Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Drought trend evaluation and its impact on vegetation cover changes of Sarakhs county

Mohadese Namazi[1], Morteza Akbari[*2], Hadi Memarian[3], Zahra Asadolahi[4]

1. M.Sc. Student, Department of Desert and Arid Zones, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: s.mhd.namazi@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Desert and Arid Zones, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: m-akbari@um.ac.ir; desertology@gmail.com
3. Associate Professor, Land Resources Management (Soil Conservation Engineering), Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Environment and Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, Iran, Email: z_asadolahi@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 25 January 2024
Revised: 16 March 2024
Accepted: 17 March 2024
Published online: 3 September 2024

Keywords:
Climate change, Google Earth Engine System, land degradation, Markov model, linear regression

ABSTRACT

Vegetation cover is one of the basic and key ecological factors in arid regions, which will be severely affected by the drought process. As a result of these impacts, there will be increased intensity of soil erosion and soil degradation. Therefore, the present research was conducted to evaluate the process of drought and its impact on changes in vegetation in Sarakhs county in Khorasan Razavi province. In this research, the climate data of precipitation and monthly temperature of synoptic and evapotranspiration stations in a period of 21 years (2000 to 2021) were used to estimate the standardized precipitation-evaporation-transpiration index (SPEI). To investigate the vegetation changes, the images of ETM+ and OLI satellite sensors and the difference vegetation index (NDVI) were used. The index SPEI was calculated in the software environment R. Prediction of future vegetation cover changes is done using the Markov model and in the IDRISI-TerrSet software environment. Finally, the correlation between two indicators of drought and vegetation was compared with a linear regression test. The results of this research showed that the highest level of drought in the years 2000, 2010, and 2020 occurred in Sarkhas city at moderate and severe levels. The investigation of changes in vegetation cover in 2030 showed that the soil without cover increased compared to the year 2020, and the area of land with other classes, including vegetation with medium, high, and thin density, has decreased. Correlation analysis between vegetation cover and drought indicators showed that the highest correlation value of 0.59 at the significance level of 0.01 has been observed, and in the years 2000 and 2020, the correlation coefficient was higher at 0.52 and 0.51, respectively. The results of examining the relationship between the NDVI vegetation cover index and SPEI climatic index indicated the existence of a positive relationship between these indices.

Citation: Namazi, M., Akbari, M., Memarian, H., & Asadolahi, Z (2024). Drought trend evaluation and its impact on vegetation cover changes of Sarakhs county. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(2), 59-78.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

[*]**Corresponding author:** Morteza Akbari
Address: Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: 09155183055
Email: m-akbari@um.ac.ir; desertology@gmail.com

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Drought trend evaluation and its impact on vegetation cover changes of Sarakhs county

Mohadese Namazi[1], Morteza Akbari[*2], Hadi Memarian[3], Zahra Asadolahi[4]

1. M.Sc. Student, Department of Desert and Arid Zones, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: s.mhd.namazi@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Desert and Arid Zones, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: m-akbari@um.ac.ir; desertology@gmail.com
3. Associate Professor, Land Resources Management (Soil Conservation Engineering), Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Environment and Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, Iran, Email: z_asadolahi@yahoo.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Drought is one of the environmental events and climate fluctuations that have affected most parts of the world. The result of the continuation of this process has directly and indirectly affected the vegetation. The significant issue is that the reduction of the level of vegetation as one of the most important consequences of drought will lead to problems such as increased surface runoff as a result of unexpected rains, soil erosion, flood risk, etc. in Sarakhs county of Khorasan Razavi province. Therefore, monitoring vegetation changes related to drought occurrence will be of great help to natural resource officials and environmental planners to reduce drought risks and provide timely warnings to local communities.

Methodology: The evaluation of the drought trend is done using the climatic data of 5 selected meteorological stations in Sarakhs county with a common statistical period of 21 years (2000-2020). Evaluating the drought index SPEI from climate statistics such as average monthly temperature statistics related to evapotranspiration stations and data related to Sarakhs synoptic station it is programmed in R version 4.2.0 software environment. Also, the evaluation of drought change trends is done with the help of the Mann-Kendall test. To monitor the state of vegetation cover, Landsat satellite images such as ETM+ and OLI for the considered years are extracted from the environment of the Google Earth Engine system for the study area. The obtained images have been processed and classified in a GIS environment. Prediction of future vegetation cover changes were done using the Markov model and in the IDRISI-TerrSet software environment. Finally, to ensure the existence of a significant relationship between the NDVI and the annual average of the SPEI, the linear regression model was used.

Results and Discussion: The results of this research showed that the highest level of drought in the years 2000, 2010, and 2020 occurred in Sarakhs county at moderate and severe levels. The investigation of changes in vegetation in 2030 showed that the soil without cover increased compared to the year 2020, and the classes, such as vegetation cover with moderate and high density, had a downward trend. Correlation analysis between vegetation cover and drought indicators showed that the highest correlation value of 0.59 at the significance level of 0.01 has been observed, and in the years 2000 and 2020, the correlation coefficient was higher at 0.52 and 0.51, respectively. The results of examining the relationship between the NDVI vegetation cover index and SPEI climatic index indicated the existence of a positive relationship between these indices.

Conclusion: In general, the results showed that drought conditions prevailed in the study area during the 21 years under investigation. In general, the region is moving towards drought, but in some years under investigation, it has normal drought conditions and in some years it has drought conditions. The results showed that in 2010, 2000, and 2020, the highest amount of drought occurred in the city. Also, the results of the calculation of the area of the vegetation layers confirm this issue because, during these periods, the vegetation cover was the largest in the bare and soil layer The investigation of changes in vegetation in 2030 showed that the soil without cover increased compared to the year 2020, and the layers of low-density vegetation compared to other classes, such as vegetation

[*]**Corresponding author:** Morteza Akbari
Address: Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: 09155183055
Email: m-akbari@um.ac.ir; desertology@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

with moderate and high density, had a downward trend. Correlation analysis between vegetation cover and drought indicators showed that the highest correlation value of 0.59 at the significance level of 0.01 has been observed, and in the years 2000 and 2020, the correlation coefficient was higher at 0.52 and 0.51, respectively between vegetation cover and drought. Considering the importance of the effects of drought on vegetation as one of the most fundamental factors of natural areas, it is therefore important that officials and managers of natural resources areas pay more attention to the issue of vegetation management.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution: M. Namazi, M. Akbari, H. Memarian, and Z. Asadolahi, as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: This research is part of the master's thesis in the Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad (Code: 57092). Therefore, we would like to express our gratitude toward those who helped us by providing data or improving our analyses.

.

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

ارزیابی روند خشکسالی و تأثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی شهرستان سرخس

محدثه نمازی[۱]، مرتضی اکبری*[۲]، هادی معماریان[۳]، زهرا اسدالهی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، s.mhd.namazi@gmail.com

۲. دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، m-akbari@um.ac.ir, desertology@gmail.com

۳. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، آدرس الکترونیکی: hadi_memarian@birjand.ac.ir

۴. استادیار، گروه محیط زیست و شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، z_asadolahi@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۵ بهمن ۱۴۰۲
بازنگری: ۲۶ اسفند ۱۴۰۲
پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۳ شهریور ۱۴۰۳

چکیده

پوشش گیاهی یکی از عوامل اساسی و کلیدی بوم‌شناختی در مناطق خشک است که به شدت تحت تأثیر فرآیند خشکسالی قرار دارد. به‌طوری‌که، در نتیجه این تاثیرات، شدت فرسایش خاک و تخریب سرزمین افزایش خواهند یافت. لذا، پژوهش حاضر با هدف بررسی روند خشکسالی و تأثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی شهرستان سرخس در استان خراسان رضوی انجام شد. در این پژوهش از داده‌های اقلیمی بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیر سنجی شهرستان سرخس در بازه زمانی ۲۱ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱) برای تخمین شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر تعرق (SPEI) استفاده شد. جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی نیز از تصاویر سنجنده ماهواره ETM^+ و OLI و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. شاخص SPEI در محیط نرم‌افزاری R محاسبه شد. پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۰ نیز با استفاده از زنجیره مارکوف و در محیط نرم‌افزاری IDRISI-TerrSet انجام شد. در نهایت، همبستگی بین دو شاخص خشکسالی و پوشش گیاهی با آزمون رگرسیون خطی مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین میزان خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ در شهرستان سرخس و در سطح متوسط و شدید رخ داده است. بررسی تغییرات پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۰ نشان داد که خاک بدون پوشش نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش یافته و سطح اراضی با سایر طبقات از جمله پوشش گیاهی با تراکم متوسط و زیاد و تنک روند کاهشی داشته است. بررسی همبستگی میان دو شاخص پوشش گیاهی و خشکسالی نشان داد بیش‌ترین میزان همبستگی برابر ۰/۵۹ در سطح معناداری ۰/۰۱، مشاهده شده و در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ نیز میزان ضریب همبستگی بیش‌تری به‌ترتیب به مقدار ۰/۵۲ و ۰/۵۱ میان پوشش گیاهی و خشکسالی وجود داشته است. نتایج حاصل از بررسی ارتباط میان شاخص گیاهی NDVI با شاخص اقلیمی SPEI، حکایت از وجود ارتباط مثبت این شاخص‌ها با یکدیگر داشته است.

واژه‌های کلیدی:
تخریب سرزمین، تغییرات کاربری اراضی، مدل زنجیره مارکوف، رگرسیون خطی

استناد: نمازی، محدثه، اکبری، مرتضی، معماریان، هادی و اسداللهی، زهرا. (۱۴۰۳). ارزیابی روند خشکسالی و تأثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی شهرستان سرخس. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۲)، ۵۹-۷۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** مرتضی اکبری
نشانی: گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
تلفن: ۰۹۱۵۵۱۸۳۰۵۵
پست الکترونیکی: m-akbari@um.ac.ir, desertology@gmail.com

مقدمه

تغییرات آب و هوایی باعث افزایش فراوانی، شدت، وسعت و مدت خشکسالی در بسیاری از نقاط جهان شده است. خشکسالی پرهزینه، زیان‌آور و تأثیرات آن فراگیر است. این پدیده بر کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد (UNCCD[۲], 2021; IPCC[۱], 2020). در دهه منتهی به ۲۰۱۷، خشکسالی حداقل ۱٫۵ میلیارد نفر را تحت تاثیر قرار داده و ۱۲۵ میلیارد دلار در سطح جهان هزینه داشته است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ خشکسالی، بیش از سه چهارم جمعیت جهان را تحت تأثیر قرار دهد (UNCCD, 2020). خشکسالی با اثرات مستقیم و غیرمستقیم خود در بوم‌سازگان‌های خشک، پوشش این اراضی را متاثر می‌سازد. آثار پدیده خشکسالی، به‌صورت تدریجی ظاهر و بر کاهش کیفیت و کمیت سطوح پوشش گیاهی نمایان می‌شود (Ali et al., 2019; Bai et al., 2019). از آن‌جا که پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین فاکتورهای کلیدی مناطق خشک حائز اهمیت است، کاهش سطح پوشش تحت عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای حاصل از خشکسالی (Quirós & Fragoso, 2023)، باعث ایجاد مشکلاتی همچون افزایش رواناب سطحی در نتیجه بارش‌های ناگهانی، فرسایش خاک، خطر وقوع سیل و غیره خواهد شد (معماریان و اکبری، ۱۴۰۰؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۴۰۱؛ Akbari et al., 2023).

به‌منظور ارزیابی کمی شدت و روند خشکسالی در مقیاس‌های زمانی-مکانی مختلف، از شاخص‌های متنوعی استفاده می‌شود (Mirabbasi et al., 2013; Akbari et al., 2022). از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین شده در برآورد خشکسالی می‌توان به شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارشده (SPEI[۳]) اشاره نمود. تاکنون مطالعات بسیاری در مناطق مختلف جهان در زمینه پایش خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی اراضی انجام گرفته است. درودی و همکاران (۱۴۰۱)، وقوع خشکسالی با استفاده از شاخص مبتنی بر بارش-تبخیر و تعرق استانداردشده (SPEI) را در استان سیستان و بلوچستان بررسی کردند. مطالعات ترابی نژاد و همکاران (۱۴۰۲)، در بررسی انواع خشکسالی در ایران با استفاده از SPEI نشان داد که خشکسالی در مناطق شرقی و مرکزی از فراوانی بیش‌تری برخوردار است. علاوه‌برآن، می‌توان به مطالعات Liu و همکاران (۲۰۲۳)؛ Pei و همکاران (۲۰۲۰)؛ Chen و Sun (۲۰۱۵)؛ Zhang و همکاران (۲۰۲۰) نیز اشاره نمود. Das و همکاران (۲۰۲۳)، در ارزیابی خشکسالی منطقه شمال غربی بنگلادش با به کارگیری شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی NDVI[۴]، SAVI[۵]، NDWI[۶] دریافتند پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در معرض شوک‌های ناشی از خشکسالی است. زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری (۱۳۹۶)، در مطالعه پایش خشکسالی و اثرات آن بر پوشش اراضی، این نتیجه حاصل شد جنگل‌های نیمه انبوه، مراتع، درختچه‌زار و بیشه‌زارها شامل بیش‌ترین تاثیر و در مقابل جنگل‌های دست کاشت، باغ‌ها و اراضی زراعی کم‌ترین میزان تاثیرپذیری را از خشکسالی داشتند. عوض‌پور و همکاران (۱۴۰۰)، در بررسی تغییرات پوشش در رابطه با شاخص خشکسالی حوضه آبخیز ایلام به این نتیجه رسیدند در طول زمان تغییرات پوشش اراضی ارتباط مستقیمی با شدت خشکسالی داشته است. نوریان نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی بر اثر خشکسالی با به کارگیری شاخص‌های SPI و NDVI نتیجه گرفتند که تلفیقی از شیوه‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فرآیندهای اقلیمی، روش بسیار مناسبی برای پهنه‌بندی خشکسالی و آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی است. ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، امکان تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای را در استان کرمانشاه به کمک شاخص‌های گیاهی و شاخص SPI بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که بیش‌ترین میزان همبستگی بین شاخص NDVI و کم‌ترین همبستگی بین شاخص VCI و شاخص SPI وجود دارد. زندی و همکاران (۱۴۰۰)، نیز در بررسی میزان ارتباط میان شاخص‌های پوشش گیاهی و شاخص اقلیمی SPI به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی همواره متأثر از اقلیم و پارامترهای مؤثر بر آن بوده است.

بنابراین، با توجه به مطالعات و پژوهش‌های انجام شده، شاخص SPEI نسبت به خشکسالی حساسیت بیش‌تری را دارا است و پاسخ سریع‌تری به آن می‌دهد. هم‌چنین این شاخص دوره‌های خشک و مرطوب طولانی‌تری را نمایان می‌سازد (آباده و خسروشاهی، ۱۴۰۰). علاوه‌برآن، ارزیابی خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق خشک و نواحی بیابانی از توجه لازم برخوردار نبوده و در این زمینه مطالعات اندکی وجود دارد. از این رو، این پژوهش به بررسی وضعیت خشکسالی و ارزیابی اثرات آن بر پوشش گیاهی شهرستان سرخس در استان خراسان رضوی می‌پردازد. شهرستان سرخس به‌دلیل بارندگی اندک، تغییرات کاربری اراضی غیراصولی و فرسایش خاک، در شرایط بحرانی بیابان‌زایی قرار داشته و پدیده خشکسالی نیز در این منطقه به این وضعیت دامن می‌زند (سربازی و همکاران، ۱۳۹۹). کاهش سطح

---

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change
[2] United Nations Convention to Combat Desertification
[3] Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)
[4] Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
[5] Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
[6] Normalized Difference Water Index (NDWI)

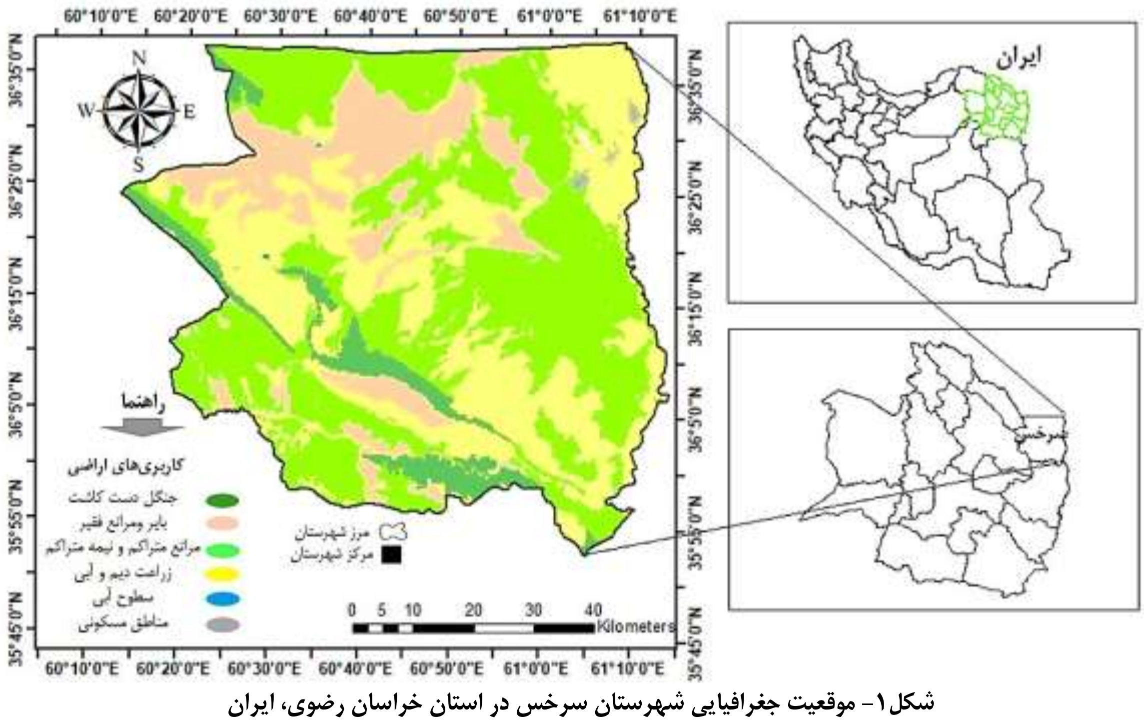
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

پوشش گیاهی در نتیجه اثرات خشکسالی سبب افزایش مساحت پهنه‌های ماسه‌ای می‌شود (گوهری و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین از آن‌جا که یکی از اولین عناصری که اثرات خشکسالی برای نخستین بار در آن احساس می‌شود، پوشش گیاهی است (Quirós & Fragoso, 2023)، در این مطالعه به ارزیابی اثرات خشکسالی بر وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات آن در شهرستان سرخس پرداخته شد.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شهرستان سرخس در موقعیت جغرافیایی °۶۰ و ´۱۵ تا °۶۱ و ´۱۰ طول شرقی و °۳۵ و ´۵۰ تا °۳۶ و ´۴۰ عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان، با وسعت تقریبی ۵۴۷۱ کیلومتر مربع بخش کوچکی از حوضه بزرگ قره‌قوم بوده و حد طبیعی شهرستان را در جنوب، رودخانه کشف‌رود، در شرق رودخانه تجن و در غرب و جنوب غربی آخرین امتدادهای ارتفاعات کپه داغ تشکیل می‌دهند. از لحاظ ارتفاعی، قسمت عمده شهرستان به واسطه دشت نسبتاً مسطحی (جلگه سرخس) احاطه شده به‌طوری که با ارتفاع ۲۵۰ تا ۲۵۶ متر از سطح دریا در یکی از پست‌ترین نقاط ارتفاعی استان واقع شده است (درمانی و همکاران، ۱۴۰۱). حداکثر ارتفاع آن ارتفاعات رشته کوه کپه داغ ۱۷۳۲ متر از سطح دریا است. این منطقه از نظر شرایط طبیعی به سبب هم‌جواری با صحرای قره قوم استعداد توسعه بیابان را دارا است. اقلیم سرد و خشک، بارندگی اندک، تغییرات کاربری اراضی غیراصولی و فرسایش موجب ایجاد شرایط بحرانی در بیابان‌زایی منطقه شده‌است (سربازی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین آگاهی از تغییر و تخریب‌های اراضی منطقه در نتیجه اثرات ناشی از مخاطرات طبیعی در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت اصولی ضروری است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان سرخس در استان خراسان رضوی، ایران

Figure 1- Geographical location of Sarakhs County in Khorasan Razavi province, Iran

روش تحقیق

داده‌های اقلیمی و ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش دو نوع داده مورد استفاده قرار گرفت. ارزیابی روند خشکسالی با استفاده از داده‌های اقلیمی ۵ ایستگاه هواشناسی (اطلاعات مربوط به یک ایستگاه سینوپتیک و چهار ایستگاه تبخیر سنجی) در شهرستان سرخس با دوره آماری مشترک ۲۱ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) و فواصل زمانی ۵ ساله انجام شد. به‌منظور محاسبه شاخص خشکسالی SPEI از آماره‌های اقلیمی مانند؛ آمار بارش و میانگین درجه حرارت ماهانه مربوط به ایستگاه‌های تبخیرسنجی (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی[1]) و داده‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک شهرستان (سازمان

[1] www.khrw.ir

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

هواشناسی کشور[1]) استفاده شد. علاوه‌برآن از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای پایش تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد، که در ادامه به تفصیل به خصوصیات و روش تجزیه و تحلیل آن‌ها اشاره می‌شود.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰)

Table 1- Climatic characteristics of synoptic stations with a statistical period of 21 years

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح آبهای آزاد (متر)
سرخس	سینوپتیک	61° 10´	36° 32´	235
بزنگان	تبخیرسنجی	60° 26´	36° 18´	1003
پل خاتون	تبخیرسنجی	61° 06´	35° 58´	401
مزدوران	تبخیرسنجی	60° 32´	36° 09´	913
سرخس	تبخیرسنجی	61° 10´	36° 32´	235

*ماخذ: اطلاعات آماری شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، سازمان هواشناسی کشور مربوط به سال ۱۴۰۱.

شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

با توجه به این‌که شاخص بارش–تبخیر و تعرق استاندارد شده براساس میزان بارندگی و درجه حرارت و نیز محاسبه تبخیر و تعرق و بیلان آب عمل می‌کند، قابلیت لحاظ نمودن اثرات تغییر درجه حرارت را در ارزیابی خشکسالی دارا است (Akbari et al., 2016). همچنین به‌دلیل گستردگی بیش‌تر آن نسبت به سایر شاخص‌ها، در این مطالعه از شاخص خشکسالی بارش–تبخیر و تعرق استاندارد شده استفاده شد. Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰)، برای اولین بار شاخص SPEI را با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پیشنهاد دادند. این شاخص، یک شاخص حساس به خشکسالی هیدرولوژیک بوده و می‌تواند ارتباطی برای خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی نیز باشد (نصرتی، ۱۳۹۳). برای محاسبه این شاخص در گام نخست باید مقادیر تبخیر و تعرق به‌صورت ماهانه برآورد شود. سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب تفاوت مقدار بارندگی (P) و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) برای ماه از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$Di = Pi - PETi \tag{۲}$$

محاسبه این شاخص نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر Di از طریق برازش یک تابع چگالی احتمال است. باتوجه به این‌که مقادیر Di از کرانه پایین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند، توابع احتمال دو پارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنت سرانو و همکاران توابع احتمال سه پارمتری را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تابع چگالی احتمال لوگ–لوجستیک سه پارامتری بهترین برازش برای مقادیر Di است. فرم کلی این تابع چگالی به‌صورت رابطه (۲) می‌شود.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \tag{۲}$$

در این رابطه پارامترهای β، α و γ به‌ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای Di در دامنه $\gamma > D < \infty$ هستند. تابع تجمعی لوگ–لوجستیک سه پارامتری نیز به شکل رابطه (۳) است.

$$F(x) = \left[1+\left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \tag{۳}$$

در نهایت مقادیر احتمال تجمعی برای Di باید به تابع نرمال استانداردشده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ تبدیل شوند که برابر با مقادیر شاخص (SPEI) هستند.

برای این منظور از روابط (۴ و ۵) استفاده می‌شود.

[1] www.irimo.ir

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

$$SPEI = W - \frac{C0+C1W1+C2W2}{1+D1W1+D2W^2+D3W^3} \quad (۴)$$

$$W = \sqrt{-2\ ln(P)} \quad for\ P \leq 0 \cdot 5 \quad (۵)$$

که در این رابطه مقدار ضرایب ثابت برابرند با: C0=2.515، C1=0.802، C2=0.0103، d1= 1.432، d2=0.189، d3=0.0013

تبخیر و تعرق پتانسیل به‌منظور استفاده در شاخص SPEI با روش تورنثوایت محاسبه شد (Thornthwaite, 1948). مقدار شاخص SPEI برای هریک از ایستگاه‌های مربوطه در مقیاس زمانی۱۲ ماهه در محیط نرم‌افزار R نسخه ۴٫۲٫۰ برنامه نویسی شد. ابتدا محاسبات مربوط به شاخص به کمک مقادیر بارش و دمای ماهانه برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و۲۰۲۰ در نرم افزار R انجام شد. پس از محاسبه شاخص، برای تبدیل نقاط شاخص (SPEI) به نقشه، از روش معکوس وزنی فاصله (IDW[۱]) استفاده شد (Akbari et al., 2016) از دلایل انتخاب این روش، عدم وجود رابطه معنادار میان نقاط و تعداد کم ایستگاه‌های انتخاب شده است (عوض‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). بدین منظور نقشه پهنه‌بندی‌های خشکسالی SPEI نیز در فوصل زمانی ۵ ساله مورد مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) در محیط GIS تهیه شد. مقادیر SPEI مثبت، نشان‌دهنده مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی، نشان‌دهنده منفی بودن بیلان آبی هستند. بنابراین هنگامی‌که مقادیر شاخص به منفی یک برسد خشکسالی آغاز می‌شود. مقادیر طبقات مختلف شدت خشکسالی برای شاخص مدنظر در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- طبقات خشکسالی براساس شاخص (Vicente-Serrano et al., 2020; Akbari et al., 2016)

Table 2- Classification of drought status based on SPEI index

طبقات شاخص‌ها	کلاس/طبقه
SPEI ≥ 2	ترسالی بسیارزیاد
1.5 - 1.99	ترسالی زیاد
1 - 1.49	ترسالی متوسط
0.99 to -0.99	نرمال
-1 to -1.49	خشکسالی متوسط
-1.5 to -1.99	خشکسالی شدید
SPEI ≤ -2	خشکسالی بسیارشدید

آزمون آماری من-کندال

از آن‌جا که پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمانی و مکانی بنا بر دلایل متعدد دچار تغییرات می‌شوند، با بهره‌گیری از شیوه‌های آماری صحیح، نحوه تغییرات صورت گرفته قابل بررسی خواهد بود. در این میان تحلیل روند، از جمله موثرترین شیوه‌های آماری است که در ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر روی سری‌های زمانی در نقاط مختلف جهان به کار گرفته می‌شود (همتی، ۱۳۹۷).

شیوه آماری مورد استفاده جهت بررسی روند خشکسالی در این پژوهش، آزمون آماری من-کندال است. این آزمون در بررسی تصادفی بودن و تعیین روند سری‌های زمانی کاربرد دارد (باهک، ۱۳۹۲). آزمون در سطح اطمینان پنج درصد بوده و کلیه تحلیل‌ها و تفسیرهای مورد نظر در این روش با توجه به نمودارهای حاصل از مقادیر آماره U(ti) و U '(ti) صورت می‌پذیرد. دو نمودار U(ti) و U' (ti) یکدیگر را در نقطه شروع قطع می‌کنند. هنگامی‌که قدر مطلق U از ۱/۹۶ بزرگ‌تر باشد سری زمانی معنادار خواهد بود، به‌عبارتی اگر نمودار U(ti) از دو خط Y=1.96 و Y=-1.96 عبور کند، روند موجود در سری‌ها معنادار است. در صورتی‌که U> ۰ باشد یا نمودار U(ti) در کل سیر صعودی داشته باشد، روند افزایشی معناداری در نظر گرفته می‌شود. اگر U<0 باشد روند معنادار و کاهشی است. تلاقی دو نمودار U(ti) و U' (ti) در محدوده ۱/۹۶- و ۱/۹۶ نشان‌دهنده تغییر ناگهانی در میانگین است (ملکی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). در آزمون من- کندال دنباله‌ای براساس نظر Sneyers(۱۹۹۰) مقادیر آماره‌های U(ti) و U' (ti) به شرح زیر محاسبه می‌شوند.

در ابتدا داده‌ها براساس سال با رتبه (yi) مرتب می‌شوند. سپس رتبه کوچک‌تری (ti) محاسبه‌شده، و رتبه کوچک‌تری هر داده، شامل تعداد آن داده‌ها (ni) قبل از داده مورد نظر(yi) که از آن کوچک‌تر هستند (بارش سالیانه آن‌ها از بارش سالیانه داده مورد نظر کوچک‌تر است).

[۱] Inverse distance weighting

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

$$t_i = \sum_{k=1}^{i} n_k \quad (۶)$$

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (۷)$$

$$Var(t_i) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \quad (۸)$$

$$U(t_i) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{Var(t_i)}} \quad (۹)$$

$E(t_i)$ و $Var(t_i)$ به‌ترتیب نشان‌دهنده مقادیر متوسط و واریانس t_i هستند. U' (ti) نیز به روش U(ti) محاسبه می‌شود. می‌توان فرض کرد انتهای سری، ابتدای آن باشد. داده‌های U(ti) و U' (ti) به‌ترتیب سال وقوع مرتب و رتبه‌بندی‌شده، با این تفاوت که سال وقوع در U(ti) سیر صعودی، اما درU' (ti) با سیر نزولی مرتب می‌شود.

امروزه، با توجه به پیشرفت فناوری‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ناشی از اثرات خشکسالی، بسیار آسان و با دقت بیش‌تری انجام می‌شود. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی، به کمک شیوه‌های سنتی پیشین به دلایلی هم‌چون زمان‌بر و پرهزینه بودن، کمبود داده و اطلاعات کافی، به میزان لازم مؤثر نیستند (Choi et al., 2019).

در این پژوهش، جهت پایش تغییرات پوشش گیاهی، از شاخص NDVI تصاویر ماهواره لندست در محیط سامانه گوگل ارث انجین[۱] برای منطقه مطالعاتی استفاده‌شد (جدول۴). پردازش تصاویر به‌دست آمده و طبقه‌بندی آن‌ها نیز در محیط GIS انجام شد. برای این منظور ابتدا تصاویر پوشش گیاهی برای فواصل زمانی ۵ ساله مدنظر (۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵، ۲۰۲۰) در محیط گوگل ارث انجین تهیه شد (جدول۳). پس از تهیه تصاویر مربوطه، کلاس‌بندی‌های تراکم پوشش گیاهی با تعیین حدآستانه تغییرات، براساس نقشه‌های کاربری اراضی موجود، مطالعات انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه (مانند مطالعات سربازی و همکاران، ۱۳۹۹)، شناخت از منطقه و دید کارشناسی در محیط GIS انجام شد. در مرحله نهایی برای پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۰، در محیط نرم‌افزاری IDRISI-TerrSet و از مدل زنجیره مارکوف استفاده شد.

جدول ۳- ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸

Table 3- Characteristics of Landsat 7 & 8 satellite images

شماره تصویر	ماهواره Satellite	سنجنده Sensor	تاریخ دریافت تصویر Data of acquisition	شماره گذر و ردیف Path and Row	قدرت تفکیک مکانی (متر) Spatial Resolution (m)
1	Landsat 7	ETM^+	2000/01/01 -2000/12/10	158 -035	30
2	Landsat 7	ETM^+	2005/01/01 -2005/12/10	158 -035	30
3	Landsat 7	ETM^+	2010/01/01 -2010/12/10	158 -035	30
4	Landsat 8	OLI	2015/01/01 -2015/12/10	158 -035	30
5	Landsat 8	OLI	2020/01/01 -2020/12/10	158 -035	30

شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی از متداول‌ترین ابزارهای ماهواره‌ای بررسی پوشش گیاهی است. شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی (NDVI) از معروف‌ترین، ساده‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های مورد استفاده در پایش پوشش گیاهی است که اولین بار توسط Rose و همکاران (Rose et al., 1973) ارائه شده است. این شاخص گیاهی بیش‌ترین میزان حساسیت نسبت به تغییرات پوشش گیاهی را دارا بوده و در برابر اثرات جوی حساسیت کم‌تری از خود نشان می‌دهد (Yuan et al., 2015). این شاخص براساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (۱۰)$$

NIR باند مربوط به مادون قرمز نزدیک و R باند مادون قرمز است.

مقدار این شاخص بین ۱+ تا ۱– تغییر می‌کند. هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده افزایش میزان پوشش گیاهی خواهد بود. هرچه مقادیر به سمت صفر میل می‌کند نشان‌دهنده کاسته شدن از میزان پوشش گیاهی است (Sobrino et al., 2004).

در جدول۴ به طبقات مربوط به شاخص NDVI اشاره شده است.

[۱] Google Earth Engine

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

جدول ٤- طبقات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) (بوالحسنی و همکاران، ١٣٩٦)
Table 4- Classes of Vegetation Index (NDVI)

وضعیت پوشش گیاهی	طبقه بندی براساس NDVI
پوشش گیاهی ضعیف (تنک)	0.2 < NDVI < 0.4
پوشش گیاهی متوسط	0.4 < NDVI < 0.6
پوشش گیاهی زیاد (متراکم)	NDVI > 0.6

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی

امروزه مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اراضی به کمک تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور درک ارتباط متقابل محیط طبیعی و فعالیت‌های انسانی ابزار مفیدی واقع شده‌است (Akbari et al., 2020; میرعلیزاده‌فرد و علیبخشی، ۱۳۹۵). از پرکاربردترین مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه پوشش گیاهی مدل زنجیره مارکوف است (Leta et al., 2021; Gupta & Sharma, 2020). تاکنون مطالعات فراوانی در سراسر جهان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و GIS و تکنیک‌های سنجش از دوری به انجام رسیده‌است. مهم‌ترین قابلیت مدل مارکوف، پیش‌بینی تغییرات آینده با توجه به وضعیت تغییرات رخ داده گذشته است (سربازی و همکاران، ۱۳۹۹). این مدل با به کارگیری یک فرآیند تصادفی احتمال تغییر یک پیکسل را بسته به شرایط کنونی آن پیش‌بینی می‌کند. با توجه به این‌که نتیجه آن ماتریس احتمالی را پیش‌بینی می‌کند که نقشه واحدی ندارد، بنابراین در سال ۱۹۵۰ به‌منظور رفع این محدودیت، توسط Jan van Newman مدل CA-Marcov برای افزودن مشخصه مکانی به زنجیره مارکوف پیشنهاد شد. این مدل شامل تکنیک مدل‌سازی است که در آن تغییر شکل یک سلول بسته به وضعیت حال آن سلول و وضعیت سلول همسایه دارد (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۷).

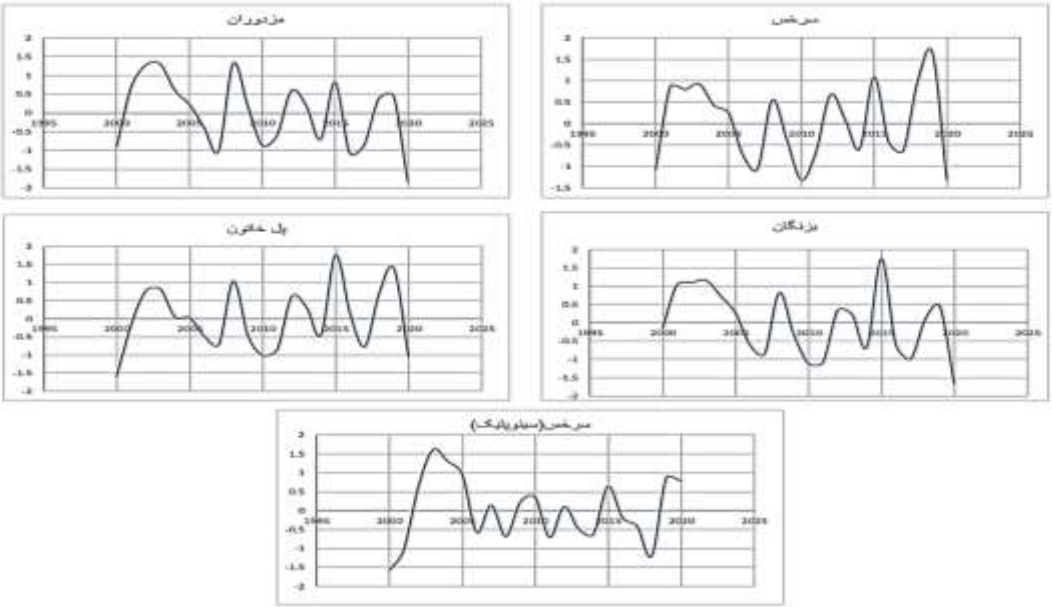
در این پژوهش از مدل LCM[۱] به‌منظور تحلیل پوشش‌های اراضی و پیش‌بینی‌های آینده بهره گرفته شد. مدل LCM یک روش یکپارچه بوده که قادر به شبیه‌سازی همزمان تغییرات مربوط به چندین کاربری اراضی است و ابزاری را برای طراحی و ارزیابی تغییر پوشش‌زمین فراهم می‌کند (Václavík et al., 2009). مدل‌سازی و پیش‌بینی با استفاده از LCM به‌طور کلی شامل ۴ مرحله است؛ آشکارسازی تغییرات، تعیین متغیرهای ورودی، مدل‌سازی پتانسیل انتقال و پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات، ارزیابی صحت مدل‌سازی است (سربازی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج و بحث

ارزیابی شاخص خشکسالی SPEI در مقیاس زمانی بلندمدت (۱۲ ماهه) برای ۵ ایستگاه مورد مطالعه نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ بیش‌ترین میزان خشکسالی به‌علت تغییرات بارندگی و نوسانات درجه حرارت رخ داده است. سال ۲۰۰۵ وضعیت نرمالی را در خشکسالی دارا است (شکل ۲). در سال ۲۰۱۵ نیز به‌دلیل شرایط اقلیمی مناسب و بارندگی، ترسالی به وقوع پیوسته است. این نتایج بر نتایج حاصل از تغییرات پوشش گیاهی در نتیجه خشکسالی‌های رخداده به ازای بازه زمانی‌های مورد بررسی مطابقت داشت.

[۱] Land Change Modeler

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]



شکل ۲- نتایج محاسبه شاخص خشکسالی SPEI در ایستگاه‌های مطالعاتی (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰)
Figure 2- SPEI drought index results in study stations (2000-2020)

پهنه‌بندی خشکسالی

همان‌طور که اشاره شد به‌منظور ارائه نتایج حاصل از خشکسالی به‌دست آمده به کمک شاخص خشکسالی SPEI، از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) در محیط GIS و با نرم افزار ArcMap ۱۰٫۸ استفاده شد (شکل ۳).

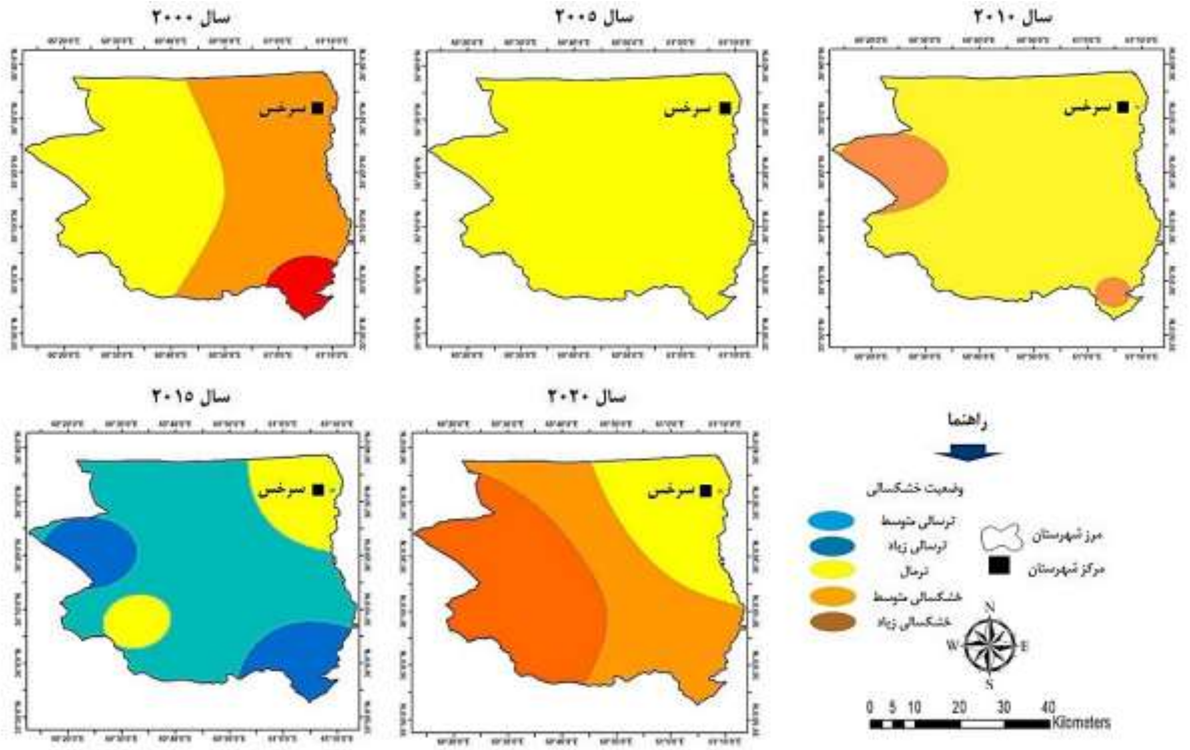
مقایسه نتایج سالانه حاصل از پهنه‌بندی‌های خشکسالی در شکل ۳ و نتایج آماری SPEI در جدول ۵ نشان داد که در طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از شدت خشکسالی کاسته شده‌است، به‌طوری که در سال ۲۰۰۵ خشکسالی در حالت نرمال قرار داشته و در ۲۰۱۵ منطقه مورد مطالعه با ترسالی مواجه شده است. اما در سال ۲۰۲۰ مجدداً شدت خشکسالی افزایش یافته و خشکسالی شدید در حال افزایش است.

جدول ۵- ارزش کیفی شاخص SPEI در دوره آماری ۲۰۲۰ – ۲۰۰۰
Table 4- Qualitative value of SPEI index from 2000-2020

ایستگاه	2000	کلاس/شدت	2005	کلاس/شدت	2010	کلاس/شدت	2015	کلاس/شدت	2020	کلاس/شدت
سرخس (سینوپتیک)	-1.58	خشکسالی شدید	0.98	نرمال	0.36	نرمال	0.64	نرمال	0.78	نرمال
بزنگان	-0.15	نرمال	0.27	نرمال	-1.11	خشکسالی متوسط	1.74	ترسالی زیاد	-1.67	خشکسالی شدید
مزدوران	-0.90	نرمال	0.22	نرمال	-0.86	نرمال	0.82	نرمال	-1.83	خشکسالی شدید
پل خاتون	-1.60	خشکسالی شدید	0.04	نرمال	-1.01	خشکسالی متوسط	1.77	ترسالی زیاد	-1.04	خشکسالی متوسط
سرخس (تبخیرسنجی)	-1.08	خشکسالی متوسط	0.25	نرمال	-1.32	خشکسالی متوسط	1.09	ترسالی متوسط	-1.31	خشکسالی متوسط

نتایج به‌دست آمده در شکل ۳ بیانگر آنست که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی عمدتاً مناطق شمال شرقی منطقه مورد مطالعه، دچار خشکسالی شدید بوده است. همان‌طور که اشاره شد در سال ۲۰۲۰، درجاتی متفاوتی از خشکسالی شدید تا متوسط بخش زیادی از شهرستان سرخس را متاثر ساخته است. در مطالعات سربازی و همکاران (۱۳۹۹)، به افزایش شدت خشکسالی در نتیجه کاهش بارندگی در شهرستان سرخس اشاره شده است. نتایج آنان نیز نشان داد شدت خشکسالی بر پوشش گیاهی موثر بوده و در کنار فعالیت‌های انسانی، یکی

از عوامل مهم تغییرات پوشش گیاهی بوده‌است. تاثیر شدت خشکسالی بر پوشش گیاهی، نظر Quirós و Fragoso (۲۰۲۳) و عوض‌پور و همکاران (۱۴۰۰) در زمینه حساسیت پوشش گیاهی به تغییرات محیطی و خشکسالی را نیز تایید می‌کند.

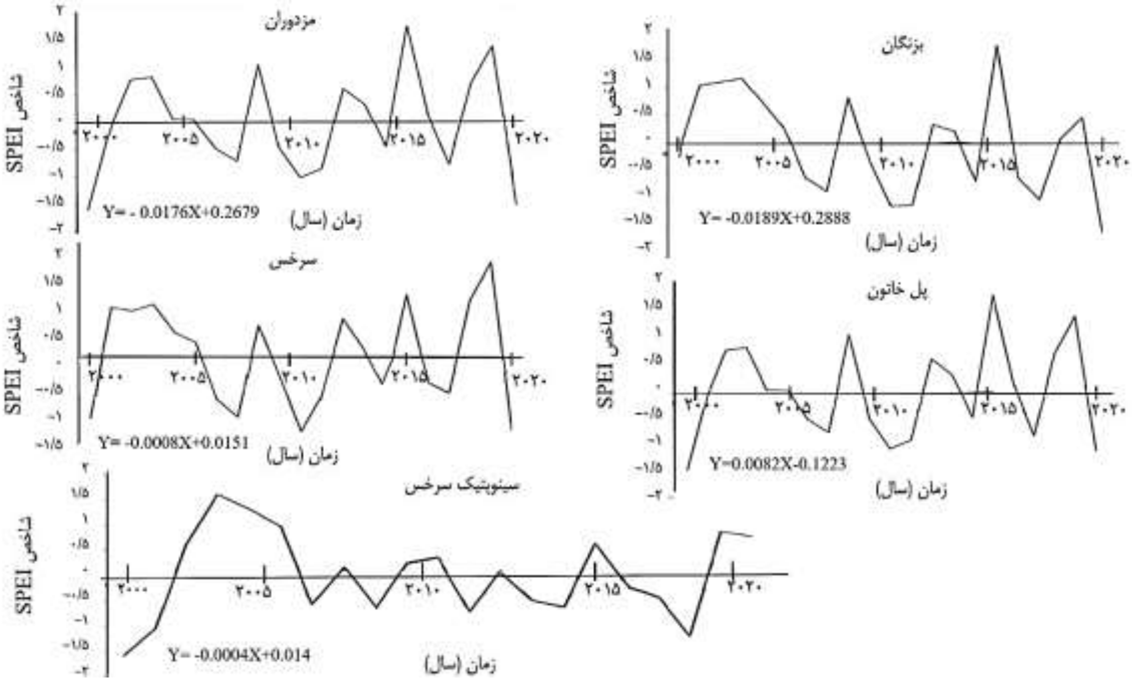


شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص SPEI برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Figure 3- Zoning maps of the SPEI index from 2000-2020

بررسی روند تغییرات خشکسالی با استفاده از آزمون من-کندال

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۴، نزولی بودن نمودار شاخص SPEI نمایان‌گر دوره‌های بحرانی و خشکسالی در ایستگاه‌های مطالعاتی است. در ایستگاه سرخس تقریباً در تمامی دوره زمانی مورد بررسی، خشکسالی وضعیت یکسانی را تجربه کرده است. در ایستگاه بزنگان شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۲۰ و در ایستگاه‌های مزدوران و پل خاتون در سال ۲۰۰۰ به وقوع پیوسته و در سایر بازه‌ها با جهش‌های خشکسالی و ترسالی مواجه بوده‌است. به‌طور کلی فراز و نشیب‌های متوالی در نمودارهای فوق قابل مشاهده است، اما در سال‌های اخیر نوسانات اقلیمی کاهش و تمایل به سمت خشکسالی شدید بوده است. به این معنا که روند خطی کاهشی بوده است (گسترش و ادامه روند خشکسالی). به‌عبارتی دیگر شرایط خشکسالی هم‌چنان بر منطقه مورد مطالعه حاکم بوده و خشکسالی نیز روند افزایشی دارد.



شکل٤- شاخص SPEI و خط روند تغییرات خشکسالی در ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان سرخس

Figure 4- SPEI index and trend line of drought changes in meteorological stations of Sarakhs County

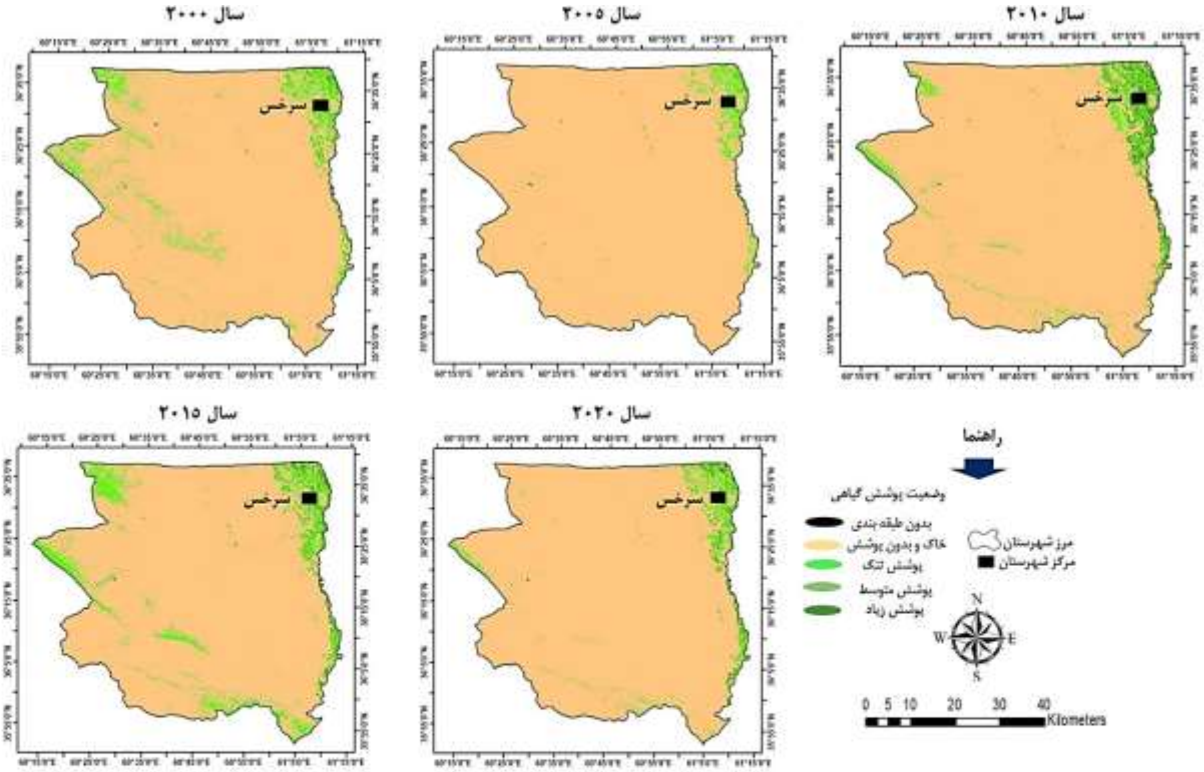
تغییرات پوشش گیاهی در دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۲۰)

استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی هم‌چون شاخص NDVI در تصاویر ماهواره‌ای لندست در محیط سامانه گوگل ارث انجین جهت بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی بسیار مفید بوده و اگر مبتنی بر شناخت درست از منطقه باشد، کارایی خوبی نیز خواهد داشت. مطالعات Das و همکاران (۲۰۲۳)، نوریان نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۴) و ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، نیز بر آن موضوع تاکید نموده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که در بازه زمانی‌های ۵ ساله برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی طبقات بدون پوشش و تنک، بیش‌ترین وسعت و طبقات با پوشش متوسط و زیاد نیز کم‌ترین وسعت پوشش گیاهی را در شهرستان سرخس دارا هستند (شکل ۵). مساحت طبقه و کلاس خاک و اراضی بدون پوشش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ روند افزایشی و طبقات با پوشش تنک، متوسط و زیاد، روند کاهشی داشته‌است. این تغییرات برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ به‌صورت روند کاهشی برای طبقات بدون پوشش و روند افزایشی برای طبقات با پوشش تنک، پوشش متوسط و زیاد بوده است و در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ در کلاس با پوشش تنک، روند افزایشی و در سایر طبقات روند کاهشی داشته‌است. برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ نیز، در طبقات اراضی بدون پوشش و با پوشش زیاد، روند افزایشی و در طبقات با پوشش متوسط و تنک، روند تغییرات کاهشی بوده‌است (جدول ۶). با توجه به تغییرات اندک طبقات پوشش گیاهی در میان فواصل زمانی بررسی شده، می‌توان بر نتایج مطالعه زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری (۱۳۹۶) تاکید نمود که جنگل‌های دست کاشت، باغ‌ها و اراضی زراعی کم‌ترین میزان اثرپذیری از خشکسالی را دارا هستند. هم‌چنین نتایج این پژوهش، نتایج مطالعات سربازی و همکاران (۱۳۹۹) را در خصوص کاهش پوشش گیاهی شهرستان سرخس را به دلیل افزایش شدت خشکسالی تایید می‌کند.

جدول ٦- مساحت و درصد تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Table 5- Area and percentage of vegetation changes in the years 2000 to 2020

2015-2020	2010-2015	2005-2010	2000-2005	2020	2015	2010	2005	2000	نوع پوشش گیاهی
درصد تغییرات (٪)				مساحت (ha)					
0.04	-0.02	-0.039	0.036	519307.83	497065.32	508063.05	529682.67	509684.85	خاک و بدون پوشش
-0.03	0.03	0.019	-0.032	17557.83	38954.70	22549.41	12048.93	29813.31	پوشش تنک
-0.001	-0.006	0.016	-0.003	4795.02	5684.49	9248.22	380.16	2393.64	پوشش متوسط
0.0001	-0.003	0.004	-0.0002	480.24	418.86	2276.01	0.81	109.89	پوشش زیاد



شکل ۵ - نقشه تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) شهرستان سرخس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Figure 5 - Vegetation changes map (NDVI) of Sarakhs county from 2000-2020

پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی برای سال ۲۰۳۰

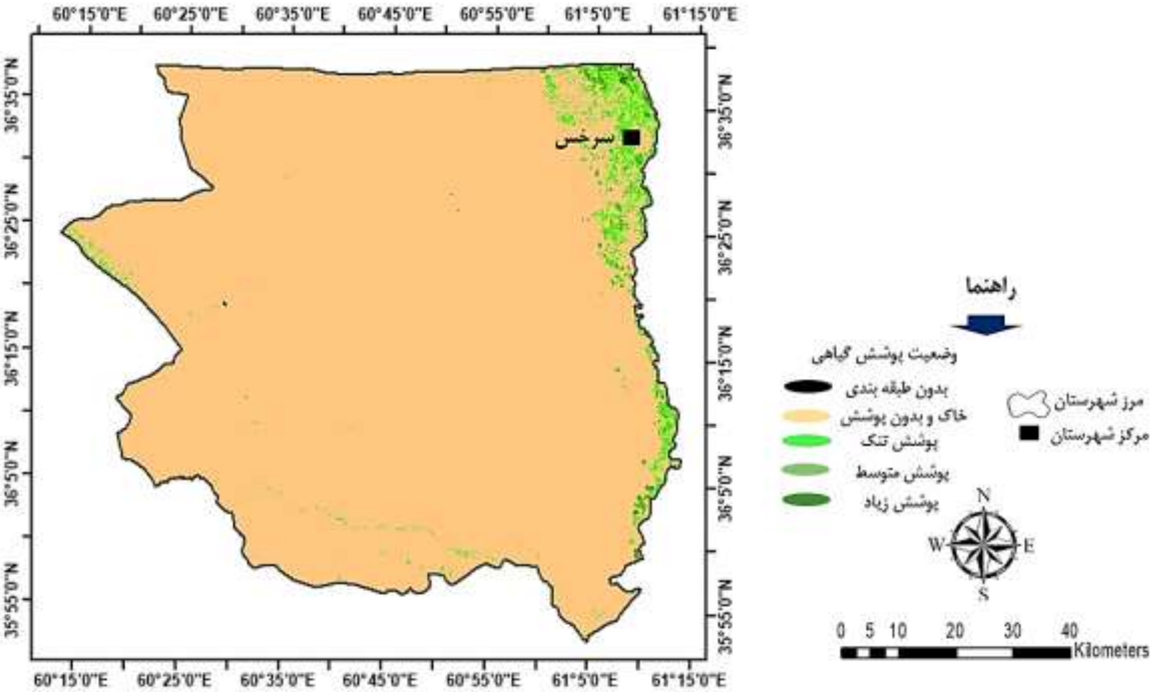
بررسی مساحت طبقات پوشش گیاهی (تراکم پوشش گیاهی یا همان NDVI) در نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۳۰ نشان داد که بیش‌ترین مساحت پوشش گیاهی در شهرستان سرخس را کلاس خاک و اراضی بدون پوشش گیاهی در برگرفته‌است (جدول ۷). هم‌چنین بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی نشان داد که طبقه خاک و اراضی بدون پوشش نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش یافته و سایر طبقات پوشش، روند کاهشی داشته‌است (شکل ۶).

جدول ۷- مساحت و درصد طبقات پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۰

Table 6 –Area and percentage of vegetation classes in 2030

نوع پوشش گیاهی	سال 2030		مقدار تغییرات 2020 تا 2030	
	مساحت (ha)	درصد مساحت (٪)	مقدار تغییرات (ha)	درصد تغییرات
خاک و بدون پوشش	526027.86	0.97	6720.03	0.012
پوشش تنک	12823.29	0.02	-4734	-0.008
پوشش متوسط	3004.56	0.005	-1790.46	-0.003
پوشش زیاد	290.70	0.0005	-189.54	-0.0003

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]



شکل ۶ – پیش بینی وضعیت پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۰

Figure 6 - Prediction of the state of vegetation in 2030

در دوره‌ی پیش‌بینی شده (۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰) طبقه خاک و بدون پوشش گیاهی، روند افزایشی و طبقات پوشش گیاهی تنک، متوسط و زیاد، روند کاهشی خواهد داشت. بنابراین پیش بینی تغییرات پوشش گیاهی برای افق آینده حاکی از آن است که در شهرستان سرخس تغییرات پوشش به سمت کاهش تراکم و از سویی افزایش اراضی بدون پوشش گیاهی خواهد بود. این مسئله هم‌چنین با توجه به نقشه‌های روند تغییرات خشکسالی نیز قابل تایید است (شکل۴).

بنابراین این روند تغییرات نشان‌دهنده آن است که تغییرهای منفی (از پوشش گیاهی متوسط و زیاد به پوشش گیاهی تنک و بدون پوشش گیاهی) بیش‌تر از تغییرهای مثبت (تبدیل طبقات تنک و بدون پوشش گیاهی به پوشش گیاهی متوسط و زیاد) بوده است. با توجه به افزایش خشکسالی‌های اخیر به‌ویژه در سال ۲۰۲۰، انتظار می‌رود در افق آینده نیز شاهد کاهش چشم‌گیری در وضعیت پوشش گیاهی باشیم و این نکته با تاکید بر نقشه پیش بینی شده سال۲۰۳۰ قابل استنباط است. نتایج مطالعات سربازی و همکاران (۱۳۹۹)، نیز این موضوع را تاکید می‌کند. آنان در مطالعات خود نشان دادند که پوشش گیاهی تنک به‌دلیل خشکسالی‌های مستمر روبه افزایش است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که بیش‌ترین تغییرات پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۰، به‌ترتیب مربوط به اراضی با پوشش تنک، اراضی با پوشش متوسط و در نهایت اراضی با پوشش گیاهی زیاد بوده‌است. نتایج این پژوهش با یافته‌های عوض پور و همکاران (۱۴۰۰) نیز همسو است. آنان دریافتند با توجه به این‌که پوشش گیاهی هر منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، وابستگی زیادی به شرایط محیطی و اقلیمی حاکم بر آن منطقه داشته و دارای واکنش سریع نسبت به تغییرات شرایط آب وهوایی است، بنابراین مقدار اندکی تغییرات اقلیمی و نزولات جوّی سبب تغییرات چشم‌گیری در شرایط پوشش گیاهی اراضی این مناطق می‌شود. این مسئله نیز با تاکید بر ترسالی‌های رخ داده در سال ۲۰۱۵ و تغییرات طبقات پوشش گیاهی در این مطالعه قابل مشاهده است (شکل۳ و ۵). علاوه‌بر آن گوهری و همکاران (۱۳۹۸)، بر این نکته تاکید داشتند که افزایش نوسانات اقلیمی و مخاطراتی هم‌چون خشکسالی، بر وسعت رسوبات و پهنه‌های ماسه‌ای افزوده و در نتیجه، همان‌طور که در شکل ۵ نیز قابل مشاهده است، سطح پوشش گیاهی در منطقه کاهش خواهد یافت.

همبستگی رگرسیون خطی بین روند خشکسالی و تغییرات پوشش گیاهی

به‌منظور اطمینان از وجود رابطه معنادار میان شاخص NDVI و میانگین سالانه شاخص SPEI، با توجه به این‌که هدف مطالعه ارزیابی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی است، از مدل رگرسیون خطی استفاده شد. جدول ۸ روابط رگرسیونی میان دو شاخص NDVI و SPEI را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

جدول ۸- روابط رگرسیونی بین شاخص‌های SPEI و NDVI در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰
Table 7- Regression relationships between SPEI and NDVI indices from 2000-2020

روابط رگرسیونی	ضریب همبستگی	سال
Y=0.15X+0.30	0.52	2000
Y=0.48 X – 0.33	0.46	2005
Y= 0.78 X + 0.94	0.47	2010
Y= -0/70 X + 1.06	0.59	2015
Y= 0.21 X + 0.40	0.51	2020

نتایج حاصل از همبستگی میان دو شاخص خشکسالی و پوشش گیاهی نشان‌دهنده رابطه مثبت میان آن‌ها است. به‌طوری که با افزایش شدت خشکسالی میزان پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان همبستگی برابر ۰/۵۹ در سطح معناداری ۰/۰۱، مشاهده شده است. این مقدار همبستگی مربوط به تغییرات دو شاخص (NDVI و SPEI) در سال ۲۰۱۵ است. با توجه به ترسالی رخ داده در این سال، تغییرات قابل توجه مثبتی نیز در وضعیت پوشش گیاهی رخ داده است. در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ نیز میزان ضریب همبستگی بیش‌تری به‌ترتیب به مقدار ۰/۵۲ و ۰/۵۱ میان پوشش گیاهی و خشکسالی وجود داشته است. در سال ۲۰۲۰، با وجود شدت خشکسالی‌های رخ داده، در وضعیت پوشش گیاهی نیز کاهش قابل توجهی مشاهده می‌شود. بنابراین نتایج حاصل از بررسی ارتباط میان شاخص گیاهی مدنظر با شاخص اقلیمی SPEI، حکایت از وجود ارتباط مثبت این شاخص‌ها با یکدیگر داشت.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، در طی دوره ۲۱ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰)، شرایط خشکسالی در شهرستان سرخس حکم فرما بوده‌است. به‌طوری‌که منطقه به سمت خشکسالی بیش‌تر پیش می‌رود. اما در برخی سال‌ها مانند سال ۲۰۱۵ شرایط نسبت به خشکسالی شدید، متعادل تر بوده و در بیش‌تر مناطق شرایط نرمال و ترسالی حاکم بوده است (به‌غیر از بخش‌های شمال شرقی). نتایج این پژوهش براساس شاخص SPEI بیانگر آن است که در سال ۲۰۰۰ در بیش‌تر بخش‌های شهرستان سرخس خشکسالی متوسط و شدید رخ داده‌است. در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ نیز شرایط خشکسالی متوسط با وسعت بیش‌تر و نرمال با وسعتی کم‌تر از خشکسالی متوسط را تجربه کرده‌است. در سال ۲۰۱۵ شرایط ترسالی متوسط و زیاد (مرطوب‌ترین سال) را به‌دنبال داشته و در سال ۲۰۲۰ نیز مجدداً شرایط خشکسالی متوسط، زیاد در منطقه حاکم بوده است.

نتایج حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI نشان داد که وسعت اراضی بدون پوشش گیاهی، بیش‌ترین مساحت شهرستان سرخس را به خود اختصاص داده است. به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵، از وسعت اراضی بدون پوشش و خاک کاسته و بر میزان پوشش گیاهی کلاس تنک افزوده شده است. در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ میزان همبستگی بیش‌تری میان پوشش گیاهی و خشکسالی وجود داشته است. هم‌چنین بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در سال ۲۰۳۰ نشان داد که طبقه خاک و اراضی بدون پوشش نسبت به سال ۲۰۲۰ افزایش یافته و سایر کلاسه‌های دیگر پوشش گیاهی هم‌چون پوشش تنک، پوشش با تراکم متوسط و زیاد، روند کاهشی داشته است. به نحوی‌که بیش‌ترین تغییرات پوشش گیاهی تا سال ۲۰۳۰، به‌ترتیب مربوط به اراضی با پوشش گیاهی تنک، اراضی با پوشش متوسط و در نهایت اراضی با پوشش گیاهی زیاد بوده است. نتایج این پژوهش، بر مطالعه نوریان نجف آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت بررسی تغییرات اراضی مانند تغییرات پوشش گیاهی و کارایی تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و فرآیندهای اقلیمی تاکید می‌کند.

براساس یافته‌های این پژوهش، خشکسالی ارتباط معناداری با تغییرات پوشش گیاهی داشته و با توجه به اهمیت اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین فاکتورهای عرصه‌های طبیعی، حائز اهمیت است که مسئولین و مدیران عرصه‌های منابع طبیعی توجه بیش‌تری را به مسئله مدیریت پوشش‌های گیاهی معطوف کنند. گوهری و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند با توجه به وضعیت خشکسالی و اثرات حاصل از آن بر پوشش گیاهی، سطح پهنه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه نیز دست‌خوش تغییرات است.

لذا، پیشنهاد می‌شود علاوه‌بر شاخص SPEI از سایر شاخص‌های خشکسالی به‌طور مقایسه‌ای، جهت بررسی روند تغییرات شدت خشکسالی در شهرستان سرخس استفاده شود. علاوه‌برآن، استفاده از سایر شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای مانند شاخص‌های نشان‌دهنده میزان شدت شوری خاک، در کنار شاخص NDVI می‌تواند به تفسیر بهتری از شرایط منطقه‌ای جهت مدیریت بهینه سرزمین بیانجامد.

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان: محدثه نمازی، مرتضی اکبری، هادی معماریان و زهرا اسدالهی: بخش‌های مختلف مقاله توسط نام‌بردگان انجام و نگاشته شده‌است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: این پژوهش به‌عنوان بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد است (کد مقاله: ۵۷۰۹۲). بنابراین، مراتب قدردانی از کسانی که با ارائه داده‌ها و یا بهبود تجزیه و تحلیل ما را یاری کردند به عمل می‌آید.

منابع

۱. آباده، محمود، و خسروشاهی، محمد (۱۴۰۰). ارزیابی و پایش پدیده خشکسالی بر اساس دو شاخص SPI و SPEI در استان هرمزگان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۸(۴)، ۷۱۸–۷۳۲. **doi: 10.22092/ijrdr.2021.125248**

۲. ابراهیم‌زاده، سجاد، بذرافشان، جواد، و قربانی، خلیل (۱۳۹۲). امکان‌سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای خشکسالی، مطالعه موردی: استان کرمانشاه. *هواشناسی کشاورزی*، ۱(۱)، ۳۷–۴۸. **https://civilica.com/doc/209787**

۳. اسدزاده، فرخ، خسروی اقدم، کمال، پرویز، لاله، رمضانپور، حسن، و یغمائیان مهابادی، نفیسه (۱۳۹۷). پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول خودکار، مطالعه موردی: حوزه آبخیز روضه چای، ارومیه. *حفاظت منابع آب و خاک*، ۸(۱)، ۱۰۵–۱۱۶. **https://www.sid.ir/paper/232248/fa**

۴. باهک، بتول (۱۳۹۲). بررسی احتمال تغییر اقلیم در استان کرمان با روش من–کندال، مطالعه موردی ایستگاه کرمان. *جغرافیایی سرزمین*، ۱۰(۳۹)، ۶۷–۷۴. **https://sid.ir/paper/116243/fa**

۵. بوالحسنی، کیوان، زارعی، حیدر، کابلی‌زاده، مصطفی (۱۳۹۶). بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در دهه‌های اخیر با استفاده از RS و GIS، *همایش ملی ژئوماتیک*. **https://sid.ir/paper/894563/fa**

۶. ترابی نژاد، نسترن، زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۲). بررسی انواع خشکسالی و مشخصه‌های آن در ایران با استفاده از شاخص بارش تبخیر–تعرق استانداردشده (SPEI). *آب و خاک*، ۳۷(۳)، ۴۷۳–۴۸۶. **doi: 10.22067/jsw.2023.81322.1257**

۷. درمانی، معصومه، راشکی، علیرضا، آرا، هایده، و مافی، آبرادات (۱۴۰۱). ژئوشیمی واحدهای زمین شناسی شهرستان سرخس با نگرش بر پتانسیل ایجاد گرد و غبار. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱(۳۲)، ۱۹–۳۶. **doi: 10.22111/jneh.2022.36242.1718**

۸. درودی، هادی، خسروشاهی، محمد، و شهابی، معصومه (۱۴۰۱). بررسی تغییرات روند خشکسالی و عوامل اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان. مهندسی اکوسیستم بیابان، ۱۰(۳۲)، ۱۵–۳۰. **doi: 10.22052/deej.2021.10.32.11**

۹. ذوالفقاری، فرهاد، و عبداللهی، وحیده (۱۴۰۱). تعیین مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی در مناطق خشک به کمک تصاویر ماهواره سنتینل. *مدیریت بیابان*، ۱۰(۱)، ۱–۱۴. **doi: 10.22034/jdmal.2022.548652.1375**

۱۰. زارع خورمیزی، هادی، و غفاریان مالمیری، حمیدرضا (۱۳۹۶). پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور، بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴. *مدیریت بیابان*، ۵(۱۰)، ۶۸–۸۶ **doi: 10.22034/jdmal.2018.30663**

۱۱. زندی، رحمان، انتظاری، علیرضا، باعقیده، محمد، و خسرویان، مریم (۱۴۰۰). ارزیابی خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی در مناطق جنوبی ایران. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۲(۲)، ۳۶–۴۹. **doi: 10.52547/esrj.12.2.36**

۱۲. سربازی، محبوبه، اونق، مجید، محمدیان بهبهانی، علی، و اکبری، مرتضی (۱۳۹۹). ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات زمانی– مکانی کاربری اراضی در گسترش شدت بیابان‌زایی مناطق خشک شمال شرق ایران (سرخس). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۲)، ۱–۱۸. **doi: 10.22067/geo.v9i2.85890**

۱۳. عوض پور، نسرین، فرامرزی، مرزبان، امیدی پور، رضا، و مهدی‌زاده، حسین (۱۴۰۰). پایش تاثیر خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: حوزه آبخیز ایلام. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱(۴)، ۱۲۵–۱۴۳. **doi: 10.22126/ges.2022.7130.2472**

۱۴. گوهری، زهرا، آرا، هایده، و معماریان خلیل آباد، هادی (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی شاخص‌های اقلیمی و ماهواره‌ای در روند تغییرات پهنه‌های ماسه‌ای شهرستان سرخس. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۹(۴)، ۵۲–۶۹ **https://sid.ir/paper/375498/fa**

۱۵. معماریان، هادی، و اکبری، مرتضی (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثر ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در ایران با استفاده از داده‌های جهانی GloSEM.*اکوهیدرولوژی*، ۸(۲)، ۵۱۳-۵۳۴. **doi: 10.22059/ije.2021.320754.1482**

۱۶. ملکی‌نژاد، حسیم، سلیمانی مطلق، مهدی، جایدری، اعظم، شاطرآبشوری، سمیه (۱۳۹۱). تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در استان تهران. *نیوار*، ۳۷(۸۰-۸۱)، ۴۳-۵۴. **https://nivar.irimo.ir/article_13186.html**

۱۷. میرعلیزاده‌فرد، سیدرضا، و علیبخشی، سیده مریم (۱۳۹۵). پایش و پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و مدل‌ساز تغییر اراضی، مطالعه موردی: دشت دهلران برتاش، ایلام. *RS و GIS در منابع طبیعی*، ۷(۲)، ۳۳-۴۶. **https://sid.ir/paper/189544/fa**

۱۸. نصرتی، کاظم (۱۳۹۳). ارزیابی شاخص بارش- تبخیر و تعرّق استاندارد شده (SPEI) جهت شناسایی خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران. *علوم محیطی*، ۱۲(۴)، ۶۳-۷۴.

۱۹. نوریان نجف‌آبادی، مجتبی، جعفری، رضا، و سلطانی، سعید (۱۳۹۴). کاربرد داده‌های میدانی و سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی غرب استان اصفهان. *همایش ملی ژئوماتیک*. **https://sid.ir/paper/892037/fa**

۲۰. همتی، رسول (۱۳۹۷). تفسیر آزمون گرافیکی من کندال، *مرکز تحقیقات کاربردی هواشناسی اردبیل*. ۵ صفحه.

References

1. Abadeh, M., & Khosroshahi, M. (2021). Assessment and drought monitoring using Standardized Precipitation (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration (SPEI) Indices in Hormozgan province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 28(4),718-732. doi: 10.22092/ijrdr.2021.125248 [In Persian]
2. Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H., Sadoddin, A., & Khosravi, H. (2016). Drought Monitoring Based on the SPI and RDI Indices under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid Areas of West Golestan Province). *ECOPERSIA*, 4 (4),1585-1602. http://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-7974-en.html
3. Akbari, M., Jafari, Shalamzari, M., Memarian, H., & Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological Indicator*, 111, 106011. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106011
4. Akbari, M., Neamatollahi, E., Alizadeh Noughani, M., & Memarian, H. (2022). Spatial distribution of soil erosion risk and its economic impacts using an integrated CORINE-GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 81(10), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10405-w
5. Akbari, M., Neamatollahi, E., Memarian, H., & Alizadeh Noughani, M. (2023). Assessing impacts of floods disaster on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Natural Hazards*, 117, 1689–1710. https://doi.org/10.1007/s11069-023-05925-y
6. Ali, S., Henchiri, M., Yao, F., & Zhang, J. (2019). Analysis of vegetation dynamics,drought in relation with climate over South Asia from 1990 to 2011. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (11),11470-11481. doi:10.1007/s11356-019-04512-8
7. Asadzadeh, F., Khosravi Aqdam, K., Parviz, L., Ramazanpour, H., & Yaghmaeian Mahabadi, N. (2018). Prediction of the land use change using markov chain and cellular automata (case study: Roze Chay basin, Uremia). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 8(1), 105-116. https://www.sid.ir/paper/232248/fa [In Persian]
8. Avazpour, N., Faramarzi, M., Omidipour, R., & Mehdizadeh, H. (2021). Monitoring the Drought Effects on Vegetation Changes using Satellite Imagery (Case Study: Ilam Catchment). *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4), 125-143. doi: 10.22126/ges.2022.7130.2472 [In Persian]
9. Bahak, B. (2013). Study of the Likelihood of Climate change in Kerman Province Using Man – Kendall Method (Case Study: Kerman Station). *Territory*, 10(39), 67-74. https://sid.ir/paper/116243/fa [In Persian]
10. Bai ,Y., Yang, Y., & Jiang, H. (2019). Intercomparison of AVHRR GIMMS3g, Terra MODIS, and SPOT-VGT NDVI Products over the Mongolian Plateau. *Remote Sensing*, 11(17), 2030. doi.org/10.3390/rs11172030
11. Bolhasani, K., Zarei, H., & Kablizadeh, M. (2016). Survey and evaluation of vegetation changes in recent decades using RS and GIS. *National Geomatics Conference*. https://sid.ir/paper/894563/fa [In Persian]
12. Chen, H., & Su, J. (2015) .Changes in Drought Characteristics over China Using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 28, 5430–5447. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00707.1
13. Choi, I. J., Park, R.S., & Lee, J. (2019). Impacts of a newly-developed aerosol climatology on numerical weather prediction using a global atmospheric forecasting model. *Atmospheric environment*, 197, 77-91. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.019
14. Das, A. C., Shahriar, S. A., Chowdhury, M. A., Hossain, M. L., Mahmud, S., Tusar, M. K., Ahmed, R., & Salam M. A. (2023). Assessment of remote sensing-based indices for drought monitoring in the north-western region of Bangladesh. *Heliyon*, 9(2). doi: 10.1016/j.heliyon. 2023.e13016.

15. Darmany, M., Rashki, A., Ara, H., & Mafi, A. (2022). Sediments geochemistry of geological units of Sarakhs region: implications to the dust emission. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32), 19-36. doi: 10.22111/jneh.2022.36242.1718 [In Persian]
16. Darroudi, H., Khosroshahi, M., & Shahabi, M. (2022). Investigating variations in climatic factors and drought trends in Sistan and Baluchestan Province, *Desert Ecosystem Engineering*, 10(32), 15-30. doi: 10.22052/deej.2021.10.32.11 [In Persian]
17. Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J., & Ghorbani, K. (2013). Study of plant vegetation variations using remote sensing and ground-based drought indices (Case study: Kermanshah province). *Agricultural Meteorology*, 1(1), 37-48. https://civilica.com/doc/209787 [In Persian]
18. Gohari, Z., Ara, H., & Memarian Khalilabad, H. (2018). A comparative study of climate and satellite indicators in the process of changes in the sandy areas of Sarakhs township. Environmental Erosion Research, 9(4), 52-69. [In Persian]
19. Gupta, R., & Sharma, L. K. (2020). Efficacy of Spatial Land Change Modeler as a forecasting indicator for anthropogenic change dynamics over five decades: A case study of Shoolpaneshwar Wildlife Sanctuary, Gujarat, India, *Ecological Indicators*, 112, 106171. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106171
20. Hemati, R. (2018). Interpretation of Mann-Kendall graphic test. *Ardabil Applied Meteorological Research Center*. p 5. [In Persian]
21. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/.
22. Leta, M. K., Demissie, T.A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and Prediction of Land Use Land Cover Change Dynamics Based on Land Change Modeler (LCM) in Nashe Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740. https://doi.org/10.3390/su13073740
23. Liu, W., Ma, S., Feng, K., Gong, Y., Liang, L., & Tsubo, M. (2023). The Suitability Assessment of Agricultural Drought Monitoring Indices: A Case Study in Inland River Basin. *Agronomy*, 13(2), 469. https://doi.org/10.3390/agronomy13020469
24. Maleki, H., Solaimame, M., Jaedaei, A., & Shater, S. (2012). Analysis of the precipitation and drought trend variations using Mann-Kendall and Sen Tests in Tehran Province. *Nivar*, 37(80-81), 43-54. https://nivar.irimo.ir/article_13186.html [In Persian]
25. Memarian, H., & Akbari, M. (2021). Prediction of combined effect of climate and land use changes on soil erosion in Iran using GloSEM data. *Ecohydrology*, 8(2), 513-534. doi: 10.22059/ije.2021.320754.1482 [In Persian]
26. Mirabbasi, R., Anagnostou, E. N., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y., & Eslamian, S. (2013). Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Hydrology*, 492, 35-48. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.019
27. Mir Alizadehfard, S.R., & Alibakhshi, S.M. (2016). Monitoring and forecasting of land use change by applying Markov chain model and land change modeler (Case study: Dehloran Bartash plains, Ilam). *RS and GIS for Natural Resources*, 7(2), 33-46. https://sid.ir/paper/189544/fa [In Persian]
28. Nosrati, K. 2014. Assessment of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for Drought Identification in Different Climates of Iran. *Environmental Sciences*, 12(4), 63-74 [In Persian]
29. Noorian Najafabadi, M., Jafari R,. & Soltani, S. (2014). The application of field data and remote sensing in revealing vegetation changes in the west of Isfahan province. *National Geomatics Conference*. https://sid.ir/paper/892037/fa [In Persian]
30. Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020). Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China. *Water*, 12(7), 1925. https://doi.org/10.3390/w12071925
31. Quirós, E., & Fragoso-Campón, L. (2023). Response of vegetation indices to drought in western Spain (No. EGU23-7644). *Copernicus Meetings*. doi:10.5194/egusphere-egu23-7644
32. Rouse, J.W., Haas, J.R., Schell, H.J., & Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, *NASA*: 309-317.
33. Sarbazi, M., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., & Akbari, M. (2020). Evaluating and Modeling Temporal-Spatial Changes of Land Use in the Expansion of Desertification Intensity in the Arid Regions of Northeast Iran (Sarakhs). *Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 1-18. doi: 10.22067/geo.v9i2.85890 [In Persian]
34. Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90, 434-440. https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003
35. Sneyers, R. (1990). On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143: Geneva: 192 pp.

36. Torabinezhad, N., Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2023). Analysis of different types of droughts and their characteristics in Iran using the standardized evapotranspiration-precipitation index (SPEI). *Water and Soil*, 37(3), 473-486. doi: 10.22067/jsw.2023.81322.1257 [In Persian]
37. Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94. https://doi.org/10.2307/210739
38. UNCCD. (2020). Desertification – Coping with today's global challenges in the context of the strategy of the United Nations Convention to combat desertification, Unites Nations Convention to Combat Desertification. Report on the High Level Policy Dialogue. Bonn, Germany.
39. Václavík, T., & Rogan, J. (2009). Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe. *GIS Science and RemoteSensing*, 49(1),1-32. http://dx.doi.org/10.2747/1548-1603.46.1.54
40. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & López-Moreno, J.I. (2010). A Multi–scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Climate*, 23(7), 1696-1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1
41. Yuan, X., Li, L., & Chen, X. (2015). Increased grass NDVI under contrasting trends of precipitation change over North China during 1982–2011. *Remote Sensing Letters*, 6(1),69-77. https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.1002944
42. Zare khormizie, H., & Ghafarian Malamiri, H. R. (2018). Drought monitoring and its impact on vegetation cover using remote sensing techniques (Case Study: Yazd province, from 1994 to 2014). *Desert Management*, 5(10),68-86. doi: 10.22034/jdmal.2018.30663 [In Persian]
43. Zandi, R., Entezari, A., Baaghide, M., & Khosravian, M. (2021). Evaluation of drought and its effects on vegetation in southern regions of Iran. *Researches in Earth Sciences*, 12(2),36-49. doi: 10**.**52547/esrj.12.2.36 [In Persian]
44. Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., Teng, D., Cao, X., Wang, J., & Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought Across the Ebinur Lake Watershed. *Scientific Reports*, 10(1),1354. https://doi.org/10.1038/s41598-020-57898-8
45. Zolfaghari, F., & Abdollahi, V. (2022). Determining the Most Suitable Vegetation Index for Mapping of Desertification Intensity in Arid Lands of Sistan Using Sentinel Images. *Desert Management*, 10(1),1-14. doi: 10.22034/jdmal.2022.548652.1375 [In Persian]