




## Assessment of the drought situation in Kerman using drought indicators and its relationship with the state of vegetation change in the region

Mazidi, A.<sup>1</sup>  | Mohammadi Ravari, F.<sup>2</sup>  | Behzadi Shahrehabak, Z.<sup>3</sup> 

1. **Corresponding Author**, Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [Payamyazd@gmail.com](mailto:Payamyazd@gmail.com)
2. Master student of Environmental Climatology, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [F.mohammadi.5016@gmail.com](mailto:F.mohammadi.5016@gmail.com)
3. Master student of Environmental Hazards, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [Zhrabhzady495@gmail.com](mailto:Zhrabhzady495@gmail.com)

(Received: 28 Apr 2023, Revised: 31 Aug 2023, Accepted: 18 Sep 2023, Published online: 18 Sep 2023)

### Abstract

The purpose of this research is to analyse the drought situation of Kerman city using standardized precipitation drought indices (SPI), normal precipitation percentage (PNPI) and Palmer drought intensity (PDSI) and the relationship between these indices with the vegetation of the region. For this purpose, 30-years of temperature and precipitation data (1988-2017) were obtained from the Iran Meteorological website to determine the value of (SPI) and (PNPI). In order to check the severity of drought, SPDI index was used. In addition, the map and diagram of the vegetation trend were prepared using GIS software and Google Earth Engine. The results showed that the SPI index of Kerman was mostly around the axis of -1 to +1, which represents a mild drought, and the PNPI of Kerman recognized most of the years as normal with 43%, and the Palmer index also showed that the years (2008-2004) 2010) have experienced a very severe drought with an intensity of about 4.8. Finally, the NDVI index showed that the maps obtained from satellite images show a decrease in vegetation of about 15 km, and according to the time series chart of 2008 and 2012, they had the lowest vegetation cover with an area of about 3 to 4 km. Therefore, due to the fact that the drought indicators examined in this study show the increasing trend of the intensity and duration of the drought and the vegetation map of the region has seen a decrease in area and the NDVI trend has been decreasing, it can be considered that There is a connection between these things; Because drought is accompanied by an increase in potential evaporation and a decrease in humidity, and this is not an ineffective factor in reducing vegetation. Therefore, it is necessary to monitor drought and manage the damage caused by it and pay attention to the reduction of vegetation cover.

**Keywords:** Drought, GIS, Kerman city, NDVI.

**Cite this article:** Mazidi, A., Mohammadi Ravari, F., & Behzadi, Z. (2023). Assessment of the drought situation in Kerman using drought indicators and its relationship with the state of vegetation change in the region. *Journal of the Nivar*, Vol. 47, No. 120-121. 166-180. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.394900.1244>



## ارزیابی وضعیت خشکسالی شهر کرمان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی منطقه

احمد مزیدی<sup>۱</sup> | فروغ محمدی راوری<sup>۲</sup> | زهرا بهزادی شهربابک<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: [Payamyazd@gmail.com](mailto:Payamyazd@gmail.com)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی محیطی دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: [F.mohammadi.5016@gmail.com](mailto:F.mohammadi.5016@gmail.com)

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: [Zhrabhzady495@gmail.com](mailto:Zhrabhzady495@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷)

### چکیده

هدف از پژوهش حاضر تحلیل وضعیت خشکسالی شهر کرمان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، درصد نرمال بارندگی (PNPI) و شدت خشکسالی پالم (PDSI) و ارتباط بین این شاخص‌ها با وضعیت پوشش گیاهی منطقه می‌باشد. لذا داده دما و بارش ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید تا مقدار (SPI) و (PNPI) مشخص گردد و جهت محاسبه شدت خشکسالی از شاخص (PDSI) حاصل از داده‌های دانشگاه IDAHO استفاده شد. در ادامه با دانلود تصاویر از ماهواره مودیس (سنجنده ترا) و تحلیل تصاویر در نرم افزار ArcGIS، نقشه تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) منطقه به دست آمد که ما برای افزایش دقت، روند پوشش گیاهی را به صورت ماهانه در سامانه گوگل ارث انجین رسم کردیم تا نتایج حاصل، قابلیت تحلیل با دقت کافی را داشته باشند. نتایج نشان داد که شاخص SPI کرمان بیشتر در دامنه ۱- تا ۱+ بوده که نمایانگر خشکسالی خفیف تا متوسط می‌باشد و PNPI کرمان با ۴۳٪ بیشتر سال‌ها را نرمال و در حال حرکت به سمت خشکسالی تشخیص داده است و شاخص پالم نیز نشان داد که سال‌های (۲۰۰۴-۲۰۱۰) با شدت حدود ۴/۸- خشکسالی خیلی شدیدی را تجربه کرده‌اند بررسی شاخص NDVI کاهش حدود ۱۵ کیلومتر از پوشش گیاهی را نشان داد و طبق نمودار سری زمانی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ با مساحتی حدود ۳ تا ۴ کیلومتر کمترین پوشش گیاهی را داشته‌اند. لذا از آن جهت که شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی در این مطالعه روند افزایش شدت و مدت خشکسالی را نشان می‌دهند و نقشه پوشش گیاهی منطقه کاهش مساحت را به خود دیده است و روند NDVI سیری نزولی داشته است میتوان این احتمال را در نظر گرفت که بین این موارد ارتباط وجود دارد؛ زیرا خشکسالی همراه با افزایش تبخیرپتانسیل و کاهش رطوبت است و این عامل بی‌تأثیر در کاهش پوشش گیاهی نیست. بنابراین، پایش خشکسالی و مدیریت جلوگیری از خسارات ناشی از آن و توجه به کاهش پوشش گیاهی امری الزامی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی، کرمان، GIS، NDVI

### ۱. مقدمه

خشکسالی از پدیده‌های محیطی شناخته شده است و در واقع بخش جدایی‌ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه جغرافیایی حادث شود (مفیدی پور و همکاران، ۱۳۹۵). تاکنون تعاریف مختلفی درباره خشکسالی ارائه شده است؛ در یک تعریف کلی خشکسالی عبارت است از کمبود غیرعادی بارش در دوره‌ای بلندمدت، به نحوی که باعث کمبود رطوبت در خاک و سبب کاهش آب‌های جاری شود و بدین ترتیب فعالیت‌های انسانی و حیات طبیعی گیاهی و جانوری را برهم‌زند (خرزایی و همکاران، ۱۳۸۲). این پدیده در هر ناحیه می‌تواند به وقوع بپیوندد و منجر به زیان‌ها و هزینه‌های عمده اقتصادی،

**استناد:** مزیدی، احمد، محمدی راوری، فروغ، & بهزادی شهربابک، زهرا. (۱۴۰۲). ارزیابی وضعیت خشکسالی شهر کرمان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی منطقه، مجله نیوار، دوره ۴۷، شماره ۱۲۰-۱۲۱، ۱۶۶-۱۸۰. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.394900.1244>



هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی دارد؛ در این پژوهش خشکسالی هواشناسی که مهم‌ترین و اصلی‌ترین نوع خشکسالی است مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالعاتی که در زمینه خشکسالی و بر روی شهر کرمان صورت گرفته است در این پژوهش سعی شده شاخص‌های خشکسالی انتخاب شده متناسب با مطالعات انجام گرفته و پیشینه پژوهش باشد تا وضعیت خشکسالی منطقه به خوبی مشخص گردد. مطالعات زیادی در زمینه خشکسالی و پهنه‌بندی شدت و تداوم خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف در سطح جهان و ایران صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

هیز و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از شاخص SPI، به بررسی خشکسالی‌های سال ۱۹۹۶ دشت‌های جنوب و جنوب‌غربی ایالات متحده پرداختند. برای این امر، نقشه‌های پهنه‌بندی منطقه را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده ترسیم کردند. نتایج نشان داد که خروجی این شاخص قادر به تشخیص شروع خشکسالی و نظارت بر پیشرفت آن می‌باشد. کوتاوالا (۱۹۹۹) شاخص PDSI را برای GCM اتمسفری-اقیانوسی با افزایش ناچیز در گاز کربن دی اکسید، برای نقاطی در سراسر استرالیا به کار برد و نتایج نشان داد که شرایطی مشابه نوسانات جنوبی، احتمالاً باعث افزایش قابل توجه در شدت و مدت خشکسالی در استرالیا خواهد شد. استاینمن (۲۰۰۳) شش کلاس شدت خشکسالی از خشک تا مرطوب را برای دو شاخص پالمر (PDSI) و بارش استاندارد شده (SPI) انتخاب کرد و برای تعیین احتمال وضعیت پایدار و دوام هر یک از طبقه‌ها از زنجیره مارکوف استفاده کرد. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده، کارایی بیشتری نسبت به نمایه پالمر داشته است. لوکاس و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی با عنوان اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در تسلا یونان پرداختند. برای این منظور از داده‌های ۵۰ ایستگاه در طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۰-۱۳۹۰) استفاده کردند. نتایج نشان داد در تمامی بخش‌های این منطقه افزایش شدت خشکسالی مشاهده می‌شود.

اجتماعی و زیست‌محیطی گردد. ابعاد این پدیده در مناطق خشک و نیمه‌خشک حادث‌تر بوده و اثرات آن ممکن است تا سال‌ها بعد از وقوع خشکسالی تداوم داشته باشد. در دهه‌های اخیر مصرف روزافزون منابع آبی و کاهش بارندگی باعث افزایش تنش خشکسالی در جوامع انسانی گردیده است (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). کشور ایران در طول تاریخ دوره‌های خشکسالی زیادی را پشت‌سر گذاشته است ولی در دهه‌های اخیر با صدمات بیشتری ناشی از این پدیده رو به رو شده است به گونه‌ای که بخش‌های جنوبی، مرکزی و شرقی کشور به دلیل نوسان‌های بیشتر در مقادیر بارندگی، دچار آسیب‌پذیری بیشتری شده‌اند (عثمانی، ۱۳۸۸). زمان آغاز تا پایان خشکسالی که به عنوان دوره تداوم خشکسالی در نظر گرفته می‌شود، یکی از ویژگی‌های اساسی خشکسالی محسوب می‌گردد. مقیاس زمانی دوره تداوم یک خشکسالی می‌تواند از روز، ماه تا سال تفاوت داشته باشد. هر قدر دوره تداوم طولانی‌تر شود، میزان ذخایر آب دچار خطر جدی‌تری می‌شوند و همین عامل باعث افزایش شدت خشکسالی رخ داده می‌شود (فرج‌زاده، ۱۳۸۴). از آنجایی که خشکسالی، رخداد طبیعی و مکرر در وضعیت آب و هوا می‌باشد و تقریباً در تمامی رژیم‌های اقلیمی رخ می‌دهد، عمدتاً تأثیرات منفی گسترده‌ای به جا می‌گذارد (پرکینز و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین خشکسالی‌های مخرب زمانی رخ می‌دهند که یک منطقه به طور مداوم کمتر از میانگین معمول، بارش دریافت کند (استیلی و همکاران، ۲۰۱۸). در ارزیابی خشکسالی، تعیین مجموعه‌ای از شاخص‌های مناسب و دقیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌توان شدت، مدت و وسعت خشکسالی را کمی کرده و به صورت دوره‌ای ارزیابی نمود (بداق‌جمالی و همکاران، ۱۳۸۲). از طرف دیگر، یکی از راه‌های کسب اطلاعات از محیط از جمله پوشش گیاهی در مناطق وسیع به کارگیری فناوری سنجش از دور و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. به طور کلی تصاویر دریافتی از ماهواره‌ها می‌تواند اطلاعاتی در چند بُعد، چند مقیاس و چند طیف تهیه کنند که این ویژگی‌ها به اهمیت و نقش آن‌ها می‌افزاید (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به این که خشکسالی انواع متعددی از جمله خشکسالی

دوره ترکیبی از خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی بوده است. همچنین مشخص شد خشکسالی در سراسر چین به ویژه در مناطق شمالی، حداقل دو برابر شده است. تجزیه و تحلیل اسناد نشان داد که هم تغییرات آب و هوا و هم اثرات انسانی نقش غالبی در ایجاد خشکسالی-های تشدید شده داشته اند. هایون و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای ویژگی‌های خشکسالی‌های هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی را در مناطق مختلف آب و هوایی در سراسر جهان طی یک دوره طولانی (۲۰۱۴-۱۹۰۲) مورد بررسی قرار دادند. در ادامه با توجه به حداکثر ضرایب همبستگی پیرسون خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف برای تعیین زمان پاسخ به خشکسالی (DRT) در هر منطقه آب و هوایی محاسبه شد. نتایج نشان داد خشکسالی هواشناسی در اکثر مناطق آب و هوایی طی سال‌های ۱۹۰۲-۱۹۵۴ تشدید شده است. تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی، کمی متفاوت بوده و در طول دوره ۱۹۵۴-۱۹۰۲ ضعیف و طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۵۴ کمی تشدید شده است.

ظهیری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص-های بارش استاندارد شده (SPI) و درصد بارش نرمال (PNPI) و نمایه‌ی نیچه به بررسی پدیده خشکسالی و ترسالی در استان خراسان پرداختند. به این منظور داده‌های بارش سالانه شش ایستگاه هواشناسی در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۹۵) انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد در ایستگاه‌های مورد مطالعه اغلب سال‌ها به صورت نرمال و تا حدودی خشک بوده است و سال‌های شدیداً خشک یا شدیداً مرطوب به ندرت دیده می‌شود. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی کاربرد روش‌های آماری و نمایه‌های خشکسالی در تحلیل نوسانات بارش ایستگاه کرمان طی دوره بلندمدت ۵۰ ساله (۱۹۵۶-۲۰۰۵) با استفاده از روش آماره ناپارامتریک من کندال و شاخص‌های مختلف تعیین خشکسالی پرداختند. نتایج آزمون بیانگر معنی دار بودن روند بارش بهاره‌ی ایستگاه کرمان بود. نتایج مدل‌های مختلف خشکسالی نیز نشانگر تغییرات معنی دار در روند بلندمدت بارش فصلی بوده که حاکی از وقوع دوره‌ای

لورنزو-لاکروز و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تاثیر تنوع آب و هوا بر دسترسی به منابع آب در بالادست رودخانه تاگوس با استفاده از دو شاخص (SPI) و (SPEI) در بازه زمانی (۲۰۰۶-۱۹۶۱) پرداختند. نتایج نشان داد که شرایط خشکسالی در بالادست رودخانه از دهه هفتاد افزایش یافته است و این شرایط بر منابع آب و شدت خشکسالی تاثیر داشته است. گوچیچ و تراژکوویچ (۲۰۱۳) به تحلیل بارش و داده‌های خشکسالی در صربستان طی دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۰) پرداختند. در این پژوهش مولفه‌های مربوط به شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور جهت پایش روند داده‌ها از رگرسیون خطی و آزمون من-کندال و اسپیرمن (RHO) در سطح معنی داری ۵ درصد استفاده کردند. ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در صربستان مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه دو دوره خشکسالی اصلی (۲۰۰۳-۲۰۰۰ و ۱۹۹۴-۱۹۸۷) شناسایی گردید. بیاکاتوندا و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت خشکسالی بوتسوانا با استفاده از دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص تبخیر و تعرق (SPEI) و در مقیاس‌های زمانی ۱،۳،۶،۱۲،۱۸،۲۴ ماه در بازه زمانی (۱۹۶۰-۲۰۱۶) پرداختند. همچنین تغییرات شدت خشکسالی را با استفاده از آماره من-کندال و برآورد شیب سن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد شاخص SPI، بیش از ۵۰ درصد از تغییرات SPEI را تشکیل داده و ارتباط قوی تری (۹۵٪) را در مقیاس ۱۲ ماهه نشان داده است. شین و همکاران (۲۰۲۰) طی پژوهشی یک روش جدید استخراج سازه خشکسالی را برای استخراج تمام رویدادهای خشکسالی از داده‌های سری زمانی طولانی و همچنین ساخت ساختار خشکسالی سه بعدی را پیشنهاد دادند و در ادامه الگوهای توزیع زمانی-مکانی را با توجه به ویژگی‌های آن‌ها و تحت درهم‌تنیدگی ابعاد مکانی و زمانی ترسیم کردند. به طوری که یک ساختار سه بعدی برای نشان دادن رویداد خشکسالی به دست آمد. نتایج نشان داد منطقه خشکسالی در حوضه رودخانه هوآی، روند کاهشی را نشان می‌دهد. شان‌شان و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی وضعیت خشکسالی در سرتاسر چین طی دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۰۲) پرداختند. نتایج نشان داد خشکسالی‌های شناسایی شده طی این

مستقیمی داشته‌اند. همچنین مشخص شد که شاخص SPI برای پیش بینی شروع خشکسالی و شاخص SSI برای سنجش شدت و تداوم خشکسالی بهتر هستند. عبادی نهادی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی به منظور پایش جامع خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه از شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI) به عنوان شاخص سنتز شده از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت بارش (PCI) استفاده کردند. نتایج نشان داد شاخص (SDI) به عنوان شاخص جامع پایش بیابان‌زایی مناسب است.

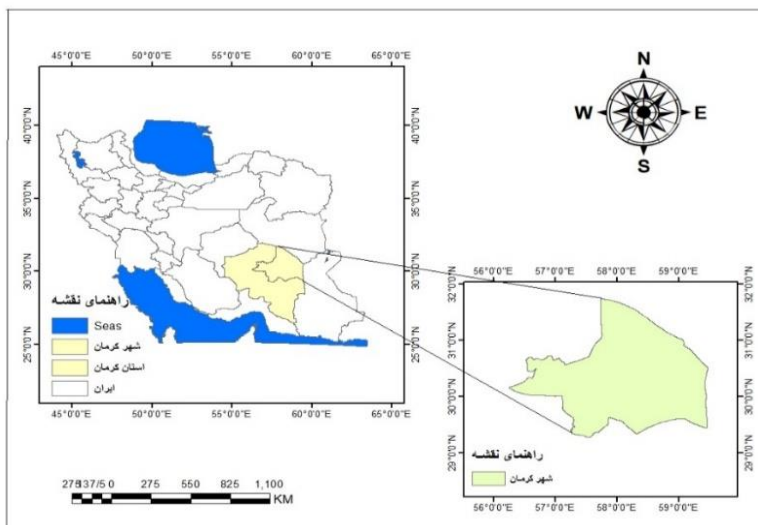
با توجه به مطالعات انجام شده در مورد خشکسالی در سطح جهان و به ویژه ایران، دریافتیم که شاخص‌های خشکسالی (SPI)، (PNPI) و شاخص پالمر برای بررسی وضعیت خشکسالی منطقه مورد بررسی کارایی کافی را داشته است و نتایج حاصل از این شاخص‌ها در تطابق کافی با نقشه پوشش-گیاهی و نمودار روند NDVI می‌باشند.

## ۲. مواد و روش تحقیق

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

پدیده خشکسالی در دوره‌های پیاپی ناحیه‌ی مرکزی کشور ایران را در بر گرفته است. از این رو جهت بررسی این پدیده شهر کرمان را که در دهه‌های اخیر با خشکسالی رو به رو بوده است را انتخاب کردیم و در ادامه به طور مختصر به شرح ویژگی‌های جغرافیایی این منطقه می‌پردازیم. موقعیت جغرافیایی شهر کرمان در شکل (۱) آمده است. شهر کرمان مرکز شهرستان و استان کرمان است که در ارتفاع ۱۷۵۵ متری از سطح دریا واقع شده است. وسعت شهر کرمان حدود ۲۴۰ کیلومتر مربع است. به طور کلی اقلیم شهر کرمان خشک تا فراخشک ارزیابی شده و از مشخصات بارز آن رطوبت و بارندگی کم، تبخیر و تعرق زیاد و اختلاف شدید دما در فصول تابستان و زمستان و در طول شبانه روز است. (جواهری و همکاران، ۱۴۰۱).

پدیده‌ی خشکسالی در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد. یارمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی پدیده خشکسالی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص‌های درصد نرمال بارش (PNPI) و بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند و برای انجام این تحقیق، آمار بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه و آمار تبخیر و تعرق استان فارس برای دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که محدوده مورد مطالعه با خشکسالی‌های متوسط تا شدید مواجه بوده است. میریعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای روند وقوع خشکسالی در حوزه آبخیز رودخانه زرینه رود واقع در جنوب استان آذربایجان غربی را با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص درصد بارش نرمال (PNPI) در دو ایستگاه نظام‌آباد و سد شهید کاظمی بوکان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که عملکرد شاخص خشکسالی SPI نسبت به شاخص PNPI دقیق‌تر بوده و کارایی بهتری داشته است. جلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به صحت‌سنجی نتایج مدل زنجیره مارکف با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) به پیش‌بینی خشکسالی استان اردبیل پرداختند. در ادامه داده‌های بارش ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی طی یک دوره ۳۴ ساله (۱۳۶۶-۱۴۰۰) انتخاب و با استفاده از شاخص (SPI) وضعیت خشکسالی و ترسالی استان مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج مدل زنجیره مارکف نشان داد؛ ۳۶/۱۱ درصد پیش‌بینی‌های صورت گرفته با نتایج SPI کاملاً تطابق داشته و ۵۰ درصد پیش‌بینی‌ها خوش بینانه بوده‌اند. جهانگیر و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به پایش خشکسالی برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی و ۱۰ ایستگاه هیدرومتری در غرب حوضه آبریز ارومیه پرداخته است. به این منظور مقادیر دو شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و جریان دبی استاندارد (SSI) برای بازه زمانی ۳۱ ساله (۱۳۹۸-۱۳۶۸) تعیین و سپس به مقایسه جهت انتخاب بهترین برازش تابع توزیع پرداختند. نتایج نشان داد که دو شاخص مذکور باهم رابطه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح استان و کشور

نرمال بارش (PNPI) و شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از داده‌های ماهواره‌ای، شامل لایه‌های رستری ماهانه شاخص پوشش گیاهی NDVI ماهواره MODIS (سنجنده Terra) با فرمت Geo Tiff و قدرت تفکیک ۲۵۰ متر برای فصل تابستان و به صورت میانگین وضعیت ماهانه پوشش گیاهی از پایگاه اینترنتی (<http://daac.ornl.gov/MODIS>) اخذ گردید و مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از نرم‌افزار ArcGIS جهت نمایش وضعیت پوشش گیاهی استفاده شده است. همچنین جهت نمایش بهتر و دقیق‌تر تغییرات با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و افزونه (<https://code.earthengine.google.com>) سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) ماهانه با استفاده از تصاویر MODIS و از طریق کدهای مربوطه که داده شد محاسبه شد.

## ۲-۲. روش پژوهش

به منظور تبیین کلی مطالعه و جلوگیری از گسستگی مطالب به طور مختصر به روش پژوهش، داده‌های مورد استفاده و شاخص‌های مورد بررسی پرداخته می‌شود. به همین منظور داده‌های دما و بارش ماهانه و سالانه برای ایستگاه کرمان در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷)، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید که موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. یکی از 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 پدیده خشکسالی اثر می‌گذارد. به این منظور در این پژوهش شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)، درصد

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۱	کرمان	۵۷° ۰۶'	۳۰° ۲۹'	۱۷۵۵

دوره خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد. همچنین زمانی پایان می‌یابد که شاخص SPI مثبت گردد (جدول ۲). این شاخص در سال ۱۹۹۵

## ۲-۲-۱. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI یک شاخص اقلیمی است که جهت تعیین کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف کاربرد دارد. طبق این روش

(۱) توسط مکی و همکارانش ارائه شد. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می‌باشد. شاخص بارش استاندارد شده بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی می‌باشد و به منظور هشدار اولیه و پایش شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص برای کمی نمودن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است (بذرافشان، ۱۳۸۱). برای محاسبه این شاخص از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

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

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

### ۲-۲-۲. شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)

داشت که درصد بارش نرمال گمراه کننده و غیر واقعی می‌باشد زیرا شرایط مختلفی را با توجه به منطقه و فصل عرضه می‌کند (بذرافشان، ۱۳۸۱). محاسبه این شاخص در رابطه ۲ آمده است.

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه فوق:

$P_i$  مقدار بارندگی در زمان مورد مطالعه

$\bar{P}$  بارندگی نرمال همان زمان به میلی متر

مقادیر نمایه درصد نرمال بارندگی در جدول (۳) آمده است.

این نمایه با استفاده از بارش نرمال و از تقسیم بارش واقعی بر بارش نرمال، ضرب در ۱۰۰ محاسبه می‌شود و معمولاً برای مقیاس‌های زمانی ماهانه یا یک سال آبی استفاده می‌شود. نمایه درصد از نرمال؛ شاخصی است که بیشتر برای درک عموم مردم جامعه استفاده می‌شود. این نمایه یکی از ساده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری بارش برای یک منطقه می‌باشد. استفاده از شاخص درصد نرمال بارش هنگامی بسیار مفید است که از آن تنها برای یک ناحیه یا یک فصل استفاده شود. اما از سویی باید توجه

جدول ۳. مقیاس طبقه بندی دوره های مرطوب، نرمال و خشک بر اساس PNPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵)

طبقه	بسیار مرطوب	نسبتاً مرطوب	مرطوب	نیمه مرطوب	نرمال	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
درصد PNPI	بیش از ۱۶۰	۱۶۰-۱۴۵	۱۴۵-۱۳۰	۱۳۰-۱۲۰	۱۲۰-۸۰	۷۰-۸۰	۵۵-۷۰	۴۰-۵۵	کمتر از ۴۰
کد طبقه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

### ۲-۲-۳. شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)

شاخص PDSI، در سال ۱۹۶۵ به وسیله پالم ارائه شد و اولین نمایه جامع خشکسالی است که در ایالات متحده به کار گرفته شده است. در این سال پالم، شاخصی را برای اندازه‌گیری میزان انحراف منابع رطوبت ابداع نمود. این شاخص براساس بیلان آب یا مفهوم تولید و تقاضای آب استوار است. PDSI یک شاخص هواشناسی است و به شرایط هواشناسی پاسخ می‌دهد که به طور غیرطبیعی خشک یا مرطوب باشد. PDSI صرفاً شاخص هواشناسی نیست، بلکه بیشتر به آن شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی پالم (PHDI) گفته می‌شود. میزان PDSI براساس داده‌های بارش و دما و همچنین مقادیر رطوبت در دسترس خاک (AWC) محاسبه می‌شود (آسیایی، ۱۳۸۵). میزان شاخص پالم بین +۶ تا -۶ است که در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص پالم (آسیایی، ۱۳۸۵)

ارزش PDSI	درجه خشکسالی
۴ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۳ تا ۳/۹۹	بسیار مرطوب
۲ تا ۲/۹۹	ترسالی متوسط
۱ تا ۱/۹۹	تقریباً مرطوب
۰/۵ تا ۰/۹۹	تا حدی مرطوب
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	تقریباً نرمال
-۰/۵ تا -۰/۹۹	تا حدی خشک
-۱ تا -۱/۹۹	خشکسالی خفیف
-۲ تا -۲/۹۹	خشکسالی متوسط
-۳ تا -۳/۹۹	خشکسالی شدید
-۴ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید

### ۲-۲-۴. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

این شاخص برای اولین بار توسط تاکر 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 اینکه بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان می‌باشد، این فصل جهت ارزیابی شاخص NDVI انتخاب شد و تصاویر تابستان‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ انتخاب گردید. 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 می‌باشد از سایت (<https://earthdata.nasa.gov>) دانلود و سپس پردازش‌های لازم بر روی آن در نرم افزار ARCGIS انجام گردید. شاخص NDVI که یکی از شاخص‌های پرکاربرد در زمینه بررسی پویایی‌های گیاهی است؛ با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{red}}{P_{NIR} + P_{red}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

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

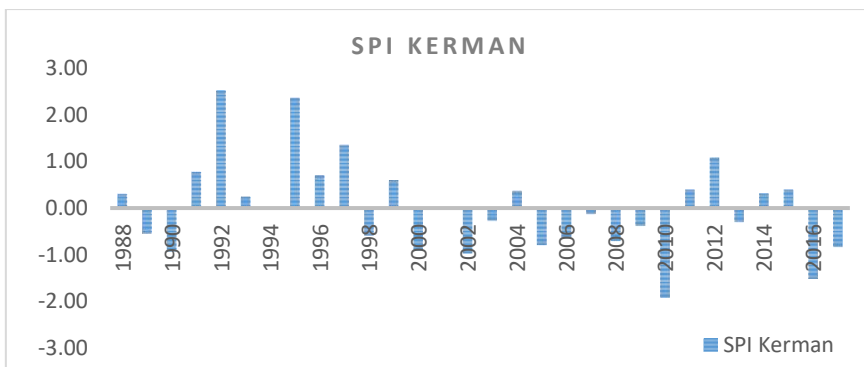
شاخص بارش استاندارد شده SPI، شاخصی است که جهت تعیین کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف کاربرد دارد. مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار SPI محاسبه شده منفی باشد نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد پایان خشکسالی را نشان می‌دهد (مزیدی و همکاران، ۱۴۰۰).

شاخص پالم یکی از روش‌های بسیار موثر در تعیین خشکسالی طولانی مدت (چند ماهه) است و امتیاز دیگر شاخص پالم از آن جهت است که نسبت به شرایط اقلیم محلی، استاندارد است. بنابراین می‌توان در هر بخش از کشور جهت نشان دادن خشکسالی نسبی یا ترسالی از آن استفاده شود (آسیایی، ۱۳۸۵).



در این پژوهش با استفاده از شاخص SPI برای دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) میزان ترسالی و خشکسالی به صورت مجزا برای ایستگاه کرمان مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲) که بیشتر سال‌ها در طی دوره آماری، خشکسالی نزدیک به نرمال را شاهد بوده‌اند و تنها

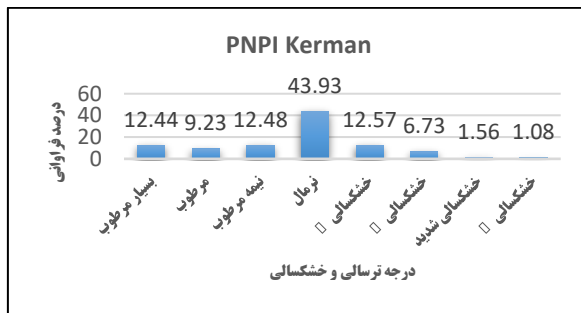
در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴ ترسالی اتفاق افتاده است که به عنوان مرطوب‌ترین سال‌ها شناخته شده‌اند. شدیدترین خشکسالی طی این دوره در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ اتفاق افتاده است که نشان دهنده افزایش شدت خشکسالی طی دوره اخیر می‌باشد.



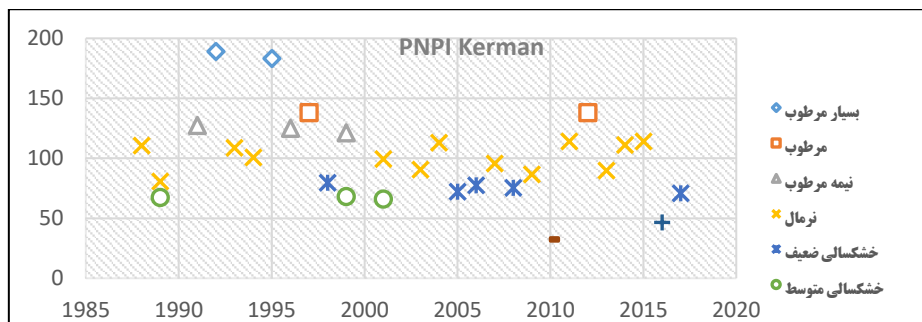
شکل ۲. نمودار شاخص SPI در ایستگاه کرمان طی دوره (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

با توجه به شکل (۳) و (۴) نتایج حاصل از نمودار شاخص PNPI نشان می‌دهد که طبقه بارش نرمال با ۴۳/۹۳ درصد بالاترین فراوانی و طبقه خشکسالی شدید و خیلی شدید با ۱/۵۶ و ۱/۰۸ درصد کم‌ترین فراوانی را داشته‌اند. تقریباً سایر طبقات اختلاف فاصله زیادی با هم دیگر ندارند.

درصد کم‌ترین فراوانی را داشته‌اند. تقریباً سایر طبقات اختلاف فاصله زیادی با هم دیگر ندارند.



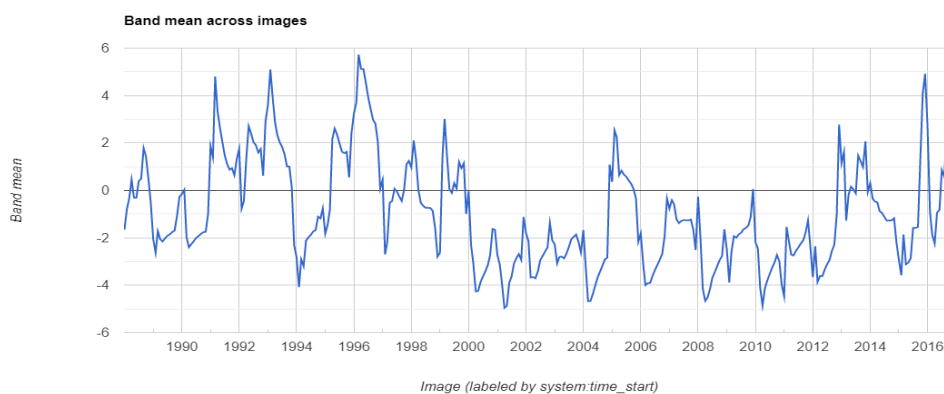
شکل ۳. نمودار درصد فراوانی ترسالی، خشکسالی و بارش نرمال در ایستگاه کرمان (۱۹۸۸-۲۰۱۷)



شکل ۴. نمودار توزیع فراوانی و طبقه بندی ترسالی، خشکسالی و بارش نرمال در ایستگاه کرمان (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

مربوط به ماه خرداد و سال‌های (۲۰۰۴-۲۰۰۸-۲۰۱۰) با شدت حدود ۴/۸- بوده است و نشان از خشکسالی خیلی شدید در این سال‌ها دارد. همچنین تحلیل و بررسی روند تغییرات خشکسالی‌ها نشان داد که در بعضی از مواقع دوره‌های خشک با شدت خفیف با تداوم بیشتر از چند سال نیز به وقوع پیوسته است. همچنین بهمن سال ۱۹۹۳ و ۱۹۹۶ با مقدار شاخص تقریبی ۵/۷ دارای بیش‌ترین میزان رطوبت طی این دوره می‌باشد. نکته قابل توجه این است که از این سال به بعد میزان رطوبت به شدت روند کاهشی پیدا کرده است و تادی ماه سال ۲۰۱۵ که میزان شاخص به ۴/۸ رسیده است شهر کرمان دوره مرطوب قابل توجهی به خود ندیده است که همین سبب اهمیت پیدا کردن این موضوع می‌شود.

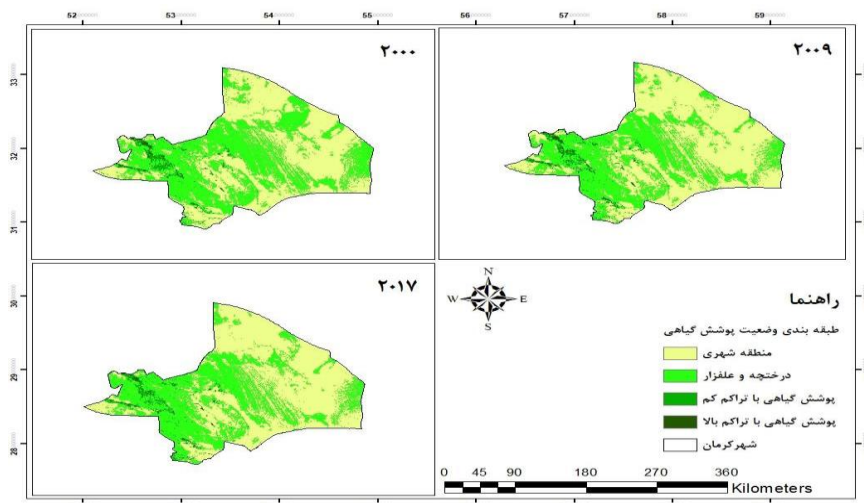
نتایج محاسبه ماهانه شاخص شدت خشکسالی پالم در دوره زمانی (۲۰۱۷-۱۹۸۸) برای شهر کرمان در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. این نتایج حاصل داده‌های دانشگاه IDAHO می‌باشد که به وسیله سامانه گوگل ارث انجین به تصویر کشیده شده است. وجود دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده اهمیت و ضرورت لحاظ نمودن این پدیده در این منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از پایش خشکسالی براساس شاخص پالم در شهر کرمان نشان می‌دهد که در طی دوره آماری در اکثر سال‌ها، ماه‌هایی از سال با خشکسالی مواجه بوده‌اند و به عبارتی، خشکسالی خفیف تا متوسط نسبت به وضعیت نرمال بیشتر در این سال‌ها مشهود بوده است. بیش‌ترین شدت خشکسالی به وقوع پیوسته در این دوره



شکل ۵. نمودار سری زمانی پیوسته شاخص PDSI ماهانه طی دوره آماری (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

پارک‌ها و باغات حاشیه شهر می‌باشد و کم‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۷ از میزان تراکم پوشش گیاهی تا حدی کاسته شده است که این کاهش مساحت طی این دوره حدود ۱۵ کیلومتر در تغییر می‌باشد. بیش‌ترین مساحت پوشش گیاهی در کرمان از نوع درختچه و علفزار می‌باشد که آن هم به علت گسترش منطقه شهری می‌باشد.

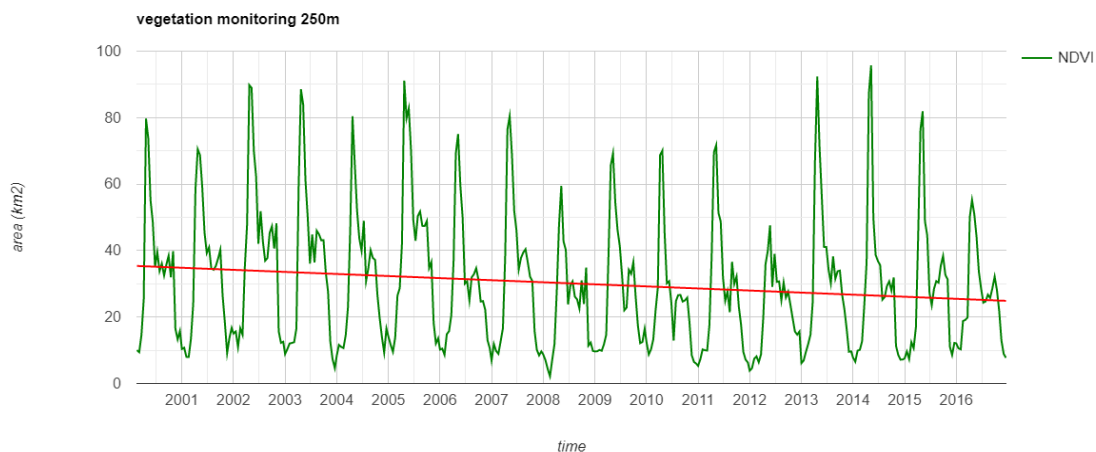
نقشه پوشش گیاهی حاصل از پردازش تصاویر ماهواره MODIS برای فصل تابستان شهر کرمان در شکل (۶) قابل مشاهده است. انتخاب فصل تابستان به دلیل دارا بودن حداکثر پوشش گیاهی در این فصل است. نتایج نشان داد در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ پوشش گیاهی با تراکم بالا و کم به نسبت خیلی کم در قسمت غربی و جنوب غربی کرمان دیده می‌شود که مربوط به



شکل ۶. نقشه تغییرات پوشش گیاهی شهر کرمان با توجه به شاخص NDVI

در ادامه به موجب نمایش هرچه بهتر تغییرات پوشش گیاهی از سری زمانی ماهانه در سامانه گوگل ارث انجین کمک گرفته شد که نتایج آن در قالب نمودار در شکل (۷) نمود پیدا کرده است. همان‌طور که در شکل (۷) قابل رویت است وضعیت پوشش گیاهی طی این سال‌ها روندی نزولی داشته است. همچنین دریافتیم که بیش‌ترین مساحت پوشش گیاهی طی دوره آماری مربوط به فصل تابستان بوده است. همچنین بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ با مساحتی حدود ۹۰ کیلومتر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دیده می‌شود و کم‌ترین پوشش گیاهی نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ است.

مساحتی حدود ۳ تا ۴ کیلومتر در ماه‌های خرداد تا تیر بوده است. لازم به ذکر است نمودار سری زمانی پوشش گیاهی در تطابق با نقشه پوشش گیاهی می‌باشد با این اختلاف که در شکل شماره (۶) وضعیت پوشش گیاهی تنها در فصل تابستان در نظر گرفته شده است به این دلیل که بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی مربوط به فصل تابستان می‌باشد و تغییرات، بهتر خود را نشان می‌دهند از طرف دیگر سری زمانی، تمام فصول را طی این دوره در بر می‌گیرد و به همین دلیل تغییرات به صورت شفاف قابل نمایش هستند.



شکل ۷. نمودار سری زمانی پوشش گیاهی ماهانه طی دوره آماری (۲۰۰۸-۲۰۱۷)

## بحث و نتیجه گیری

منطقه به واسطه نقشه حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و نمودار سری زمانی NDVI نیز در تطابق با نتیجه حاصل از شاخص‌های خشکسالی بوده است. همچنین اگر بخواهیم به صورت دقیق‌تر به این پژوهش بپردازیم و علاوه بر نقشه و نمودارها که واقعیت را به خوبی به نمایش درآورده‌اند نتایج را به صورت کمی بررسی کنیم باید اشاره کرد که طی این دوره SPI شهر کرمان بیشتر حول محور ۱- تا ۱+ بوده است که نمایانگر خشکسالی خفیف تا متوسط می‌باشد و PNPI کرمان با ۴۳٪ بیشتر سال‌ها را نرمال و درحال حرکت به سمت خشکسالی تشخیص داده است و شاخص شدت خشکسالی پالمر نیز نشان داد که سال‌های (۲۰۱۰-۲۰۰۸-۲۰۰۴) با شدت حدود ۴/۸- خشکسالی خیلی شدیدی را تجربه کرده‌اند که می‌تواند زنگ خطر برای مسئولان جهت چاره اندیشی باشد. در آخر شاخص NDVI نشان داد نقشه‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای کاهش حدود ۱۵ کیلومتر از پوشش گیاهی را طی این دوره نشان می‌دهند و طبق نمودار سری زمانی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ با مساحتی حدود ۳ تا ۴ کیلومتر کمترین پوشش گیاهی را طی این دوره داشته است. لذا از آن جهت که شاخص‌های خشکسالی روند افزایش شدت و مدت خشکسالی را نشان می‌دهند و نقشه پوشش گیاهی منطقه کاهش مساحت را به خود دیده است و روند NDVI سیری نزولی داشته است و به عبارت دیگر می‌توان گفت همه شواهد موافق با افزایش خشکسالی در منطقه می‌باشند بنابراین، پایش و مدیریت خشکسالی و توجه به تغییرات پوشش گیاهی در یک منطقه ضروری می‌باشد.

## منابع

- ۱- آسیایی، مهدی. (۱۳۸۵). پایش خشکسالی مشهد با استفاده از شاخ پالمر، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۷.
- ۲- آسیایی، مهدی. (۱۳۸۵). شاخص‌های خشکسالی، انتشارات سخن گستر، مشهد.
- ۳- بداق جمالی، جواد. جوانمرد، سهیلا. و شیرمحمدی، رضا. (۱۳۸۲). پایش و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی استان خراسان با

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که در هر نوع آب و هوایی امکان وقوع آن وجود دارد و آثار زیان‌بار آن به مراتب گسترده‌تر و همه جانبه‌تر از دیگر بلاهای طبیعی است. این پدیده طبیعی که به تناوب اتفاق می‌افتد، یکی از مزلزلین و از لحاظ اقتصادی زیان‌بارترین بلاهای طبیعی است. در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت خشکسالی ایستگاه کرمان یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) که مناسب جهت پایش خشکسالی است انتخاب شده است و برای این امر ابتدا داده‌های هواشناسی بارش و دما از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده است. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار EXCLE به تجزیه و تحلیل داده‌های بارش در قالب نمودار پرداخته شده است و از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص درصد بارش نرمال شده (PNPI) استفاده شد تا وضعیت خشکسالی ایستگاه کرمان قابل بررسی باشد. همچنین جهت بررسی شدت خشکسالی در منطقه از داده‌های دانشگاه IDAHO جهت نمایش شاخص خشکسالی پالمر (PDSI) استفاده شده است. در ادامه نقشه تغییرات وضعیت پوشش گیاهی NDVI منطقه را به صورت تصادفی در ۳ سال ۲۰۰۹، ۲۰۱۷ و برای فصل تابستان تهیه و نمایش دادیم و در نهایت جهت نمایش هر چه بهتر تغییرات وضعیت پوشش گیاهی را به صورت ماهانه و در قالب نمودار سری زمانی NDVI در گوگل ارث انجین رسم کردیم و مورد بررسی قرار دادیم. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های خشکسالی نشان داد که براساس شاخص SPI شدیدترین خشکسالی در ایستگاه کرمان در سال ۲۰۱۰ بوده است و براساس شاخص PNPI بیشتر سال‌ها در ایستگاه کرمان در طبقه نرمال و خشکسالی متوسط قرار داشته‌اند. به عبارتی؛ هر دو شاخص وضعیت یکسانی را برای منطقه نشان داده‌اند با این تفاوت که شدت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI بهتر نمود پیدا کرده است. از طرف دیگر تحلیل و بررسی شاخص شدت خشکسالی پالمر نیز حکایت از کاهش میزان رطوبت طی این دوره و حرکت به صورت سیر نزولی به سمت خشکسالی شدید را داشته است. همچنین باید اشاره نمود بررسی وضعیت پوشش گیاهی

- استفاده از نمایه‌ی بارش استاندارد شده. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۷، شماره ۴، صص ۴-۲۱.
- ۴- بذرافشان، جواد. (۱۳۸۱). مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج.
- ۵- جلیلی، لایلا. جیره، فرهاد. و جیره، ناصر. (۱۴۰۰). صحت-سنجی نتایج مدل زنجیره مارکف در پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده SPI و GIS. دوازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۶- جهانگیر، محمدحسین. اصغری کلشانی، فاطمه. و ستاریان-اصیل، کتابون. (۱۴۰۱). مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (SPI) و هیدرولوژیک (SSI) براساس بهترین تابع توزیع تجمعی برای حوضه آبریز ارومیه. فصلنامه مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۲، شماره ۴، صص ۶۳-۵۳.
- ۷- جواهری، محمدعلی. نجفی نژاد، حمید و نادى، مهدى. (۱۴۰۱). پهنه بندی استعداد اقلیمی برای کشت زعفران در استان کرمان به روش سلسله‌مراتبی. نشریه علمی مدیریت اراضی، جلد ۱۰، شماره ۲، صص ۲۷۶-۲۵۹.
- ۸- حجازی زاده، زهرا. ناصرزاده، محمدحسین. حاتمی زرنه، داریوش. رضایی، محمد. (۱۳۹۳). بررسی کاربرد روش‌های آماری و نمایه‌های خشکسالی در تحلیل نوسانات بارش ایستگاه کرمان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال پنجم، شماره ۱۷، صص ۵۱-۳۵.
- ۹- خزایی، محمدرضا. تلوری، عبدالرسول. و جباری، ابراهیم. (۱۳۸۲). تحلیل توزیع فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قره‌سو)، نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۱، شماره ۲، صص ۵۶-۴۵.
- ۱۰- خوش اخلاق، فرامرز. و روشن، غلام‌رضا. (۱۳۸۵). سنجش و ارزیابی چند نمونه خشکسالی در سه ایستگاه استان فارس. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۵، شماره ۷۵، صص ۴۶-۴۲.
- ۱۱- صلاحی، برومند. (۱۳۸۸). بررسی خشکسالی‌های استان اردبیل با استفاده از شاخص‌های آماری و سینوپتیکی. همایش بحران آب و ضرورت احیای حقایق استان اردبیل، دانشگاه اردبیل.
- ۱۲- ظهیری، عبدالرضا. شریفان، حسین. ابارشی، فرزانه. و رحیمیان، مهدی. (۱۳۹۳). ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی در استان خراسان با استفاده از نمایه‌های (NITZCHE, SPI, PNPI). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۸، شماره ۴، صص ۸۶۵-۸۴۵.
- ۱۳- عبادی‌نهادی، زهرا. عرفانیان، مهدی. و کاظم پورچورسی-سیمما. (۱۴۰۲). ارائه یک روش نوین برای ارزیابی و پایش جامع خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص تلفیقی خشکسالی SDI. نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۶۸، صص ۲۵۷-۲۴۳.
- ۱۴- عثمانی، لایلا. (۱۳۸۸). کاربرد SPI در بررسی فراوانی، شدت و گستره خشکسالی در شمال غرب ایران. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، ستاد حوادث غیر مترقبه‌ی استانداری اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، دانشگاه رازی.
- ۱۵- علوی پناه، سید کاظم. رفیعی‌امام، عمار. حسینی، سیدزین-العابدین. و جعفریگلو، منصور. (۱۳۸۵). بررسی تغییرپذیری طیفی پدیده‌های مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش‌ازدور. پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۸، صص ۹۷-۸۱.
- ۱۶- فرح‌زاده، منوچهر. (۱۳۸۴). خشکسالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، ۱۲۰ صفحه.
- ۱۷- قمرنیا، هوشنگ. و روشندل، فاطمه. (۱۳۹۱). بررسی مقایسه‌ای وضعیت خشکسالی سی‌ساله‌ی استان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه رازی.
- ۱۸- کمالی، غلامعلی. نوحی، کیوان. و عسگری، احمد. (۱۳۸۸). هواشناسی کاربردی، انتشارات پژوهشکده هواشناسی، رجاء تهران.
- ۱۹- مزیدی، احمد. امیدوار، کمال. ملک‌احمدی، عاطفه. و حسینی، سیدسلام. (۱۴۰۰). بررسی خشکسالی و ترسالی ایستگاه

- 29- Kim, H., Parc, J., Yoo, J., & Kim, T. W. (2013). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal, Hydro-environ*, 9(1), 28-35.
- 30- Kothavala, Z., 1999, "The duration and severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean-atmosphere GCM with a transient increase in CO<sub>2</sub> ," *Environmental Modelling & Software*, Vol. 14, pp. 243-252.
- 31- Lorenzo-Lacruz, M., West, C., & Finan. T. J. (2010). A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US- Mexico border. *Global Environmental Change*, 13(3), 159-173.
- 32- Loukas, A., Vasilades, L., & Tzabiras, J., (2008). Climate Change Effects on Drought Severity. *Advances in Geosciences*. 17, 23-29.
- 33- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995). Drought Monitoring With multiple Time Scales, Paper Presented at 9 the conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Dallas, Texas.
- 34- Perkins, D., Uh1, E., Biber, P., Du Toit, B., Carraro, T., & Pretzsch, H. (2018). Impact of climate trends and drought events on the growth of oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt)Liebl). within and beyond their natural range. *Forests*, 9(3),108.
- 35- Richard, Y., & Pocard, I. (1998). A Statistical Study of NDVI Sensitivity to Seasonal and Interannual Rainfall Variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (15), 2907-2920.
- 36-Shanshan, D., Suxia, L., & Xingguo, Mo. (2021). Assessment and attribution of China's droughts using an integrated drought index derived from GRACE and GRACE-FO data. *Journal of Hydrology*, 603, Part D.
- 37-Steineman, A. (2003). Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1217-1233.
- 38-Solano, R., Didan, K., Jacobson, A., & Huete, A., (2010), MODIS Vegetation Indice(MOD13) C5.
- 39-Steineman, A. (2003). Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1217-1233.
- 40-Xin, W., Yu-hong, T., Qiao-feng, T., Wen- yi, L., Guo-hua, Fang., Zi-yu, D., & Zhen-ni, W. (2020). Construction of 3D drought structures of meteorological drought events and their spatio-  
 هواشناسی اصفهان با استفاده از شاخص SPI. *مجله جغرافیا و روابط انسانی*، دوره ۵، شماره ۱۳، صص ۱۱۴-۱۲۶.
- ۲۰- مفیدی پور، نازنین. بردی شیخ، واحد. اوتق، مجید. و سعدالدین، امیر. (۱۳۹۵). بررسی رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۳، شماره ۵، صص ۱۶-۲۶.
- ۲۱- میر یعقوب زاده، میرحسن. خسروی، امین. ذیحی، مصطفی. و میکاییلی، وحید. (۱۳۹۷). پایش خشکسالی در حوزه آبخیز زرینه رود با استفاده از شاخص های خشکسالی SPI و PNPI. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲۲- یارمحمدی، کلثوم. زارنجی، ژیلا فرزانه. و زینالی، بتول. (۱۳۹۵). بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و PNPI مطالعه موردی استان آذربایجان شرقی. دومین کنگره بین المللی علوم زمین و توسعه شهری، دانشگاه محقق اردبیلی.
- 23- Byakatonda, J., Parida, B. P., Moalafhi, D. P., & Kenabatho, P. K. (2018). Analysis of longterm drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. *Atmospheric Research*, 213(15), 492-508.
- 24- Esetlili, M. T., Balcik, F. B., Sanli, F. B., Kankan, K., Ustuner, M., Goksel, C., & Kurucu, Y., (2018). Comparison of object and pixel-based classifications for mapping crops using Rapid eye imagery: A Case study of Menemen Plain, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 5(2), 231-243.
- 25- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980\_2010. *Journal of Hydrology*, 494(28), 32\_42.
- 26- Haiyun, S., Zhaoqiang, Z., Lin, L., & Suning, L. (2022). A global perspective on propagation from meteorological drought to hydrological drought during, 1902-2014. *Atmospheric Research*, 280(15).
- 27- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 24\_43.
- 28- Hodel, E. (2012). Analyzing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data supervisor Hans Hurni, Masterarbeit der Philosophisch, Universitat Bern.

temporal evolution characteristics. Journal of Hydrology 590.