Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Analysis of the Relationship between Wet and Dry Seasons in Northern Provinces of Iran with some Teleconnection Indices

Boromand Salahi [1]✉ | **Mehdi Frotan** [2]

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: salahi@uma.ac.ir
2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: Mahdi.frotan23@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 20 November 2024
Accepted 04 January 2025
Published online 07 January 2025

Keywords:
NDVI,
ENSO,
Northern provinces of Iran,
Wet and dry seasons,
Remote sensing patterns.

ABSTRACT

Objective: The ENSO atmospheric phenomenon has significant impacts on precipitation, temperature, and drought patterns in different regions of the world. This study aimed to investigate the relationship between ENSO indices such as MEI, SOI, and NINO fluctuations with drought indices (TCI, VCI, VHI, and SPI) in the provinces of Guilan, Golestan, and Mazandaran during the years 2013 to 2022.

Methods: For these works, satellite NDVI, LST, and precipitation were obtained from the Google Earth Engine platform to calculate drought indices, and ENSO data were obtained from the NOAA website for correlation analysis.

Results: The results showed that the MEI and NINO indices had a positive and significant correlation with SPI, indicating an increase in precipitation and a decrease in drought intensity in the periods associated with these indices, while their relationship with other drought indices was weak and insignificant. The SOI index showed a significant inverse relationship with SPI, confirming the effect of La Niña in increasing drought.

Conclusions: During the El Niño phase, temperature increased in the northern parts of the studied provinces, but the southern highlands of Mazandaran experienced sub-zero temperatures. Vegetation cover was denser in southern Golestan and eastern Mazandaran during this period, while northern Golestan and southern Mazandaran faced a decline in vegetation cover. Drought indices also confirmed this heterogeneity; SPI indicated relative dryness in the western half of the region, TCI showed heat stress in northern Gilan and central Mazandaran, and VCI revealed a decline in vegetation health in western Gilan and the western half of Mazandaran extending to northeastern Golestan. During the La Niña phase, temperatures generally increased and northern areas became warmer, while vegetation cover decreased and dry areas expanded, particularly in northern Golestan and southern Mazandaran. The SPI and VHI indices showed that drought severity and vegetation health decline increased during this period, with a concentration of dry lands evident in Mazandaran and the central part of Golestan.

Cite this article: Salahi, B., & Frotan, M. (2025). Analysis of the Relationship between Wet and Dry Seasons in Northern Provinces of Iran with some Teleconnection Indices. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (3), 119-136. http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.2

© The Author(s)
Publisher: Kharazmi University
DOI: http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.2

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Teleconnection refers to periodic atmospheric fluctuations in the climate system. Any phenomenon that is more or less than its long-term average and periodically forms a cycle is an oscillation, of which the Southern Oscillation or El Nino is an example. The Southern Oscillation (ENSO), including El Niño and La Niña, is one of the most important examples of this phenomenon, which causes widespread atmospheric disturbances in the northern and southern hemispheres. Researchers have introduced indices such as SOI, MEI, and SST to define ENSO. This phenomenon can be exacerbated by increasing the intensity and frequency of drought in tropical regions through the precipitation control. Since Iran also suffers significant losses from wet and severe droughts due to precipitation fluctuations, it is necessary to investigate the impact of ENSO on these phenomena.

Methods

This study investigated the relationship between ENSO indices and wetness and drought in the northern regions of Iran (Guilan, Mazandaran, Golestan provinces) during 2013 to 2022. Drought indices including VCI, TCI, VHI and SPI were calculated using MODIS and Persian satellite data in the Google Earth Engine environment and related maps were drawn. Land Surface Temperature (LST) data and NDVI index were used to calculate the aforementioned indices. The NDVI index was extracted from the MOD09GA- 006-NDVI product of the MODIS satellite and used as the basis for calculating the VCI. Land Surface Temperature (LST) data from the MOD11A1 product were used to calculate the TCI and by combining these two indices, the VHI was calculated. The SPI index was also determined based on Persian satellite precipitation data. SOI, ENSO, MEI and NINO indices were extracted from the NOAA website and the temporal correlation and one-month lag between them and drought indices were analyzed. Finally, zonation maps of temperature, vegetation and drought changes in the northern provinces of Iran during El Niño and La Niña phases were drawn.

Results

The analyses showed that climate indices such as MEI and Nino indices (Nino1+2, Nino3, Nino3.4, and Nino4) have a positive and significant correlation with the Standardized Precipitation Index (SPI) in all three northern provinces of Iran. This relationship indicates that increasing the intensity of ENSO activities, especially during the El Niño phase, leads to increased precipitation and reduced drought probability. In contrast, the SOI index, which is associated with La Niña, has a negative and significant correlation with SPI, indicating an increased drought probability during this period. However, none of the climate indices studied showed a significant correlation with the indices related to temperature and vegetation (TCI, VCI, and VHI). During the El Niño period, vegetation and precipitation conditions were better and wetter areas were observed with higher plant health, but during the La Niña period, temperatures increased, the extent of dry areas increased, and plant health decreased. During the La Niña period, average temperatures increased and vegetation density decreased, and some areas experienced severe drought. The dry and wet patterns during the La Niña period were more erratic and affected by temperature and humidity changes. These changes have a direct impact on the agricultural and vegetation conditions in the northern regions of Iran.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

Conclusion
The results showed that the MEI index had a positive and significant relationship with the SPI, which means a decrease in drought and an increase in precipitation, but it had a lesser effect on other drought indices. The SOI index had a negative relationship with SPI, indicating that the La Niña phase caused an increase in drought, especially in Golestan province. All the El Niño indices had a positive correlation with the SPI, and their role in reducing drought and increasing precipitation was confirmed. In the El Niño phase, the temperature increased in the north of Mazandaran province and reached below zero in the south, while in the La Niña phase, the temperature increased in the entire study area. Vegetation cover was higher in the south of Golestan province and east of Mazandaran province during the El Niño phase, but it decreased during the La Niña phase. The VHI index showed that the health of vegetation cover was better during the El Niño phase and weaker during the La Niña phase. The study of land surface temperature in different phases showed that El Niño caused a decrease in temperature in the southern highlands of Mazandaran province and an increase in the north of Golestan province. The SPI index in El Niño highlighted drought in the west of the study area and in La Niña highlighted the severity of drought in Golestan and Mazandaran provinces. The TCI and VHI indices also confirmed the unfavorable vegetation conditions in La Niña.

Keywords: NDVI, ENSO, Northern provinces of Iran, Wet and dry seasons, Remote sensing patterns.

Author Contributions
All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement
The data of this study is available upon request from the authors.

Acknowledgements
The esteemed reviewers are thanked for their structural and scientific comments.

Ethical considerations
The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding
This article was extracted from a research project with the research support of the University of Mohaghegh Ardabili under contract number 18096/9/D1403..

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: **۵۱۴۶– ۲۵۸۸**

Homepage: https://khu.ac.ir

تجزیه و تحلیل ارتباط بین ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های استان‌های شمالی ایران با برخی از شاخص‌های پیوند از دور

برومند صلاحی [۱] ✉ | مهدی فروتن [۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: salahi@uma.ac.ir

۲. گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. رایانامه: Mahdi.frotan23@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

کلیدواژه‌ها:
NDVI،
ENSO،
استان‌های شمالی ایران،
ترسالی و خشک‌سالی،
الگوهای پیوند از دور.

هدف: پدیده جوی ENSO، تأثیرات قابل‌توجهی بر الگوهای بارش، دما و خشک‌سالی در مناطق مختلف جهان دارند. این پژوهش با هدف بررسی ارتباط شاخص‌های ENSO مانند MEI، SOI و نوسانات NINO با شاخص‌های خشک‌سالی (TCI، VCI، VHI و SPI) در استان‌های گیلان، گلستان و مازندران طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ انجام یافته است.

روش پژوهش: برای این کار داده‌های ماهواره‌ای NDVI، LST و بارش از پلتفرم گوگل ارث انجین برای محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی استخراج و داده‌های ENSO از سایت NOAA جهت تحلیل همبستگی دریافت شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد شاخص‌های MEI و NINO همبستگی مثبت و معناداری با SPI دارند که بیانگر افزایش بارش و کاهش شدت خشک‌سالی در دوره‌های مرتبط با این شاخص‌ها است، در حالی که ارتباط آن‌ها با سایر شاخص‌های خشک‌سالی ضعیف و غیرمعنادار بود. شاخص SOI رابطه معکوس معناداری با SPI نشان داد که اثر لانینا در افزایش خشکی را تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری: در فاز النینو، دما در شمال استان‌های مورد مطالعه افزایش یافت، اما ارتفاعات جنوب مازندران دمای زیر صفر را تجربه کردند. پوشش گیاهی در این دوره در جنوب گلستان و شرق مازندران متراکم‌تر بود، در حالی که شمال گلستان و جنوب مازندران با کاهش پوشش مواجه شدند. شاخص‌های خشک‌سالی نیز این ناهمگنی را تأیید کردند؛ به طوری که SPI خشکی نسبی نیمه غربی منطقه، TCI تنش گرمایی در شمال گیلان و مرکز مازندران و VCI افت سلامت پوشش گیاهی در غرب گیلان و نیمه غربی مازندران تا شمال شرق گلستان را نشان داد. در فاز لانینا، دما به طور کلی افزایش یافت و مناطق شمالی گرم‌تر شدند، در حالی که وسعت پوشش گیاهی کاهش یافته و مناطق خشک، به‌ویژه در شمال گلستان و جنوب مازندران، گسترش یافت. شاخص‌های SPI و VHI نشان دادند که شدت خشک‌سالی و افت سلامت پوشش گیاهی در این دوره افزایش یافته و تمرکز اراضی خشک در مازندران و بخش میانی گلستان مشهود بود.

استناد: صلاحی، برومند؛ و فروتن، مهدی (۱۴۰۴). تجزیه و تحلیل ارتباط بین ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های استان‌های شمالی ایران با برخی از شاخص‌های پیوند از دور. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۳)، ۱۱۹-۱۳۶. http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.3.2

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

مقدمه

واژه پیوند از دور را اولین بار آنگستروم در سال ۱۹۳۵ میلادی به کار برد. این پدیده با نوسان در جو همراه است. هر پدیده‌ای که بیش‌تر یا کم‌تر از میانگین بلندمدت خود و به‌صورت دوره‌ای باشد و یک چرخه یا سیکل را تشکیل دهد یک نوسان است و مثالی از آن نوسان جنوبی یا النینو است (امیدوار، ۱۳۹۹). این پدیده از شناخته‌شده‌ترین پیوند از دور در سامانه اقلیم است که آشفتگی‌های جوی در نیم‌کره جنوبی و شمالی را در پی دارد (امیدوار، ۱۳۹۹). دانشمندان مختلف برای تعریف رویدادهای ENSO از شاخص‌ها و معیارهای گوناگونی استفاده کرده‌اند. رایت و همکاران (۱۹۸۹) تنها فشار سطح دریا در داروین را به‌کار برده‌اند. ون‌لون و مادن (۱۹۸۱) فشار سطح دریا از داروین تا جزیره کوکوس و همچنین بارش در ناحیهٔ آرام جنوبی استوایی را ملاک قرار داده‌اند. راسموسن و کارپنتر (۱۹۸۲) رویدادهای ENSO را بر اساس دمای سطح دریا در سواحل دور از پرو تعریف کرده‌اند. کلاریس و ون‌لون (۱۹۸۸) شاخص نوسان جنوبی (SOI[1]) را همراه با ناهنجاری دمای سطح دریا (SST[2]) در شرق اقیانوس آرام استوایی در نظر گرفته‌اند. ولتر (۱۹۸۷) نیز با ترکیب فشار سطح دریا، دمای هوا، ارتفاع سطح دریا، ابرناکی و مؤلفه‌های نصف‌النهاری و منطقه‌ای باد سطحی، شاخصی به نام MEI[3] را برای تعریف این رویداد ارائه کرده است (امیدوار، ۱۳۹۱). با قوی‌تر شدن نوسانات جنوبی (ENSO[4])، ممکن است فراوانی و شدت خشک‌سالی در مناطق استوایی از طریق گرم شدن کره زمین و مهار بارندگی افزایش یابد (نپستاد[5] و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به این‌که ایران کشوری است هر ساله از نوسانات بارش خسارات زیادی را متحمل می‌شود و از ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های مفرط رنج می‌برد لذا مطالعه تأثیر ENSO بر این پدیده امری ضروری به حساب می‌آید (ثمالی و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی تأثیر شاخص‌های اقلیمی ENSO بر رخدادهای خشک‌سالی و ترسالی در نواحی شمالی ایران طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ به‌عنوان هدف پژوهش حاضر بوده است. همچنین این پژوهش با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی که از داده‌های ماهواره‌ای به دست آمده‌اند، مانند VCI[6]، TCI[7]، VHI[8] و SPI[9] و بررسی همبستگی بین این شاخص‌ها و شاخص‌های ENSO، سعی دارد الگوهای پیچیده اقلیمی مرتبط با خشک‌سالی و ترسالی را روشن کند. نوآوری اصلی تحقیق در استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیل داده‌های ماهواره‌ای در محیط Google Earth Engine و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در دوره‌های النینو و لانینا برای بررسی تغییرات دما، پوشش گیاهی و خشک‌سالی است. این رویکرد می‌تواند در ایجاد راهکارهای مدیریتی برای مقابله با این پدیده‌ها در نواحی حساس شمال ایران مؤثر باشد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

مطالعات فراوانی در مورد ارتباط شاخص‌های ENSO با شاخص‌های خشک‌سالی در دنیا انجام گرفته است. ندهدهه[10] و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی روابط بین شاخص بارش استاندارد (SPI) حوضه کنگو و دمای سطح جهانی دریا پرداختند. آن‌ها از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و مدل شبکه عصبی اتورگرسیون غیرخطی استفاده کردند تا ارتباط بین الگوهای SPI و پدیده‌های جوی اقیانوسی جهانی را در قالب یک طرح پیش‌بینی ارزیابی کنند. نتایج نشان داد که حوضه کنگو در دو دوره (۱۹۰۱–۱۹۳۰ و ۱۹۹۱–۲۰۱۴) دچار خشک‌سالی‌های مداوم و شدید شده است. همچنین، شاخص ENSO با ضریب همبستگی ۰/۸۹ و شاخص‌های QBO[1]،

[1] - Southern Oscillation Index
[2] - Sea Surface Temperature
[3] - Multivariate ENSO Index
[4] - El Niño-Southern Oscillation
[5] - Nepstad
[6] - Vegetation Condition Index
[7] - Temperature Condition Index
[8] - Vegetation Health Index
[9] - Standardized Precipitation Index
[10] - Ndehedehe

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

شاخص‌های QBO[1]، AMO[2] و ENSO به ترتیب با ۸۴، ۷۸ و ۷۷ درصد تأثیر قابل‌توجهی بر رویدادهای شدید آبی اقلیمی داشته‌اند. آبی[3] و همکاران (۲۰۱۹)، ارتباط خشک‌سالی‌های فلوریدای جنوبی و اورگلیدز را با شاخص‌های PDO[4]، ENSO و AMO مورد بررسی قرار دادند آن‌ها شاخص SPI را برای دوره‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ ماهه ارزیابی نمودند نتایج نشان داد که تأثیر ENSO به نوسانات بارندگی در دوره‌های کوتاه‌مدت محدود است، درحالی‌که AMO و PDO بر تغییرپذیری بارندگی در دوره‌های بلندمدت تأثیر دارند. اسپینوسا[5] و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی طی ۸۰ سال گذشته در جزیره مادیرا پرداختند. آن‌ها از شاخص SPI برای ارزیابی شرایط خشک‌سالی استفاده کرده و ارتباط بین نوسان ال نینو–جنوبی (ENSO) و نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO[6]) را با تنوع خشک‌سالی بررسی کردند. نتایج نشان داد که رابطه‌ای واضح بین ENSO/NAO و وقوع خشک‌سالی برقرار نیست. لیو[7] و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های آب و هوایی بزرگ‌مقیاس در حوضه دریاچه پویانگ، چین را بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از شاخص SPEI[8] خشک‌سالی منطقه را ارزیابی کرده و با روش تبدیل موجک متقاطع ارتباط آن را با الگوهای پیوند از دور سنجیدند. نتایج نشان داد که خشک‌سالی با شاخص‌های اقلیمی (NAO، ENSO، AO[9]، PDO) همبستگی زمانی معنی‌داری در فواصل محدود دارد، به‌جز شاخص IOD[10] که همبستگی معناداری مشاهده نشد. جیانگ[11] و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از شاخص‌های سلامت پوشش گیاهی مبتنی بر ماهواره، شرایط خشک‌سالی و رشد پوشش گیاهی را در منطقه جینگ جین–جی چین ارزیابی کردند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های SMN، SMT، VCI و TCI تغییرات مکانی و زمانی رشد پوشش گیاهی را بررسی کرده و حساسیت آن را نسبت به شاخص ENSO (Niño 3.4) تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که ناهنجاری‌های آب و هوایی جهانی مانند Niño 3.4 تأثیرات قابل‌توجهی بر شاخص‌های VHI دارند، به‌طوری‌که Niño 3.4 با VCI همبستگی منفی و با TCI همبستگی مثبت نشان داد. الله[12] و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات خشک‌سالی در جنوب آسیا و ارتباط احتمالی آن با عوامل اقلیمی و دینامیکی را بررسی کردند. آن‌ها از شاخص PDSI[13] برای ارزیابی خشک‌سالی استفاده کردند و دریافتند که افزایش بارش و کاهش کسری فشار بخار باعث افزایش NDVI[14] و کاهش خشکی شده است. همچنین، رابطه مثبت قوی بین خشک‌سالی و بارش و NDVI در مناطق مورد مطالعه مشاهده شد، درحالی‌که دما و کسری فشار بخار همبستگی منفی نشان دادند. همچنین بیان داشتند که رویدادهای ENSO و IOD ارتباطی با روند خشک‌سالی نداشتند. دونگ[15] و همکاران (۲۰۲۳) الگوهای مکانی و زمانی و تأثیر ارتباط بین خشک‌سالی هواشناسی و دینامیک پوشش گیاهی را در حوضه رودخانه یانگ تسه با استفاده از داده‌های سنجش از دور بررسی کردند. آن‌ها داده‌های بلندمدت (۲۰۰۱–۲۰۲۰) از فلورسانس کلروفیل ناشی از خورشید (SIF[16]) و شاخص NDVI را برای ارزیابی پویایی پوشش گیاهی و رابطه آن با خشک‌سالی (SPEI) در انواع مختلف پوشش گیاهی در این منطقه به کار بردند. نتایج نشان داد که SPEI ارتباط معنی‌دارتری با SIF در مقایسه با NDVI دارد و الگوهای پیوند از دور مانند PDO، ENSO و لکه‌های خورشیدی به‌عنوان

1 - Quasi-Biennial Oscillation
2 - Atlantic Multidecadal Oscillation
3 - Abiy
4 - Pacific Decadal Oscillation
5 - Espinosa
6 - North Atlantic Oscillation
7 - Liu
8 - Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
9 - Arctic Oscillation
10 - Indian Ocean Dipole
11 - Jiang
12 - Ullah
13 - Palmer Drought Severity Index
14 - Normalized Difference Vegetation Index
15 - Dong
16 - Solar-Induced Fluorescence

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

محرک‌های اصلی بر تعامل بین خشک‌سالی هواشناسی و پوشش گیاهی تأثیرگذار هستند. آنگولو[1] و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی خشک‌سالی‌های شدید و ارتباط آن‌ها با نوسانات بین دهه‌ای اقیانوس آرام (IPO[2]) در منطقه آلتیپلانو پرو طی ۱۰۰ سال گذشته پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سطح آب دریاچه Titicaca و شاخص IPO از سال ۱۹۱۴ تا ۲۰۱۵ و با بهره‌گیری از تکنیک‌های تبدیل موجک و تابع متعامد تجربی (EOF[3]) ارتباط این عوامل را تحلیل کردند. نتایج نشان داد که تغییرات چند دهه‌ای در سطح آب با رویدادهای ال نینو/لانینا و IPO همبسته است و فاز منفی IPO با دوره‌های خشک‌سالی شدید هم‌زمان بوده است.

در کشور ایران نیز به بررسی ارتباط شاخص ENSO با خشک‌سالی پرداخته شده است از جمله خداقلی و همکاران (۱۳۹۲) ارتباط الگوهای پیوند از دور SOI و NAO با خشک‌سالی در حوضه آبخیز زاینده‌رود را بررسی کردند. آن‌ها همبستگی شاخص SPI را در دوره‌های ۳، ۵ و ۸ ماهه با شاخص‌های NAO و SOI تحلیل کردند. نتایج نشان داد که بارندگی در ایستگاه‌های میمه، فریدن، فریدون‌شهر، کوهرنگ، چادگان و داران با شاخص SOI همبستگی منفی معنی‌داری دارد، درحالی‌که شاخص NAO با ایستگاه‌های شهرضا و فریدون‌شهر نیز همبستگی منفی مشابهی نشان می‌دهد. فلاح و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی همبستگی بین متغیرهای اقلیمی پیوند از دور و شاخص خشک‌سالی SPI با استفاده از روش رگرسیون درختی (M5) در استان گلستان پرداختند. آن‌ها شاخص SPI را در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۱ ماهه بررسی کردند و ارتباط آن را با نوسان‌های SOI، تعداد لکه‌های خورشیدی (SUNSPOT)، NINO، MEI و NAO تحلیل کردند. نتایج نشان داد که بین متغیرهای اقلیمی پیوند از دور و شاخص خشک‌سالی SPI در بازه ۳ ماهه همبستگی ۶۹ درصد و در بازه ۱۲ ماهه همبستگی ۶۸ درصد وجود دارد. چوبین و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روش‌های آماری و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس جوی به پیش‌بینی خشک‌سالی در حوضه آبخیز مهارلو بختگان پرداختند. آن‌ها با تحلیل مؤلفه اصلی (PCA[4]) از میان ۴۵ شاخص، ۸ شاخص را به‌عنوان مؤثرترین انتخاب کردند و تأثیر این شاخص‌ها را بر شاخص SPI بررسی کردند. در نهایت، برای پیش‌بینی از رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های انتخابی همبستگی معنی‌داری با SPI داشته و عملکرد مدل‌های رگرسیون در مقیاس یک‌ماهه بهتر از سایر مقیاس‌های زمانی بوده است. بیات ورکشی و همکاران (۱۳۹۶) ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشک‌سالی در ایران را برای ۳۰ ایستگاه همدیدی بررسی کردند. آن‌ها شاخص‌های SOI، MEI، Nino 1+2، Nino 3.4، Nino 4، NOI، TNI و PNA را به‌عنوان متغیرهای مستقل و شاخص SPI را به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفتند و با استفاده از روش همبستگی پیرسون ارتباط این مؤلفه‌ها را سنجیدند. نتایج نشان داد که شاخص SOI با ۳۳/۴۳ درصد بیشترین همبستگی را با خشک‌سالی دارد و شاخص‌های MEI، Nino 3.4، Nino 4، NOI، Nino 1+2، TNI[5] و PNA به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین، آن‌ها بیان کردند که تعداد وقوع خشک‌سالی در فاز لانینا بیشتر از فاز النینو بوده است. ثمالی و همکاران (۱۳۹۸)، به بررسی ارتباط بین پدیده انسو بر خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در استان‌های ساحلی جنوبی ایران پرداختند آن‌ها برای بررسی فازهای سرد و گرم انسو از شاخص SOI بهره بردند و دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی را نیز مشخص نمودند. نتایج نشان داد با وقوع فاز گرم ترسالی رخ داده و بارش بیش‌تر از نرمال بوده و با رخداد فاز سرد خشک‌سالی و بارش کم‌تر از نرمال بوده است. عسگری دستنائی و همکاران (۱۴۰۰)، تأثیر تعدادی از الگوهای دورپیوندی با میانگین درجه حرارت و ارتباط آن با خشک‌سالی در برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک استان چهارمحال و بختیاری را بررسی نمودند. محمدرضایی و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی تأثیر شاخص‌های دمایی انسو بر خشک‌سالی هواشناسی نیمهٔ غربی ایران پرداختند و برای انجام این کار ابتدا شاخص SPI را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی نمودند و ارتباط هم‌زمان و غیر هم‌زمان آن را با شاخص‌های دمایی انسو واکاوی نمودند نتایج نشان داد در فصول پاییز و بهار رابطهٔ معناداری در شاخص‌های Nino4، Nino3.4، Nino3 و Nino1+2 مشاهده شد و این همبستگی در حالت غیر هم‌زمان بهتر از حالت هم‌زمان بود. اکبری ازیرانی (۱۴۰۱)، به آشکارسازی و تحلیل روند خشک‌سالی حوضه آبخیز جازموریان در ارتباط با

[1] - Angulo
[2] - Interdecadal Pacific Oscillation
[3] - Empirical Orthogonal Function
[4] - Principal Component Analysis
[5] - Tropical Niña Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

شاخص‌های جوی- اقیانوسی پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه ارتباط بین شاخص شدت خشک‌سالی SPEI ۱۲ ماهه را با نوسانات جوی و اقیانوسی بررسی نمودند و نتایج نشان داد شاخص AMO و SOI رابطه معنادار قوی در سطح ۵ درصد با خشک‌سالی حوضه مذکور داشته و شاخص AMO به تنهایی بیش از ۷۰ درصد خشک‌سالی حوضه را تبیین نموده است. محمدرضایی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر شاخص‌های NINO4 و NAO بر خشک‌سالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک نواحی شمالی ایران پرداختند. آن‌ها ابتدا شاخص SPI را محاسبه کردند و سپس با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن و تابع هم‌بستگی عرضی، رابطه هم‌زمان و غیرهم‌زمان بین این شاخص‌ها و خشک‌سالی را تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که شاخص NINO4 بیشترین و شاخص NAO کمترین هم‌بستگی را با خشک‌سالی در مناطق مورد مطالعه داشتند و بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی خشک‌سالی در ایستگاه گرگان به دست آمد. رفیعی‌طاقانکی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی، ارتباط الگوهای دورپیوند اقلیمی با خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) در دشت‌های فرادنبه و سفیددشت استان چهارمحال و بختیاری را بررسی کردند. برای خشک‌سالی هواشناسی از شاخص SPI و برای خشک‌سالی هیدرولوژیکی از شاخص GRI استفاده شد و داده‌های بارش ماهانه و تراز آب ۱۹ حلقه چاه مشاهداتی به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد شاخص‌های NAO و IOD بیشترین همبستگی معنی‌دار با خشک‌سالی هواشناسی و بارش را دارند، در حالی که IOD و ENSO با خشک‌سالی آب‌های زیرزمینی همبستگی منفی دارند و تفاوت زمان پاسخ خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی تأثیر مستقیم این ارتباطات را نشان می‌دهد. میرزائی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای، اثر سازوکارهای همدیدی گردش جو و شاخص دورپیوندی NAO را بر بی‌هنجاری‌های رطوبت ویژه و خشک‌سالی‌های پاییزه شمال غرب ایران بررسی کردند. با استفاده از شاخص SPI و داده‌های بازسازی‌شده NCAR/CEP در دوره ۱۹۸۷–۲۰۱۶، نقشه‌های بی‌هنجاری فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت ویژه تراز ۷۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تهیه شد. نتایج نشان داد که حاکمیت شرایط پرفشار و پرارتفاع مانع انتقال رطوبت به منطقه شده و فاز منفی شاخص NAO بیشترین همبستگی را با خشک‌سالی پاییزه ایستگاه‌های شمال غرب ایران دارد.

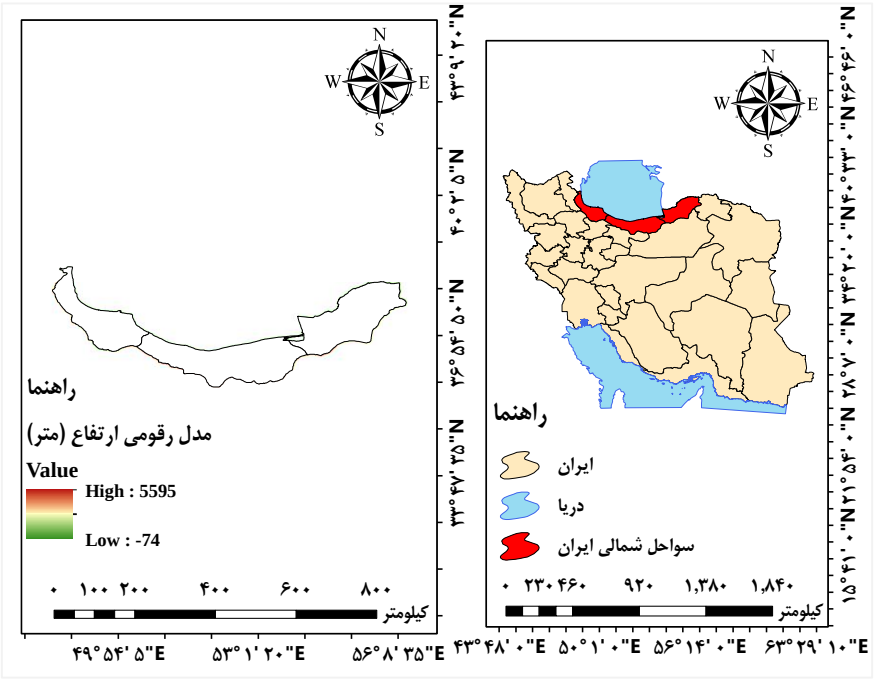
با توجه به پیشینه پژوهش، بررسی ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی ENSO و رخدادهای خشک‌سالی و ترسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نوسانات ENSO از مهم‌ترین پیوندهای دور در سیستم اقلیمی جهان به شمار می‌رود که به‌واسطه تغییرات فشار سطح دریا و دمای سطحی اقیانوس، تغییرات آب‌وهوایی مهمی را در نقاط مختلف جهان، از جمله ایران، به همراه دارد. نواحی شمالی ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و تأثیر پذیرفتن از نوسانات ENSO، مستعد تجربه خشک‌سالی و ترسالی هستند که می‌تواند به کاهش بارندگی، تغییر پوشش گیاهی و در نهایت بروز مشکلاتی در مدیریت منابع آب و کشاورزی منجر شود. از این رو، مطالعه دقیق این ارتباط می‌تواند به شناسایی و پیش‌بینی الگوهای خشک‌سالی و ترسالی کمک کند و از طریق تدوین راهکارهای مدیریتی مؤثر، زمینه بهبود پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی را در این نواحی فراهم آورد.

روش‌شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

استان‌های گلستان، مازندران و گیلان به‌صورت هلالی‌شکل در جنوب دریای خزر از آستارا تا غرب کوه‌های کپه‌داغ امتداد یافته است. مساحت این منطقه در حدود ۵۸۲۵۱ کیلومترمربع بوده و از این آمار ۲۰۳۶۷ کیلومترمربع برای استان گلستان و برای گیلان و مازندران به ترتیب ۱۴۰۴۲ و ۲۳۸۴۲ کیلومترمربع سهم هر کدام می‌باشد. این منطقه از لحاظ طبیعی شامل جلگه‌های مازندران، گرگان و گیلان در قسمت‌های پایکوهی و دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز می‌باشد (تبریزی و نقوی، ۱۳۹۴). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی استان‌های شمالی ایران را در کشور نشان می‌دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

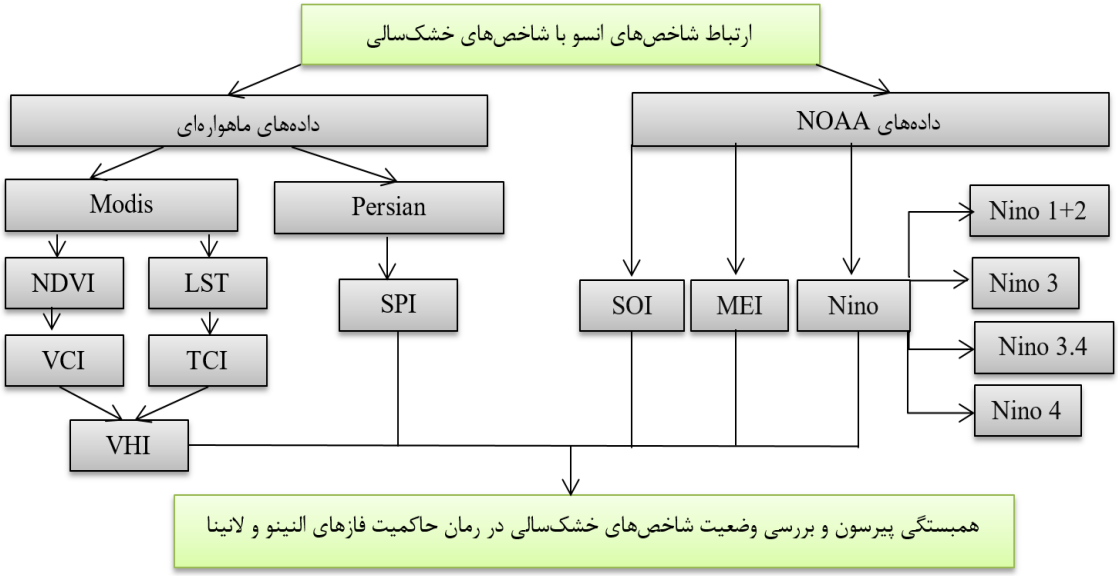


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان‌های شمالی ایران در سطح کشور

۲. داده‌ها و روش کار

در این پژوهش، نواحی شمالی ایران شامل استان‌های گلستان، مازندران و گیلان به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد؛ این پهنه با برخورداری از تنوع اقلیمی و حساسیت اکوسیستمی، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های کشور برای تحلیل نوسانات ترسالی و خشک‌سالی است. برای انجام پایش زمانی و مکانی خشک‌سالی، مجموعه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های جوی به‌کار گرفته شد. در بخش داده‌ها، شاخص NDVI از محصول MOD09GA و داده‌های دمای سطح زمین (LST) از محصول MOD11A1 ماهواره MODIS استخراج شد. بر اساس این داده‌ها، شاخص‌های VCI و TCI مطابق تعریف استاندارد از طریق محاسبه حداقل و حداکثر سری زمانی NDVI و LST تولید شد و سپس با ترکیب آن‌ها شاخص VHI تشکیل گردید. علاوه بر این، برای پایش بارش و محاسبه شاخص SPI، داده‌های بارش ماهواره PERSIANN فراخوانی و با استفاده از میانگین و انحراف معیار سری زمانی، شاخص SPI به‌صورت نرمال‌سازی آماری تولید شد. در بخش داده‌های دورپیوندی نیز شاخص‌های SOI، MEI، Nino1+2، Nino3، Nino3.4 و Nino4 از پایگاه NOAA جمع‌آوری گردید. در مرحله روش کار، ابتدا تمامی داده‌ها در محیط Google Earth Engine فراخوانی، فیلتر زمانی–مکانی شده و به‌صورت ماهانه تجمیع شدند. شاخص‌های VCI، TCI، VHI و SPI بر اساس توابع توسعه یافته در کدنویسی محاسبه و به‌صورت نقشه‌های میانگین، سری زمانی و پهنه‌بندی خروجی گرفته شد. سپس با استفاده از سری زمانی شاخص‌های ENSO، همبستگی زمانی و تأخیری یک‌ماهه میان شاخص‌های دورپیوند و شاخص‌های خشک‌سالی محاسبه شد. در گام نهایی، به‌منظور تحلیل اثر فازهای النینو و لانینا، نقشه‌های مکانی تغییرات پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و شاخص‌های خشک‌سالی در فازهای مثبت و منفی ترسیم و با یکدیگر مقایسه شدند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]



شکل ۲. نمودار جریانی روش تحقیق

۳. دمای سطح زمین LST

برای محاسبه دمای سطح زمین (LST)، از داده‌های ماهواره MODIS استفاده شد که بر اساس الگوریتم پنجره مجزا داده‌های LST را به‌صورت خام از محصول MOD11A1 می‌گیرد و به مقیاس دمای کلوین تبدیل می‌کند، این محصول شامل داده‌های روزانه LST است و دمای سطح زمین را با تصحیح اثرات جوی محاسبه می‌کند. الگوریتم پنجره مجزا یکی از روش‌های محاسبه دمای سطح زمین بر اساس تصاویر ماهواره‌ای است و بر این اصل استوار است که گازهای موجود در جو در طول‌موج‌های مختلفی عکس‌العمل‌های گوناگونی دارد در این الگوریتم‌ها از تفاوت تابش سنجیده شده در دو ناحیه طیفی مادون‌قرمز که در کنار هم قرار می‌گیرند برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده می‌شود که ناشی از تأثیرات جذب توسط گازهای اتمسفری است (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۵). یک روش محاسبه الگوریتم مجزا به‌صورت رابطه ۱، محاسبه می‌شود.

$$T_s = [T_{31} + A(T_{31} + T_{32})]\left(\frac{B - \varepsilon_{31}}{C}\right) + DT_{32}(\varepsilon_{31} - \varepsilon_{32}) \quad (۱)$$

در رابطه فوق، T_s دمای سطح، T_{31} و T_{32} دمای درخشایی در باند ۳۱ و ۳۲، ε_{31} و ε_{32} دمای گسیلندگی در باند ۳۱ و ۳۲، A نیز ضریب ثابت می‌باشد.

۴. شاخص پوشش گیاهی NDVI

برای تشخیص تفاوت نوع پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می‌شود این شاخص بین محدوده ۱+ و ۱− قرار می‌گیرد و بر اساس تفاوت نرمال‌شده میان باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به دست می‌آید (فیض‌اله‌پور، ۱۴۰۲). شاخص مذکور طبق رابطه ۲، محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (۲)$$

۵. شاخص VCI، TCI، VHI

شاخص VCI وابسته به شاخص NDVI می‌باشد و مواقعی که NDVI در حداقل خود باشد شاخص VCI برابر با صفر و زمانی که NDVI در حداکثر خود باشد شاخص VCI برابر با یک می‌باشد و شرایط ایده‌آل پوشش گیاهی را نشان می‌دهد؛ اما شاخص TCI وابسته به دما بوده و بالاترین مقدار آن که برابر با یک می‌باشد در حداقل دما رخ می‌دهد و پایین‌ترین مقدار آن که برابر با صفر است در بالاترین دما رخ می‌دهد. شاخص VHI سلامت پوشش گیاهی را در پایش خشک‌سالی محاسبه می‌کند و مقادیر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

بالای آن بیانگر وضعیت مناسب پوشش گیاهی و شدت پایین خشک‌سالی است درحالی‌که مقادیر پایین‌تر از ۰/۱ وضعیت بسیار شدید، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۲ خشک‌سالی شدید، بین ۰/۲ تا ۰/۳ وضعیت متوسط و بالاتر از ۰/۴ وضعیت ترسالی را نشان می‌دهد (داودآبادی فراهانی و همکاران، ۱۴۰۰). فرمول سه شاخص مذکور به ترتیب در روابط ۳ تا ۵ تعریف می‌شود.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} + NDVI_{min}} \quad (۳)$$

$$TCI = \frac{LST_{max} - Lst}{LST_{max} + LST_{min}} \quad (۴)$$

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI \quad (۵)$$

در روابط فوق، $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ به ترتیب حداکثر و حداقل شاخص NDVI و LST_{max} و LST_{min} نیز به ترتیب حداکثر و حداقل دمای مطلق چندساله را نشان می‌دهد اما α تعیین وزنی برای اندازه‌گیری سهم VCI و TCI می‌باشد و از آن‌جایی‌که تشخیص آن سخت بوده مقدار ۰/۵ را جایگزین آن می‌کنند.

۶. شاخص SPI

یکی از شاخص‌های مهم در بررسی خشک‌سالی و ترسالی شاخص SPI است که با استفاده از میانگین و انحراف معیار طولانی‌مدت بارندگی در دوره مورد مطالعه به دست می‌آید. این شاخص بدون بعد بوده و خشک‌سالی و ترسالی را برای هر گام زمانی دلخواه مشخص می‌کند. همچنین برای محاسبه آن از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارندگی بهره برده می‌شود و پس از محاسبه محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به محاسبه شاخص SPI می‌پردازد (آرخی و همکاران، ۱۴۰۱). فرمول این شاخص طبق رابطه ۶، به دست می‌آید.

$$SPI = \frac{(P_i - \overline{P})}{S} \quad (۶)$$

در رابطه فوق، P_i میزان بارش در دوره مورد مطالعه، $\overline{P}$ میانگین طولانی‌مدت بارش در دوره مورد مطالعه، S انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. در جدول ۱، طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی بر مبنای شاخص SPI آورده شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی بر پایه شاخص SPI

شدت خشک‌سالی	SPI
خشک‌سالی حاد	< −۲
خشک‌سالی شدید	−۲ تا −۱/۵
خشک‌سالی متوسط	−۱/۵ تا −۱
نرمال	۱ تا −۱
ترسالی متوسط	+۱ تا +۱/۵
ترسالی شدید	+۱/۵ تا +۲
ترسالی حاد	> +۲

۲. داده‌ها و روش کار

در این پژوهش، از داده‌های روزانه بارش ۱۸ ایستگاه هواشناسی در محدوده حوضه کابل طی دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. داده‌ها از اداره هواشناسی وزارت انرژی و آب افغانستان اخذ گردید و پس از کنترل کیفی اولیه، مقادیر گمشده یا غیرمنطقی حذف شد تا دقت تحلیل افزایش یابد. معیار انتخاب داده‌ها، دسترسی به آمار بلندمدت و نسبتاً پیوسته در ایستگاه‌های منتخب بود.

برای تعریف بارش سنگین، آستانه ۲۰ میلی‌متر در یک روز به عنوان معیار در نظر گرفته شد. دلیل این انتخاب، ماهیت کوهستانی حوضه کابل است؛ چراکه بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر در این منطقه به‌طور معمول منجر به رواناب‌های شدید و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

سیلاب‌های خسارت‌زا می‌شود. بر همین اساس، پایگاه داده‌ای از روزهای بارشی بالای ۲۰ میلی‌متر تهیه و در قالب ماتریس (سطرها = روزهای بارشی، ستون‌ها = ایستگاه‌ها) سازمان‌دهی شد.

در مرحله بعد، برای شناسایی الگوهای بارش، از تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی با روش ادغام وارد استفاده گردید. انتخاب این روش به دلیل توانایی آن در دسته‌بندی رخدادهای پیچیده و شناسایی شباهت‌های ساختاری بین بارش‌های ایستگاه‌های مختلف بود. روش Moran اگرچه در تحلیل همبستگی مکانی داده‌ها کارآمد است، اما به دلیل تمرکز این پژوهش بر طبقه‌بندی الگوهای بارش‌های سنگین و سیلابی، روش وارد کارایی بیشتری داشت. این رویکرد امکان بررسی بارش‌های متنوع، از جمله رخدادهای چندروزه و ناهمگن در سطح ایستگاه‌ها را نیز فراهم ساخت.

در کنار داده‌های زمینی، داده‌های جوی شامل جریان‌های جوی، ترازهای فشار و داده‌های سطحی نیز مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها از پایگاه بازتحلیل NCEP/NCAR وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده (NOAA) استخراج شدند (www.cdc.noaa.gov).

داده‌های روزانه در ترازهای مختلف از سطح دریا تا ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال بررسی شدند. ترسیم نقشه‌های جو بالا با نرم‌افزار GrADS انجام گرفت. رویکرد محیطی-گردشی انتخاب شد زیرا تمرکز بر روزهای بارش سنگین خاص را ممکن ساخته و به شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر کمک می‌کند.

این روش‌شناسی دارای محدودیت‌هایی نیز هست؛ از جمله وابستگی به کیفیت داده‌های ایستگاهی و بازتحلیل، کمبود شبکه متراکم ایستگاه‌ها در افغانستان و احتمال خطا در برون‌یابی داده‌ها برای مناطق فاقد ایستگاه. با این حال، استفاده از داده‌های معتبر جهانی و روش‌های آماری استاندارد، قابلیت تکرارپذیری مطالعه برای سایر پژوهشگران را فراهم می‌آورد.

یافته‌های پژوهش

جدول ۲، نتایج همبستگی بین شاخص‌های مختلف اقلیمی از جمله MEI، SOI و چهار شاخص مرتبط با پدیده نینو Nino 1+2، Nino 3، Nino 3.4 و Nino 4 را با شاخص‌های خشک‌سالی TCI، VCI، VHI و SPI در سه استان شمالی ایران شامل گیلان، گلستان و مازندران ارائه می‌دهد. بر اساس این جدول، شاخص MEI با شاخص‌های TCI، VCI و VHI در هر سه استان همبستگی ضعیف و غیرمعناداری نشان داده و تأثیر مستقیمی بر دما و پوشش گیاهی این مناطق داشته است. با این حال، همبستگی مثبت و معنادار MEI با SPI در سطح معناداری ۰/۰۱ در هر سه استان، نشان‌دهنده ارتباط آن با افزایش بارش و کاهش احتمال خشک‌سالی در این مناطق بوده است. شاخص SOI، نیز با شاخص‌های TCI، VCI و VHI همبستگی ضعیف و غیرمعناداری داشته است، به این معنا که تأثیر چندانی بر دما و پوشش گیاهی این استان‌ها نداشته است؛ اما همبستگی منفی و معنادار SOI با SPIنشان می‌دهد که افزایش SOI که معمولاً با پدیده لانینا همراه است، می‌تواند به کاهش بارش‌ها و افزایش احتمال خشک‌سالی منجر شود. این همبستگی منفی در هر سه استان مشاهده شده و در گلستان شدیدتر بوده است. شاخص‌های مختلف نینو الگوی مشابهی را با SPI نشان داده‌اند؛ به این ترتیب که هر چهار شاخص نینو با SPI در هر سه استان همبستگی مثبت و معناداری داشته‌اند به‌ویژه شاخص‌های Nino 3.4 و Nino 3 همبستگی بالایی با SPI نشان داده که بیانگر تأثیر چشمگیر فعالیت‌های این مناطق از نینو در افزایش بارش است؛ اما شاخص‌های نینو با شاخص‌های TCI، VCI و VHI همبستگی معناداری نشان نداده است.

جدول ۲. نتایج همبستگی هم‌زمانی شاخص‌های پیوند از دور با شاخص‌های خشک‌سالی

Correlations		Gilan				Golestan				Mazandaran			
		TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI
MEI	R	۰/۰۶۴	-۰/۰۴۷	-۰/۰۵۴	۰/۲۹۱**	۰/۰۷	۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۳۰۵**	۰/۰۶۱	-۰/۰۵۲	-۰/۰۵۷	۰/۲۸۹**
	Sig.	۰/۴۸۹	۰/۶۰۸	۰/۵۶	۰/۰۰۱	۰/۴۵۱	۰/۸۲۹	۰/۶۶۱	۰/۰۰۱	۰/۵۰۷	۰/۵۷	۰/۵۳۶	۰/۰۰۱
SOI	R	-۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	-۰/۲۳۳*	-۰/۰۲	-۰/۰۲۴	۰/۰۲۱	-۰/۲۷۲**	-۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	-۰/۲۴۳**
	Sig.	۰/۸۸۱	۰/۸۹۶	۰/۸۹۳	۰/۰۱۱	۰/۸۲۶	۰/۷۹۸	۰/۸۲۱	۰/۰۰۳	۰/۹۳	۰/۸۷۶	۰/۹۳	۰/۰۰۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

Nino 1+2	R	۰/۰۴۴	-۰/۰۱۹	-۰/۰۴۴	۰/۲۳۱*	۰/۰۳۶	۰/۰۳۲	-۰/۰۲۲	۰/۲۲۶*	۰/۰۳۴	-۰/۰۲۲	-۰/۰۳۸	۰/۲۲۶*
	Sig.	۰/۶۳۷	۰/۸۳۳	۰/۶۳۷	۰/۰۱۱	۰/۶۹۴	۰/۷۳۱	۰/۸۱۲	۰/۰۱۳	۰/۷۰۹	۰/۸۱۵	۰/۶۷۸	۰/۰۱۳
Nino 3	R	۰/۰۴۱	-۰/۰۲	-۰/۰۲۹	۰/۲۸۹**	۰/۰۳۶	۰/۰۵	-۰/۰۰۶	۰/۳۲۰**	۰/۰۳۳	-۰/۰۳۴	-۰/۰۲۹	۰/۳۰۲**
	Sig.	۰/۶۵۳	۰/۸۲۶	۰/۷۵۵	۰/۰۰۱	۰/۶۹۴	۰/۵۹	۰/۹۴۸	۰	۰/۷۱۸	۰/۷۱۶	۰/۷۵۷	۰/۰۰۱
Nino 3.4	R	۰/۰۳۲	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۶	۰/۳۱۰**	۰/۰۳۲	۰/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۳۵۲**	۰/۰۳	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۱	۰/۳۲۷**
	Sig.	۰/۷۲۶	۰/۸۹۹	۰/۸۶	۰/۰۰۱	۰/۷۲۸	۰/۵۱۷	۰/۹۶	۰	۰/۷۴۸	۰/۷۸	۰/۸۲۱	۰
Nino 4	R	۰/۰۳۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۱۷	۰/۲۶۵**	۰/۰۲۵	۰/۰۵۴	۰/۰۲۱	۰/۲۸۷**	۰/۰۳۱	-۰/۰۲۹	۰/۰۲۱	۰/۲۷۸**
	Sig.	۰/۷۲۴	۰/۸۸۵	۰/۸۵۷	۰/۰۰۳	۰/۷۸۸	۰/۵۶۲	۰/۸۲۲	۰/۰۰۱	۰/۷۳۵	۰/۷۵۱	۰/۸۱۹	۰/۰۰۲

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌داری

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌داری

جدول ۳، نتایج همبستگی شاخص‌های پیوند از دور با شاخص‌های خشک‌سالی را با تأخیر زمانی یک ماهه نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان دادند که شاخص MEI با شاخص‌های خشک‌سالی TCI، VCI و VHI در هر سه استان گیلان، گلستان و مازندران همبستگی معناداری نداشته و تأثیر مستقیمی بر دما و پوشش گیاهی این مناطق نداشته است اما با شاخص SPI در گیلان (۰/۳۲۴)، گلستان (۰/۳۴۰) و مازندران (۰/۳۲۱) همبستگی مثبت و معناداری داشته است و می‌توان گفت افزایش شدت فعالیت‌های انسو با افزایش بارش در این استان‌ها مرتبط بوده و موجب کاهش خشک‌سالی می‌شود. شاخص SOI نیز با شاخص SPI در گیلان ۰/۳۱۵-، در گلستان ۰/۳۲۱- و در مازندران ۰/۳۴۳- همبستگی معکوس و معناداری داشته است و نشان می‌دهد با افزایش SOI که با پدیده لانینا مرتبط است، احتمال وقوع خشک‌سالی در این مناطق افزایش می‌یابد. شاخص SOI با شاخص‌های TCI، VCI و VHI در هیچ‌یک از استان‌ها همبستگی معناداری نشان نداده و بیانگر عدم تأثیر مستقیم آن بر دما و پوشش گیاهی بوده است. علاوه بر این، شاخص‌های مختلف نوسانات نینو (Nino 1+2، Nino 3، Nino 3.4 و Nino 4) نیز با SPI همبستگی مثبت و معناداری در هر سه استان نشان داده‌اند و در افزایش بارش و کاهش خشک‌سالی مؤثر بوده‌اند اما با شاخص‌های TCI، VCI و VHI همبستگی معناداری نشان نداده است.

جدول ۳. نتایج همبستگی با تأخیر زمانی یک ماهه شاخص‌های پیوند از دور با شاخص‌های خشک‌سالی

Correlations		Gilan				Golestan				Mazandaran			
		TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI
MEI	R	۰/۰۵۴	-۰/۰۶۷	-۰/۰۴۷	۰/۳۲۴**	۰/۰۶۷	۰/۰۱۴	-۰/۰۲۴	۰/۳۴۰**	۰/۰۵۴	-۰/۰۶۵	-۰/۰۵	۰/۳۲۱**
	Sig.	۰/۵۵۶	۰/۴۶۶	۰/۶۱۳	۰	۰/۴۷۱	۰/۸۷۶	۰/۷۹۳	۰	۰/۵۵۶	۰/۴۸۳	۰/۵۹۱	۰
SOI	R	-۰/۰۴۵	۰/۰۶۸	۰/۰۳۸	-۰/۳۱۵**	-۰/۰۴۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	-۰/۳۲۱**	-۰/۰۴۲	۰/۰۷	۰/۰۴۴	-۰/۳۴۳**
	Sig.	۰/۶۲۵	۰/۴۶۲	۰/۶۸۳	۰	۰/۶۰۳	۰/۷۸۶	۰/۷۷۹	۰	۰/۶۴۶	۰/۴۴۸	۰/۶۳۶	۰
Nino 1+2	R	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۳۳	۰/۲۵۱**	۰/۰۳۱	۰/۰۷	-۰/۰۰۶	۰/۲۶۴**	۰/۰۱۷	-۰/۰۱۳	-۰/۰۲۵	۰/۲۴۲**
	Sig.	۰/۷۷۸	۰/۹۲۸	۰/۷۲۲	۰/۰۰۶	۰/۷۳۷	۰/۴۴۷	۰/۹۴۶	۰/۰۰۴	۰/۸۵۵	۰/۸۹	۰/۷۹۱	۰/۰۰۸
Nino 3	R	۰/۰۳۳	-۰/۰۱۵	-۰/۰۲۴	۰/۳۳۰**	۰/۰۴۳	۰/۰۷۳	-۰/۰۰۵	۰/۳۶۰**	۰/۰۳	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲۶	۰/۳۲۸**
	Sig.	۰/۷۲۲	۰/۸۷۴	۰/۷۹۹	۰	۰/۶۴۴	۰/۴۳۱	۰/۹۶	۰	۰/۷۴۶	۰/۷۹۹	۰/۷۷۶	۰
Nino 3.4	R	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	۰/۳۳۰**	۰/۰۲۶	۰/۰۷۲	۰/۰۱۷	۰/۳۷۳**	۰/۰۱۴	-۰/۰۱۴	-۰/۰۰۸	۰/۳۴۱**
	Sig.	۰/۸۷۶	۰/۹۵۹	۰/۹۹	۰	۰/۷۸	۰/۴۳۵	۰/۸۵۸	۰	۰/۸۷۷	۰/۸۸۱	۰/۹۲۷	۰
Nino 4	R	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۹	۰/۲۶۳**	-۰/۰۱	۰/۰۶۲	۰/۰۵۶	۰/۲۹۶**	-۰/۰۱۱	-۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۲۷۹**
	Sig.	۰/۹۴	۰/۹۳۹	۰/۸۳۷	۰/۰۰۴	۰/۹۱۶	۰/۵۰۳	۰/۵۴۵	۰/۰۰۱	۰/۹۰۶	۰/۹۴۶	۰/۸۶۷	۰/۰۰۲

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌داری

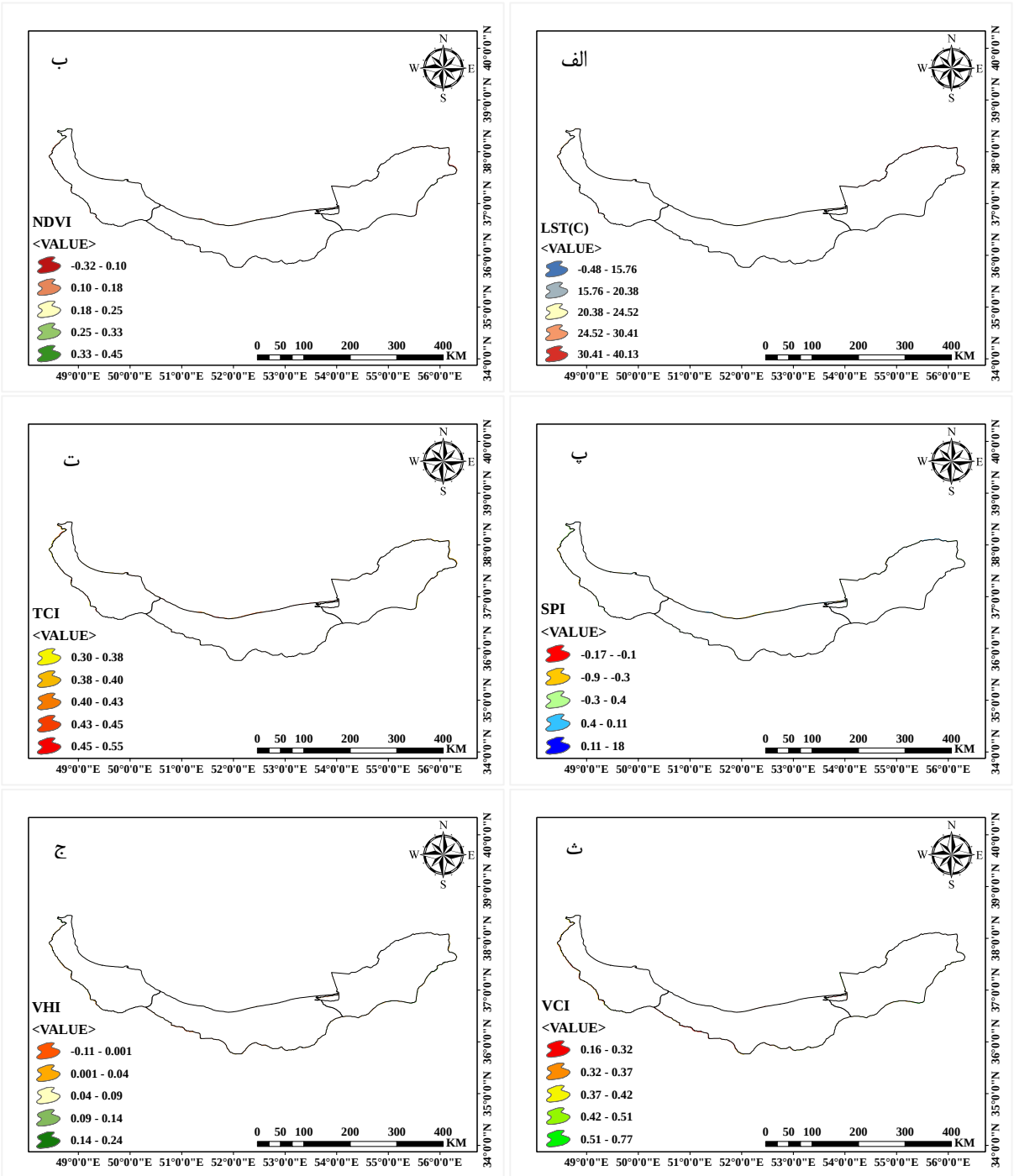
* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌داری

در شکل (۳-الف)، وضعیت دمای سطح زمین برای استان‌های شمالی ایران در طی سال‌های حاکمیت النینو به تصویر کشیده شده است. در این تصویر مشاهده می‌شود که در شمال شرق منطقه مورد مطالعه (گلستان)، دما با میانگین ۴۰/۱۳ درجه سانتی‌گراد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

نسبت به سایر نواحی بالاترین مقدار را دارد. در مقابل، در جنوب غرب استان مازندران که به ارتفاعات رشته‌کوه البرز می‌رسد، دما به زیر صفر درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. همچنین، در هر سه استان نیمه جنوبی نسبت به نیمه شمالی دماهای کمتری دارند و به‌تدریج با حرکت به سمت شمال و مناطق شهری، دما افزایش می‌یابد. این الگو نشان می‌دهد که نقش توپوگرافی، به‌ویژه ارتفاعات البرز، در تعدیل و کاهش دما بسیار تعیین‌کننده است و موجب شکل‌گیری یک گرادیان حرارتی مشخص از جنوب به شمال می‌شود همچنین، تأثیر پدیده النینو در تقویت گرم‌تر شدن نواحی پست و هم‌جوار با کرانه‌های جنوبی دریای خزر نسبت به مناطق مرتفع داخلی قابل‌مشاهده است. شکل ب وضعیت شاخص پوشش گیاهی را طی سال‌های وقوع پدیده النینو نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل، تراکم و بیشینه سبزینگی با مقدار حدود ۰/۴۵ در بخش‌های جنوبی استان گلستان، مرکز گیلان و شرقی مازندران به‌طور واضح قابل مشاهده است. این الگو و به‌صورت نواری پیوسته، تداوم تراکم پوشش گیاهی را از غرب تا شرق منطقه نشان می‌دهد. در مقابل، در شمال گلستان و جنوب مازندران شرایط متفاوتی حاکم است؛ به‌گونه‌ای که مقدار شاخص تا حدود ۰/۳۲- کاهش می‌یابد. این کاهش بیانگر کاهش شدید یا نبود پوشش گیاهی در این نواحی است. چنین شرایطی در ارتفاعات البرز و سواحل جنوب شرقی دریای خزر نیز به‌وضوح مشاهده می‌شود. شکل پ نمایی از شاخص SPI را طی فاز النینو نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، نیمه غربی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با نیمه شرقی، خشکی بیشتری را تجربه کرده است. در بخش‌های غربی و برخی نواحی مرکزی، پتانسیل خشک‌سالی با مقدار حدود ۰/۱۷- در سطح بالاتری قرار دارد؛ درحالی‌که در شرق استان مازندران و جنوب غرب گلستان، شرایط مطلوب‌تری با مقدار شاخص ۰/۱۸ مشاهده می‌شود. در نتیجه، به‌طور کلی، استان‌های مورد بررسی بر اساس طبقه‌بندی شاخص SPI در وضعیت نرمال قرار می‌گیرند. این الگو نشان می‌دهد که اثرات فاز النینو در منطقه به‌صورت مکانی ناهمگن ظاهر شده و همواره با افزایش بارندگی همراه نیست، بلکه ممکن است در برخی نواحی تشدید خشکی را نیز در پی داشته باشد. بر اساس شاخص TCI در شکل ت مشخص است که طی فاز النینو، در شمال گیلان، بخش‌هایی از مرکز مازندران و شمال شرق گلستان مقدار این شاخص تا حداقل ۰/۳۰ واحد کاهش یافته است. این وضعیت نشان‌دهنده تنش گرمایی بیشتر، افزایش خشکی و کاهش رطوبت پوشش گیاهی در این نواحی است. در مقابل، در مرکز تا غرب گلستان، شمال شرق و جنوب غرب مازندران و حتی برخی نواحی غرب گیلان شرایط مطلوب‌تری مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که مقدار شاخص TCI در این مناطق به حداکثر حدود ۰/۵۵ رسیده و بیانگر کاهش پتانسیل خشکی در این بخش‌ها است. شکل ث شاخص VCI را در سال‌های تحت تأثیر پدیده النینو نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سلامت پوشش گیاهی در شرق مازندران و همچنین جنوب و شمال غرب گلستان با مقدار بیشینه حدود ۰/۷۷ در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارد. در مقابل، در غرب استان گیلان و به‌ویژه در نیمه غربی مازندران و نواحی واقع در مرکز تا شمال شرق گلستان، شرایط سلامت گیاهی به‌طور قابل توجهی تضعیف شده و پتانسیل خشک‌سالی با مقدار حداقل ۰/۱۶ افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها بیانگر حساسیت بیشتر پوشش گیاهی در نواحی غربی نسبت به نوسانات اقلیمی ناشی از النینو است؛ در حالی‌که مناطق شرقی پایداری بالاتری در برابر کاهش رطوبت از خود نشان می‌دهند. در نهایت، شکل ج وضعیت شاخص VHI را در سال‌های تحت تأثیر فاز النینو نشان می‌دهد. بر اساس این تصویر، بیشینه این شاخص با مقدار حدود ۰/۲۴ در نیمه شمالی گیلان، استان مازندران و نیمه جنوبی گلستان مشاهده می‌شود که بیانگر وضعیت مطلوب و سالم پوشش گیاهی در این نواحی است. در مقابل، در نیمه شمالی گلستان و نیمه جنوبی مازندران، وضعیت سلامت پوشش گیاهی بحرانی بوده و مقدار شاخص VHI تا حدود ۰/۱۱- کاهش یافته است. چنین مقادیری حاکی از تنش شدید و آسیب‌پذیری بالای پوشش گیاهی در این مناطق است. چنانچه به این نواحی توجه کافی نشود، این وضعیت می‌تواند در آینده پیامدهای جدی برای بخش کشاورزی و بهره‌وری اکوسیستم ایجاد کند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]



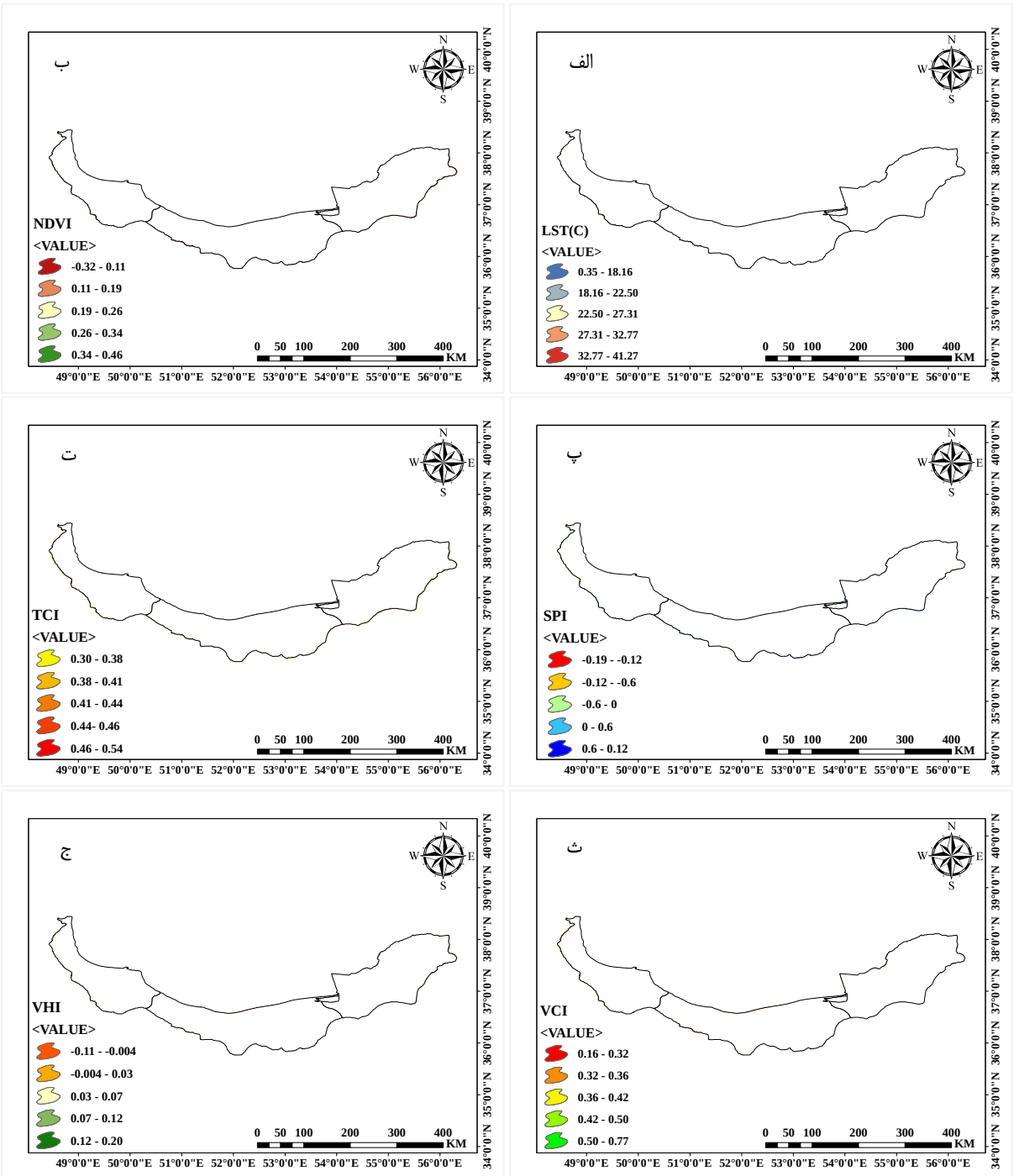
شکل ۳. الف) نقشه دمای سطح زمین، ب) شاخص پوشش گیاهی NDVI، پ) شاخص خشک‌سالی SPI، ت) شاخص خشک‌سالی TCI، ث) شاخص خشک‌سالی VCI، ج) شاخص خشک‌سالی VHI در طی سال‌های النینو

در شکل ۴، بخش الف، وضعیت دمای سطح زمین در سال‌های رخداد لانینا نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین دما نسبت به سال‌های النینو یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و بیشترین دما با ۴۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد در جنوب گیلان و نیمه شمالی گلستان به‌طور گسترده‌ای به چشم می‌خورد. این افزایش دما حتی در ارتفاعات البرز نیز قابل ملاحظه است و بر خلاف دوره‌های النینو، در جنوب مازندران دیگر دمای زیر صفر درجه مشاهده نمی‌شود. این الگو نشان می‌دهد که حاکمیت لانینا موجب تقویت گرمایش در نواحی کم‌ارتفاع و حتی مناطق مرتفع شده و دامنه نوسانات حرارتی را در سراسر منطقه کاهش داده است. در بخش ب، وضعیت شاخص NDVI طی سال‌های لانینا نشان می‌دهد که وسعت پوشش گیاهی کاهش یافته

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

و اراضی بدون پوشش گیاهی افزایش پیدا کرده است. مناطق فاقد گیاه و درخت در شمال گلستان و جنوب مازندران با مقدار حدود ۰/۳۲- به‌وضوح قابل تشخیص‌اند؛ در مقابل، در جنوب گلستان و نیمه شمالی مازندران و گیلان، تراکم سبزینگی با مقدار حدود ۰/۴۶ فراوان مشاهده می‌شود. این الگو بیانگر آن است که دوره‌های لانینا تنش خشکی را تشدید کرده و توان رویشی در بخش‌هایی از منطقه کاهش یافته، در حالی‌که نواحی شمالی‌تر و نزدیک‌تر به منابع رطوبتی همچنان شرایط مناسب‌تری برای رشد گیاه دارند. شکل پ، شاخص SPI را طی فاز لانینا نمایش می‌دهد. در این دوره، الگوی پراکندگی مناطق خشک و مرطوب نظم مشخصی ندارد، اما خشکی بیشتر در مرکز مازندران، شمال گلستان و بخش عمده‌ای از گیلان قابل مشاهده است. کمینه شاخص SPI از ۰/۱۷- در طول دوره حاکمیت النینو به ۰/۱۹- در فاز لانینا کاهش یافته که نشان‌دهنده افزایش شدت خشک‌سالی است. این کاهش حتی در نواحی نسبتاً مرطوب نیز دیده می‌شود، هرچند در مجموع، کل منطقه همچنان در طبقه‌بندی نرمال خشک‌سالی قرار دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که فاز لانینا موجب افزایش خشکی نسبی و اختلال در پراکندگی بارش در منطقه شده است. در شکل ت، شاخص TCI در طول فاز لانینا نشان می‌دهد که نسبت به دوره النینو، گستره مناطق مرطوب کاهش یافته و مناطق خشک در جنوب مازندران، شمال شرق گلستان و بخش قابل‌توجهی از گیلان گسترش یافته‌اند. کمینه این شاخص در این نواحی به حدود ۰/۳۰ رسیده است؛ در حالی‌که در غرب گلستان و نیمه شمالی مازندران، شرایط دمایی مناسب‌تری با مقدار ۰/۵۴ مشاهده می‌شود. این الگو حاکی از آن است که لانینا موجب تشدید تنش حرارتی و کاهش توان رطوبتی گیاهان در بخش‌های وسیعی از منطقه شده است. شکل ث وضعیت شاخص VCI را نمایش می‌دهد. اگرچه شدت تغییرات آن در مقایسه با دوره النینو تفاوت چشمگیری ندارد، اما تغییرات مکانی پوشش گیاهی به‌وضوح قابل مشاهده است. در دوره لانینا، وسعت مناطق دارای پوشش گیاهی سالم‌تر افزایش یافته است. افزایش نسبی دما و وجود مقداری رطوبت در برخی نواحی، موجب بهبود توان رویشی گیاهان در بخش‌هایی از منطقه شده و وسعت این اراضی را گسترش داده است. در نهایت، شکل ج شاخص VHI را در شرایط لانینا برای استان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در استان گیلان الگوی مشابهی با دوره النینو مشاهده می‌شود، اما بیشینه شاخص VHI از ۰/۲۴ در دوره النینو به ۰/۲۰ کاهش یافته است. کاهش سلامت گیاهان در مازندران محسوس‌تر است و در گلستان، اراضی خشک عمدتاً در نواحی میانی این استان متمرکز شده‌اند. این وضعیت بیانگر کاهش هم‌زمان سلامت حرارتی و پوشش گیاهی در فاز لانینا است؛ عاملی که می‌تواند نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بیشتر این نواحی در برابر تنش‌های اقلیمی باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]



شکل ۴. الف) نقشه دمای سطح زمین، ب) شاخص پوشش گیاهی NDVI، پ) شاخص خشک‌سالی SPI، ت) شاخص خشک‌سالی TCI، ث) شاخص خشک‌سالی VCI، ج) شاخص خشک‌سالی VHI در طی سال‌های لانینا

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص‌های ENSO نقش مهمی در کنترل خشک‌سالی و وضعیت پوشش گیاهی در شمال ایران دارند. به‌گونه‌ای که شاخص‌های MEI و نینو با شاخص SPI همبستگی مثبت و معناداری نشان می‌دهند؛ امری که بیانگر تأثیر آن‌ها در افزایش بارش و کاهش احتمال وقوع خشک‌سالی است. در مقابل، ارتباط این شاخص‌ها با سایر شاخص‌های

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

خشک‌سالی ضعیف و غیرمعنادار ارزیابی شد. از سوی دیگر، شاخص SOI رابطه‌ای معکوس و معنادار با SPI داشت که بیانگر نقش لانینا در افزایش شدت خشک‌سالی، به‌ویژه در استان گلستان است. در فاز النینو، منطقه با الگوی اقلیمی ناهمگن مواجه شد؛ به‌گونه‌ای که دمای سطح زمین در شمال شرق تا حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، در حالی‌که ارتفاعات جنوب مازندران دماهای زیر صفر را تجربه کردند. پوشش گیاهی نیز رفتار متفاوتی نشان داد؛ بیشترین تراکم سبزینگی در جنوب گلستان و شرق مازندران مشاهده شد، اما شمال گلستان و جنوب مازندران با اراضی فاقد پوشش گیاهی مواجه بودند. شاخص‌های خشک‌سالی نیز این ناهمگنی را تأیید کردند؛ به‌طوری‌که SPI خشکی نسبی نیمه غربی منطقه، TCI تنش گرمایی را در شمال گیلان، مرکز مازندران و شمال شرق گلستان و VCI افت سلامت پوشش در غرب گیلان و نیمه غربی مازندران مرکز تا شمال شرق گلستان را نشان داد، در حالی‌که VHI سلامت نسبی پوشش را در شمال گیلان، مازندران و جنوب گلستان و وضعیت بحرانی را در شمال گلستان و جنوب مازندران به ثبت رساند. در مقابل، فاز لانینا با افزایش کلی دما در منطقه همراه بود و جنوب گیلان و شمال گلستان گرم‌تر شدند. در این دوره، وسعت پوشش گیاهی کاهش یافته و مناطق فاقد گیاه بخصوص در شمال گلستان و جنوب مازندران گسترش یافت. شاخص SPI شدت بیشتر خشک‌سالی را در شمال گلستان، مرکز مازندران و بخش عمده‌ای از گیلان نشان داد، TCI افزایش تنش حرارتی را در جنوب مازندران و شمال شرق گلستان ثبت کرد و اگرچه VCI بهبود نسبی پوشش گیاهی را نشان داد، کاهش مقدار VHI از ۰/۲۴ به ۰/۲۰ بیانگر افت سلامت گیاهی در مازندران و تمرکز اراضی خشک در بخش میانی گلستان بود.

نتایج این مطالعه با بسیاری از یافته‌های پژوهشگران پیشین همسو است. همان‌طور که در مطالعات داخلی بیات ورکشی و همکاران (۱۳۹۶) و محمدرضایی و همکاران (۱۴۰۲) گزارش شده، شاخص‌های MEI و NINO بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص SPI نشان می‌دهند و با افزایش بارش و کاهش شدت خشک‌سالی همراه هستند. علاوه بر این، یافته پژوهش حاضر مبنی بر اینکه شاخص SOI با افزایش احتمال خشک‌سالی، به‌ویژه در گلستان، همبستگی معکوس دارد، با نتایج خداقلی و همکاران (۱۳۹۲) و ثمالی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد؛ این مطالعات نیز فاز سرد ENSO (لانینا) را با افزایش خشکی و کاهش بارش مرتبط دانسته‌اند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست..

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در جمع‌آوری داده‌ها، تهیه گزارش پژوهش و تحلیل داده‌ها مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۹/۱۸۰۹۶/د ۱۴۰۳ استخراج گردیده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اکبری ازیرانی، طیبه (۱۴۰۱). آشکارسازی و تحلیل روند خشک‌سالی حوضه آبخیز جازموریان در ارتباط با شاخص‌های جوی-اقیانوسی. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۳(۱۱)، ۱-۱۶. https://doi.org/10.30488/ccr.2022.359615.109

امیدوار، کمال (۱۳۹۱). *آب و هواشناسی دینامیک*. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه یزد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

امیدوار، کمال (۱۳۹۹). *رابطه آب و هوایی اتمسفر و اقیانوس*. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه یزد.

آرخی، صالح؛ برزگر سواسری، مرضیه و عمادالدین، سمیه (۱۴۰۱). بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور VCI، TCI و VHI در ارزیابی خشکسالی با تصاویر مودیس (مطالعه موردی: مناطق مرکزی ایران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱(۳)، ۱۸۹–۲۲۴. https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72253.1102

بیات ورکشی، مریم؛ ایلدرومی، علیرضا و نوری، حمید (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی در ایران. *دانش آب و خاک*، ۲۷(۲)، ۱۴۳–۱۵۶. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_6429.html

تبریزی، نازنین و تقوی، مریم (۱۳۹۴). مقایسه تطبیقی استان‌های کلان منطقه شمال ایران با تأکید بر ویژگی‌های ساختاری و امکانات لازم جهت توسعه پایدار گردشگری. *سومین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار، همدان*. https://civilica.com/doc/395892

ثمالی، رضا؛ امالبنین بذرافشان، مهدی بی‌نیاز و مسلمی، حمید (۱۳۹۸). بررسی ارتباط بین پدیده انسو بر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در استان‌های ساحلی جنوبی ایران. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱، ۲۱۷–۲۳۱. https://civilica.com/doc/1211110

چوبین، بهرام؛ محمد گلشن، فرزانه و ساجدی حسینی، ف. (۱۳۹۴). پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش‌های آماری و سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۳(۱۱)، ۴۳–۵۲. https://www.wmji.ir/article_697025.html

خداقلی، مرتضی؛ کاوسی، مهناز؛ آروین، عباسعلی و صبوحی، راضیه (۱۳۹۲). بررسی ارتباط از دور علامت‌های SOI و NAO با خشکسالی حوضه آبخیز زاینده‌رود. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۷(۲۱)، ۴۱–۵۲. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1392.7.21.5.9

داودآبادی فراهانی، محمدحسین؛ علیرضا شریفی، مهدی عربی. (۱۴۰۰). پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی با استفاده از شاخص‌های VHI و PDSI. *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۱۱(۳)، ۸۳–۱۰۰.http://dorl.net/dor/20.1001.1.2322102.1400.11.3.7.9

رفیعی‌طاقانکی، زهرا؛ نصراصفهانی، محمدعلی؛ میرعباسی نجف‌آبادی، رسول. (۱۴۰۲). بررسی مشخصه‌های خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی (آب زیرزمینی) و ارتباط آن با الگوهای دورپیوند هواشناسی (دشت‌های سفیددشت و فرادنبه، استان چهارمحال و بختیاری). *پژوهش آب ایران*، ۱. https://doi.org/10.22034/iwrj.2023.14530.2556

سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ فخاری‌زاده شیرازی، الهام؛ ناظم‌السادات، سید محمدجعفر و رضایی، یوسف (۱۳۹۵). اعتبارسنجی دمای سطح حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و لندست–۵ (مطالعه موردی: مزارع گندم دشت مرودشت). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۴)، ۲۵–۴۳. https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.8864.2260

عسگری دستنائی، آسیه؛ گندمکار، امیر و خداقلی، مرتضی (۱۴۰۰). بررسی تأثیر خودواکاوی روند دمایی در مدیریت مخاطره خشکسالی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۸(۳)، ۲۸۳–۲۹۹. https://doi.org/10.22059/jhsci.2021.330273.675

فلاح، اعظم؛ خلیل‌قربانی، امیراحمد؛ دهقانی، جواد و بذرافشان، مهدی (۱۳۹۳). بررسی میزان همبستگی بین متغیرهای اقلیمی پیوند از دور با شاخص خشکسالی SPI به روش رگرسیون درختی (M5). *دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)*. https://civilica.com/doc/305632

فیض‌اله‌پور، مهدی. (۱۴۰۲). برآورد دمای سطح زمین (LST) و مقایسه آن با شاخص‌های NDMI، NDWI و NDVI به‌منظور بررسی تنش آبی با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی (LULC) در سیستم ماشین بردار پشتیبانی (SVM) (منطقه مورد مطالعه: تالاب انزلی). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۰(۲)، ۱۳۱–۱۴۸. http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.131

محمدرضایی، مریم؛ سلطانی، سعید و مدرس، رضا. (۱۴۰۱). تأثیر شاخص‌های دمایی اِنسا بر خشکسالی هواشناسی در نیمهٔ غربی ایران. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۱۳–۲۷. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.9632.1053

محمدرضایی، مریم؛ سلطانی، سعید و مدرس، رضا. (۱۴۰۲). بررسی رابطه شاخص‌های NINO4 و NAO با خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک نواحی شمالی ایران. *دانش آب و خاک*، ۳۳(۲)، ۱۵۰–۱۳۵. https://doi.org/10.22034/ws.2021.48311.2441

میرزائی، محمد؛ امینی‌نیا، کریم؛ پناهی، علی و همت‌زاده، ابوالفضل. (۱۴۰۴). واکاوی اثر سازوکارهای همدیدی گردش جو و یک شاخص دورپیوندی بر بی‌هنجاری‌های نم ویژه و خشکسالی‌های پاییزه شمال غرب ایران. *هواشناسی کشاورزی*، ۱۳(۱)، ۳۴–۵۳. https://doi.org/10.22125/agmj.2024.424085.1161

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

References

Abiy, A.Z., Melesse, A. M. & Melesse, W. (2019). Teleconnection of Regional Drought to ENSO, PDO, and AMO: Southern Florida and the Everglades. *Atmosphere*, 10, 295. https://doi.org/10.3390/atmos10060295

Akbari Azirani, T. (2022). Detection and trend analysis of drought in the Jazmurian basin of Iran associated with ocean-atmospheric indices. *Climate Change Research*, 3(11), 1-16. (in Persian) https://doi.org/10.30488/ccr.2022.359615.1091

Angulo, E.Ch., & Pereira Filho, A.J. (2023). Extreme Droughts and Their Relationship with the Interdecadal Pacific Oscillation in the Peruvian Altiplano Region over the Last 100 Years. *Atmosphere*, 14, 1233. https://doi.org/10.3390/atmos14081233

Arekhi, S., Barzegar Savasari, M., & Emadaddian, S. (2022). Investigating the Indicators Resulting from Remote Sensing Technology in Drought Assessment using MODIS Images (Case Study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 189-224. (in Persian) https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72253.1102

Asgari Dastnaei, A., Gandomkar, A., & Khodaqholi, M. (2021). Self-analysis of temperature trend in drought hazards management (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Environmental Management Hazards*, 8(3), 283-299. (in Persian) https://doi.org/10.22059/jhsci.2021.330273.675

Bayat Varkeshi, M., Ildaromi, A., & Nouri, H. (2017). Study of Relation between ENSO Phenomenon and Drought Occurrence in Iran. *Water and Soil Science*, 27(2), 143-156. (in Persian) https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_6429.html?lang=en

Choubin, B., Golshan, M., & Sajedi-Hosseini, F. (2016). Predicting Drought using Statistical Methods and Large-Scale Climate Signals. *Extension and Development of Watershed Management*, 3(11), 43-52. (in Persian) https://www.wmji.ir/article_697025.html?lang=en

Davoodabadi Farahani, M. H., Sharifi, A., & Arabi, M. (2021). Monitoring agricultural drought in Markazi province using VHI and PDSI indices. *Surveying Sciences and Techniques*, 11(3), 83-100. (in Persian) http://dorl.net/dor/20.1001.1.2322102.1400.11.3.7.9

Dong, X., Zhou,Y., Liang, J., Zou, D., & Wu, J., Wang, J. (2023). Assessment of Spatiotemporal Patterns and the Effect of the Relationship between Meteorological Drought and Vegetation Dynamics in the Yangtze River Basin Based on Remotely Sensed Data. *Remote Sens*, 15, 3641. https://doi.org/10.3390/rs15143641

Espinosa, L.A., Portela, M.M., & Rodrigues, R. (2019). Spatio-temporal variability of droughts over past 80 years in Madeira Island. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 25, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100623

Fallah, A., Khalil Ghorbani, A. A., Dehghani, J., & Bazrafshan, M. (2014). Investigating the correlation between remotely linked climatic variables and the SPI drought index using the tree regression method (M5). *The Second National Conference on Water Crisis (Climate Change, Water and Environment*). (in Persian) https://civilica.com/doc/305632

Feyzolahpour, M. (2023). Estimating land surface temperature (LST) and comparing it with NDMI, NDWI and NDVI indices to investigate water stress with emphasis on land use changes (LULC) in the support vector machine (SVM) system (study area: Anzali wetland). *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 10(2), 131–148. (in Persian) http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.131

Jiang, R., Liang, J., Zhao, Y., Wang, H., Xie, J., Lu, X., & Li, F. (2021). Assessment of vegetation growth and drought conditions using satellite-based vegetation health indices in Jing-Jin-Ji region of China. *scientific reports*, 11, 13775. https://doi.org/10.1038/s41598-021-93328-z

Khodagholi, M., Kavousi, M., Arvin, A. A., & Sabouhi, R. (2013). Investigation of Teleconnection between SOI and NAO Signals and Droughts in Zayanderoud Watershed Basin. *Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran*, 7(21), 41-52. (in Persian) http://jwmsei.ir/article-1-259-fa.html

Liu, W., Zhu, Sh., Huang, Y., Wan, Y., Wu, B., & Liu, L. (2020). Spatiotemporal Variations of Drought and Their Teleconnections with Large-Scale Climate Indices over the Poyang Lake Basin, China. *Sustainability*, 12, 3526. https://doi.org/10.3390/su12093526

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]

Mirzaie, M., Aminini, K., Panahi, A., & Hammetzadeh, A. (2025). The analysis of the effects of a teleconnection index and synoptic mechanism of atmospheric circulation on specific humidity anomalies and droughts during autumn in northwestern Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 13(1), 34–53. (in Persian) https://doi.org/10.22125/agmj.2024.424085.1161

Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2022). Effect of ENSO indices on meteorological drought in the midwest of Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 13–27. (in Persian) https://doi.org/10.22098/mmws.2022.9632.1053

Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2023). Investigation of the relationship of NINO4 and NAO indices with meteorological drought in synoptic stations in northern Iran. *Water and Soil Science*, 33(2), 135–150. (in Persian) https://doi.org/10.22034/ws.2021.48311.2441

Ndehedehe, Ch.E., Anyah, R.O., Alsdorf, D., Agutu, N.O., Ferreira, V.G. (2019). Modelling the impacts of global multi-scale climatic drivers on hydro-climatic extremes (1901–2014) over the Congo basin. *Science of The Total Environment*, 621: 1569-1587. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.203

Nepstad, D., Lefebvre, P., Lopes da Silva, U., Tomasella, J., Schlesinger, P., Solórzano, L., Moutinho, P., Ray, D., & Guerreira Benito, J. (2004). Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Global Change Biplpgy*, 10, 704-717. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00772.x

Rafiei-Taghanki, Z., Nasr-Esfahani, M. A., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2023). Investigation of meteorological and hydrological (groundwater) drought characteristics and their relationship with teleconnection patterns (Case studies: Sefiddasht and Faradaneh plains, Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Iran Water Research Journal*, 1. (in Persian) https://doi.org/10.22034/iwrj.2023.14530.2556

Sabziparvar, A. A., Fakhari-Zadeh Shirazi, E., Nazemosadat, S. M. J. & Rezaei, Y. (2016). Validation of Land Surface Temperature (LST) from Landsat-5 and MODIS Images (Case Study: Wheat Fields of Marvdasht Plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4), 25-43. (in Persian) https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.8864.2260

Samali, R., Umm al-Banyan Bazrafshan, M., Bi-Niaz, & Moslemmi, H. (2019). Studying the relationship between the ENSO phenomenon on droughts and wet years in the southern coastal provinces of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1, 217-231. (in Persian) https://civilica.com/doc/1211110

Tabrizi, N., & Naqvi, M. (2015). Comparative comparison of the metropolitan areas of northern Iran with respect to structural characteristics and sustainable tourism development opportunities. *Geography of Tourism Space*, 14, 49-69. (in Persian) https://sanad.iau.ir/journal/gjts/Article/520226?jid=520226

Ullah, I., Ma, X., Ren, G., Yin, J., Iyakaremye, V., Syed, S., Lu, K., Xing, Y., & Singh, V.P. (2022). Recent Changes in Drought Events over South Asia and Their Possible Linkages with Climatic and Dynamic Factors. *Remote Sens*, 14, 3219. https://doi.org/10.3390/rs14133219

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.3.7.8]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.3.2]