



Investigating the Impact of Drought on Vegetation and Evapotranspiration Using MODIS Sensor Images: A Case Study of Tehran Province

Shima Javadi¹, Abolfazl Ranjbar Fordoie^{*2}, Hassan Khosravi³, Hadi Eskandari Damaneh⁴

1. PhD in Desert Region Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran.
2. Corresponding author; Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran. E-mail: aranjbar@kashanu.ac.ir
3. Associate Prof., Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Researcher of Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Article Info

Article type:

Research Full Paper

2025; Vol 18, Issue 3

Article history:

Received: 02.06.2024

Revised: 26.08.2024

Accepted: 31.08.2024

Keywords:

EVI index,
MODIS,
Palmer index,
Potential
Evapotranspiration.

Abstract

Background and objectives: Vegetation is a critical component of ecosystems and is significantly impacted by climatic events, including drought. Indices such as the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Potential Evapotranspiration (PET) are effective tools for evaluating drought effects, obtained through the MODIS sensor. Numerous studies have identified climatic factors, including drought, as primary determinants of plant community growth and dynamics. Thus, monitoring drought and vegetation changes is essential for effective regional management. This study aims to assess the effects of drought on vegetation and potential evapotranspiration using MODIS sensor data.

Methodology: The Palmer Drought Severity Index (PDSI) was utilized to assess drought, while EVI and PET indices were derived from MODIS satellite images. Temperature and precipitation data from 13 synoptic stations in Tehran Province, spanning 2001 to 2021, were obtained monthly from the national meteorological organization. Using Inverse Distance Weighting (IDW), the corresponding maps were plotted in ArcGIS. Terra satellite series images from the USGS database were used to obtain EVI and PET data. The MOD13A3 sensor with a 1 km spatial resolution in monthly intervals provided EVI data, while the MOD16A2 sensor with a 500 m spatial resolution in 8-day intervals supplied PET data. Trends in PDSI, EVI, and PET were calculated using linear regression and the non-parametric Kendall test. Pearson correlation coefficient was applied to investigate the correlations between indices. Additionally, correlation analysis evaluated the impact of drought on EVI and PET in different climates.

Results: The 20-year average analysis indicated an increase in the PDSI (average 95.1) in the region. The average vegetation index was approximately 0.076, and the average PET was around 26.57 mm/m². Slope analysis using the Kendall test showed a 13.73% increase in vegetation and a 100% increase in drought indices, while PET decreased by 83.86%. The study revealed negative correlations between drought and vegetation (97.59%) and PET (18.68%), and positive correlations for vegetation (3.40%) and PET (82.31%). Examining the relationship between drought and EVI and PET indices in different climates revealed a positive relationship in 58.66% of the dry climate and a negative relationship in 35.82%, a negative relationship in 63.54% and 51.78% of the semi-arid climate, a positive relationship in 98.61% and a negative relationship in 68.73% of the humid climate, and a negative relationship in 4.74% and 82.49% of the semi-humid climate.

Conclusion: The research demonstrates that extracting EVI and PET indices from MODIS sensor data provides insights into drought damage. The PDSI results indicate the growth trend of drought across different climates. The correlation between vegetation cover and drought (WUE-PDSI) suggests improved ecosystem resistance to drought. The findings

highlight the significant relationship between drought and changes in vegetation and evapotranspiration potential. Natural resource managers and decision-makers can utilize these results to manage vegetation and develop strategies to combat this destructive phenomenon in arid and semi-arid areas.

Cite this article: Javadi, Sh., A. Ranjbar Fardoie, H. Khosravi, H. Eskandari Damaneh, 2025. Investigating the Impact of Drought on Vegetation and Evapotranspiration Using MODIS Sensor Images: A Case Study of Tehran Province. *Journal of Rangeland*, 18(3): 399-418.



© The Author(s).

DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.4.4

Publisher: Iranian Society for Range Management

بررسی اثرگذاری خشکسالی بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی استان تهران)

شیمای جوادی^۱، ابوالفضل رنجبر فردویی^{۲*}، حسن خسروی^۳، هادی اسکندری دامنه^۴

۱. دانشجوی دکتری رشته مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایان‌نامه: aranjbar@kashanu.ac.ir
۳. دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. محقق بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل - پژوهشی</p> <p>۱۴۰۳؛ جلد ۱۸، شماره ۳</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰</p> <p>واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص پالم، شاخص EVI، مودیس.</p>	<p>سابقه و هدف: پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین معیارهای موثر در اکوسیستم است که به شدت تحت تأثیر رخدادهای اقلیمی است. در میان عوامل اقلیمی خشکسالی از مهم‌ترین عوامل موثر بر رشد و پویایی جوامع گیاهی شناخته شده است به این منظور پایش خشکسالی و تغییرات پوشش گیاهی از اهمیت بسزایی برخوردار است لذا هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق با استفاده از سنجنده مودیس است. به این منظور برآورد شاخص‌هایی از قبیل پوشش گیاهی بارز شده (EVI) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) از ابزارهای مناسبی برای ارزیابی اثرات وقوع خشکسالی است که این شاخص‌ها از طریق سنجنده مودیس به دست می‌آیند.</p> <p>مواد و روش‌ها: در این تحقیق برای ارزیابی خشکسالی از شاخص خشکسالی پالم (PDSI) و برای محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل از تصاویر سنجنده مودیس استفاده شد. برای محاسبه شاخص PDSI، داده‌های دما و بارش ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان تهران طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ به صورت ماهانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد سپس با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) نقشه‌های مربوطه در محیط ArcGIS ترسیم گردید. برای به دست آوردن داده‌های ماهواره‌ای EVI و PET از پایگاه داده USGS از سری تصاویر ماهواره‌ای Terra استفاده شد. به این منظور برای شاخص EVI از سنجنده MOD13A3 با قدرت تفکیک یک کیلومتر در بازه زمانی ماهانه و برای محاسبه PET از سنجنده MOD16A2 با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۸ روزه استفاده شد. روند تغییرات شاخص خشکسالی، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق در بازه زمانی ذکر شده با استفاده از رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری من-کندال محاسبه و به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. به دنبال آن پاسخ پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق به خشکسالی در اقلیم‌های مختلف نیز با استفاده از آنالیز همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت.</p> <p>نتایج: بررسی متوسط ۲۰ ساله شاخص‌های خشکسالی، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق نشان داد که شاخص خشکسالی پالم با متوسط ۱/۹۵- نشان‌دهنده افزایش این شاخص در منطقه است. هم‌چنین، متوسط پوشش گیاهی حدود ۰/۰۷۶ و متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل حدود ۵۷/۲۶ میلی‌متر بر مترمربع برآورد شده است. طبق نتایج به دست آمده از بررسی شیب تغییرات با آزمون من-کندال روند تغییرات شاخص‌های</p>

پوشش گیاهی و خشکسالی به ترتیب ۷۳/۱۳ و ۱۰۰ درصد افزایش و تبخیر و تعرق پتانسیل ۸۶/۸۳ درصد کاهش یافته است. اثرگذاری خشکسالی بر شاخص پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که به ترتیب ۵۹/۹۷ و ۶۸/۱۸ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای همبستگی منفی و ۴۰/۰۳ و ۳۱/۸۲ درصد دارای همبستگی مثبت است. نتایج حاصل از بررسی رابطه خشکسالی با شاخص‌های پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف به ترتیب در اقلیم خشک ۶۶/۵۸ درصد رابطه مثبت و ۸۲/۳۵ درصد رابطه منفی، در اقلیم نیمه‌خشک ۵۴/۶۳ و ۷۸/۵۱ درصد رابطه منفی هم‌جنین در اقلیم مرطوب ۷۳/۶۸ درصد رابطه منفی و ۶۱/۹۸ درصد رابطه مثبت و در اقلیم نیمه‌مرطوب ۷۴/۰۴ و ۴۹/۸۲ درصد رابطه منفی داشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از سنجنده مودیس می‌توان به خوبی به اثرات مخرب خشکسالی پی برد. بر این اساس، نتایج شاخص خشکسالی پالمر نشان‌دهنده روند افزایشی این پدیده بوده و اثرات آن در اقلیم‌های مختلف متفاوت بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مقاومت اکوسیستم در برابر خشکسالی توسط همبستگی مابین پوشش گیاهی و خشکسالی (WUE-PDSI) به خوبی مشخص می‌شود. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری می‌شود که خشکسالی ارتباط معناداری با تغییرات پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل در طول مورد مطالعه داشته که مدیران و تصمیم‌گیران عرصه منابع طبیعی می‌توانند از نتایج حاصله به منظور مدیریت پوشش گیاهی و تصمیم‌گیری مناسب در برخورد با این پدیده مخرب در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده کنند.

استناد: جوادی، ش.ا. رنجبر فردویی، ح. خسروی، ه. اسکندری دامنه، ۱۴۰۳. بررسی اثرگذاری خشکسالی بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی استان تهران). مرتع، ۳۱۸(۳): ۳۹۹-۴۱۸.



DOR: 20.1001.1.20080891.1403.18.3.4.4

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

مقدمه

پوشش گیاهی یکی از اجزای زنده اکوسیستم و بخش اصلی اکوسیستم‌های خشک را تشکیل می‌دهد، که به علل مختلف و به مرور زمان در اثر عوامل اقلیمی و انسانی دچار تغییر شده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پوشش گیاهی نقش اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست دارد که به شدت تحت تاثیر رخدادهای اقلیمی از جمله خشکسالی است (۱۳ و ۳۱). خشکسالی یک دوره پیوسته و پایدار است که در تمامی مناطق اقلیمی با بارش‌های مختلف اتفاق می‌افتد و مشخصات آن از یک منطقه به منطقه دیگر کاملاً متفاوت است (۱). به علت مشخص نبودن زمان دقیق شروع و پایان خشکسالی و تدریجی بودن آن، اثرات شدیدتری نسبت به سایر پدیده‌ها بر جامعه و محیط و پوشش گیاهی می‌گذارد. این مسئله اهمیت پایش خشکسالی را به خوبی نشان می‌دهد (۱۱). یکی از اساسی‌ترین شاخص‌ها برای پایش خشکسالی، استفاده از شاخص خشکسالی پالمر است (۱۷)، پراکنش زمانی و مکانی خشکسالی را می‌توان با استفاده از این شاخص محاسبه کرد (۲۰). از دیگر شاخص‌های خشکسالی بسیار مهم، شاخص تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) است. این شاخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود بارش و افزایش دما همراه است بسیار حائز اهمیت است، به طوری که با کمک این شاخص می‌توان به اثرات مستقیم و غیرمستقیم متعددی که این پدیده مخرب روی جوامع مختلف ایجاد می‌کند پی برد (۲). وقایع طولانی مدت خشکسالی تاثیرات عمده‌ای بر ساختار و عملکرد پوشش گیاهی دارد و می‌تواند کیفیت و کمیت طبیعی گیاه را تغییر داده و منجر به کاهش پوشش گیاهی شود (۱۰). یکی از راه‌های کسب اطلاعات از محیط، از جمله پوشش گیاهی به کارگیری فناوری سنجش از دور و تلفیق آن با سامان اطلاعات جغرافیایی (GIS= Geographic Information System) است. این فن‌آوری با داشتن خصوصیتی نظیر دید وسیع و یکپارچه از منطقه، قدرت تفکیک زمانی بالا، سهل‌الوصول بودن اطلاعات و هزینه کمتر نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد. شاخص پوشش گیاهی بارز شده (Enhanced Vegetation Index = EVI) یکی از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی است که

برای ارائه نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شود (۲۲ و ۲۵). مقدار این شاخص تحت تاثیر عواملی قرار می‌گیرد که آگاهی از آنها نقش کلیدی و مهمی را در مطالعات پوشش گیاهی دارد. بر این اساس تحقیقات گوناگونی در زمینه پایش خشکسالی و شاخص‌های پوشش گیاهی انجام شده که در ادامه به آن می‌پردازیم.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی روند تغییرات خشکسالی در نواحی مختلف چین با استفاده از شاخص خشکسالی پالمر (Palmer Drought Severity Index = PDSI) پرداختند، بر اساس نتایج به دست آمده آزمون من-کندال، برخی از مناطق روند کاهشی و برخی دیگر روند افزایشی داشته و به طور کلی خشکسالی از جنوب شرقی به سمت شمال غربی چین در حال افزایش است، آردو و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص EVI مستخرج از سنجنده مودیس، اقدام به محاسبه تولید خالص اولیه برای منطقه ساحل آفریقا نمودند. سپس با استفاده از روش تحلیل روند، روند تغییرات بلند مدت آن را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت نتایج نشان داد که هیچ تغییر معنی‌داری در مقادیر تولید خالص اولیه در منطقه مطالعاتی رخ نداده است. زو و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه پاسخ تولیدات گیاهی حاصل از سنجنده مودیس به خشکسالی بیان کردند که بیش از ۷۹ درصد از منطقه تحت تاثیر خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۲ بوده است. هم‌چنین نازاد و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی شدت خشکسالی و اثر آن بر روی شاخص پوشش گیاهی در مغولستان پرداختند، نتایج نشان داد که این کشور در طی بازه زمانی ۱۷ ساله انواع طبقه خشکسالی از خفیف تا شدید را تجربه نموده و طی این دوران ۴۱ تا ۵۷ درصد از پوشش گیاهی از بین رفته است. فیروزی و همکاران (۲۰۱۹) میزان حساسیت دو شاخص NDVI و EVI نسبت به خشکسالی را در دشت سیستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، شاخص EVI در مقایسه با NDVI در مناطقی که از پوشش گیاهی کم برخوردارند مناسب‌تر است. طبق تحقیقی در چین جاود و همکاران (۲۰۲۰) در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ جهت بررسی تاثیر خشکسالی بر فنولوژی گیاهی از شاخص‌های Standardized Precipitation = SPEI

نتایج حاکمی از آن بود که سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ به ترتیب خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال در بازه زمانی مورد نظر بوده است و تغییرات سریع در فنولوژی و بهره‌وری پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ مشاهده شد. اسکندری دامنه و همکاران (۲۰۲۱) به تحلیل و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی (Normalized = NDVI Difference Vegetation Index) در حوضه غرب تالاب جازموریان پرداختند و نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی پیرسون نشان‌دهنده همبستگی بالایی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص پوشش گیاهی در سطح ۹۵ درصد در ایستگاه‌های میانه و دشت کوچ بوده است. باقری و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی ایران پرداختند. به این منظور از شاخص‌های SPEI و EVI استفاده کردند. نتایج آنالیز رگرسیون خطی حاکمی از آن بود که در دشت لوت و ارتفاعات رشته‌کوه البرز و زاگرس، حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی بسیار کمتر است. در حالی که نواحی مرکزی، جنوب غرب، جنوب شرق و سواحل خلیج فارس حساسیت بیشتری از خود نشان داده‌اند.

با توجه به مطالب و تحقیقات گفته شده در این زمینه، با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق اثراتی که بر گیاهان دارد، بررسی نمود و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و موثرتری پیرامون اثرات خشکسالی دست یافت. طبق نظرات بیان شده، شاخص پوشش گیاهی بارز شده یکی از شاخص‌های قدرتمند برای بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، که اطلاعات کاملی در رابطه با تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی ارائه می‌دهد و بسیاری از مسائلی که موجب ناخالصی در برخی از شاخص‌ها می‌شود مانند اثرات زمینه خاک و گردوغبارهای برجای مانده روی پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد (۹). بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقات کمی بر روی شاخص خشکی AI صورت گرفته است. همچنین شاخص‌های خشکسالی پالم و تبخیر و تعرق پتانسیل از شاخص‌های مهم خشکسالی می‌باشند که کمتر به این دو شاخص پرداخته شده است. از طرفی، خشکسالی رخدادی است که در تمام

رژیم‌های اقلیمی رخ می‌دهد بنابراین بررسی این پدیده در اقلیم‌های مختلف هر منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است. در نتیجه نوآوری این تحقیق استفاده از شاخص‌های خشکسالی پالم و تبخیر و تعرق پتانسیل و شاخص پوشش گیاهی EVI که در مطالعات کمی بدان پرداخته شده است و بررسی این شاخص‌ها در اقلیم‌های مختلف با استفاده از شاخص خشکی AI است. با توجه به این که بیش از ۵۰ درصد اقلیم استان تهران خشک و نیمه‌خشک است، این استان در معرض خطر بیشتر تغییرات اقلیمی به خصوص پدیده خشکسالی قرار دارد که به دنبال آن منجر به کاهش پوشش گیاهی و دیگر منابع طبیعی منطقه خواهد شد. در نتیجه با آگاهی از وضعیت خشکسالی و پوشش گیاهی می‌توان فهم و درک مناسبی از وضعیت خشکسالی در این استان ارائه داد و از اثرات این پدیده در درازمدت و همچنین اثرات مخرب اکولوژیکی و پدید آمدن بحران‌های اجتماعی جلوگیری کرد. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی شده است تا با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارش شاخص‌های خشکسالی پالم استخراج شود و با تحلیل و پردازش شاخص پوشش گیاهی EVI و تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، رابطه همبستگی بین این شاخص‌ها با شاخص خشکسالی تعیین شود. بدیهی است اطلاعات تولید شده با استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای کمک شایانی به سیاست‌مداران در مواجهه با خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران به دلیل موقعیت سیاسی، اجتماعی و اقتصادی خود از جایگاه ویژه‌ای در بحث‌های مرتبط با خشکسالی برخوردار است که مجموعه این عوامل باعث گردیده تا این استان به عنوان منطقه مطالعاتی تحقیق حاضر انتخاب گردد. این استان با وسعتی حدود ۱۸۹۰۹ کیلومتر مربع و بین طول جغرافیایی شرقی ۱۰° ۵۰' تا ۱۰° ۵۳' و عرض شمالی ۳۴° ۵۲' تا ۳۴° ۲۱' در نیمه‌شمالی ایران واقع شده است (۱۷). شکل (۱) موقعیت استان تهران و نقشه اقلیم را در این استان نشان می‌دهد. از نظر محیط زیستی آب و هوای استان تهران در نواحی جنوبی گرم و خشک

روش تحقیق

هدف از پژوهش حاضر بررسی خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل است که در این راستا از دو نوع داده هواشناسی و ماهواره‌ای استفاده شده است. در ادامه به شرح کامل این داده‌ها پرداخته می‌شود.

داده‌های پژوهش

در این مطالعه داده‌های دما و بارش ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان تهران طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ به صورت ماهانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. برای داده‌های ماهواره‌ای از محصولات سنجنده مودیس (Moderate Resolution Imaging = MODIS Spectroradiometer) از جمله داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و شاخص پوشش گیاهی بارز شده (EVI) طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۲۱ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> (United States Geological Survey) از سری تصاویر ماهواره‌ای Terra به دست آمد. بدین منظور برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از سنجنده (MOD16A2) با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۸ روزه و برای شاخص پوشش گیاهی بارز شده از سنجنده (MOD13A3) با قدرت تفکیک یک کیلومتر در بازه زمانی ماهانه از ژانویه ۲۰۰۱ الی دسامبر ۲۰۲۱ استفاده شد (۱۶ و ۱۷). تمامی داده‌ها در مرز منطقه مورد مطالعه استخراج شد و آماده پردازش قرار گرفت. برای تصحیح و پیش پردازش کردن داده‌ها از افزونه MODIS TOOLKIT در نرم افزار ENVI5.3 استفاده گردید (۲۹).

شاخص پوشش گیاهی بارز شده (EVI)

ترکیب روابط تجربی برای تصحیح اتمسفریک منجر به ایجاد شاخص (EVI) گردیده است (۳۰). این شاخص برای مناطق با زیست توده زیاد توسعه داده شده و از مزایای آن می‌توان به بهبود بخشیدن اثرات تاج پوشش و کاهش اثرات اتمسفر و پخش آبروسل اشاره کرد.

این شاخص با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\text{EVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{R})}{(\text{NIR} + \text{C1} * \text{R} - \text{C2} + \text{B} + \text{L})} \quad (1) \text{ رابطه}$$

در این رابطه NIR، بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R بازتاب در باند قرمز، B بازتاب در باند آبی، L فاکتور تنظیم خاک است که برابر با ۱ بوده و دو ضریب C1 و C2 به ترتیب برابر با ۶ و ۷/۵ می‌باشند (۱۲).

در این مطالعه برای به دست آوردن شاخص (EVI) از سنجنده مودیس (MOD13A3) با قدرت تفکیک یک کیلومتر در بازه زمانی ماهانه استفاده شد و نقشه‌های مربوطه در محیط ArcGIS تهیه شدند.

شاخص خشکسالی پالم (PDSI)

با توجه به متغیر بودن شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی و تعیین خشکسالی طولانی مدت از شاخص پالم استفاده شد چرا که این شاخص روشی بسیار موثر در تعیین خشکسالی طولانی مدت (سالانه) است. از دیگر امتیازات این شاخص این است که نسبت به شرایط اقلیمی محلی استاندارد است. بنابراین می‌تواند در هر بخش کشور جهت نشان دادن خشکسالی نسبی یا ترسالی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص پالم (PDSI) یکی از شاخص‌های متداول خشکسالی است که توسط پالم برای سنجش میزان نوسانات ذخیره رطوبتی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت (۲۷). در واقع، این شاخص بر اساس میزان رطوبت خاک که متأثر از بارش و دما است خشکسالی را نشان می‌دهد (۲۱)

پس از پردازش داده‌های دما و بارش میانگین سالانه شاخص PDSI در بازه زمانی ۲۱ ساله محاسبه شد، با توجه به نتایج جدول (۱) مقدار RMSE در روش درونیابی وزن دهی معکوس فاصله (Inverse distance = IDW) کمتر از روش KRIGING است. این نشان دهنده مناسب بودن روش IDW به جای KRIGING در این تحقیق است. سپس با استفاده از این روش نقشه‌های مربوطه در محیط (Aeronautical = ArcGIS) Reconnaissance Coverage Geographic ترسیم شد.

جدول ۱: ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های دما و بارش استان تهران

مدل	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷
IDW	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۲۰
KRIGING	۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۱۹
مدل	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴
IDW	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۶۲	۰/۲۵	۰/۴۲
KRIGING	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۶۷	۰/۳۲	۰/۴۱
مدل	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱
IDW	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۴۱
KRIGING	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۶۱

شناسایی و نوع و زمان آن را مشخص نمود. این آزمون ابتدا توسط من (۲۳) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است.

مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(X_j - X_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

n طول سری زمانی، x_j و x_i داده‌های متوالی و $\text{sgn}(x_j - x_i)$ تابع علامت بوده که به شرح رابطه ۴ قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{if}(x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{if}(x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{if}(x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

محاسبه واریانس آماره در رابطه ۵ مشاهده می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left(N(N-1)(2N+5) - \sum_{t=1}^m t_i(t_i-1)(2t+5) \right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

در آخر، آماره استاندارد شده یا همان Z از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. مقدار مثبت Z روند افزایش و مقدار منفی Z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. هم‌چنین برای آزمون روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح

شاخص خشکی (AI)

با توجه به مرور منابع و در نظر گرفتن مقدار بارش و تبخیر و تعرق در شاخص خشکی، بررسی روند AI می‌تواند به‌خوبی نمایانگر تاثیرات تغییرات اقلیمی باشد. به‌این علت این شاخص در تحقیق حاضر انتخاب گردید. شاخص خشکی (AI) به‌عنوان نسبت میانگین بارندگی سالانه (P) به میانگین تبخیر و تعرق بالقوه سالانه (PET) برای بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱ تعریف شد. رابطه (۲).

$$AI = \frac{P}{PET} \quad \text{رابطه (۲)}$$

پس از محاسبه شاخص خشکی بر طبق (جدول ۲) کلاس‌بندی انجام گرفت و نقشه‌های مربوطه در محیط GIS ترسیم شد (۱۳).

جدول ۲: دامنه عددی شاخص خشکی (AI)

دامنه	شاخص خشکی
$AI \leq 0/2$	خشک
$0/2 < AI \leq 0/5$	نیمه‌خشک
$0/5 < AI \leq 0/65$	نیمه‌مرطوب
$AI \geq 0/65$	مرطوب

بررسی روند تغییرات

روند تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی بارز شده، خشکسالی و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۱ با استفاده از آنالیز ناپارامتری من کندال در محیط TerrSet انجام شد. سپس میانگین پارامترها در نرم‌افزار ArcGIS به‌دست آمد. در نهایت نقشه میانگین شاخص‌ها در ArcGIS استخراج شد.

آزمون من-کندال از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های غیرپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار رفته که با استفاده از این تکنیک می‌توان تغییرات داده‌ها را

معنی‌داری P ، اگر مقدار Z بزرگتر از $Z_{1-P/2}$ باشد، فرض صفر رد می‌شود (مقدار $Z_{1-P/2}$ از جدول ۱، توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید). برای این کار، سطح معنی‌داری $0/05$ یا $0/01$ به کار می‌رود.

$$\text{رابطه (۶)} \quad \begin{cases} \frac{Z - 1.96}{\sqrt{1.96^2 + 1}} > 0 \\ \frac{Z - 1.96}{\sqrt{1.96^2 + 1}} < 0 \end{cases}$$

مقدار آماره به دست آمده با مقدار قدرمطلق Z از جدول توزیع نرمال (جدول ۳) مقایسه می‌شود (۱۳).

جدول ۳: جدول توزیع نرمال

$ Z $	سطح معنی‌داری
$Z = \pm 1.96$	معنی‌دار نیست
$Z > 1.96$	روند افزایشی و معنی‌دار است
$Z < -1.96$	روند کاهشی و معنی‌دار است

آنالیز همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی

به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (رابطه ۷).

$$\text{رابطه (۷)} \quad R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

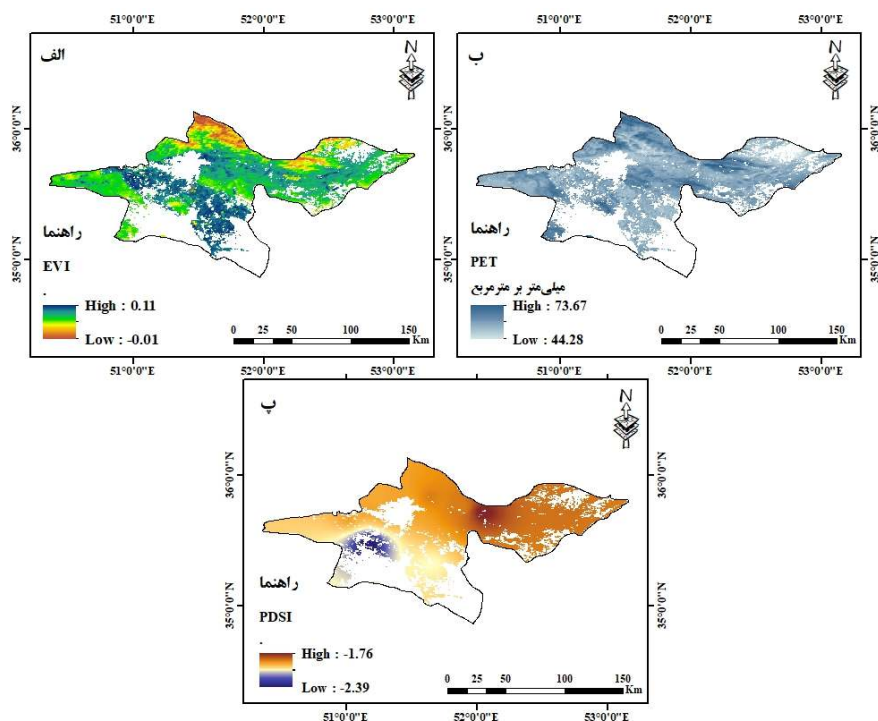
y ضریب همبستگی بین x و y است، x_i مقدار شاخص مستقل در بازه زمانی t ام، y_i متغیرهای مستقل بازه زمانی t ام و i بازه زمانی (ماه، فصل یا سال) است.

ضریب همبستگی بین -1 و 1 تغییر می‌کند. 1 - رابطه منفی کامل (رابطه معکوس بین دو متغیر)، 1 رابطه مثبت کامل (رابطه مستقیم بین دو متغیر) و صفر عدم وجود رابطه را نشان می‌دهند (۱۳ و ۱۷).

نتایج:

بررسی تغییرات مکانی و زمانی EVI، PDSI و PET در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱

بررسی متوسط ۲۰ ساله شاخص‌های پوشش گیاهی، خشکسالی و تبخیر و تعرق پتانسیل در شکل (۲ الف تا پ) ارائه شده است. بررسی این نتایج نشان داد که متوسط پوشش گیاهی بارز شده (EVI) حدود $0/076$ است. بیشترین مقدار این شاخص در بخش‌های جنوب و غرب و کمترین مقدار در بخش‌های شمال و شرق دیده می‌شود (شکل ۲-الف). متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) حدود $57/26$ میلی‌متر بر مترمربع است و همانطور که در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آن به صورت پراکنده در بخش‌های مرکزی، شمالی و غربی دیده می‌شود. شاخص خشکسالی پالم (PDSI) نیز با متوسط $-1/95$ نشان‌دهنده افزایش این شاخص در منطقه است که بیشترین مقدار آن در بخش‌های شمال و شرق و کمترین مقدار در بخش‌های جنوب و غرب منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود (شکل ۲-ب). مقادیر شاخص پالم در شکل (۲) مربوط به حداقل و حداکثر متوسط این شاخص در منطقه مورد مطالعه است. در صورتی که در شکل (۳) مقادیر مربوط به متوسط این شاخص در هر سال است.



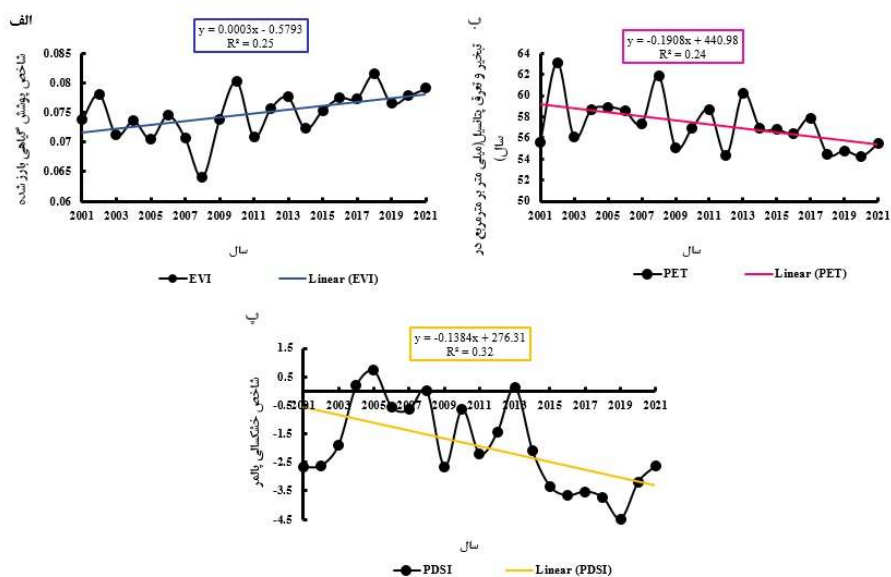
شکل ۲: الف) متوسط پوشش گیاهی بارز شده؛ ب) تبخیر و تعرق پتانسیل و پ) خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱

مشاهده می‌شود روندی کاهشی و منفی است که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی در بازه زمانی ذکر شده است.

جدول ۴: جدول توزیع نرمال

Sig	R ₂	شاخص
۰/۰۲۳	۰/۲۴	EVI
۰/۰۲۵	۰/۲۳	PET
۰/۰۰۸	۰/۳۲	PDSI

معنی‌داری روندها توسط ANOVA در نرم‌افزار SPSS درصد انجام شد. چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود روند شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل (۳)، بررسی روند شاخص‌های ذکر شده در سطح منطقه مورد مطالعه به این صورت است که روند تغییرات متوسط سالانه پوشش گیاهی بارز شده افزایشی بوده و بیش‌ترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۸ بوده است (شکل ۳-الف). روند شاخص تبخیر و تعرق پتانسیل کاهشی بوده و همان‌طور که در شکل (۳-ب) مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار مربوط به سال ۲۰۰۲ و کمترین مقدار در سال ۲۰۱۲ بوده است. روند متوسط سالانه شاخص خشکسالی چنانچه در (شکل ۳-پ)

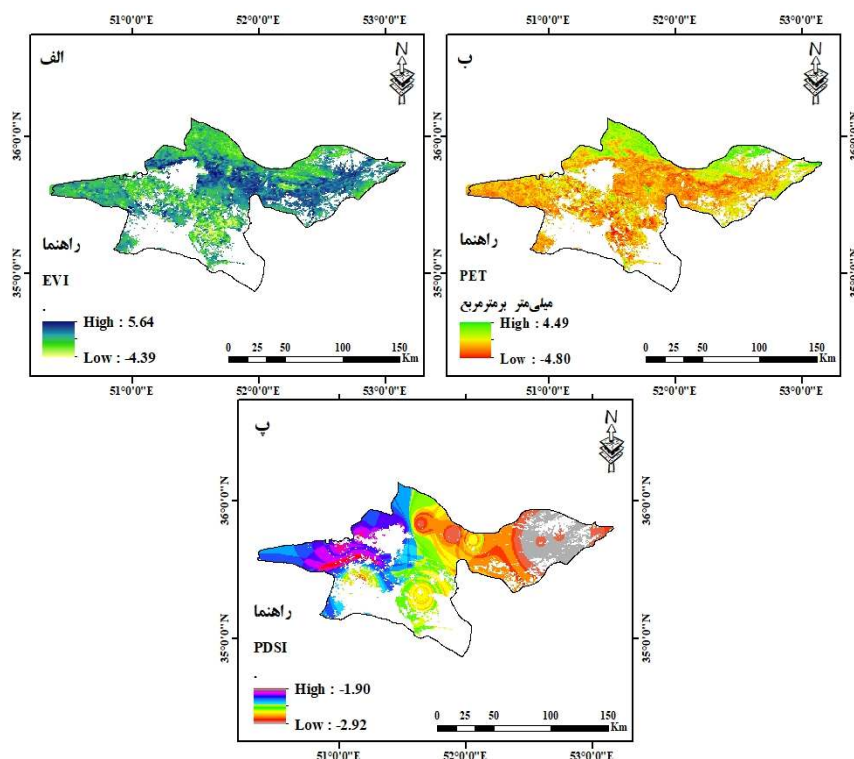


شکل ۳: الف) روند پوشش گیاهی بارز شده؛ ب) تبخیر و تعرق پتانسیل و پ) خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱

و کمترین ارزش ۴/۵۰- که ۸۶/۸۳ درصد از منطقه (۱۱۷۷۰۷۵ هکتار) روند کاهشی و ۱۳/۱۷ درصد (۱۷۸۶۰۰ هکتار) روند افزایشی داشته است و از این مقادیر به ترتیب ۴۰/۸۰ و ۰/۵۷ درصد معنی‌دار بوده است. روند تغییرات خشکسالی توسط آزمون من-کندال در شکل ۴-پ نشان می‌دهد (بیشترین ارزش ۱/۹۰- و کمترین ارزش ۲/۹۲-) که روند ۱۰۰ درصد افزایشی بوده و از این مقدار ۰/۱۷ درصد معنی‌دار بوده که ۲۳۲۵ هکتار از مساحت منطقه مطالعاتی را شامل می‌شود.

بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی EVI، PDSI و PET در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱

بررسی روند تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق پتانسیل و خشکسالی بر اساس آزمون من-کندال در شکل (۴) نشان داده شده است. روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی (بیشترین ارزش ۵/۴۶ و کمترین ارزش ۴/۳۹-) در ۹۹۱۴۲۵ هکتار از منطقه ۷۳/۱۳ درصد افزایشی بوده که از این مقدار ۴/۲۵ درصد معنی‌دار و در ۳۶۴۲۵۰ هکتار از منطقه ۲۶/۸۷ درصد کاهشی و ۳۲/۵۰ درصد معنی‌دار بوده است (شکل ۴-الف). بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل با آزمون من-کندال در شکل ۴-ب) نشان داد (بیشترین ارزش ۴/۴۹

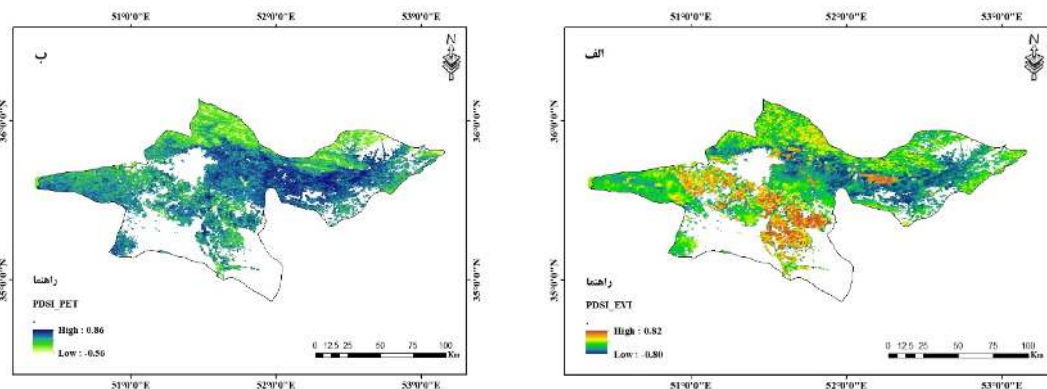


شکل ۴: الف) روند تغییرات پوشش گیاهی بارز شده؛ ب) تبخیر و تعرق پتانسیل و پ) خشکسالی بر اساس آزمون من-کندال در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۱

شکل ۵-الف). بررسی اثرگذاری خشکسالی بر تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که ۶۸/۱۸ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه معادل ۹۲۴۳۵۰ هکتار دارای همبستگی منفی و ۳۱/۸۲ درصد از مساحت معادل ۴۳۱۳۲۵ هکتار از منطقه همبستگی مثبت است (شکل ۵-ب).

همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق پتانسیل و خشکسالی

اثرگذاری شاخص خشکسالی بر پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل در شکل (۵) ارائه شده است. اثرگذاری خشکسالی بر شاخص پوشش گیاهی نشان داد که ۵۹/۹۷ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه معادل ۸۱۳۰۵۰ هکتار دارای همبستگی منفی و ۴۰/۰۳ درصد از مساحت معادل ۵۴۲۶۲۵ هکتار از منطقه همبستگی مثبت دارد



شکل ۵: همبستگی بین (الف) شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی و (ب) شاخص‌های خشکسالی و تبخیر و تعرق پتانسیل

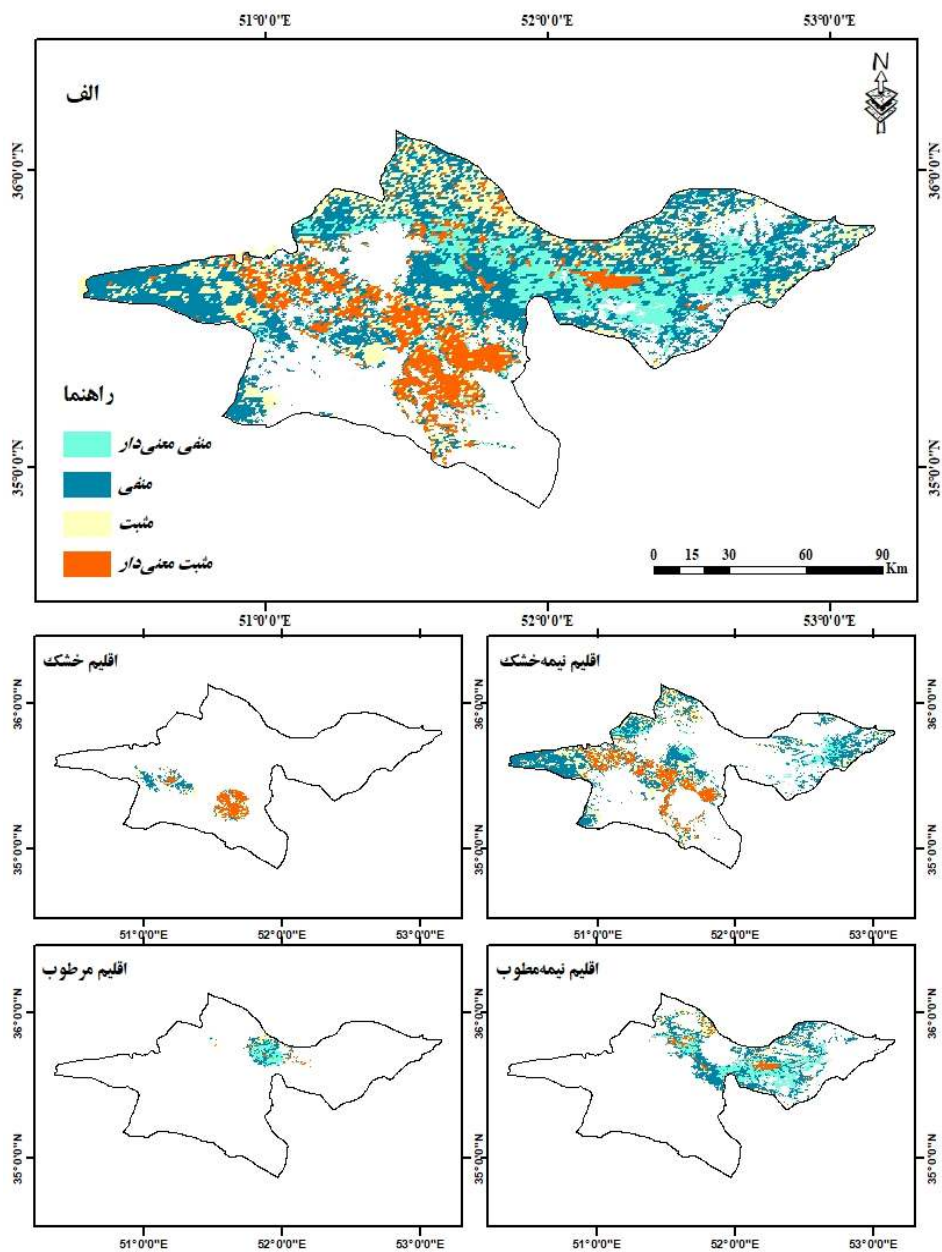
داشته و ۳۳/۴۲ درصد (۳۱۷۷۵ هکتار) رابطه منفی داشته است. در اقلیم نیمه‌خشک ۵۴/۶۳ درصد (۳۹۹۰۲۵ هکتار) رابطه مثبت و ۴۵/۳۷ درصد (۳۳۱۴۰۰ هکتار) رابطه مثبت داشته است. در اقلیم مرطوب ۷۳/۶۸ درصد معادل ۵۰۸۷۵ هکتار از منطقه دارای همبستگی منفی بوده و ۲۶/۳۲ درصد معادل ۱۸۱۷۵ هکتار از منطقه دارای همبستگی مثبت بوده است. در اقلیم نیمه‌مرطوب ۷۴/۰۴ درصد (۳۰۰۵۷۵ هکتار) دارای همبستگی منفی هم‌جنین ۲۵/۹۶ درصد معادل ۱۰۵۴۷۵ هکتار از منطقه دارای رابطه مثبت بوده است (شکل ۷-الف). تاثیر خشکسالی بر تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم خشک نشان داد که ۸۲/۳۵ درصد معادل ۷۹۱۷ هکتار دارای رابطه منفی و ۱۷/۶۵ درصد معادل ۱۶۹۷ هکتار از منطقه رابطه مثبت داشته است. در اقلیم نیمه‌خشک ۷۸/۵۱ درصد (۵۷۶۹۵۰ هکتار) همبستگی منفی و ۲۱/۴۹ درصد (۱۵۷۹۵۰ هکتار) همبستگی مثبت داشته است. در اقلیم مرطوب ۶۱/۹۸ درصد معادل ۴۳۰۷۵ هکتار از منطقه دارای همبستگی مثبت بوده و ۳۸/۰۲ درصد معادل ۲۶۴۲۵ هکتار از منطقه دارای همبستگی منفی بوده است. در اقلیم نیمه‌مرطوب ۵۰/۱۸ درصد (۲۰۳۶۵۰ هکتار) دارای همبستگی منفی و ۴۹/۸۲ درصد معادل ۲۰۲۱۵۰ هکتار از منطقه دارای رابطه مثبت بوده است (شکل ۷-ب).

همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل و در اقلیم‌های مختلف

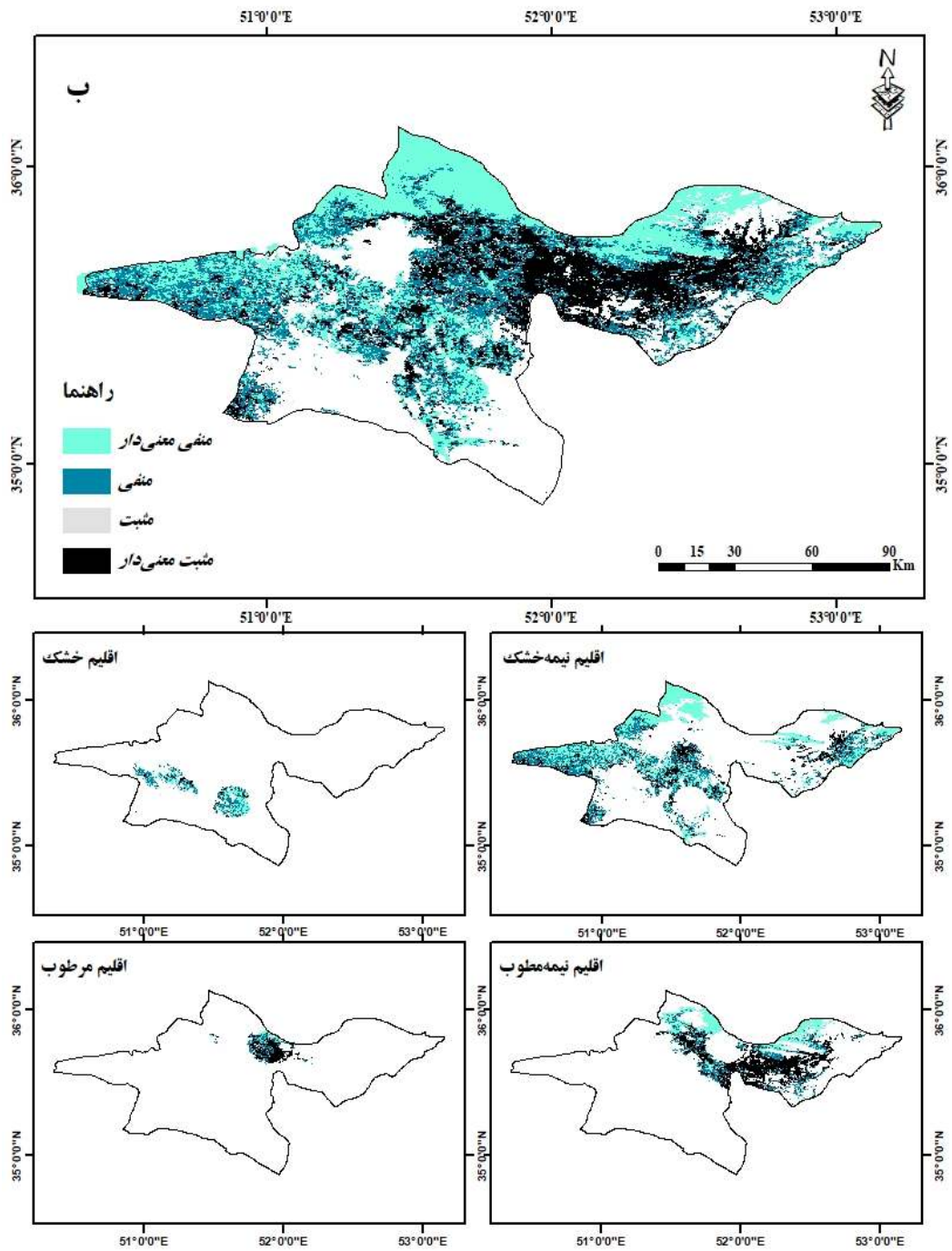
همان‌طور که در شکل (۶ و ۷) مشاهده می‌شود تاثیر خشکسالی بر شاخص پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف متفاوت است که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی نشان داد بیشترین مساحت معادل ۸۱۳۰۵۰ هکتار از منطقه مربوط به همبستگی منفی بوده که در بخش‌های شرق تا غرب مشاهده شده، از این مقدار ۱۵/۰۹ درصد معنی‌دار بوده و در قسمت‌های شمال و شرق مشاهده می‌شود. هم‌جنین از ۴۰/۰۳ درصد همبستگی مثبت، ۱۶ درصد معنی‌دار بوده که در بخش‌های جنوب و غرب منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۶-الف). تاثیر خشکسالی بر تبخیر و تعرق در شکل (۶-ب) نشان داده شده است. بیشترین مساحت معادل ۹۲۴۳۵۰ هکتار از منطقه همبستگی منفی را نشان داده که از شرق به غرب ادامه دارد. از این مقدار ۳۶/۴۸ درصد معنی‌دار بوده و در قسمت‌های شمال و جنوب غرب مشاهده می‌شود. ۲۷/۵۹ درصد از ۳۱/۸۲ درصد همبستگی مثبت معنی‌دار است و در بخش‌های شمال و شرق مشاهده می‌شود.

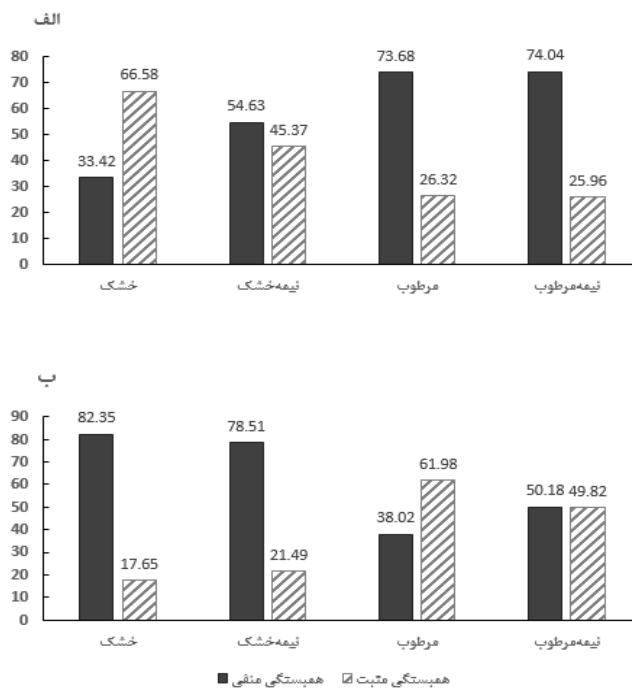
تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در اقلیم خشک نشان داد که ۶۶/۵۸ درصد (۶۳۳۰۰ هکتار) رابطه مثبت



شکل ۶: الف) همبستگی شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی و ب) همبستگی شاخص‌های خشکسالی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف



ادامه شکل ۶



شکل ۷: درصد الف) همبستگی شاخص‌های خشکسالی و پوشش گیاهی و ب) همبستگی شاخص‌های خشکسالی و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقالیم مختلف منطقه مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی به‌عنوان یک رویداد مشترک و با دوره بازگشت معین تمامی اقلیم‌ها اعم از خشک تا مرطوب را در بر می‌گیرد (۸)، هم‌جنین تأثیرات زیان‌آور شدیدی بر محیط و پوشش گیاهی منطقه می‌گذارد و از آن جایی که پوشش گیاهی هر منطقه به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک وابستگی زیادی به شرایط محیطی حاکم بر آن منطقه دارد و دارای واکنش سریع به تغییرات اقلیمی از جمله خشکسالی است در نتیجه برای اعمال مدیریت صحیح در منطقه پایش خشکسالی و تغییرات پوشش گیاهی از اهمیت بسزایی برخوردار است (۲۴).

نتایج حاصل از روند تغییرات نشان داد که متوسط شاخص پوشش گیاهی حدود ۰/۰۷۶ است و بیش‌ترین مقدار این شاخص در بخش‌های مرکزی و جنوب و غرب مشاهده شد. شاخص خشکسالی پالمر نیز با متوسط ۱/۹۵- نشان‌دهنده افزایش این شاخص در منطقه است که بیش‌ترین مقدار در بخش‌های شرقی، مرکزی و شمالی و کمترین مقدار در بخش‌های غرب و جنوب دیده می‌شود.

روند پوشش گیاهی در این مطالعه با تحقیق جوادى و همکاران (۲۰۲۳) هم‌خوانی دارد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق پتانسیل و خشکسالی توسط آزمون من-کندال نشان داد که شاخص خشکسالی پالمر نسبت به تبخیر و تعرق پتانسیل تأثیر بیشتری بر پوشش گیاهی داشته است. در این زمینه تحقیقات مشابهی وجود دارد، از جمله جوادى و همکاران (۲۰۲۳) طی یافته‌های به‌دست آمده از بررسی تأثیرات خشکسالی بر پوشش گیاهی به این نتیجه رسیدند که خشکسالی اثرات معنی‌داری بر کارایی مصرف آب و پوشش گیاهی داشته است. عوض‌پور و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر پوشش گیاهی مراتع کوهستانی البرز شمالی پرداختند و طبق نتایج به‌دست آمده بیان داشتند که پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی و تغییرات اقلیمی قرار گرفته است.

بررسی اثرگذاری خشکسالی بر شاخص‌های پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که به‌ترتیب ۵۹/۹۷ و ۶۸/۱۸ درصد از مساحت منطقه مورد

شاخص‌های پوشش‌گیاهی و خشکسالی به‌ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌خشک (۵۶/۱۵ درصد)، نیمه‌مرطوب (۳۱/۲۳ درصد)، خشک (۷/۳۱ درصد) و مرطوب (۵/۳۱ درصد) مشاهده شده است.

با توجه به نتایج بالا می‌توان اذعان نمود که با استفاده از تحلیل بلندمدت شاخص‌های خشکسالی پالمر و تبخیر و تعرق پتانسیل برآوردشده از داده‌های سنجش از دور می‌توان تغییرات پوشش‌گیاهی را در واحد سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. برای بررسی شاخص‌های مختلف پوشش‌گیاهی در این تحقیق از داده‌های سنجنده مودیس استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقیق‌تر از سنجنده لندست ۸/۹ و از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ (Sentinel-2) استفاده شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود شاخص‌های موثر دیگر در برآورد خشکسالی از جمله SPEI که در این تحقیق مورد مطالعه قرار نگرفتند مطالعه گردد. در نهایت می‌توان بیان کرد با تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و شاخص‌های اقلیمی شرایط حاکم بر مناطق جغرافیایی متفاوت را شناسایی و برای آنها با توجه به موقعیت قرار گرفته سیاست‌های مدیریتی از جمله مقابله با تخریب پوشش‌گیاهی در مقابل خشکسالی در اقلیم‌های مختلف را برنامه‌ریزی کرد.

مطالعه دارای همبستگی منفی می‌باشند. طبق نتایج به‌دست آمده از همبستگی بین شاخص‌های پوشش‌گیاهی، تبخیر و تعرق پتانسیل و خشکسالی می‌توان اذعان داشت که حساسیت پوشش‌گیاهی در بخش‌های شمالی و شرقی کمتر و در بخش‌های جنوبی و غربی منطقه بیشتر است. در بخش‌های شمالی و شرقی استان تهران شرایط اقلیمی مساعدتری وجود دارد و در نتیجه از پوشش‌گیاهی مناسب‌تری برخوردار است و امکان احیای پوشش‌گیاهی در این مناطق بیشتر است. می‌توان این موضوع را دلیلی برای کاهش حساسیت پوشش‌گیاهی به خشکسالی در مناطق شمال و شرق منطقه مطالعاتی دانست. باقری و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی اثر خشکسالی بر پویایی پوشش‌گیاهی اشاره داشتند و نتایج تحقیق آنها نشان داد که پوشش‌گیاهی در غرب استان خوزستان، از حساسیت نسبی کمی برخوردار است زیرا رودهای کرخه و کارون از این استان عبور می‌کنند و شرایط مناسبی در زمان وقوع خشکسالی وجود دارد و آسیب‌پذیری نسبی پوشش‌گیاهی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

بسیاری از تحقیقات عوامل اقلیمی از جمله خشکسالی را مهم‌ترین عوامل موثر بر رشد و پویایی جوامع گیاهی دانسته‌اند و بیان داشتند که در اقلیم‌های مختلف این موضوع متفاوت است (۱۵ و ۲۸). در این تحقیق نیز تغییرات پوشش‌گیاهی نسبت به خشکسالی در اقلیم مختلف متفاوت است. طبق نتایج بیش‌ترین میزان همبستگی بین

References

1. Abobatta, W. F, 2019. Drought adaptive mechanisms of plants—a review. *Advances in Agriculture and Environmental Science*, 2(1): 62-65.
2. Ali Moradi, S., A. Khorani & Y. Esmail Poor, 2017. Vegetation dynamics in relation to temperature and rainfall in rangelands of Karun Basin in Khuzestan province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 44: 155-177. (In Persian)
3. Ardo, J., T. Tagesson, S. Jamali & A. Khatir, 2017. MODIS EVI- based not primary production in the sahel 2000-2014. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 65: 35-45.
4. Avazpour, N., M. Faramarzi, R. Omidpour, & H. Mehdizadeh, 2021. Monitoring the drought effects on vegetation changes using satellite imagery. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4): 125-143. (In Persian)
5. Bagheri, S., E. Heydari, H. Khosravi & A. Abolhasani, 2022. The effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran. *Journal of Rangeland*, 154: 622-637.
6. Binesh, N., M. Nick-Sokhan & A. Sarang, 2017. Trend Detection in Tehran Temperature and Precipitation during 1984-2014. *Journal of Meteorological Organization*, 97(41): 36-45. (In Persian)
7. Borji, M., H. Khosravi & T. Mesbahzadeh, 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7: 905-915.

8. Choubin, B., F. Soleimani, A. Pirnia, F. Sajedi-Hosseini, H. Alilou, O. Rahmati, A. M. Melesse, V.P. Singh & H. Shahabi, 2019. Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns. *Extreme Hydrology and Climate Variability*, 17: 213-222.
9. Dastorani. M., A. Vali, A. Sepehr & C.B. Komaki, 2015. The effect of drought on vegetation using MODIS satellite Khorasan Razavi. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(7): 1-8.
10. Ding, Y., J. Xu, X. Wang, X. Peng & H. Cai, 2020. Spatial and temporal effects of drought on Chinese vegetation. *Science of The Total Environment*, 7(16): 137-166.
11. Ebrahimi Khusfi, Z. & M. Zarei, 2020. Relationships between Meteorological Drought and Vegetation Degradation Using Satellite and Climatic Data in a Semi-Arid Environment in Markazi Province, Iran. *Journal of Rangeland*, 10(2): 204-216.
12. Eskandari Damaneh, H., H. Eskandari Damaneh, H. Khosravi & H. Gholami, 2019. Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: the west basin of Jaz Murian wetland). *Journal of Rangeland*, 13(3): 461-475. (In Persian)
13. Eskandari Damaneh, H., H. Gholami, R. Mahdavi, A. Khorani & J. Li, 2021. Assessing the land degradation using water use efficiency (WUE) and drought indices (case study: Fars province). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(1): 103-120. (In Persian)
14. Firouzi, F., T. Tavoosi & P. Mahmoudi, 2019. Valuation of sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to droughts and wetlands in arid and semi-arid regions; Case study: Sistan plain of Iran. *Scientific Research Quarterly Geographical Data (Sepehr)*, 110: 163-179. (In Persian)
15. He, L., Z. Li, X. Wang, Y. Xie & J.S. Ye, 2021. Lagged precipitation effect on plant productivity is influenced collectively by climate and edaphic factors in drylands. *Science of the Total Environment*, 7(55): 142-506.
16. Huete, A., C. Justice & W. Van Leeuwen, 1999. MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm theoretical basis document, 3(213).
17. Javadi, Sh., A. Ranjbar, H. Khosravi & H. Eskandari Damaneh, 2023. Investigating the effects of drought on the water use efficiency in different climates and land uses (Case study: Tehran province). *Journal of Arid Biome* 13(1): 97-110. (In Persian)
18. Javed, T., Y. Li, K. Feng, O. Ayantobo, A. Shakil, Ch. Xingeo, R. Sadaf & S. Sovannaka, 2020. Monitoring responses of vegetation phenology and productivity to extreme climatic conditions using remote sensing across different sub-regions of China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28: 3644-3659.
19. Kendall, M. G., 1970. Rank Correlation Methods. U.S.A. Hassell Street Press 9/9/2021, 146-163.
20. Khosravi, H., A. Azareh, H. Eskandari Damaneh, E. Rafiei Sardoi & H. E. Eskandari Damaneh, 2017. Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(4): 93
21. Khosravi, H., E. Heidari Alamdarloo, S. Shekoohizadegan & S. Zareie, 2017. Assessment of the Effect of Drought on Vegetation in Desert Area using Landsat Data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20: 3-12.
22. Kowsari, M.R., M.R. Ekhtesasi & H. Malekinejad, 2017. The trend of meteorological and agricultural drought in the semiarid, dry and hyper arid of the World, *Journal of the Ecosystem of Desert Engineering*, 6(4):91-105. (In Persian)
23. Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica. Atmospheric and Climate Sciences*, 4(2), 245-259.
24. Mefhakhari, O., S. Khaledi, A.K. Shamsipour, M. Fallahi Khoshji & A. Kermani, 2016. Drought analysis using NDVI index in Qorveh and Dehgolan plains, *Journal of Applied Geosciences Research*, 16(41):77-94. (In Persian)
25. Mir Mousavi, H. & H. Karimi, 2013. Study of the effect of drought on vegetation using MODIS sensor images. *Journal of Geography and Development*, 31: 57-76. (In Persian)
26. Nanzad, L., J. Zhang, B. Tuvdendorj, M. Nabil, S. Zhang & Y. Bai, 2019. NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factor over Mongolia from 2000 to 2016. *Journal of Arid Environment*, 164, 69-77.
27. Palmer, W. C. 1965. *Meteorological Drought. Research.*, 45, U. S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C. 58 p.
28. Perkins, D., E. Uhl, P. Biber, B. Du Toit, V. Carraro, T. Rötzer & H. Pretzsch, 2018. Impact of climate trends and drought events on the growth of oaks within and beyond their natural range. *Section Forest Ecology and Management*, 9(3): 108.

29. Piao, S., Q. Liu, A. Chen, I.A. Janssens, Y. Fu, J. Dai, L. Liu, X.U. Lian, M. Shen & X. Zhu, 2019. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25(6): 1922-1940.
30. Shahzad, A., M. Henchiri, F. Yao & J. Zhang, 2019. Analysis of vegetation dynamics, drought in relation with climate over South Asia from 1990 to 2011. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 11470-11481.
31. Zhang, B., P. Wu, X. Zhao & Y. Wang, 2012. Drought variation trends in different sub regions of the Chinese Loess Plateau over the past four decades. *Agricultural Water Management*, 115: 167-177.
32. Zhou, A., A. Zhang, S. Cao, X. Liu, J. Liu & D. Cheng, 2018. Response of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. *Catena*, 163: 165-171.