Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.10, Issue 30, Winter 2022

Monitoring Spatio-temporal pattern of drought using multi-satellite data during the period 2000 - 2018 (Case study: Iran)

Zahra Arabi[1*], Shahin Mohammadi[2]

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran
2. Ph.D. Student of RS and GIS, Shahid Chamran University of Ahvaz

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 29 June 2020
Revised: 05 March 2021
Accepted: 12 May 2021

Keywords:
Remote sensing,
SPEI,
drought Monitoring,
Natural hazards.

ABSTRACT

Due to declining rainfall in the last two decades, drought has become a major problem in the world, especially in arid and semi-arid regions such as Iran, so monitoring and managing it is important. Remote sensing and geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) provide the ability to study various indicators to evaluate the types of droughts. So, in the present study, the drought of Iran using multi remote sensing indicators including precipitation condition index (PCI), temperature condition index (TCI), Vegetation Conditions Index (VCI), and the integrated under the heading the scaled drought condition Index (SDCI) during the statistical period 2000 to 2018 were evaluated. To evaluate the accuracy of the obtained results, these results were compared with the standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI). The results of this study showed that the three indices of PCI, VCI, and TCI are well matched. The results of the SDCI index indicated that severe droughts occurred in 2000, 2008, and 2017, which are consistent with SPEI index. It should be noted that minor differences between the two indicators (SDCI and SPEI) can be justified by the fact that the SPEI index is a climatic index that considers two parameters of temperature and precipitation for annual drought assessment, while the SDCI index in addition assessment to temperature and precipitation factors (meteorological drought), it also considers agriculture drought and more comprehensively evaluates drought. Finally, it can be mentioned that based on the calculations performed, the SDCI has been more effective in assessing drought than other indicators used.

Cite this article: Arabi, Z., Mohammadi, S. (2022). Monitoring Spatio-temporal pattern of drought using multi-satellite data during the period 2000 - 2018 (Case study: Iran). Journal of Natural Environmental Hazards, 10(30), 83-104. DOI: 10.22111/jneh.2021.34785.1679

© Zahra Arabi. Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2021.34785.1679

* Corresponding Author Email: arabi.za@pnu.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳۰، زمستان ۱۴۰۰

پایش مکانی– زمانی الگوی خشکسالی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای در کشور ایران در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸

زهرا عربی[1*]، شاهین محمدی[2]

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور تهران (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

واژه‌های کلیدی:
SPEI،
مخاطرات طبیعی،
پایش خشکسالی،
سنجش از دور.

چکیده

با توجه به کاهش بارندگی در دو دهه اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ در جهان و مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک از قبیل ایران تبدیل شده است، ازاین‌رو پایش و مدیریت آن حائز اهمیت می‌باشد. سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی توانایی بررسی شاخص‌هایی متنوعی جهت ارزیابی انواع خشکسالی‌ها را فراهم می‌کند، بنابراین در مطالعه حاضر، خشکسالی کشور ایران با استفاده از چندین شاخص سنجش از دوری شامل شاخص شرایط بارش (PCI)، شاخص شرایط دما (TCI)، شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI) و شاخص تلفیقی تحت عنوان SDCI در طول دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی صحت نتایج به دست آمده، این نتایج با شاخص SPEI بررسی و مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد سه شاخص PCI، VCI و TCI تطابق خوبی با هم دارند. همچنین نتایج شاخص ترکیبی SDCI نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ خشکسالی‌های شدیدی اتفاق افتاده است که با مقایسه نتایج این شاخص با شاخص هواشناسی استاندارد تبخیر و تعرق بارندگی(SPEI)، مطابقت زیادی وجود دارد. لازم به ذکر است که اختلافات جزئی بین این دو شاخص را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که شاخص SPEI یک شاخص اقلیمی بوده که دو پارامتر دما و بارش را برای ارزیابی خشکسالی در نظر می‌گیرد، درحالی‌که شاخص سنجش از دوری SDCI علاوه بر دما و بارش، خشکسالی کشاورزی را نیز در نظر گرفته و با دید وسیع‌تری وضعیت خشکسالی را ارزیابی می‌کند. بر مبنای محاسبه های انجام شده شاخص ترکیبی SDCI با توجه به اینکه جنبه های مختلف خشکسالی را در نظر گرفته است یک ارزیابی جامع و مناسب نسبت به سایر شاخص‌ها از وضعیت خشکسالی کشور ارائه داده است.

استناد: عربی, زهرا, محمدی, شاهین. (۱۴۰۰). پایش مکانی- زمانی الگوی خشکسالی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای در کشور ایران در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۰(۳۰) ، ۱۰۴-۸۳. DOI: 10.22111/jneh.2021.34785.1679

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© زهرا عربی*، شاهین محمدی.

*- زهرا عربی (نویسنده مسئول)
Email: arabi.za@pnu.ac.ir

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر و از جمله مخاطراتی است که باید آن را بدون امکان پیشگیری تلقی نمود، اما می‌توان این پدیده را مدیریت و ساماندهی کرد. موفقیت در این امر، بستگی به تعریف خشک‌سالی و چگونگی به کمیت درآوردن مشخصات آن دارد(هیاس[۱] و همکاران، ۱۹۹۸). این پدیده به‌صورت دوره‌ای، در هر منطقه و با هر شرایط اقلیمی اتفاق می‌افتد و بخش‌های مختلف زندگی بشر را دستخوش تأثیرات منفی فراوانی می‌سازد(میشرا[۲] و سین[۳]، ۲۰۱۰). خشک‌سالی به‌عنوان یکی از جدی‌ترین بلایای آب و هوایی، تأثیرات مخربی بر منابع آبی، کشاورزی، پوشش گیاهی، حیات وحش، عوامل محیطی و سلامت انسان در برخی مناطق و حتی در سراسر جهان دارد (اصغر و همکاران، ۲۰۱۴، نوحه گر و همکاران، ۲۰۱۳، مسعودی و حکیمی ۲۰۱۴). آثار خشک‌سالی در جامعه به دلیل تأثیر اساسی منابع آب در برطرف کردن نیازهای انسانی در همه فعالیت‌های او بسیار روشن است. این اثر اغلب ناشی از ناسازگاری فعالیت‌ها با محیط طبیعی است و سهم نقص طراحی و مدیریت انسان نسبت به تغییرات اقلیمی بیشتر می‌باشد. کمبود بارش و افزایش دما نسبت به میانگین بلند مدت علت اصلی خشک‌سالی‌هاست. در هنگام وقوع خشک‌سالی ابتدا خشک‌سالی هواشناسی رخ می‌دهد و در صورت تداوم آن خشک‌سالی‌های دیگر (هیدروژئولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی) به وقوع می‌پیوندد(عیوضی و مساعدی، ۲۰۱۱). بنابراین ایجاد سیستم پایش، پیش‌بینی آب، انرژی و امنیت غذایی برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی به‌منظور توسعه پایدار ضروری است. در مطالعات دهه‌های قبلی، خشک‌سالی‌ها بیشتر از طریق مشاهدات نقطه‌ای ایستگاه‌ها مورد بررسی و طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند(میشرا و همکاران،۲۰۱۰، آقا کوچک و همکاران، ۲۰۱۲، فرج زاده و احمدیان، ۱۳۹۳)، با این وجود در مناطقی که دارای نمونه گیری محدود هستند، شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر ایستگاه برای بیان شرایط خشک‌سالی مناسب نیستند(دهکردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۵). در چنین شرایطی سنجش از دور می‌تواند ابزاری بسیار مفید باشد، زیرا این تکنیک به یکی از فناوری‌های پیشرو برای مشاهده زمین تبدیل شده است که می‌تواند اطلاعات کاملی در مورد فرآیندهای سیستم‌های زمین ارائه دهد(تونشند[۴] و جاستین[۵]، ۲۰۰۲، لو و همکاران، ۲۰۱۶، ژانک و همکاران، ۲۰۱۷). اولین بار در دهه ۱۹۷۰ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای ماهواره AVHRR به‌منظور ارزیابی و پایش خشک‌سالی توسعه داده شد(آنیامبا[۶] و توکر[۷]، ۲۰۱۲). به دنبال آن کوگان[۸] و همکاران(۱۹۹۵) شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دما (TCI) و شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)، برای پایش و مدیریت خشک‌سالی ارائه کردند که این شاخص‌ها مبتنی بر NDVI و LST می‌باشد. در بین مطالعات انجام گرفته با استفاده از سنجش از دور شاخص‌های TCI و VCI بیشترین استفاده را در پایش خشک‌سالی دارند(بویان[۹] و همکاران، ۲۰۰۶). آژانس فضایی آمریکا (NASA) در سال ۱۹۹۹ اولین سنجنده تصویربردار رادیومتریک با قدرت تفکیک مکانی متوسط به نام MODIS را به فضا پرتاب نمود که بر روی ماهواره

[1] Hayes
[2] Mishra
[3] Singh
[4] Townshend
[5] Justine
[6] Anyamba
[7] Tucker
[8] Kogan
[9] Bhuiyan

Terra قرار گرفته بود. این ماهواره از لحاظ دقت زمین مرجع بودن، قدرت تفکیک مکانی و طیفی از سنجنده AVHRR بهتر می‌باشد(تونشند و جاستین، ۲۰۰۲). از آن زمان، محصولات سنجنده MODIS به‌طور گسترده‌ای برای نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی و ارزیابی خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفته است، و روش‌های بسیاری با استفاده از سنجش از دور برای نظارت بر پوشش گیاهی جهانی و حوادث شدید اقلیمی مانند خشک‌سالی، سیل‌خیزی، امواج گرما و غیره توسعه یافته است(تونشند و جاستین، ۲۰۰۲، چوی[۱] و همکاران، ۲۰۱۳، کیو[۲] و همکاران، ۲۰۱۹، یو[۳] و همکاران، ۲۰۱۹، وانگ[۴] و همکاران، ۲۰۱۹، اننکل[۵] و همکاران، ۲۰۱۶، جیاو[۶] و همکاران، ۲۰۱۹، جی[۷] و همکاران ۲۰۱۸، شن[۸] و همکاران، ۲۰۱۹، پای[۹] و همکاران، ۲۰۱۸) که در اینجا به بعضی از این مطالعات اشاره می‌شود. پای و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای در کشور چین با هدف پایش پویایی گیاه با استفاده از شاخص‌های TCI، VCI و VHI برای دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ انجام دادند و در نهایت ذکر کردند که رابطه بین TCI و VCI در نواحی مختلف متغیر است. هان[۱۰] و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه با هدف ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با استفاده از سنجش از دور و یادگیری عمیق انجام دادند. در این مطالعه این محققان رابطه بین شاخص‌های تبخیر تعرق(ET)، TCI، VCI و PCI را با استفاده از روش جنگل تصادفی مورد ارزیابی قرار دادند و یک روش به نام CDMI (combined drought monitoring index) برای پایش خشک‌سالی ارائه کردند. شن و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای با هدف پایش خشک‌سالی با استفاده چندین منبع سنجش از دوری در چین انجام دادند که برای دستیابی به اهداف تحقیق از محصولات MODIS و TRMM استفاده نمودند. جیاو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای مشابه با استفاده از چندین سنجنده ماهواره‌ای مطالعه‌ای به منظور پایش خشک‌سالی در کشور آمریکا انجام دادند. در این مطالعه آن‌ها با تلفیق شاخص‌های TCI، VCI، PCI و SMCI شاخص جدیدی به نام GIIDI به منظور پایش خشک‌سالی آمریکا ارائه نمود. شهاب فر و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با هدف بررسی خشک‌سالی هواشناسی، کشور ایران را در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور آن‌ها از ۱۸۰ ایستگاه برای ارزیابی خشک‌سالی استفاده نمود و خاطر نشان کردند که توسعه و استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری برای پایش خشک‌سالی می‌تواند بسیار مناسب می‌باشد. حمزه و همکاران(۱۳۹۶)، مطالعه ای با هدف پایش زمانی - مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در استان مرکزی انجام داده اند. نتایج به دست آمده در مطالعه آن‌ها نشان داد که این استان در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ در وضعیت خشک‌سالی و در سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در وضعیت تر سالی قرار داشته است. سلیمانی و همکاران(۱۳۹۸)، پژوهشی با عنوان تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور در بازه ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ در شهرستان مریوان انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در بازه زمانی بررسی شده در سال ۱۳۹۱ خشک‌سالی کشاورزی در این شهرستان رخ داده

[1] Choei
[2] Qu
[3] Yu
[4] Wang
[5] Enenkel
[6] Jiao
[7] Ji
[8] Shen
[9] Pei
[10] Han

است. کریمی و همکاران(۱۳۹۸)، مطالعه ای با موضوع بررسی کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از سنجش از دور از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در حوزه آبخیز کرخه انجام داده اند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که همزمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در تمام سال‌ها وجود ندارد، بنابراین علاوه بر بارش دیگر متغیرهای اقلیمی نیز در ارزیابی خشک‌سالی باید در نظر گرفته شوند.

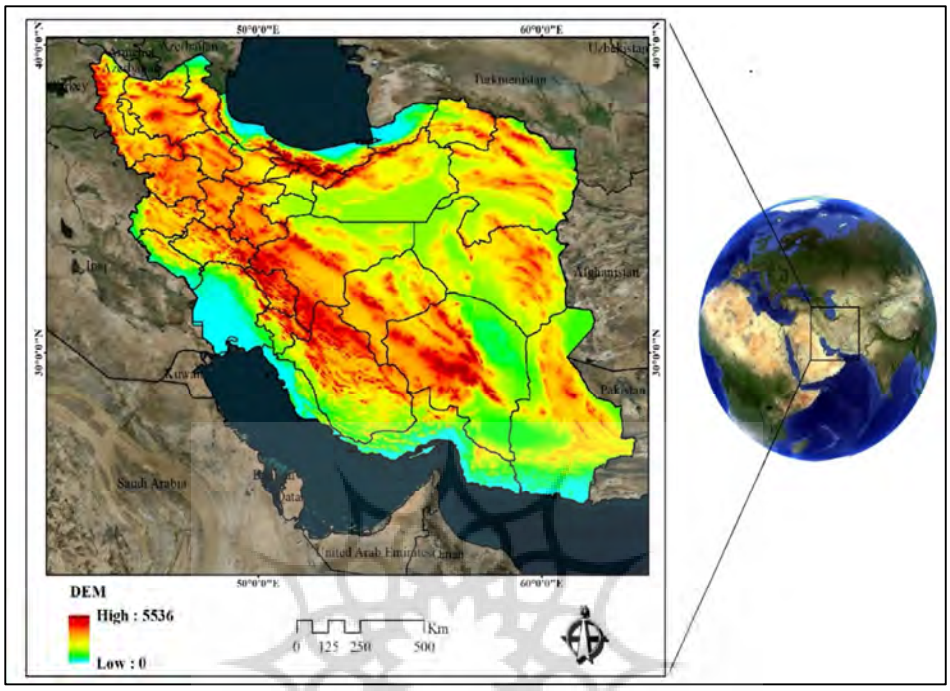
همان‌طور که مرور منابع نشان می‌دهد شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور روش‌های پر کاربردی برای پایش خشک‌سالی هستند(نیازی و همکاران، ۱۳۹۵)، ولی مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، و شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند. کشور ایران نیز از لحاظ موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی از جایگاه ویژه‌ای در بحث‌های مرتبط با خشک‌سالی برخوردار است که در نتیجه آن لازم است طرح‌های مقابله با خشک‌سالی و سیستم‌های پایش خشک‌سالی باید همواره بررسی و ارزیابی شود(زینالی و زنگیر، ۱۳۹۶، طبری و همکاران، ۲۰۱۴؛ عمادودین[1] و همکاران، ۲۰۱۹). از طرف دیگر بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مطالعات انجام شده در داخل کشور تنها از شاخص‌هایی نظیر NDVI، TCI، VCI و SPI برای ارزیابی خشک‌سالی در سطح استان و شهرستان استفاده کرده‌اند و یکی از جنبه خشک‌سالی اقلیمی یا کشاورزی را مورد بررسی قرار داده‌اند(دهکردی و همکاران، ۱۳۹۴، حمزه و همکاران، ۱۳۹۵، سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۸، کریمی و همکاران، ۱۳۹۸)، این در حالی است که مطالعاتی که اخیرا در خارج از کشور در حال انجام است، شاخص‌های ترکیبی را برای ارزیابی خشک‌سالی پیشنهاد می‌دهند(هان و همکاران، ۲۰۱۹، جیاو و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به اینکه چنین مطالعه ای در سطح کشور و با هدف بررسی جامع خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری در منابع موجود یافت نشد و بررسی این موضوع از اهمیت ویژه ای برخوردار است، بنابراین این مطالعه با هدف پایش مکانی–زمانی خشک‌سالی کشور ایران با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری در دوره آماری ۱۹ ساله(۲۰۰۰-۲۰۱۸) انجام گرفت. سپس به‌منظور ارزیابی صحت نتایج به‌دست‌آمده، این شاخص‌ها با شاخص هواشناسی SPEI مورد مقایسه قرار داده شدند تا در نهایت بین شاخص‌های مورد استفاده برای بررسی زمانی- مکانی خشک‌سالی در سطح کشور، شاخص سنجش از دوری بهتر مشخص گردد.

داده‌ها و روش‌ها

الف- معرفی منطقه

کشور ایران با مساحتی بالغ بر ۱/۸۷ میلیون کیلو مترمربع شانزدهمین کشور بزرگ در جهان می‌باشد(شهاب فر و همکاران، ۲۰۱۲). این کشور در جنوب غربی آسیا و در نیمه کره شمالی قرار گرفته است که ارتفاع آن بیشتر از ۵۵۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد(شکل۱). تغییرات دمای این کشور بین ۳- تا ۶۰+ درجه سانتیگراد است و بارندگی آن از کمتر از ۲۵ میلی‌متر در بم تا بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر در شهر انزلی ثبت شده است و میانگین بارندگی این کشور ۲۵۰ میلی متر می‌باشد. غالب سطح ایران با استفاده از اقلیم خشک و نیمه‌خشک پوشیده شده که نواحی نیمه‌خشک را دامنه‌های کوه‌های البرز و زاگرس تشکیل می‌دهند(علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸).

[1] Emadodin



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه(کشور ایران)

ب- داده‌های سنجش از دور

در این راستا به‌منظور تهیه این داده‌ها از محصولات ماهواره‌های MODIS و TRMM استفاده شد. برای تهیه دمای سطح زمین در این تحقیق محصول MOD11A1 بکار گرفته شد. برای تهیه شاخص پوشش گیاهی نیز محصول MOD13Q1 استفاده گردید. این محصولات ماهواره MODIS از پایگاه اینترنتی ناسا (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov) دانلود گردید. همچنین برای تهیه مقدار بارش کشور ایران در هر ماه از ماهواره TRMM، محصول B43 استفاده شد، که برای تهیه این محصول می‌توان به پایگاه اینترنتی (http://mirador.gsfc.nasa.gov) مراجعه کرد. در نهایت با استفاده از این داده ها شاخص‌های TCI، VCI و PCI و SDSI برای کشور محاسبه و وضعیت خشک‌سالی در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفت.

ج- شاخص‌های سنجش از دوری

شاخص vegetation condition index (VCI)

هنگامی که پوشش گیاهی تحت تنش خشکی قرار دارد، مقدار NDVI بر این اساس کاهش می‌یابد(شن و همکاران، ۲۰۱۹). با این حال، یک تصویر NDVI به‌تنهایی فقط سلامت نسبی رشد پوشش گیاهی را در یک زمان خاص نشان می‌دهد. بنابراین، با استفاده از یک شاخص (VCI) می‌توان رشد پوشش گیاهی در یک سری زمانی بررسی شود (لیو[1] و کوگان[1]، ۱۹۹۶). این شاخص یک نرمال سازی بر روی لایه‌ها انجام می‌دهد که سبب می‌شود اثرات نویزهای

[1] Lie

پراکنده اقلیمی کوتاه‌مدت با استفاده از سیگنال‌های بلند مدت اکولوژیکی از بین برود. در این مطالعه برای به دست آوردن عامل پوشش گیاهی از محصول MOD13Q1 مربوط به سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز استفاده گردید (دیدان[2]، ۲۰۱۵). پس از دریافت این محصول میانگین شاخص NDVI برای هر سال استخراج گردید. سپس به‌منظور تهیه شاخص VCI با استفاده NDVI و جایگذاری در رابطه ۱ این شاخص محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{VCI_i} = \frac{NDVI_{ij} - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (۱)$$

جایی که VCIi شاخص وضعیت پوشش گیاهی در یک سال خاص است، NDVIi مقدار NDVI یک سال خاص است و NDVImin و NDVImax حداقل و حداکثر مقادیر NDVI در طول دوره آماری می‌باشد(فیروزی و همکاران، ۱۳۹۷). دامنه تغییرات این شاخص بین ۰ تا ۱ است. در سال‌هایی با خشک‌سالی شدید، که شرایط رشد گیاهی ضعیف است مقدار شاخص VCI نزدیک به ۰ است. همچنین مقدار این شاخص در شرایط ایدئال از لحاظ پوشش گیاهی به ۱ نزدیک می‌شود.

شاخص Temperature condition index(TCI)

در دوره‌های خشک‌سالی سطح دچار تنش شده و وقوع و توسعه خشک‌سالی ارتباط نزدیکی با دمای سطح زمین دارد. LST بالا در فصل رشد پوشش گیاهی نشان‌دهنده شرایط نامساعد یا خشک‌سالی است، درحالی‌که مقادیر پایین LST نشان‌دهنده شرایط عمدتاً سالم است (سین و همکاران، ۲۰۰۳). با این‌حال، LST متأثر از بسیاری از عوامل مانند جو و محیط زیست می‌باشد و استفاده از LST به‌تنهایی نمی‌تواند خشک‌سالی را بررسی کند(شن و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین شاخص TCI بر اساس این اصل تعریف می‌شود که دمای بالای سطح خاک سبب افزایش تنش آبی در گیاه و خاک خواهد شد(کوگان، ۱۹۹۵). در این مطالعه برای تهیه دمای سطحی ایران از سنجنده MODIS و محصول MOD11A1 استفاده گردید که دارای قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی یک روزه می‌باشند (وان[3] و همکاران، ۲۰۱۵). پس از تهیه و استخراج دمای سطح زمین در طی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ شاخص TCI برای کشور ایران محاسبه شد که معادله آن به‌صورت رابطه ۲ است:

$$\mathrm{TCI_i} = \frac{\mathrm{LST_{max}} - \mathrm{LST_i}}{\mathrm{LST_{max}} - \mathrm{LST_{min}}} \quad (۲)$$

در این رابطه جایی که TCIi شاخص شرایط دما در یک سال خاص است، LSTi مقدار LST یک سال خاص است و LSTmin و LSTmax حداقل و حداکثر مقادیر LST در طول دوره آماری است. مقدار بالاتر TCI وضعیت دمای را بهتر نشان می‌دهد و مقادیر پایین نشان‌دهنده وقوع خشک‌سالی از لحاظ این شاخص می‌باشند. در طی این دوره بیشترین دمای متوسط سالانه سطح زمین در کشور ایران مربوط به سال ۲۰۰۰ با مقدار ۶۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار دما متوسط سالانه در طول این دوره آماری مربوط به سال ۲۰۰۹ با مقدار ۳/۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

[1] Kogan
[2] Didan
[3] Wan

شاخص Precipitation Condition Index (PCI)

ازآنجایی‌که شاخص‌های TCI و VCI به‌تنهایی برای ارزیابی خشک‌سالی کافی نیستند، بنابراین در این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر بارش بر خشک‌سالی داده‌های بارش نیز مورد ارزیابی قرار گرفت چراکه یکی از دلایل اصلی وقوع خشک‌سالی کمبود بارش می‌باشد. محصول 3B43 ماهواره TRMM می‌تواند مقادیر بارش ماهانه با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر را برای محققین فراهم می‌سازد(هافمن[1] و بولوین[2]، ۲۰۱۳). پس از برآورد بارش برای دوره آماری با استفاده از رابطه ۳ می‌توان شاخص PCI را نیز محاسبه نمود(دو[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ ری[4] و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ جی و همکاران، ۲۰۱۸):

$$\mathrm{PCI_i} = \frac{TRMM_{ij} - TRMM_{min}}{TRMM_{max} - TRMM_{min}} \quad (۳)$$

در این رابطه جایی که PCIi شاخص شرایط بارندگی در یک سال خاص است، TRMMi مقدار بارندگی یک سال خاص است و TRMMmin و TRMMmax حداقل و حداکثر مقادیر بارندگی در طول دوره آماری است. مقدار پایین PCI وضعیت کمبود بارندگی را نشان می‌دهد. تغییرات متوسط سالانه بارش کشور در طول دوره آماری نشان می‌دهد که مقدار بارندگی در کشور ایران بین ۰ تا ۱۸۷۲ میلی‌متر متغیر می‌باشد.

شاخص ترکیبی Scaled Drought Condition Index (SDCI)

همچنین با تلفیق سه شاخص PCI، TCI و VCI در یک رابطه خطی نیز می‌توان شاخص‌هایی دیگری را برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی ارائه داد(کاو[5] و همکاران، ۲۰۱۹؛ جیاو و همکاران، ۲۰۱۹). در این مطالعه از شاخص ترکیبی SDCI برای ارزیابی وضعیت خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های TCI، PCI و VCI، می‌توان از رابطه ۴ استفاده نمود(ری و همکاران، ۲۰۱۰، کاو و همکاران، ۲۰۱۹، هان و همکاران، ۲۰۱۹) و نحوه طبقه‌بندی این شاخص بر اساس درجه خشک‌سالی در جدول ۱ ارائه شده است.

$$\mathrm{SDCI} = \frac{1}{3} * \mathrm{TCI} + \frac{1}{3} * \mathrm{PCI} + \frac{1}{3} * \mathrm{VCI} \quad (۴)$$

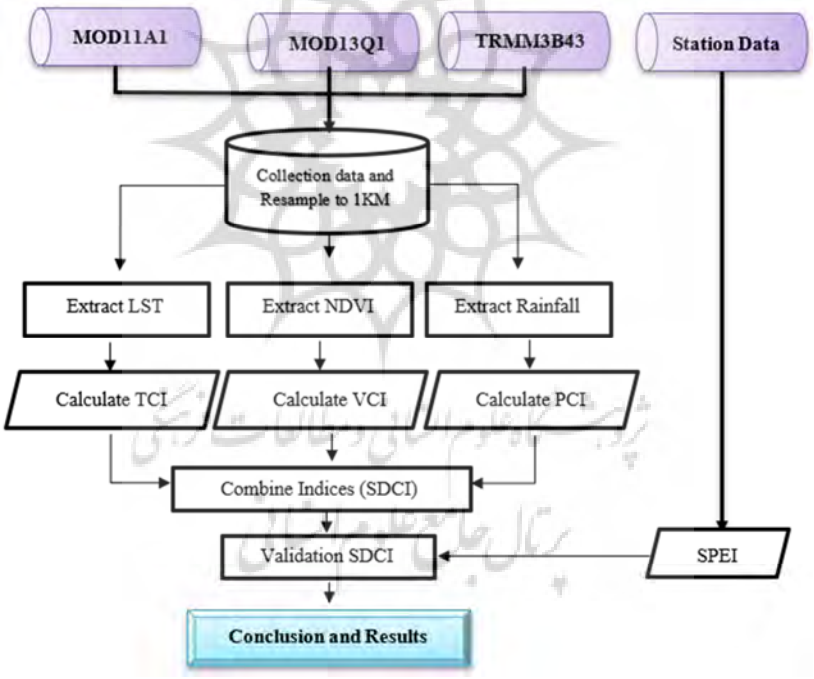
جدول۱: طبقه‌بندی شاخص SDCI *(منبع: هان و همکاران، ۲۰۱۹)*

شاخص SDCI	طبقات
$0 \le SDSI < 0.1$	خشک‌سالی فوق بحرانی
$0.1 \le SDSI < 0.2$	خشک‌سالی بحرانی
$0.2 \le SDSI < 0.3$	خشک‌سالی شدید
$0.3 \le SDSI < 0.4$	خشک‌سالی متوسط
$0.4 \le SDSI < 0.5$	خشک‌سالی ضعیف
$SDSI > 0.5$	فاقد خشک‌سالی

[1] Huffman
[2] Bolvin
[3] Du
[4] Rhee
[5] Cao

د- شاخص هواشناسی

در این مطالعه، به‌منظور ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی سنجش از دوری، با شاخص خشک‌سالی هواشناسی استاندارد تبخیر و تعرق بارندگی[1](SPEI) مورد مقایسه قرار داده شد. این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی دارای دقت بیشتری می‌باشد(وینست[2] و لوپز[3]، ۲۰۰۶) زیرا بر اساس چند متغیر اقلیمی محاسبه می‌گردد. بنابراین این شاخص برای کشور ایران با استفاده از سامانه پایش خشک‌سالی جهانی تهیه گردید (https://spei.csic.es). برای این منظور میانگین این شاخص برای ۶ ناحیه شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی، جنوب شرقی و نواحی مرکزی و کل منطقه مورد مطالعه استخراج شد. هدف از استخراج این شاخص برای منطقه مورد مطالعه بررسی صحت و سقم نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری می‌باشد. بنابراین ابتدا سه شاخص با استفاده از پارامترهای دما، بارش و پوشش گیاهی محاسبه و یک شاخص ترکیبی نیز با استفاده از این سه شاخص تهیه گردید و در نهایت این شاخص‌ها با شاخص SPEI مورد ارزیابی و بررسی قرار داده شد. در شکل ۲ مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲: مدل مفهومی مراحل انجام تحقیق

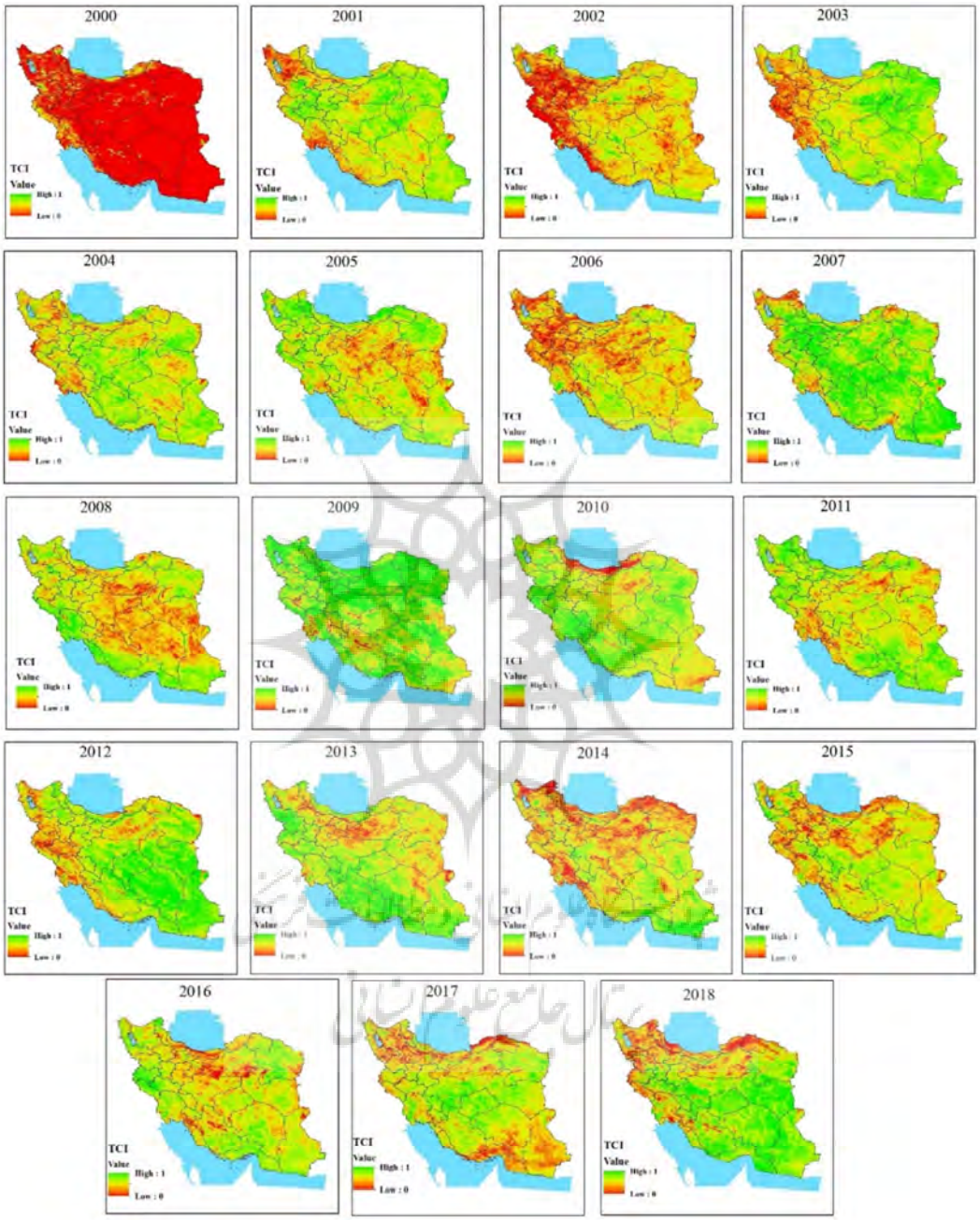
نتایج و بحث

مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی انجام شده است که اکثر مطالعات ذکر کردند که در میان شاخص‌های واحد PCI، TCI و VCI عملکرد بهتری نسبت به سایر شاخص‌های به‌منظور بررسی خشک‌سالی دارد

[1] Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
[2] Vicente
[3] Lopez

(ژانک و همکاران، ۲۰۱۷). اگر چه استفاده از شاخص‌هایی همانند SMCI هم در کنار سایر شاخص‌های دیگر می‌توانست جنبه دیگری از خشک‌سالی را بارز نماید و دقت تخمین خشک‌سالی را بالا ببرد(جیاو و همکاران، ۲۰۱۹)، اما به دلیل اینکه شاخص مذکور که با استفاده از تصاویر ماهواره AMSR-E قابل برآورد بوده، محصولات آن تنها تا سال ۲۰۱۱ در دسترس بود، درحالی‌که مطالعه حاضر ارزیابی خشک‌سالی را تا سال ۲۰۱۸ بررسی نموده بنابراین امکان استفاده از آن وجود نداشت و در این مطالعه از این شاخص استفاده نگردید. از طرف دیگر شاخص‌های ترکیبی همچون SDCI چندین منبع اطلاعاتی را مورد بررسی قرار داده که جنبه‌های مختلف خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی را توصیف می‌کند(ری و همکاران، ۲۰۱۰). از دیگر مزیت‌های شاخص SDCI آن است که علاوه بر امکان پایش خشک‌سالی در مناطق خشک، پایش خشک‌سالی در مناطق اقلیمی مرطوب و نیمه مرطوب را امکان‌پذیر کرده است(ری و همکاران، ۲۰۱۰؛ کاو و همکاران، ۲۰۱۹). هدف کلی این مطالعه کارایی شاخص‌های سنجش از دوری به‌منظور برنامه‌ریزی جامع خشک‌سالی در کل کشور ایران بود. بنابراین کل کشور ایران با استفاده از چهار شاخص VCI، TCI، PCI و SDCI مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر بیشینه این شاخص‌ها نشان‌دهنده وقوع دوره تر سالی در مناطق کشور و مقدار کمینه(صفر) نشان از قرار گرفتن در کلاس‌های شدید خشک‌سالی بوده است. نتایج شاخص TCI برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف محاسبه و در شکل ۳ ارائه گردید. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۰ نسبت به سایر سال‌های مورد مطالعه بالاتر بوده بنابراین سال ۲۰۰۰ از نظر شاخص TCI در خشک‌سالی شدیدی بوده است. همچنین در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ ناحیه شمال غربی کشور دارای دمای بیشتری نسبت به سایر سال‌های مورد بررسی بوده است. از طرف دیگر نواحی مرکزی ایران در سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ دمای بیشتری را نسبت به سال‌های دیگر در طول دوره آماری داشته‌اند و نواحی شمالی کشور ایران در طول دوره آماری بیشترین دما را در سال ۲۰۱۰ به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۷ بخش جنوب شرقی کشور دارای دمای بالاتری نسبت به سایر سال‌های دیگر بوده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



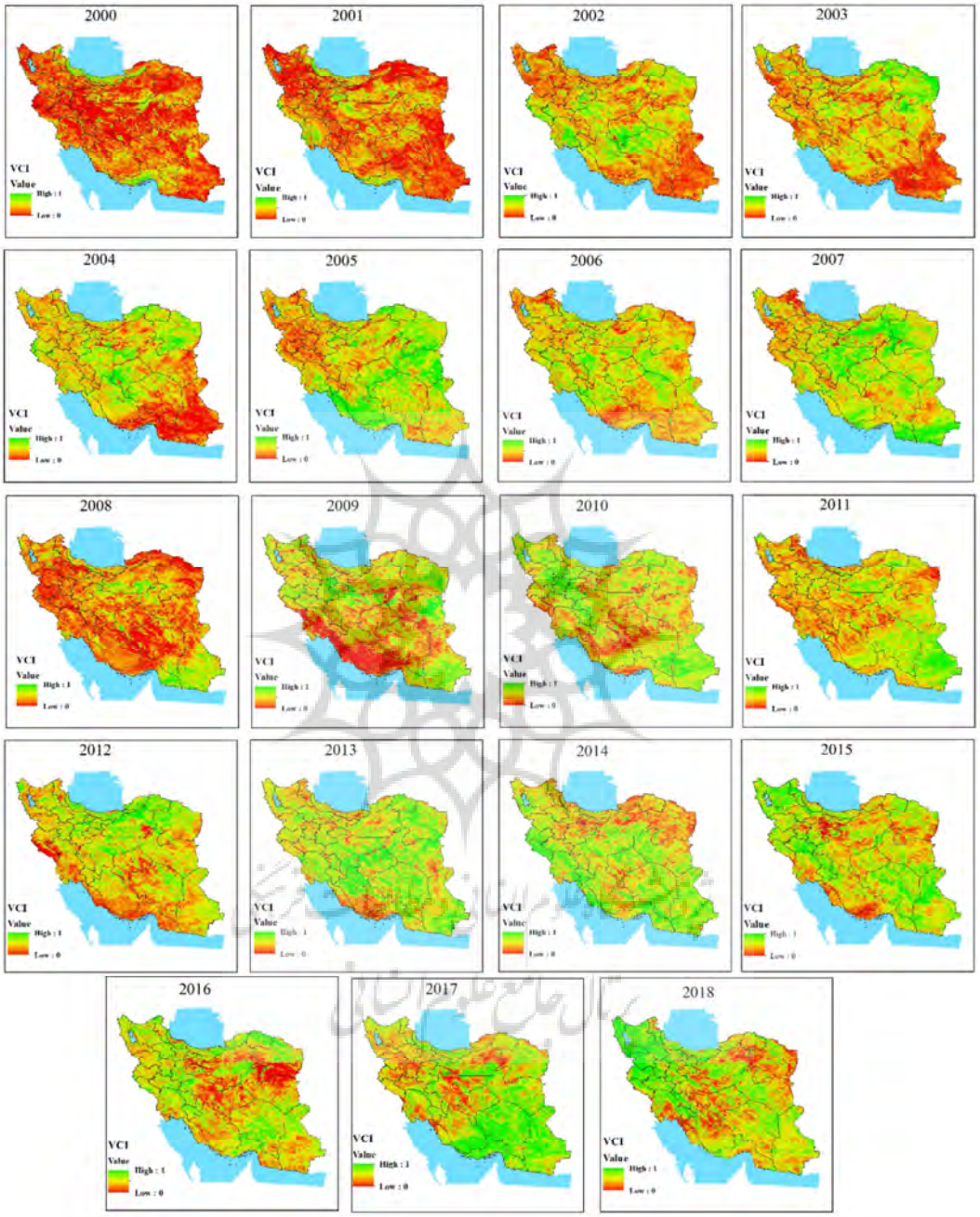
شکل۳: تغییرات شاخص TCI در دوره آماری ۱۹ ساله(۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) با استفاده از سنجنده MODIS

نتایج حاصل از شاخص VCI به‌منظور بررسی خشک‌سالی از لحاظ پوشش گیاهی در شکل ۴ آورده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ در سرتاسر ایران دارای شرایط بحرانی شدیدی بوده که بیشترین مقدار این خشک‌سالی متعلق به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. از طرف دیگر سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۹ تنها در بخشی از نواحی کشور خشک‌سالی مشاهده گردیده است. بررسی نتایج نشان

می‌دهد که وقوع خشک‌سالی به دلیل افزایش دما و کمبود بارش در سال ۲۰۰۸ سبب شده که پوشش گیاهی در سال بعد نیز در بعضی نقاط کشور توانایی احیای مجدد را نداشته باشد، بنابراین این اثر تضعیف پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۹ همچنان دیده می‌شود. این امر برای وضعیت پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۱ نیز صادق است چراکه در سال ۲۰۰۰ خشک‌سالی اقلیمی سبب تضعیف پوشش گیاهی در سال‌های بعدی شده است. نتایج مطالعه حمزه و همکاران(۱۳۹۵) نشان داد که در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، استان مرکزی در وضعیت خشک‌سالی و در سال های ۲۰۰۹ در وضعیت تر سالی قرار داشته است که همسو با نتایج به دست آمده در این تحقیق است. همچنین یزدان پناه و همکاران(۱۳۹۳) ذکر کردند که در سال ۲۰۰۸ پوشش گیاهی در استان خوزستان در وضعیت خشک‌سالی نسبت به سایر سال‌های دیگر قرار داده داشته است که نتایج پژوهش آن‌ها با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج حاصل از شاخص PCI که در ارتباط با میزان بارندگی می‌باشد در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج این شاخص نشان‌دهنده آن است که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ میزان بارش از سایر سال‌ها کمتر بوده است و به‌صورت کلی می‌توان گفت در این سال‌ها ریزش‌های جوی در سرتاسر کشور نسبت به میانگین سالانه کمتر شده است. شدیدترین مقدار کمبود بارش در دو دهه اخیر مربوط به سال ۲۰۰۰ بوده که به‌جز بخش کوچکی از نواحی شمال و شمال غربی سایر نواحی کشور با کمبود شدید بارش در این سال مواجه شده است. نتایج حاصل از این بخش نشان می‌دهد که در بعضی از سال‌ها تنها بخشی از کشور دچار کمبود بارش بوده و سایر نواحی از لحاظ ریزش‌های جوی دارای وضعیت مناسبی بوده‌اند. از میان این دوره می‌توان به سال ۲۰۰۳ اشاره نمود که نواحی مرکزی کشور دارای خشک‌سالی از لحاظ بارش شده‌اند و در سال ۲۰۰۴ نوار جنوبی و بخش جنوب شرقی کشور دارای خشک‌سالی بوده درحالی‌که در این سال در مناطق شمالی کشور هیچ‌گونه کمبود بارشی نسبت به میانگین دوره آماری مشاهده نشده است. زرچ[1] و همکاران (۲۰۱۱) برای کشور ایران با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی اقلیمی SPI و RDI مطالعه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ خشک‌سالی شدیدی در ایران رخ داده است، بنابراین می‌توان گفت که نتایج مطالعه حاضر هم جهت با تحقیق آنها بوده است.

[1] Zarch

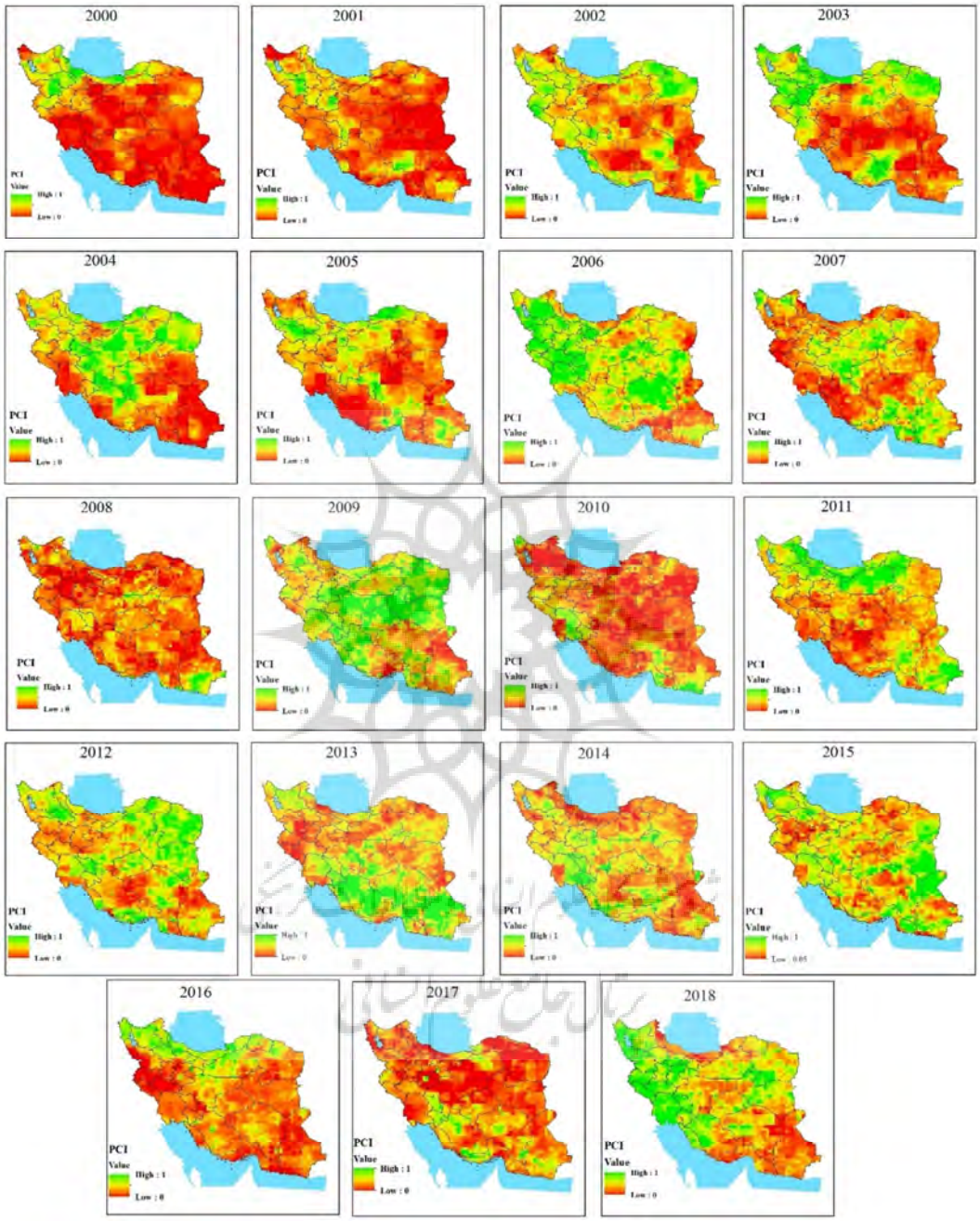


شکل۴: تغییرات شاخص VCI در دوره آماری ۱۹ ساله(۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) با استفاده از سنجنده MODIS

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌ها می‌توان این‌چنین بیان نمود که هر سه شاخص وقوع خشک‌سالی را در سال ۲۰۰۰ تائید کرده‌اند. از طرف دیگر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کشور ایران در سال ۲۰۰۹ دوره ترسالی تشخیص داده شده است. درحالی‌که در بعضی از سال‌ها نیز ممکن است نتایج این شاخص‌ها همسو نباشد. دلیل این امر را

می‌توان این‌گونه توجیه نمود که شاخص‌های اقلیمی از جمله، PCI، TCI، SPI وابسته به پارامترهای اقلیمی بوده و بیشتر خشک‌سالی اقلیمی را مد نظر قرار می‌دهند، درحالی‌که شاخص VCI تمرکز بیشتری به پایش خشک‌سالی کشاورزی دارد. به‌بیان‌دیگر این شاخص‌ها هر کدام نوع خاصی از خشک‌سالی را مورد بررسی قرار می‌دهند و زمان وقوع انواع خشک‌سالی‌ها با هم منطبق نیست و ممکن است جنبه‌های مختلف خشک‌سالی با هم ظاهراً نشود(ژانک و همکاران، ۲۰۱۹). به‌عبارت‌دیگر هر نوع خشک‌سالی با فاصله زمانی از سایر خشک‌سالی‌ها اتفاق می‌افتد، بنابراین اختلاف زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی با کشاورزی کاملاً طبیعی است و این اختلاف زمانی می‌توان بین چند ماه تا چند سال باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل۵: تغییرات شاخص PCI در دوره آماری ۱۹ ساله(۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) با استفاده از سنجنده TRMM

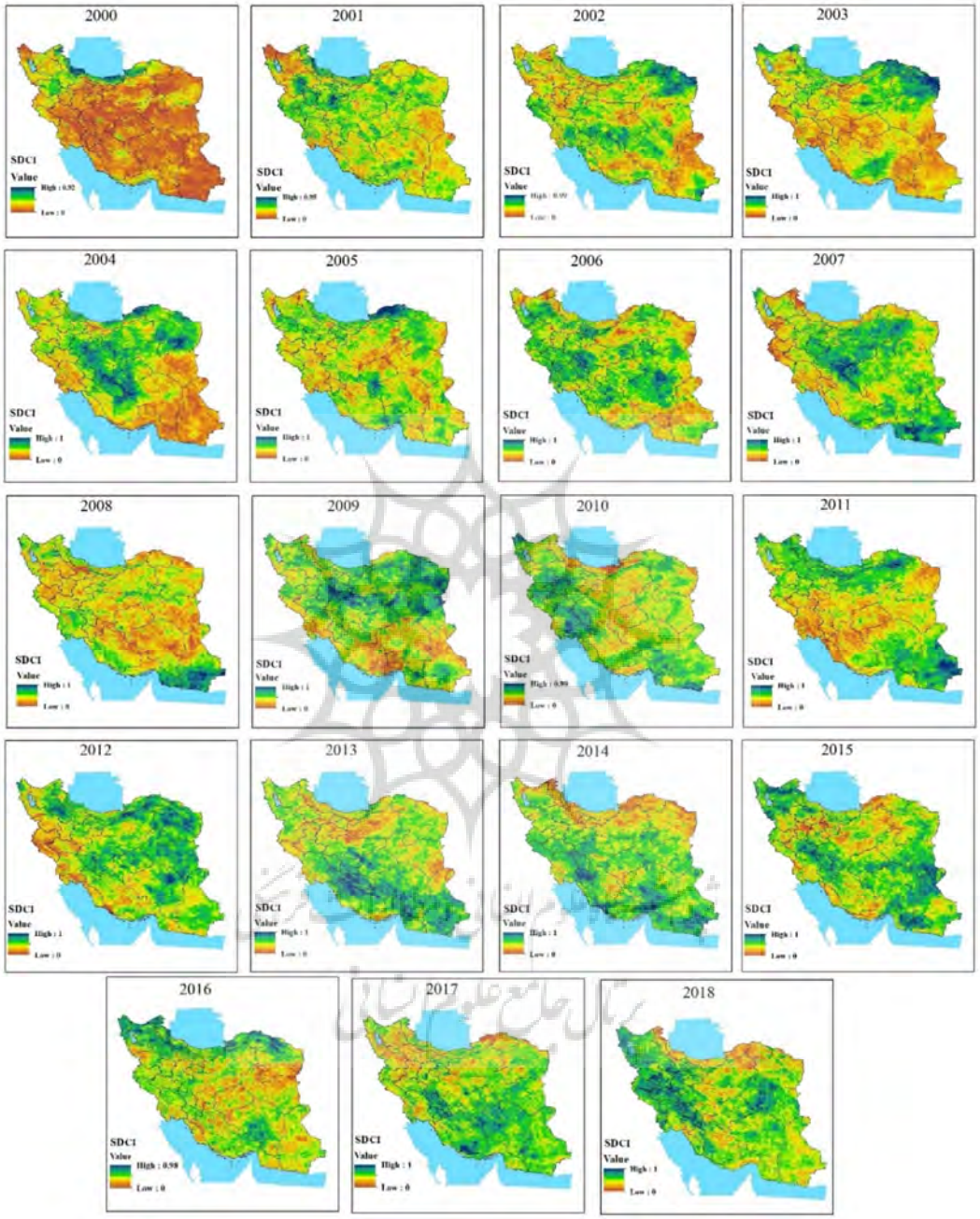
از آنجاییکه که ارزیابی و آنالیز خشک‌سالی با استناد به یک شاخص امکان بررسی و مدیریت همه جانبه را برای مدیران به ارمغان نمی‌آورد بنابراین بهتر است که برای ارزیابی دقیق‌تر خشک‌سالی، اثر چندین انواع خشک‌سالی به‌صورت هم‌زمان با هم در نظر گرفته شود(هان و همکاران، ۲۰۱۹). در چند سال اخیر علاوه بر شاخص‌های معمول،

از یک شاخص ترکیبی نیز استفاده می‌شود تا اثر خشک‌سالی با استفاده از چندین منبع ماهواره‌ای و چندین شاخص سنجیده شود(خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۹۸). چراکه استفاده از شاخص ترکیبی خشک‌سالی جنبه‌های مختلفی از خشک‌سالی مانند اقلیمی، کشاورزی و هیدرولوژیکی را به‌صورت همزمان در نظر می‌گیرد، بنابراین این شاخص‌ها به‌منظور مدیریت و ارزیابی خشک‌سالی، کارایی بهتری از خود نشان می‌دهند(کریمی و همکاران، ۱۳۹۵، هاو[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج این شاخص در شکل ۶ ارائه شده است و بررسی آن نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ خشک‌سالی‌های شدیدی در کشور ایران رخ داده است. نتایج مطالعه روستا و همکاران(۲۰۲۰) مشابه تحقیق حاضر بوده و آن‌ها نیز در مطالعه خود که بر روی نوار غربی کشور ایران انجام دادند بیان کردند که در سال ۲۰۰۸ خشک‌سالی شدیدی در این رخ داده است. این خشک‌سالی‌ها با افزایش دما، کمبود بارش و در نهایت کاهش پوشش گیاهی سطح زمین در کشور مشاهده شده است و لازم به ذکر است که این مخاطره طبیعی در سال ۲۰۰۰ از لحاظ وسعت و شدت در وضعیت وخیم تری بوده است. این روند وضعیت خشک‌سالی تا سال ۲۰۰۱ هم ادامه داشته و اثر آن نیز کم و بیش هم در سال ۲۰۰۲ مشاهده می‌شود، چراکه در سال ۲۰۰۲ با وجود اینکه بارش مناسب بوده اما به دلیل بارش کم و دمای بالا در سال‌های قبلی، آثار خشک‌سالی در سال ۲۰۰۲ همچنان مشاهده می‌شود و بارندگی سال ۲۰۰۲ نیز توانایی احیای بعضی از نقاط کشور را نداشته است. به‌عبارت‌دیگر ریزش‌های جوی در سال ۲۰۰۲ بیشتر سبب از بین بردن اثر خشک‌سالی کشاورزی و اقلیمی در دوره‌های بعدی خواهد شد.

از طرف دیگر شاخص SDCI نشان می‌دهد که کشور ایران در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ از لحاظ وضعیت خشک‌سالی در شرایط مطلوبی بوده است. نتایج مطالعه عمامددین و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد که سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ خشک‌سالی در وسعت زیاد در ایران رخ داده است، که نتایج مطالعه آن‌ها هم‌راستا با مطالعه حاضر می‌باشد. همچنین دماوندی و همکاران(۱۳۹۵) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که سال ۱۳۷۹-۱۳۸۰ که مصادف با سال ۲۰۰۰ می‌باشد کشور ایران در خشک‌سالی شدیدی بوده است که نتایج مطالعه آن‌ها همسو با تحقیق حاضر می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۲ می‌توان مشاهده نمود که در سال ۲۰۰۰ بالغ بر یک میلیون کیلومتر مربع از اراضی سطح کشور در شرایط بحرانی و فوق بحرانی خشک‌سالی قرار داشتند. همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۹ در ۱/۲ میلیون کیلومتر مربع از سطح کشور ایران هیچ‌گونه خشک‌سالی مشاهده نشده است. بنابراین با توجه به شکل ۶ و جدول ۲ می‌توان گفت شدیدترین خشک‌سالی کشور ایران در دو دهه اخیر مربوط به سال ۲۰۰۰ بوده، درحالی‌که در سال ۲۰۰۹، کشور ایران در یک دوره ترسالی قرار داشته است.

[1] Hao



شکل۶: تغییرات شاخص ترکیبی SDCI در دوره آماری ۱۹ ساله(۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸)

جدول ۲: مساحت‌های کلاس‌های خشک‌سالی برحسب کیلومتر مربع در طول دوره آماری شاخص SDCI

کلاس / سال	فاقد خشک‌سالی	خشک‌سالی جزئی	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بحرانی	خشک‌سالی فوق بحرانی
۲۰۰۰	۳۰۳۹۲	۳۷۸۳۱	۱۰۰۴۱۹	۲۳۴۱۹۹	۴۴۴۸۵۴	۷۱۲۸۸۸
۲۰۰۱	۱۲۹۰۱۶	۳۰۳۷۹۳	۵۵۳۳۷۹	۴۴۶۹۳۷	۱۱۱۶۷۷	۱۵۸۱۸
۲۰۰۲	۳۱۷۷۵۰	۳۶۳۵۳۲	۴۴۲۰۵۱	۳۳۳۹۲۸	۹۵۴۲۹	۷۸۴۶
۲۰۰۳	۵۹۸۸۸۶	۴۰۳۴۵۹	۳۸۸۸۰۴	۱۵۵۰۰۸	۱۳۸۶۶	۵۸۲
۲۰۰۴	۷۴۷۹۳۹	۳۱۳۶۴۷	۲۹۷۳۳۶	۱۸۱۱۶۱	۱۹۴۳۹	۹۲۱
۲۰۰۵	۷۸۸۱۳۲	۴۵۰۱۴۹	۲۴۸۴۲۳	۶۵۳۷۸	۷۹۹۶	۲۶۶
۲۰۰۶	۶۸۸۹۳۷	۴۲۴۷۹۶	۳۱۳۲۶۵	۱۱۷۰۸۴	۱۵۸۰۳	۶۶۵
۲۰۰۷	۱۱۴۱۸۹۰	۲۷۰۸۴۶	۱۱۲۴۲۹	۳۰۸۱۴	۴۱۶۵	۴۱۱
۲۰۰۸	۱۷۳۰۰۱	۲۶۰۱۸۰	۴۷۲۷۰۱	۴۵۵۴۶۸	۱۸۱۶۵۵	۱۷۶۲۰
۲۰۰۹	۱۲۳۷۱۰۶	۲۲۳۲۹۶	۸۶۷۲۵	۱۲۹۴۰	۵۴۹	۹
۲۰۱۰	۶۰۸۹۰۹	۱۸۷۷۳	۱۸۷۷۳	۱۸۷۷۳	۱۸۷۷۳	۴۱۲۸
۲۰۱۱	۸۵۴۳۱۱	۳۶۹۲۳۴	۲۴۴۸۷۳	۸۰۶۴۷	۱۰۷۷۶	۷۸۲
۲۰۱۲	۱۰۵۲۲۸۶	۳۱۰۰۳۱	۱۴۶۴۵۳	۴۲۵۹۲	۸۶۹۵	۵۶۸
۲۰۱۳	۱۱۱۸۰۱۹	۲۷۰۹۶۶	۱۲۹۳۲۵	۳۶۶۷۶	۵۴۴۶	۱۹۰
۲۰۱۴	۷۵۰۵۳۸	۳۶۴۱۴۴	۲۵۱۸۴۳	۱۳۸۰۷۹	۴۷۷۹۵	۸۲۰۷
۲۰۱۵	۹۷۰۵۴۰	۳۴۰۲۰۲	۱۸۳۴۰۷	۵۶۴۴۶	۸۸۴۷	۱۱۸۳
۲۰۱۶	۵۳۹۹۲۴	۴۵۳۳۳۸	۳۷۵۰۹۲	۱۶۳۶۴۱	۲۶۸۳۹	۱۷۹۰
۲۰۱۷	۵۱۲۹۴۴	۴۵۲۴۱۷	۳۵۴۳۶۹	۱۷۹۰۲۹	۵۲۹۶۵	۸۸۹۸
۲۰۱۸	۱۰۸۰۳۳۸	۲۹۰۲۹۱	۱۳۶۶۳۴	۴۲۹۹۲	۹۴۲۷	۹۴۲

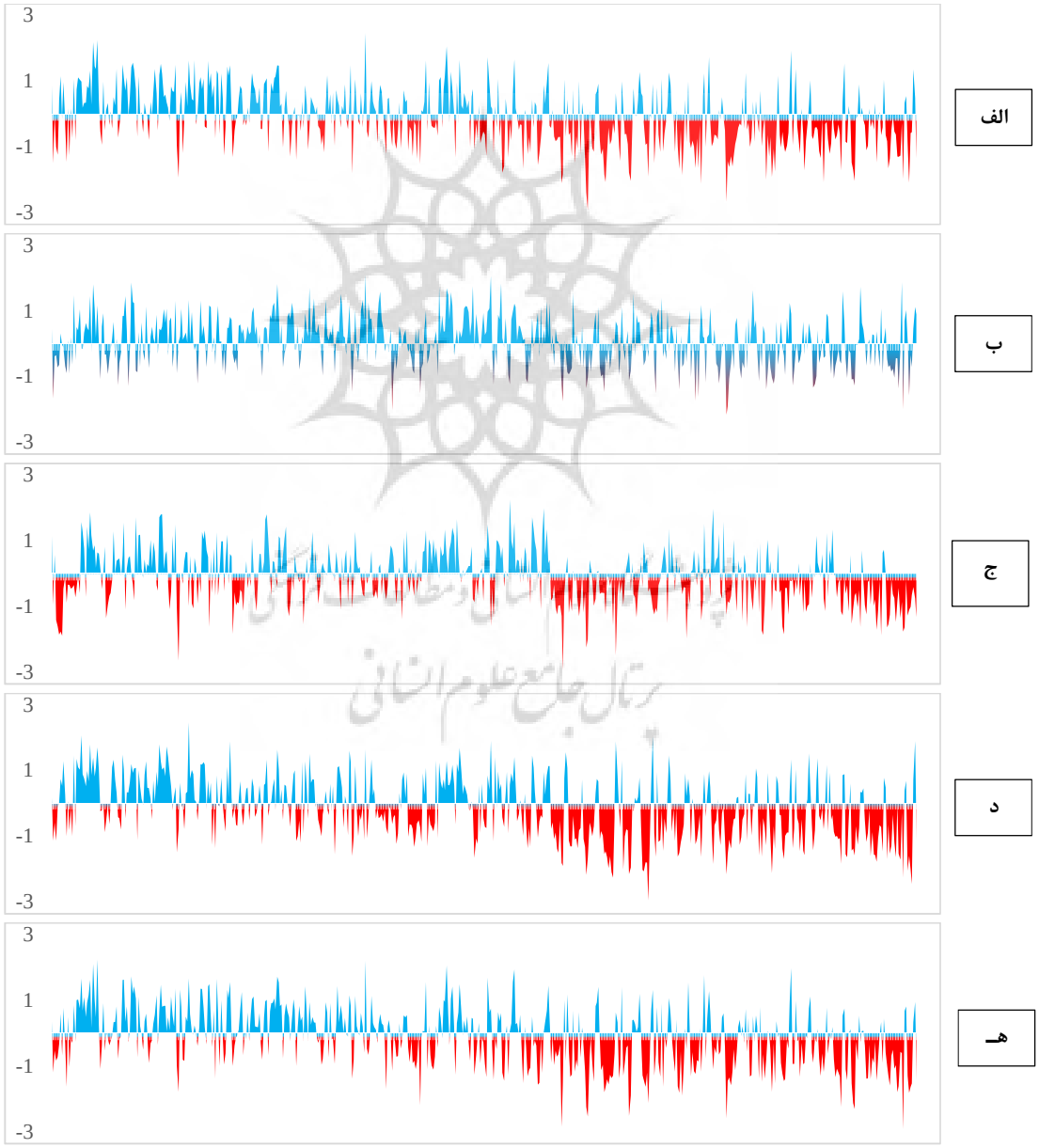
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

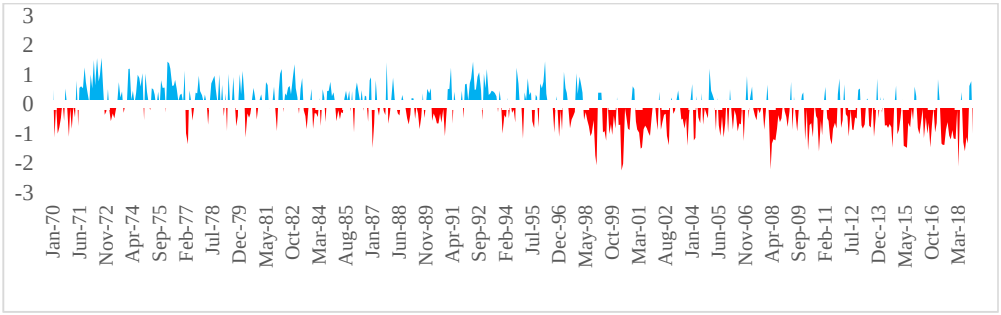
صحت سنجی با شاخص SPEI

به‌منظور ارزیابی و صحت سنجی نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه نتایج حاصل با شاخص SPEI مقایسه گردید. دوره آماری شاخص SPEI از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPEI برای بخش شمال غربی، شمال شرقی، جنوب غربی، جنوب شرقی، نواحی مرکزی و کل ایران در شش نمودار به‌صورت مجزا در شکل ۷ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در کل ایران سه دوره خشک‌سالی نسبتاً شدید بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مشاهده می‌گردد که مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ می‌باشد. این نتایج مطابقت زیادی با نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از شاخص‌های سنجش از دوری دارد چرا که شاخص SDCI نیز وضعیت خشک‌سالی را در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ شدید ارزیابی کرده و همچنین با بررسی سال ۲۰۱۷ در این شاخص می‌توان مشاهده نمود که در بعضی از نواحی کشور در این سال نیز خشک‌سالی به وقوع پیوسته است.

همچنین با بررسی وضعیت خشک‌سالی شاخص SPEI در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ نتایج نشان می‌دهد که کشور ایران در این سال‌ها ترسالی‌هایی هر چند کم مدت و ضعیف را تجربه کرده است که این بخش از نتایج به‌دست‌آمده

نیز کاملاً با نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از شاخص سنجش از دوری مطابقت دارد. اگرچه اختلافات کوچکی بین شاخص SPEI و شاخص SDCI نیز وجود دارد که دلیل آن می‌تواند به خاطر تفاوت در بارز سازی نوع خشک‌سالی و ماهیت شاخص‌ها می‌باشد، چراکه شاخص SPEI یک شاخص اقلیمی بوده و با استفاده از دما و مقدار بارش منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود، درحالی‌که شاخص سنجش از دوری SDCI علاوه بر دما و بارش، وضعیت پوشش سطح زمین که وابسته به خشک‌سالی کشاورزی می‌باشد را در نظر می‌گیرد و با دید وسیع‌تری وضعیت خشک‌سالی را ارزیابی می‌کند(ری و همکاران، ۲۰۱۰، کاو و همکاران، ۲۰۱۹).





شکل ۷: تغییرات شاخص SPEI یک‌ماهه در بازه طولانی‌مدت (۱۹۷۰-۲۰۱۸) در کشور ایران. الف) شمال شرقی ، ب) شمال غربی، ج) جنوب شرقی، د) جنوب غربی، هـ) نواحی مرکزی و) کل ایران

با توجه به نتایج به دست آمده، به صورت کلی می‌توان گفت که شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر تصاویر ماهواره ای TRMMو MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص های هواشناسی به منظور بررسی خشک‌سالی به ویژه در مناطقی که محدودیت داده وجود دارد، باشند. از این رو، با توجه به اینکه در داده های ماهواره ای، تعداد نمونه برداری بیشتر از تعداد ایستگاه زمینی است، بنابراین استفاده از دانش سنجش از دور پیشنهاد می‌شود. در این راستا پژوهش‌های انجام شده به وسیله رضایی مقدم و همکارانش(۱۳۹۲)، نیازی و همکاران(۱۳۹۵)، کریمی و همکاران(۱۳۹۸)، شهاب‌فر و همکاران(۲۰۱۲)، عمادین و همکاران(۲۰۱۹) نیز نشان داده است که استفاده از داده های ماهواره ای روش بسیار مناسبی برای تحلیل خشک‌سالی در مناطق مختلف کشور ایران است که با نتایج این تحقیق منطبق است. نتایج کلی این مطالعه نشان داد که شاخص SDCI یک شاخص جامع و ترکیبی است که جنبه‌های مختلفی از خشک‌سالی مورد بررسی قرار می‌دهد و غالبا نتایج بهتری را برای ارزیابی جامع خشک‌سالی در سطح کشور ایران نسبت به سایر شاخص‌های معمول سنجش از دوری ارائه می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پایش مکانی-زمانی خشک‌سالی کشور ایران در دو دهه اخیر (سال۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) با استفاده شاخص‌های سنجش از دوری TCI، PCI، VCI و SDCI مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج به دست آمده در شاخص‌های VCI، TCI، PCI و SDCI در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ بخش اعظمی از ایران در خشک‌سالی شدید و سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ غالب بخش‌های کشور نیز تر سالی را تجربه کرده اند. البته در برخی سال‌ها نیز روند خشک‌سالی در تمام مناطق مختلف کشور یکسان نبوده است و در بعضی از نواحی کشور دچار خشک‌سالی بوده اند در حالی که سایر بخش‌ها در دوره تر سالی قرار داشته باشند. از طرف دیگر بررسی شاخص SPEI نشان داد که شدت وقوع خشک‌سالی در سال‌های مختلف، در بخش‌های مختلف کشور یکسان نیست (به عنوان مثال شدیدترین خشک‌سالی در بخش‌های جنوب غربی کشور در سال ۲۰۰۳ رخ داده است در حالیکه در غالب نواحی کشور شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است) که این مورد به طور واضح در شاخص های سنجش از دوری نیز مشاهده گردید. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص SDCI در بین شاخص‌های سنجش از دوری بررسی شده در این تحقیق، همخوانی بالاتری با شاخص استاندارد SPEI نشان می‌دهد. با توجه به اینکه

شاخص SPEI تنها پارامترهای اقلیمی(دما و بارش) را برای ارزیابی خشک‌سالی در نظر می‌گیرد، اما شاخصی نظیر SDCI علاوه بر شاخص‌های اقلیمی، شاخص‌های کشاورزی را هم در ارزیابی خشک‌سالی درگیر می‌کند، بنابراین وجود اختلافات جزئی در ارزیابی خشک‌سالی بین شاخص‌ها منطقی به نظر می‌رسد. البته شایان ذکر است که اگر هدف تحقیق، تنها بررسی خشک‌سالی کشاورزی باشد بهتر از شاخص‌های پوشش گیاهی و پوشش سطحی مانند VCI استفاده گردد و اگر هدف از مطالعه تنها بررسی خشک‌سالی اقلیمی باشد، شاخص PCI می‌تواند نتایج رضایت بخش تری را در این باره ارائه دهد. در نهایت می‌توان بیان کرد که بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره ای جهت پایش زمانی-مکانی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، استفاده از شاخص‌های ترکیبی نظیر SDCI می‌باشد و از آنجایی‌که خشک‌سالی یک پدیده طبیعی پیچیده است، برای مطالعه بهتر وقایع این مخاطره طبیعی بهتر است عوامل دیگری همچون رطوبت خاک، نوع خاک، کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی در آینده وارد این مدل گردد تا دقت مدل‌سازی تا حد امکان افزایش یابد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله تشکر خود را از سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا(NASA)، آژانس فضایی اروپا(ESA)، آژانس فضایی ژاپن(JAXA) بابت در اختیار گذاشتن داده‌های ارزشمند جهت انجام تحقیق اعلام می‌دارند.

منابع

حمزه سعید، فراهانی زهرا، مهدوی شهریار، چترآبگون امید، غلام نیا مهدی (۱۳۹۶)، پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد مطالعه: استان مرکزی ایران. تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، سال چهارم، شماره ۳، صص ۵۳-۷۰. https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2749-fa.html

خوشگفتار محمد مهدی، آخوند زاده هنزائی مهدی، خسروی ایمان (۱۳۹۸)، مقایسه روش های ARIMA و شبکه عصبی در مدل سازی و پایش وضعیت خشک‌سالی با استفاده از داده های سری زمانی سنجش از دوری (مطالعه موردی: شهر اراک). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی" سپهر "، سال بیست و هشتم، شماره ۱۰۹، صص ۱۸۵-۱۹۷. http://www.sepehr.org/article_35646.html .

دماوندی علی اکبر، رحیمی محمد، یزدانی محمدرضا، نوروزی علی اکبر(۱۳۹۵)، پایش مکانی خشک‌سالی کشاورزی از طریق سریهای زمانی شاخصهای NDVI و LST داده هایMODIS . فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی" سپهر"، سال بیست و پنجم، شماره ۹۹، صص ۱۱۵-۱۲۶. http://www.sepehr.org/article_23200.html

رضایی مقدم محمد حسین، ولیزاده کامران خلیل، رستمزاده هاشم، رضایی علی (۱۳۹۱) ، ارزیابی کارایی داده های سنجنده یMODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه). مجله جغرافیا و پایداری محیط، سال پنجم، شماره ۳، صص ۳۷- ۵۲. https://ges.razi.ac.ir/article_199.html

زینالی بتول، صفریان زنگیر وحید (۱۳۹۶)، پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی. مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره ۱۲، صص ۳۷-۶۲. https://jneh.usb.ac.ir/article_3075.html

سلیمانی کریم، درویشی شادمان، شکریان فاطمه (۱۳۹۸)، تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شهرستان مریوان)، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال دهم، شماره ۲، صص ۱۵-۳۳ . http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_666803.html

عیوضی معصومه، مساعدی ابوالفضل(۱۳۹۰)، پایش و تحلیل مکانی خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان با استفاده از روش های زمین آماری. مجله مرتع و آبخیزداری، سال دوم، شماره۱، صص۶۵-۷۸.

فاضل دهکردی لیلا، سهرابی طیبه السادات، قناویزباف محمد حسین، قضاوی رضا (۱۳۹۵)، پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر سنجندۀ مودیس (MODIS) در مناطق خشک مطالعۀ موردی مراتع استان اصفهان. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیست و هفتم، شماره ۳، صص ۱۷۷-۱۹۰.https://gep.ui.ac.ir/article_22080.html

فرج زاده منوچهر، احمدیان کلثوم (۱۳۹۳)، تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در ایران. مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره ۴، صص ۱-۱۶.https://jneh.usb.ac.ir/article_2464.html

فیروزی فاطمه ، طاوسی تقی ، محمودی پیمان (۱۳۹۷)، بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشک‌سالی ها و ترسالی ها در مناطق خشک و نیمه خشک؛ مطالعه موردی: دشت سیستان ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی" سپهر"، سال بیست و هشتم، شماره ۱۱۰، صص ۱۶۳-۱۷۹.http://www.sepehr.org/article_36621.html

کریمی مهشید، شاهدی کاکا، رضیئی طیب، میریعقوب زاده میرحسن (۱۳۹۸)، بررسی کارایی شاخص‌های پوشش‌گیاهی در تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از تکنیک سنجش از دور در حوزه آبخیز کرخه. سنجش از دور و GIS ایران، سال یازدهم، شماره ۴، صص۲۶-۴۶.https://gisj.sbu.ac.ir/article_96855.html

یزدان پناه حجت اله، مومنی مهدی، موحدی سعید، حسینقلی‌نژاد دزفولی حجت، موحدی سعید، سلیمانی تبار مریم (۱۳۹۳)، مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش از دور در پایش خشکسالی (مطالعه موردی مراتع نیمه شمال استان خوزستان). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال بیست و پنجم، شماره ۲، صص ۸۵-۹۸.https://gep.ui.ac.ir/article_18663.html

AghaKouchak, A., Mehran, A., Norouzi, H., & Behrangi, A. (2012). Systematic and random error components in satellite precipitation data sets. Geophysical Research Letters, 39(9), 1-4.

Alijani, B., Ghohroudi, M., & Arabi, N. (2008). Developing a climate model for Iran using GIS. Theoretical and Applied Climatology, 92(1-2), 103-112.

Anyamba, A., & Tucker, C. J. (2012). Historical perspective of AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring. Remote sensing of drought: innovative monitoring approaches, 23-50.

Bhuiyan, C., Singh, R. P., & Kogan, F. N. (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4), 289-302.

Cao, Y., Chen, S., Wang, L., Zhu, B., Lu, T., & Yu, Y. (2019). An agricultural drought index for assessing droughts using a water balance method: A case study in Jilin Province, Northeast China. Remote Sensing, 11(9), 1-18.

Choi, T., Qu, J. J., & Xiong, X. (2013). A thirteen-year analysis of drought in the horn of Africa with MODIS NDVI and NWDI measurements. In 2013 Second International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) (pp. 302-307). doi:10.1109/ARGO-GEOINFORMATICS.2013.6621926.

Didan, K. (2015). MOD13A1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set], NASA EOSDIS LP DAAC, DOI: 10.5067/MODIS/MOD13Q1.006.

Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23, 245-253.

Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F. (2019). Drought and Desertification in Iran. Hydrology, 6(3), 1-12.

Enenkel, M., Steiner, C., Mistelbauer, T., Dorigo, W., Wagner, W., See, L., ... & Rogenhofer, E. (2016). A combined satellite-derived drought indicator to support humanitarian aid organizations. Remote Sensing, 8(4), 340.

Han, H., Bai, J., Yan, J., Yang, H., & Ma, G. (2019). A combined drought monitoring index based on multi-sensor remote sensing data and machine learning. Geocarto International, 1-16.

Hao, C., Zhang, J., & Yao, F. (2015). Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 270-283.

Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wiihite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American meteorological society, 80(3), 429-438.

Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA, Greenbelt, USA, 28(2.3), 1.

Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R., & He, T. (2018). Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multi-source remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region. International Journal of Remote Sensing, 39(3), 786-809.

Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L. (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. Agricultural and forest meteorology, 268, 74-85.

Jiao, W., Wang, L., Novick, K. A., & Chang, Q. (2019). A new station-enabled multi-sensor integrated index for drought monitoring. Journal of Hydrology, 574, 169-180.
Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in space research, 15(11), 91-100.
Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. Bulletin of the American Meteorological Society, 76(5), 655-668.
Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(4), 621-636.
Liu, W. T., & Kogan, F. N. (1996). Monitoring regional drought using the vegetation condition index. International Journal of Remote Sensing, 17(14), 2761-2782.
Lu, X., Wang, L., Pan, M., Kaseke, K. F., & Li, B. (2016). A multi-scale analysis of Namibian rainfall over the recent decade–Comparing TMPA satellite estimates and ground observations. Journal of Hydrology: Regional Studies, 8, 59-68.
Masoudi, M., & Hakimi, S. (2014). A new model for vulnerability assessment of drought in Iran using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 38(4), 435-440.
Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of hydrology, 391(1-2), 202-216.
Nohegar, A., Heydarzadeh, M., & Malekian, A. (2013). Assessment of severity of droughts using geostatistics method (case study: Southern Iran). Desert, 18(1), 79-87.
Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., ... & Xia, G. (2018). Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. Agricultural and forest meteorology, 248, 215-227.
Qu, C., Hao, X., & Qu, J. J. (2019). Monitoring extreme agricultural drought over the Horn of Africa (HOA) using remote sensing measurements. Remote Sensing, 11(8), 902.
Rhee, J., Im, J., & Carbone, G. J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 114(12), 2875-2887.
Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Ardö, J., Zhang, H., Mushore, T. D., ... & Azim, S. (2020). The 2000–2017 drought risk assessment of the western and southwestern basins in Iran. Modeling Earth Systems and Environment, 6(2), 1201-1221.
Shahabfar, A., Ghulam, A., & Eitzinger, J. (2012). Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 119-127.
Shen, R., Huang, A., Li, B., & Guo, J. (2019). Construction of a drought monitoring model using deep learning based on multi-source remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 79, 48-57.
Singh, R. P., Roy, S., & Kogan, F. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. International journal of remote sensing, 24(22), 4393-4402.
Tabari, H., Talaee, P. H., Nadoushani, S. M., Willems, P., & Marchetto, A. (2014). A survey of temperature and precipitation-based aridity indices in Iran. Quaternary International, 345, 158-166.
Townshend, J. R., & Justice, C. O. (2002). Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing. Remote Sensing of Environment, 83(2), 351-359.
Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2006). The influence of atmospheric circulation at different spatial scales on winter drought variability through a semi-arid climatic gradient in northeast Spain. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 26(11), 1427-1453.
Wan, Z., Hook, S., & Hulley, G. (2015). MOD11A1 MODIS/terra land surface temperature/emissivity Daily L3 Global 1 km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS LP DAAC, doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006.
Wang, K., Li, T., & Wei, J. (2019). Exploring drought conditions in the Three River Headwaters Region from 2002 to 2011 using multiple drought indices. Water, 11(2), 1-20.
Yu, H., Li, L., Liu, Y., & Li, J. (2019). Construction of Comprehensive Drought Monitoring Model in Jing-Jin-Ji Region Based on Multisource Remote Sensing Data. Water, 11(5), 1077. doi:10.3390/w11051077.
Zarch, M. A. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., & Kousari, M. R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. Water resources management, 25(13), 3485-3504.
Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C., & Tong, Q. (2017). Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. Remote sensing of environment, 190, 96-106.
Zhang, Y., Xiao, X., Zhou, S., Ciais, P., McCarthy, H., & Luo, Y. (2016). Canopy and physiological controls of GPP during drought and heatwave. Geophysical Research Letters, 43(7), 3325-3333.
Zhang, X., Chen, N., Li, J., Chen, Z., & Niyogi, D. (2017). Multi-sensor integrated framework and index for agricultural drought monitoring. Remote Sensing of Environment, 188, 141-163.

Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Damavandi, A. A., Rahimi, M., Yazdani, M. R., & Norouzi, A. A., (2016), Field monitoring of agricultural drought through time series of NDVI and LST indicators. MODIS data (case study: Markazi province). Geogr Inf Res (Sepehr), 25(99), pp. 115-126. http://www.sepehr.org/article_23200.html. [In Persian]

Eivazi, M., & Mosaedi, A., (2011), Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan Province using geostatistical methods. Journal of Range and Watershed Management, 64(1), pp. 65-78. [In Persian]

Farajzadeh, M., Ahmadian, K., (2014), Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 3(4), pp. 1-16. https://ges.razi.ac.ir/article_199.html. [In Persian]

Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T., Ghanavizbaf, M., Ghazavi, R., (2016), Drought Monitoring by using of MODIS Satellite Images in Dry Lands (Case study: Isfahan Rangelands). Geography and Environmental Planning, 27(3), pp. 177-190. https://gep.ui.ac.ir/article_22080.html. [In Persian]

Firouzi, F., Tavosi, T., & Mahmoudi. P., (2019), Investigating the sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to dry and wet years in arid and semi-arid regions (Case study: Sistan plain, Iran). Sepher, 28(110), pp. 163-179. http://www.sepehr.org/article_36621.html. [In Persian]

Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chatrobgoun, O., & Gholamnia, M., (2017), Spatio-temporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 4(3), pp. 53-70. https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2749-fa.html [In Persian]

Karimi, M., Shahedi, K., Raziei, T., Miryaghoobzadeh, M., (2020), Analysis of Performance of vegetation indices on agricultural drought using remote sensing technique in Karkheh basin. Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 11(4), pp. 29-46. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96855.html. [In Persian]

Khoshgoftar, M. M., Akhoondzadeh, H. M., & Khosravi, I., (2019), The Comparison of ARIMA and Neural Network methods for Modeling and Monitoring of Drought Using Remote Sensing Time Series Data (Case Study: City of Arak). Sepher, 28(109), pp. 185-197. http://www.sepehr.org/article_35646.html.[In Persian]

Rezaeimoghadam MH, Valizadeh Kamran KH, Rostamzadeh H, Rezaee A., (2013), Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). Journal of Geography and Environmental Sustainability, 2(5), pp. 37-52. https://ges.razi.ac.ir/article_199.html. [In Persian]

Solaimani, K., Darvishi, S., Shokrian, F., (2019), Analysis of agricultural drought using remote sensing indices (Case study: Marivan city). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 10(2), pp. 15-33. http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_666803.html. [In Persian]

Yazdanpanah, H., Momeny, M., Momeny, M., Movahedy, S., Dezfullian, H., Movahedy, S., Soleimanitabar, M., (2014), Drought monitoring of south of Khuzestan province, Iran using remote sensing and SPI. Geography and Environmental Planning, 25(2), pp. 85-98. https://gep.ui.ac.ir/article_18663.html. [In Persian]

Zeynali, B., Safarian Zengir, V., (2017), Drought monitoring in Urmia Lake by fuzzy index. Journal of Natural Environmental Hazards, 6(12), pp. 37-62. https://jneh.usb.ac.ir/article_3075.html. [In Persian]

References (in English)

AghaKouchak, A., Mehran, A., Norouzi, H., & Behrangi, A. (2012). Systematic and random error components in satellite precipitation data sets. Geophysical Research Letters, 39(9), 1-4.

Alijani, B., Ghohroudi, M., & Arabi, N. (2008). Developing a climate model for Iran using GIS. Theoretical and Applied Climatology, 92(1-2), 103-112.

Anyamba, A., & Tucker, C. J. (2012). Historical perspective of AVHRR NDVI and vegetation drought monitoring. Remote sensing of drought: innovative monitoring approaches, 23-50.

Bhuiyan, C., Singh, R. P., & Kogan, F. N. (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4), 289-302.

Cao, Y., Chen, S., Wang, L., Zhu, B., Lu, T., & Yu, Y. (2019). An agricultural drought index for assessing droughts using a water balance method: A case study in Jilin Province, Northeast China. Remote Sensing, 11(9), 1-18.

Choi, T., Qu, J. J., & Xiong, X. (2013). A thirteen-year analysis of drought in the horn of Africa with MODIS NDVI and NWDI measurements. In 2013 Second International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) (pp. 302-307). doi:10.1109/ARGO-GEOINFORMATICS.2013.6621926.

Didan, K. (2015). MOD13A1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set], NASA EOSDIS LP DAAC, DOI: 10.5067/MODIS/MOD13Q1.006.

Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., & Huang, Y. (2013). A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23, 245-253.

Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F. (2019). Drought and Desertification in Iran. Hydrology, 6(3), 1-12.

Enenkel, M., Steiner, C., Mistelbauer, T., Dorigo, W., Wagner, W., See, L., ... & Rogenhofer, E. (2016). A combined satellite-derived drought indicator to support humanitarian aid organizations. Remote Sensing, 8(4), 340.
Han, H., Bai, J., Yan, J., Yang, H., & Ma, G. (2019). A combined drought monitoring index based on multi-sensor remote sensing data and machine learning. Geocarto International, 1-16.
Hao, C., Zhang, J., & Yao, F. (2015). Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35, 270-283.
Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wiihite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American meteorological society, 80(3), 429-438.
Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA, Greenbelt, USA, 28(2.3), 1.
Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R., & He, T. (2018). Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multi-source remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region. International Journal of Remote Sensing, 39(3), 786-809.
Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L. (2019). A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. Agricultural and forest meteorology, 268, 74-85.
Jiao, W., Wang, L., Novick, K. A., & Chang, Q. (2019). A new station-enabled multi-sensor integrated index for drought monitoring. Journal of Hydrology, 574, 169-180.
Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in space research, 15(11), 91-100.
Kogan, F. N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. Bulletin of the American Meteorological Society, 76(5), 655-668.
Kogan, F. N. (1997). Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(4), 621-636.
Liu, W. T., & Kogan, F. N. (1996). Monitoring regional drought using the vegetation condition index. International Journal of Remote Sensing, 17(14), 2761-2782.
Lu, X., Wang, L., Pan, M., Kaseke, K. F., & Li, B. (2016). A multi-scale analysis of Namibian rainfall over the recent decade–Comparing TMPA satellite estimates and ground observations. Journal of Hydrology: Regional Studies, 8, 59-68.
Masoudi, M., & Hakimi, S. (2014). A new model for vulnerability assessment of drought in Iran using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 38(4), 435-440.
Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of hydrology, 391(1-2), 202-216.
Nohegar, A., Heydarzadeh, M., & Malekian, A. (2013). Assessment of severity of droughts using geostatistics method (case study: Southern Iran). Desert, 18(1), 79-87.
Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., ... & Xia, G. (2018). Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. Agricultural and forest meteorology, 248, 215-227.
Qu, C., Hao, X., & Qu, J. J. (2019). Monitoring extreme agricultural drought over the Horn of Africa (HOA) using remote sensing measurements. Remote Sensing, 11(8), 902.
Rhee, J., Im, J., & Carbone, G. J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 114(12), 2875-2887.
Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Ardö, J., Zhang, H., Mushore, T. D., ... & Azim, S. (2020). The 2000–2017 drought risk assessment of the western and southwestern basins in Iran. Modeling Earth Systems and Environment, 6(2), 1201-1221.
Shahabfar, A., Ghulam, A., & Eitzinger, J. (2012). Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 119-127.
Shen, R., Huang, A., Li, B., & Guo, J. (2019). Construction of a drought monitoring model using deep learning based on multi-source remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 79, 48-57.
Singh, R. P., Roy, S., & Kogan, F. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. International journal of remote sensing, 24(22), 4393-4402.
Tabari, H., Talaee, P. H., Nadoushani, S. M., Willems, P., & Marchetto, A. (2014). A survey of temperature and precipitation-based aridity indices in Iran. Quaternary International, 345, 158-166.
Townshend, J. R., & Justice, C. O. (2002). Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate-resolution remote sensing. Remote Sensing of Environment, 83(2), 351-359.
Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2006). The influence of atmospheric circulation at different spatial scales on winter drought variability through a semi-arid climatic gradient in northeast Spain. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 26(11), 1427-1453.
Wan, Z., Hook, S., & Hulley, G. (2015). MOD11A1 MODIS/terra land surface temperature/emissivity Daily L3 Global 1 km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS LP DAAC, doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006.
Wang, K., Li, T., & Wei, J. (2019). Exploring drought conditions in the Three River Headwaters Region from 2002 to 2011 using multiple drought indices. Water, 11(2), 1-20.
Yu, H., Li, L., Liu, Y., & Li, J. (2019). Construction of Comprehensive Drought Monitoring Model in Jing-Jin-Ji Region Based on Multisource Remote Sensing Data. Water, 11(5), 1077. doi:10.3390/w11051077.
Zarch, M. A. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., & Kousari, M. R. (2011). Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. Water resources management, 25(13), 3485-3504.
Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C., & Tong, Q. (2017). Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. Remote sensing of environment, 190, 96-106.

Zhang, Y., Xiao, X., Zhou, S., Ciais, P., McCarthy, H., & Luo, Y. (2016). Canopy and physiological controls of GPP during drought and heatwave. Geophysical Research Letters, 43(7), 3325-3333.
Zhang, X., Chen, N., Li, J., Chen, Z., & Niyogi, D. (2017). Multi-sensor integrated framework and index for agricultural drought monitoring. Remote Sensing of Environment, 188, 141-163.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی