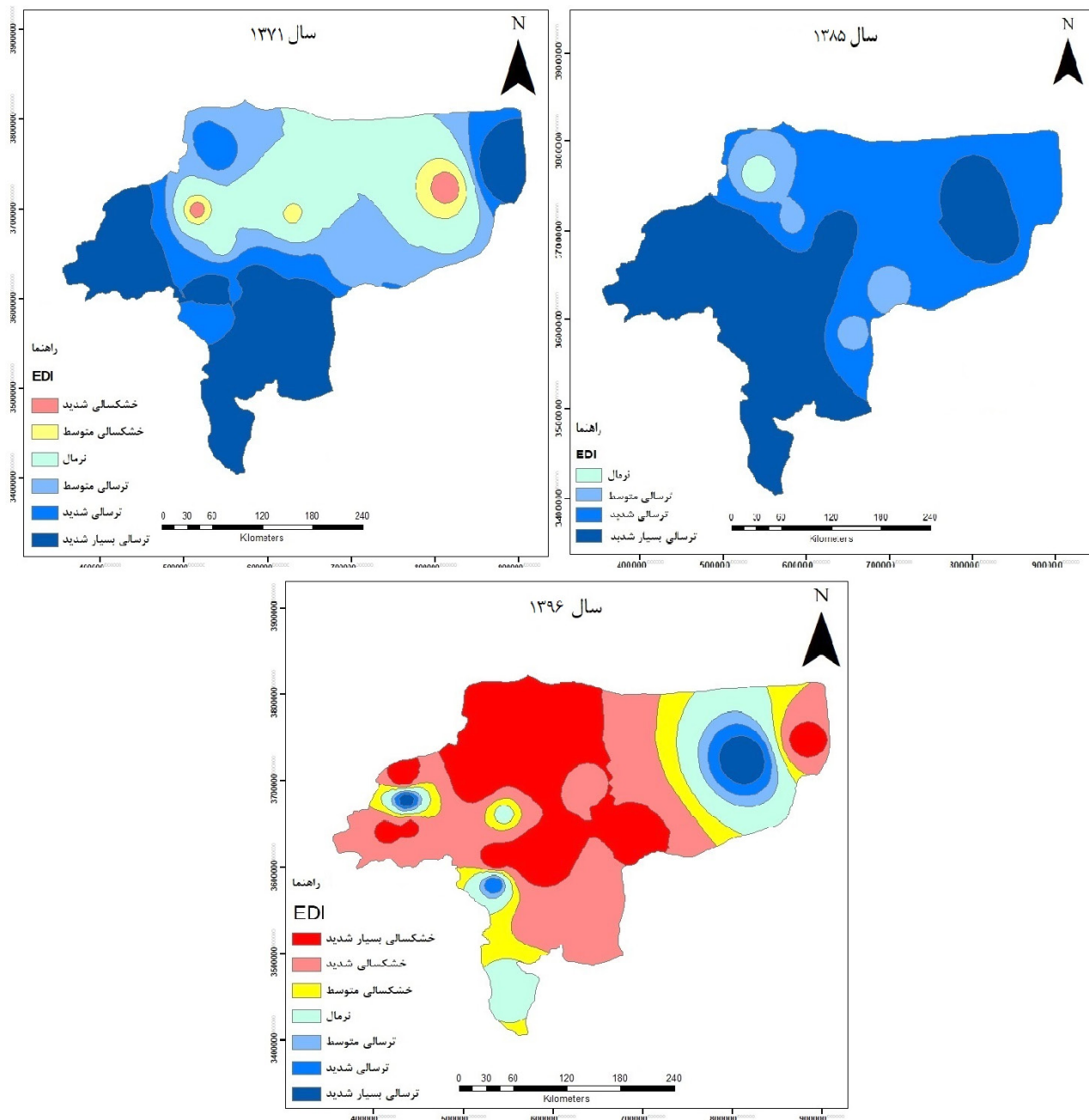


شکل ۴: نقشه‌ی هم‌مقدار شاخص ZSI در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ در استان اصفهان

شدید قرار گرفته که نسبت به سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۵ خشکسالی وضعیت حادث‌تری دارد.

نتایج نمودار (۶) نشان می‌دهد که اغلب شاخص‌ها در کلاس نرمال قرار گرفتند. به‌طوری‌که شاخص SPI در سال ۱۳۷۱، ۵۸/۹ درصد مساحت استان اصفهان در کلاس نرمال قرار داشته و با گذر زمان این کلاس در سال ۱۳۹۶ افزایش ۳۲/۲۶ درصدی نسبت به سال ۱۳۷۱ پیدا کرده است. همچنین طبق شاخص EDI، عمده مساحت استان در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به ترتیب در

کلاس‌های ترسالی بسیار شدید، ترسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید به ترتیب با درصد مساحت ۳۳/۶، ۴۹/۸ و ۴۴/۶ قرار گرفتند. کلاس ترسالی بسیار شدید از ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ کاهش ۹۳/۵ درصدی داشته است. همچنین بر اساس نتایج شاخص ZSI، کلاس ترسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در سال ۱۳۹۶ به ترتیب کاهش ۹۵/۹، ۹۵/۱ و ۹۷/۳ درصدی نسبت به سال ۱۳۷۱ و در سال ۱۳۸۵ کلاس ترسالی شدید و بسیار شدید به ترتیب افزایش ۱۴۷/۲ و ۱۴/۹ درصدی نسبت سال ۱۳۷۱ داشته است.



شکل ۵: نقشه‌ی هم مقدار شاخص EDI در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ در استان اصفهان

که سال ۱۳۸۵ ترسالتیرین و سال ۱۳۹۶ خشکسالترین بوده است.

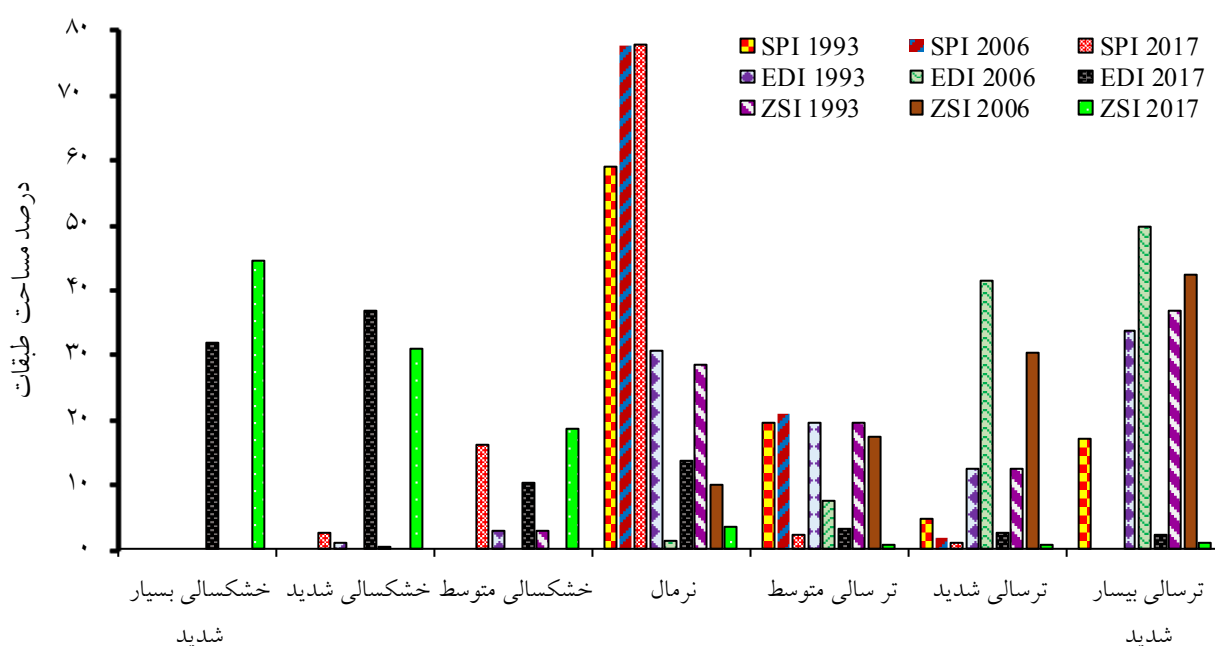
بحث و نتیجه گیری

یافته‌ها و نتایج کلی نقشه‌های پهنه‌بندی شده در این پژوهش را می‌توان به صورت خلاصه، این گونه بیان کرد:

شاخص SPI: نقشه‌های شکل (۳) در سال ۱۳۷۱، ترسالی‌های بسیار شدید و شدید را در قسمت‌های جنوب و غرب استان نشان داده که باگذشت زمان همین قسمت‌ها در وضعیت خشکسالی نرمال قرار گرفتند و همچنین در سال ۱۳۷۱ که قسمت‌های شمال و مرکز که وضعیت نرمال داشته در طی این ۲۵ سال این قسمت‌ها دچار خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید شده‌اند. بر اساس نتایج شاخص SPI در سال ۱۳۷۱، ۵۸/۹ درصد مساحت استان اصفهان در کلاس

با توجه به این نقشه‌ها ملاحظه می‌شود که روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکسالی SPI، ZSI و EDI در دوره‌ی مورد مطالعه و در بخش‌های مختلف استان اصفهان، از روند منظمی تبعیت نمی‌کند هم‌چنین روند تغییرات در شاخص‌های مختلف باهم مشابه نمی‌باشد.

در مجموع، نتایج پهنه‌بندی روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در استان اصفهان حاکی از آن است که شاخص خشکسالی، SPI، شرایط را مرطوب‌تر و شاخص خشکسالی ZSI و EDI شرایط را خشک‌تر نشان می‌دهد. همچنین نتایج بیان‌کننده آن است که شاخص خشکسالی EDI و ZSI هم‌خوانی بیشتری باهم نسبت به شاخص خشکسالی SPI دارند (شکل ۴ و ۵). نتایج پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPI، ZSI و EDI در سال‌های موردنظر نشان می‌دهد



شکل ۶: درصد طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی به ازای شاخص‌های SPI، ZSI و EDI

جدول ۴: درصد طبقات شاخص‌های SPI، ZSI و EDI

EDI			ZSI			SPI			کلاس
۱۳۹۶	۱۳۸۵	۱۳۷۱	۱۳۹۶	۱۳۸۵	۱۳۷۱	۱۳۹۶	۱۳۸۵	۱۳۷۱	
۳۱/۸	۰	۰	۴۴/۶	۰	۰	۰	۰	۰	خشکسالی بسیار شدید
۳۶/۷	۰	۱	۳۰/۹	۰	۰/۲	۲/۷	۰	۰	خشکسالی شدید
۱۰/۲	۰	۲/۹	۱۸/۵	۰	۲/۸	۱۶/۱	۰	۰	خشکسالی متوسط
۱۳/۵	۱/۲	۳۰/۵	۳/۵	۹/۸	۲۸/۳	۷۷/۹	۷۷/۵	۵۸/۹	نرمال
۳/۱	۷/۶	۱۹/۴	۰/۸	۱۷/۴	۱۹/۴	۲/۱	۲۰/۸	۱۹/۴	ترسالی متوسط
۲/۶	۴۱/۵	۱۲/۵	۰/۶	۳۰/۴	۱۲/۳	۱/۱	۱/۷	۴/۷	ترسالی شدید
۲/۲	۴۹/۸	۳۳/۶	۱	۴۲/۴	۳۶/۹	۰	۰	۱۷	ترسالی بسیار شدید

1. Abkar, A.A. Boroghani, M. and Taie semiromi, M. 2010. Spatial Analysis of Drought in Khorasan Razavi Province with Using GIS. 3th National Conference Geomatics-Tehran. 1-9.
2. Arbabi sabzevari, A. 2010. The Analyze Effect Drought Whit the Index of in Ternal Research Percipaitation the Normal z in Information System Geographic in Kashan Region. Journal of Physical Geography. 3(7): 105-124.
3. Beheshti rad, M. and Beheshti rad, M. 2013. Assessment of the effectiveness of Drought Severity Zoning Methods in Kerman Province. Journal of Regional Planning. 1 (9): 89-101.
4. Boroghani, M. Moradi, H. R. and Zangane asadi, M. A. 2015. Zoning and Determination of the Best Index in khorasan Razavi. Journal of Arid Regions Geographic Studies. 5 (19): 70-84.
5. Boroghani, M. Taie, M and Mirnia, Kh. 2013. Analysis of Relationship Between Hydrogeological and Climatological Droughts Using SWI and SPI indices in Sabzevar Plain. Journal of Rangland and Desert Research. 20 (4): 733-744.
6. Byun, H. R. and Wilhite, D. A. 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration. Journal of Climate. 12(9): 2747-2756.
7. Dracup, J. A. Lee, K. S. and Paulson Jr, E. G. 1980. On the Definition of Droughts. Water resources research. 16(2): 297-302.
8. Hayes, M. J. Svoboda, M. D. Wihite, D. A., and Vanyarkho, O. V. 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society. 80(3): 429-438.
9. Hosseini, B. Dinpashos, Y. and Nilbakht, J. 2015. Analysis of Droughts of Northwest of Iran Using the Reconnaissance Drought Index. Journal of Water and Soil. 29 (2): 295-310.
1. Izady, A. Delghandi, M. Ferasati, M. 2010. Application of kriging and Cokriging Methods in the Localization of Groundwater Quality Parameters. 3 th National Conference on Irrigation and Drainage networks management. 1-8.
11. Khoram bakht, A. A. moshiri, R. and Mahdavi, M. 2014. Assessment of Drought Climatic Characteristics in Larestan Region. Journal of Regional Planning. 4 (13): 103-120.

نرمال قرار داشته و با گذر زمان این کلاس در سال ۱۳۹۶ افزایش ۳۲/۲۶ درصدی نسبت به سال ۱۳۷۱ پیدا کرده است. همچنین کلاس‌های ترسالی بسیار شدید و شدید در دهه اخیر کاهش ۱۰۰ و ۷۶/۶ درصدی و مساحت کلاس‌های خشکسالی متوسط و شدید از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶ به ترتیب از صفر به ۲/۷ و ۱۶/۱ درصد افزایش داشت.

شاخص ZSI: با توجه به شکل (۴) ملاحظه می‌گردد که در سال ۱۳۷۱ بخش‌های شرقی و جنوب شرقی در وضعیت ترسالی شدید قرار داشته و قسمت‌های غربی و شمالی در اکثر بخش‌ها در وضعیت نرمال قرار داشتند به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۵ مقدار بارش زیاد بوده در اغلب بخش‌های استان در وضعیت ترسالی شدید و بسیار شدید قرار داشتند که باگذشت ۱۱ سال تقریباً تمام استان دچار خشکسالی‌های متوسط و شدید و بسیار شدید شده است. نتایج شاخص ZSI به شاخص EDI نزدیک است. در این شاخص بیشتر گستره‌ی استان، در کلاس خشکسالی بسیار شدید قرار دارد. کلاس ترسالی متوسط، شدید و بسیار شدید در سال ۱۳۹۶ به ترتیب کاهش ۹۵/۹، ۹۵/۳ و ۹۷/۳ درصدی نسبت به سال ۱۳۷۱ و در سال ۱۳۸۵ کلاس ترسالی شدید و بسیار شدید به ترتیب افزایش ۱۴۷/۲ و ۱۴/۹ درصدی نسبت سال ۱۳۷۱ داشته است.

شاخص EDI: شکل (۵) نشان می‌دهند که در سال ۱۳۷۱ قسمت غرب و جنوب استان ترسالی‌های بسیار شدید و شدید داشته و میانه استان در وضعیت خشکسالی نرمال و متوسط و شدید بوده که با افزایش بارش در سال ۱۳۸۵ اکثر استان وضعیت ترسالی‌های شدید و بسیار شدید داشته در طی گذر زمان و کمبود بارش و تغییرات اقلیمی باعث گردیده که در سال ۱۳۹۶ اکثر استان دچار خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید شده است. طبق شاخص EDI، عمده مساحت استان در سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ به ترتیب در کلاس‌های ترسالی بسیار شدید، ترسالی بسیار شدید و خشکسالی شدید به ترتیب با درصد مساحت ۳۳/۶، ۴۹/۸ و ۴۴/۶ قرار گرفتند. کلاس ترسالی بسیار شدید از ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۶/۱۳۹۶ کاهش ۹۳/۵ درصدی داشته است و مساحت استان در کلاس خشکسالی بسیار شدید در این بازه زمانی از صفر به ۳۱/۸ درصد رسیده است.

همچنین بررسی روند تغییرات زمانی خشکسالی ۲۵ ساله‌ی شاخص‌های خشکسالی نشان می‌دهد که شدت هر سه شاخص متفاوت می‌باشد. همچنین روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در دوره‌ی مورد مطالعه، از الگوی منظمی تبعیت نمی‌کند. این نتایج با نتایج صالحوند و همکاران [۲۳] و پروغنی و همکاران [۵] که نشان می‌دهد شدت خشکسالی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متغیر است، همخوانی دارد. همچنین این مطالعه نتایج ناصرزاده و احمدی [۱۸] و خرم‌بخت و همکاران [۱۱] مبنی بر بالا بودن دقت شاخص SPI نسبت به شاخص‌های EDI و ZSI همچنین یکسان بودن دقت شاخص‌های EDI و ZSI در تعیین خشکسالی دارند را تأیید می‌کند.

21. Pramudya, Y., and Onishi, T. 2018. Assessment of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Tegal City, Central Java, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 129(1): 1-9.
22. Roudier, P. and Mahe, G. 2010. Study of Water Stress and Droughts with Indicators Using Daily Data on the Bani River (Niger basin, Mali). International Journal of Climatology. 30(11): 1689-1705.
23. Salehvand, I. Montazeri, M. and Momeny, M. 2013. Drought Zonation with Indices (PNI, DI, CZI, ZSI and SPI) and Sequences in Cities of Khuzestan province in GIS. JOURNAL of Geography and Urban Planning of the Zagros Landscape. 5 (17): 35-52.
24. Sari saraf, B. Gholi nezhad, N. and Kamani, A. 2011. Stady Drought and Wetness of Aras Basin Using Precipitation Indexes. Journal of Natural Geography Larestan. 4 (12): 1-15.
25. Shah, R., Bharadiya, N., and Manekar, V. 2015. Drought index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method for Surat district, Gujarat. Aquatic Procedia, 4, 1243-1249.
26. Tigkas, D., Vangelis, H., and Tsakiris, G. 2012. Drought and Climatic Change Impact on Streamflow in Small Watersheds. Science of the Total Environment. 440(1): 33-41.
27. Wilhite, D. A. 1996. A Methodology for Drought Preparedness. Natural Hazards. 13(3): 229-252.
28. Wilhite, D. A. Svoboda, M. D. and Hayes, M. J. 2007. Understanding the Complex Impacts of Drought: A key to Enhancing Drought Mitigation and Preparedness. Water Resources Management. 21(5): 763-774.
29. Xia H. Ringler C. Zhu T. and Waqas A. 2013. Darights in Pakistan: A Spatiotemporal Variability Analysis Using the Standardized Precipitation Index. Water International. 38 (5): 620-631.
12. Kim, H. Park, J., Yoo, J., and Kim, T. W. 2015. Assessment of Drought hazard, Vulnerability, and Risk: a Case study for Administrative Districts in South Korea. Journal of Hydro-Environment Research. 9(1): 28-35.
13. Loukas, A. Vasiliades, L. and Dalezios, N. R. 2003. Intercomparison of Meteorological Drought Indices for Drought Assessment and Monitoring in Greece. In Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology. 2: 484-491.
14. Mashari Eshghabad, S. Omidvar, E. and Solaimani, K. 2014. Efficiency of Some Meteorological Drought Indices in Different Time Scales (Case Study: Tajan Basin, Iran). Ecopersia, 2(1), 441-453.
15. McKee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society. 17 (22): 179-183.
16. Mirzaei, A. A. yekani motlagh, Y. and Sabah, Gh. A. 2015. Water Engineering Specialist Software. Kian Rayaneh Sabz press .First Edition. 524 pp.
17. Morid, S. Smakhtin, V. and Moghaddasi, M. 2006. Comparison of Seven Meteorological Indices for drought monitoring in Iran. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society. 26(7): 971-985.
18. Naserzadeh, M. H. and Ahmadi, E. 2012. Study of the Performance of Peteorological Prought Indices In Drought Evaluation and Zoning in Qazvin province. Journal of Applied Researches In Geographical Sciences. 12 (27): 141-162.
19. Nasrollahi, M. Khosravi, H. Moghaddamneia, A. L. Malekeian. A. 2015. Assessment of Drought Hazard Index Using Standardized Precipitation Index (Case Study: Semnan province, Iran). Journal of Agricultural Meteorology. 3 (1): 57-66.
20. Oliver, M. A. and Webster, R. 1990. Kriging: a Method of Interpolation for Geographical Information Systems. International Journal of Geographical Information System, 4(3): 313-332.



Abstract

**Meteorological Drought Monitoring and Spatial Analysis Using by SPI, ZSI, and EDI
(Case Study: Isfahan Province)**A. Yazdanpanahi¹, K. Ahmadaali^{*2} and M. Golafshani³

Received: 2018/07/12 Accepted: 2018/11/28

Water shortages and droughts can cause serious crises in human life. Drought is a reversible phenomenon that can indirectly lead to social crisis and public health risks and have negative effects on the environment, ecology, and so on. In this research, in order to analyze meteorological drought in Isfahan province, precipitation data of 21 meteorological stations were used for the period of 1993-2017 and EDI, SPI and ZSI indices were calculated using MATLAB codes. Kriging estimator which is the best estimate for drought zoning based on literature reviews, was used to provide isovalue map of different calculated indices in ArcGIS10.3. The results showed that severity of the EDI, SPI and ZSI indices are different. Based on SPI values and drought intensity classification, the area faced moderate and severe drought classes during 1993 to 2017 has increased by 2.7 and 16.1 percentage respectively. ZSI values showed that, the region experienced moderate, severe, and extreme drought during the study period has decreased by 95.9, 95.1, and 97.3 percentage respectively. Based on EDI values showed that, main region of the province in 1992, 2006, and 2017 faced extremely wet, extremely wet, and severe drought with the area of 33.6, 49.8, and 44.6 percentage respectively.

Keywords: Isfahan province, Meteorological drought, SPI, ZSI, EDI.

1- MSc student in Management of Desert Areas, University of Tehran

2-Assistant Professor in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Corresponding author, Email: khahmadauli@ut.ac.ir

3- MSc student in Management of Desert Areas, University of Tehran