Investigation of environmental factors affecting the optical depth of fine dust in Semnan Province

Ali Khaleghi [a], **Shima Nikoo** [b,*], **Hassan Khosravi** [c], **Aliasghar Zolfaghari** [d]

[a] *PhD, Student in Desert Management & Control, Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran*
[b] *Assistant professor, Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran*
[c] *Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran*
[d] *Associate professor, Desertification Department, Desert Studies Faculty, Semnan University, Semnan, Iran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/11/7 **Accepted:** 2026/03/11)

Extended Abstract

1- Introduction

Aerosols, originating from both natural and anthropogenic sources, exert a profound influence on the Earth's energy balance, climate dynamics, economic development, and public health. In recent decades, shifts in temperature and precipitation regimes, declining vegetation cover, and accelerating urbanization—coupled with rising living standards—have significantly altered aerosol concentrations. These airborne particles not only scatter solar radiation but also modulate cloud microphysics, thereby contributing to climate change at both global and regional scales. Understanding the spatial and temporal variability of aerosols is essential for developing effective environmental and public health policies, especially in vulnerable arid regions.

2- Methodology

Semnan Province, covering approximately 98,000 km² between 51°56′–57°58′ E and 34°13′–37°20′ N, was selected as the study area due to its climatic diversity and susceptibility to dust events. Climatic parameters—including precipitation, temperature, wind speed, and evapotranspiration—were analyzed using data from five synoptic stations spanning 2003 to 2023. Monthly evapotranspiration was estimated via the Torrent-White method, based on mean monthly temperatures. Vegetation dynamics were assessed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), derived from MODIS MOD13Q1 imagery at 250-meter resolution via Google Earth Engine. Aerosol concentrations were quantified using the Aerosol Optical Depth (AOD) index from MODIS MYD04 data, focusing on months with elevated dust activity. Soil moisture trends were extracted from the GLEAM global database incorporating ERA5 reanalysis data. Wind patterns were visualized using WRPOLT v8.0.2 software to generate wind rose diagrams. Drought conditions were evaluated using the Standardized Precipitation Index (SPI) across 1–48 month intervals. Pearson's correlation coefficient was applied to identify key climatic and environmental drivers of AOD variability.

3- Results

Meteorological analysis revealed that Semnan Province experiences extreme temperature fluctuations, with annual maxima reaching 44.62°C and minima dropping to -13.09°C. Average annual precipitation is approximately 119.78 mm, while evapotranspiration exceeds 1095.57 mm. Windrose analysis indicates a dominant wind flow from northeast to southwest, with an average speed of 6.25 knots. Relative humidity averages 41.11%. The mean AOD value of 1.26 suggests persistent dust presence, while the NDVI average of 0.31 reflects sparse vegetation cover. SPI analysis classifies the region under "normal drought" conditions (SPI = 0.59). Soil moisture, averaging 0.17 mm annually, shows a declining trend over the study period. Strong negative correlations were observed between AOD and both NDVI (-0.87) and soil moisture (-0.73), indicating that reduced vegetation and drier soils significantly contribute to increased aerosol concentrations.

4- Discussion and Conclusions

Dust storms pose a recurring challenge in arid and semi-arid regions, with Semnan Province being particularly vulnerable due to its climatic and ecological characteristics. The study highlights a clear upward trend in AOD levels over the past two decades, driven primarily by declining vegetation density and soil moisture. Spatial analysis

* **Corresponding Author:** Shimanikoo@semnan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

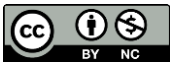
reveals that southeastern and southwestern zones with minimal vegetation exhibit the highest AOD values. The findings underscore the critical role of NDVI and soil moisture as indicators of dust susceptibility. Wind speed further amplifies dust dispersion, making it a key secondary factor. While this study emphasizes vegetation and hydrological variables, comparative research suggests that other parameters—such as vapor pressure and maximum temperature—may exert stronger influence in different geographic contexts. Overall, the integration of remote sensing data, meteorological records, and statistical analysis provides a robust framework for understanding aerosol dynamics in Semnan Province. These insights can inform targeted mitigation strategies, such as vegetation restoration and land management, to reduce dust-related risks and enhance regional climate resilience.

Key Words: Correlation, Aerosol, climate, vegetation, soil, remote sensing

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

Cite this article: Khaleghi, A., Nikoo , S., Khosravi, H. & Zolfaghari , A. (2026). Investigation of environmental factors affecting the optical depth of fine dust in Semnan Province. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2026; 16 (1):88-113.* http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.88



© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.88
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

بررسی عوامل محیطی موثر بر عمق نوری ریزگردها در استان سمنان

علی خالقی: *دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه بیابانزدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
شیما نیکو: *استادیار، گروه بیابانزدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
حسن خسروی: *استاد، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران*
علی اصغر ذوالفقاری: *دانشیار، گروه بیابانزدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰)
DOI: http//doi.org/10.61882/jeer.405.1.88

چکیده

مقدار ریزگردها به شرایط محیطی و فعالیت‌های انسانی وابسته است و تأثیر مستقیمی بر چرخه انرژی، تغییرات اقلیمی، توسعه اقتصادی و سلامت انسان دارد . عمق نوری ریزگرد به عنوان یکی از خصوصیاتی که به منظور بررسی وضعیت ریزگردها مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. لذا این مطالعه با هدف بررسی ارتباط بین ویژگی‌های پوشش گیاهی، اقلیم، خاک و عمق نوری ریزگرد در فاصله سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ در استان سمنان انجام شد، زیرا داده‌های MODIS برای NDVIو AOD از سال ۲۰۰۳ در دسترس بوده و این بازه ۲۰ ساله امکان بررسی تغییرات بلندمدت ریزگردها و عوامل محیطی را فراهم می‌کند. اطلاعات آماری مورد نیاز از نقشه‌های شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) و عمق نوری ریزگرد (AOD) در سامانه گوگل ارث انجین، با بهره گیری از محصولات تولید شده توسط سنجنده MODIS بترتیب با کد محصول MOD13Q1و MYD04 تولید شد. اطلاعات مورد نیاز از نقشه رطوبت خاک با استفاده از داده‌های پایگاه داده ERA5 تهیه شد. همچنین داده‌های اقلیمی شامل دما، بارش، تبخیر، تعرق، سرعت باد از ایستگاه‌های سینوپتیک جمع آوری و شاخص استاندارد بارش ارزیابی شد. برای ارزیابی همبستگی بین پارامترهای مذکور و AOD از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد، نتایج نشان داد میانگین AOD در ماه‌های خشک سال (می تا آگوست) برابر ۱/۲۶ بوده و روندی نوسانی اما افزایشی طی دوره مطالعه داشته است، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن (۳) در سال ۲۰۲۳ و کمترین مقدار (۰/۲۳) در سال ۲۰۱۳ ثبت شد. شاخص NDVI در ماه‌های خشک روند کاهشی نشان داد و از ۰/۲۸ در سال ۲۰۰۳ به ۰/۱۰ در سال ۲۰۱۵ رسید. میانگین رطوبت خاک نیز ۰/۱۷ مترمکعب بر مترمکعب برآورد شد که کاهش آن در سال‌های اخیر مشهود است. نتایج همبستگی پیرسون بیانگر وجود رابطه معکوس و قوی بین AODو NDVI (۰/۸۷-) و رطوبت خاک (۰/۷۳-) و همچنین رابطه مستقیم با دمای حداکثر (۰/۶۷) و سرعت باد (۰/۶۴) بود. ضرایب تعیین نیز نشان داد پوشش گیاهی و رطوبت خاک مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تغییرات AOD در منطقه هستند. به طور کلی کاهش پوشش گیاهی و افت رطوبت خاک مهم‌ترین عوامل تشدید پدیده گردوغبار در استان سمنان طی دو دهه اخیر بوده‌اند . بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت پوشش گیاهی، احیای اراضی تخریب‌شده و بهبود وضعیت رطوبتی خاک، مؤثرترین راهکارهای کاهش شدت گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر استان سمنان محسوب می‌شوند.

واژگان کلیدی: همبستگی، ریزگرد، اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، سنجش از دور

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

۱ـ مقدمه

مقدار ریزگردها، به عوامل محیطی و فعالیت¬های انسانی وابسته است و تأثیر مستقیمی بر چرخه انرژی، تغییرات اقلیمی، توسعه اقتصادی و سلامت انسان دارد (Charlson et al., 1992; He et al., 2020; Kaufman et al., 2005; Omara et al., 2021; Boroughani et al., 2022; Zheng et al., 2020.) در چند دهه اخیر عواملی از قبیل تغییرات در پارامترهای اقلیمی دما و بارش، کاهش پوشش گیاهی، تغییرات کاربری اراضی و گسترش فعالیت‌های صنعتی موجب افزایش ریزگردها و پیامدهای ناشی از آن شده‌است. این ذرات معلق در هوا به طور مستقیم با پراکنش نور خورشید و به طور غیرمستقیم با اثرگذاری بر تشکیل ابر اثرات مهمی بر تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه¬ای دارند (Dargahian and lotfinasabasl, 2020). عمق نوری هواویزها (AOD[1]) یک پارامتر کلیدی برای تخمین مقدار ذرات معلق در هوا، ارزیابی درجه و مقدار آلودگی هوا و تخمین اثرات اقلیمی ریزگردها است. همچنین یک کمیت فیزیکی مهم برای بررسی کدورت هوا بوده که نه تنها یک شاخص کلیدی برای برآورد ذرات معلق در ستون قائم هواست بلکه یک پارامتر مهم برای تخمین اثرات ستون قائم هوا بر فاکتورهای اقلیمی می‌باشد (Wang et al. 2020). لذا اندازه‌گیری آن دارای اهمیت زیادی است.

Hosseini Tabesh و همکاران (2022) در ارزیابی داده های سنجنده MODIS در پایش غلظت آلاینده های PM2.5 و PM10 در شهر تهران انجام شد. متغیرهای این مدل‌ها شامل متغیرهای هواشناسی و عمق نوری هواویزها (AOD) مستخرج از محصولات MOD04-L2 سنجنده مودیس ماهواره ترا (TERRA) است. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد مدل رگرسیون خطی که شامل متغیرهای عمق نوری هواویزها، بارش ۲۴ ساعته، میانگین فشار بخار آب و ساعت آفتابی است، در مقیاس کل شهر تهران (R^2=0.75 و RMSE=7.47) و ایستگاه‌ها مناسب‌ترین مدل در مقایسه با بقیه مدل‌های به‌دست‌آمده است. در این مدل غلظت $PM_{2.5}$ با ساعت آفتابی رابطه عکس و با بقیه متغیرها رابطه مستقیم دارد.

Farhadi و همکاران (2018) تفکیک AOD از ابر و رسوبات را در مناطق دریایی با استفاده از داده های ماهواره‌ای سنجنده MODISبرای محاسبه میزان ریزگردها در خلیج فارس و ارزیابی مدل همبستگی خطی ریزگردهای جوی با اندازه‌گیری‌های زمینی می‌باشد انجام دادند. بررسی نتایج نشان داد که الگوریتم موجود داده‌های انعکاس طیفی برای شعاع موثرهای مختلف در جداول LUT را برای غلظت ریزگردها شبیه‌سازی می‌کند. میزان همبستگی برای روز ۲۲ شهریور ۱۳۸۳ برای باند ۱/۲۴۳ برابر با ۰/۹۴ و برای باند ۱/۶۴۳ برابر با ۰/۹۷ به دست آمد. که روند خوبی را بین داده‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد، شاخص‌های RMSE و RMSD در این روز برای باند ۱/۲۴۳ به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۲ و برای باند ۱/۶۴۳ برابر با ۰/۱ و ۰/۰۱ محاسبه شد. بنابراین، می‌توان بیان کرد دقت شبیه‌سازی‌ها در این باندها مناسب است. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد مقادیر AOD به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای همبستگی معنی‌داری با AOD اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های آئرونت دارد.

De Leeuw و همکاران (2022) تغییرات مکانی و زمانی و تفاوت‌های مقیاس استانی AOD در چین را طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ را با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS بررسی نمودند. نتایج نشان داد که AOD قبل از افزایش در استان‌های شمالی، در جنوب چین افزایش یافته است. AOD بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ با نوسانات شدید بین

[1]Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

سالانه در پاسخ به سیاست کاهش انتشار که با تحولات اقتصادی مخالف بود، بالا بود و در پاسخ به برنامه اقدام هوای پاک (۲۰۱۳-۲۰۱۷) از سال ۲۰۱۴/۲۰۱۳ به میزان قابل توجهی کاهش یافت. با این حال، در دوره ۲۰۱۷-۲۰۲۰ AOD تثبیت شد و در ۱۰٪ از مقدار میانگین برای این سال‌ها که مشابه AOD در سال ۲۰۰۰ بود و در بخشی از منطقه مورد مطالعه کمتر از AOD در سال ۲۰۰۰ بود، در نوسان بود. ۲۰۲۱ نشان می دهد که روندهای مشتق شده قبلی ادامه نمی یابد و سیاست کاهش انتشار باید برای دستیابی به اهداف کیفیت هوای قبلی گسترش یابد.

Wang و همکاران (2022) از الگوریتم پیاده‌سازی چند زاویه‌ای تصحیح جوی (MAIAC[1]) برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS و آشکارسازی تغییرات مکانی-زمانی AOD در آسیای شرقی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ استفاده نمودند.

به‌منظور کاهش غلظت ریزگردها و اثرات منفی آن، شناسایی مهمترین عوامل تاثیرگذار برآن ضروری است. در همین راستا Goldani و همکاران (2024) تأثیر PM۱۰ بر تغییرات NDVI بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای در استان خوزستان بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصل مجموعه‌داده‌ها بر مبنای کاربری‌های پوشش گیاهی جداسازی شدند و در نهایت ضریب همبستگی پیرسون بین PM ۱۰ و NDVI نشان داد که از نظر مکانی به ترتیب کاربری‌های نیزار و کشاورزی بیشترین مقادیر ضریب همبستگی بین میانگین غلظت فصلی PM ۱۰ و تغییرات پوشش گیاهی در یک فصل (dNDVI)را داشتند و از نظر زمانی در فصل تابستان بیشترین مقادیر ضریب همبستگی در طول سال ثبت گردید.

Dargahian و همکاران (2019) عوامل موثر بر رخداد طوفان ماسه و گردوغبار زابل را با تاکید بر نقش کم‌فشار پاکستان شناسایی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که منطقه زابل به دلیل گرادیان تغییرات فشار بالا و همچنین وجود رسوبات ریزدانه رودخانه‌ها و همچنین تالاب‌ها و قرارگیری در حاشیه غربی منطقه کم‌فشار که ماهیت حرارتی دارد و برهمکنش فشار پایین با فشار بالا که به نام پرفشار ترکمنستان، هندوکش، شمال شرقی ایران و شمال دریای خزر شناخته می‌شود، بیشترین پتانسیل را برای تولید گرد و غبار دارد. این فشار پایین در لایه پایینی جو از طریق مکش گرد و غبار و حرکت خلاف جهت عقربه‌های ساعت با عبور از روی منابع گرد و غبار در منطقه زابل، از نفوذ به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر توسط بادهای ۱۲۰ روزه سیستان جلوگیری کرده و باعث انتقال بیشتر ذرات شن و غبار به افغانستان شده است. بنابراین، با توجه به موقعیت زابل نسبت به این کم فشار که اوج آن در تیرماه است و آن را از سایر مناطق تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه متمایز می‌کند، باید تمهیدات ویژه‌ای برای کاهش شدت طوفان‌های گرد و غبار در نظر گرفته شود.

مطالعه Soleimani Sardoo و همکاران (2021) در بررسی تعیین و تحلیل روند الگوی زمانی و مکانی گردوغبار و اثرپذیری آن از پوشش گیاهی (مطالعه موردی حوزه جازموریان) نتایج نشان داد که با استفاده از ماهواره MODIS با هدف بررسی توزیع تغییرات زمانی و مکانی عمق هواویزها باطول موج ۵۵۰ نانومتر استفاده گردید، همچنین از روش تخمین شیب سن و منکندال استفاده شد، جهت بررسیتغییرات پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد، نتایج نشان داد که این تحقیق نشان داد که در طول دورهٔ مطالعاتی، روند افزایشی AOD در منطقه از ماه‌های آوریل تا ژوئیه مشاهده شد؛ به گونه‌ای که در بخش وسیعی از حوضهٔ جازموریان ، میانگین عمق نوری هواویزها در ماه ژوئیه به حدود ۰/۶ رسید.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

همچین نتایج نشان داد که همبستگی بین میانگین داده‌های AOD و NDVI برابر ۰,۵۶ – است که ارتباط این دو پدیده را به صورت معکوس در منطقه تأیید می‌کند.

Zhang (2023) در بررسی عوامل موثر بر تغییرپذیری مکانی-زمانی عمق نوری ریزگرد در منطقه خشک شمال غربی چین گزارش کردند که مقادیر AOD در بهار و تابستان بسیار بیشتر از پاییز و زمستان، به ویژه در بهار، بوده است. به طور کلی، AOD روند کاهشی ناچیزی با دامنه تغییرات کلی کوچک داشت. تجزیه و تحلیل مکانی، روند کاهشی قابل توجهی را نشان داد، که عمدتاً در سراسر منطقه کویر گبی، که در منطقه غربی ARNC واقع شده است، رخ داده است. همچنین عوامل طبیعی، AOD با دمای هوا (AT)، سرعت باد (WP)، دمای سطح زمین (LST) و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) همبستگی مثبت و با بارش، رطوبت نسبی (RH) و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده تفاضلی (NDVI) همبستگی منفی داشت. بیشترین همبستگی مثبت، با حداکثر مقدار R2 برابر با ۰/۸، بین AOD و سرعت باد مشاهده شد. در مقابل، AOD و رطوبت نسبی قوی‌ترین همبستگی منفی را با مقادیر R2 برابر با ۰/۷۷- داشتند. از نظر عوامل انسانی، تولید ناخالص داخلی (GDP)، صنایع ثانویه و تراکم جمعیت سه عامل انسانی اصلی بودند که بر تغییرات AOD در این منطقه تأثیر گذاشتند. به طور کلی، تأثیرات عوامل انسانی بر AOD در مناطقی با تراکم جمعیت شهری بالا، قابل توجه‌تر است

بررسی انجام شده توسط Dangayach و Pandey (2024) در بررسی روابط پیچیده بین عمق نوری آئروسل و دما نشان داد که بین دما و عمق نوری ریزگرد ارتباط معنی داری وجود دارد.

با وجود انجام پژوهش‌های متعدد در زمینه پایش گردوغبار و بررسی ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی، اغلب مطالعات پیشین یا به بررسی کوتاه‌مدت تغییرات AOD پرداخته‌اند یا تنها بر یک یا دو عامل محیطی تمرکز داشته‌اند. همچنین در بسیاری از پژوهش‌ها تحلیل‌ها در مقیاس‌های مکانی محدود یا بدون تلفیق همزمان داده‌های سنجش‌ازدور، بازتحلیل اقلیمی و داده‌های ایستگاهی انجام شده است. در استان سمنان، به‌رغم قرارگیری در یکی از پهنه‌های خشک و مستعد تولید گردوغبار کشور، تاکنون بررسی جامع و بلندمدتی که به‌صورت همزمان روند تغییرات AODو ارتباط آن با پوشش گیاهی، رطوبت خاک، متغیرهای دمایی، شاخص خشکسالی و باد را در یک چارچوب یکپارچه تحلیل کند، انجام نشده است. از این‌رو انجام پژوهشی با رویکرد تلفیقی و بازه زمانی بلندمدت می‌تواند به درک دقیق‌تر سازوکارهای مؤثر بر تشدید گردوغبار در این استان کمک نماید. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل روند زمانی شاخص عمق نوری هواویزها (AOD) طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ و شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر تغییرات آن در استان سمنان با بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور و اقلیمی می‌باشد. هدف کلی این پژوهش تحلیل تغییرات شاخص عمق نوری هواویزها (AOD) و شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر آن در استان سمنان طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ است. در راستای تحقق این هدف، اهداف جزئی زیر دنبال شد:

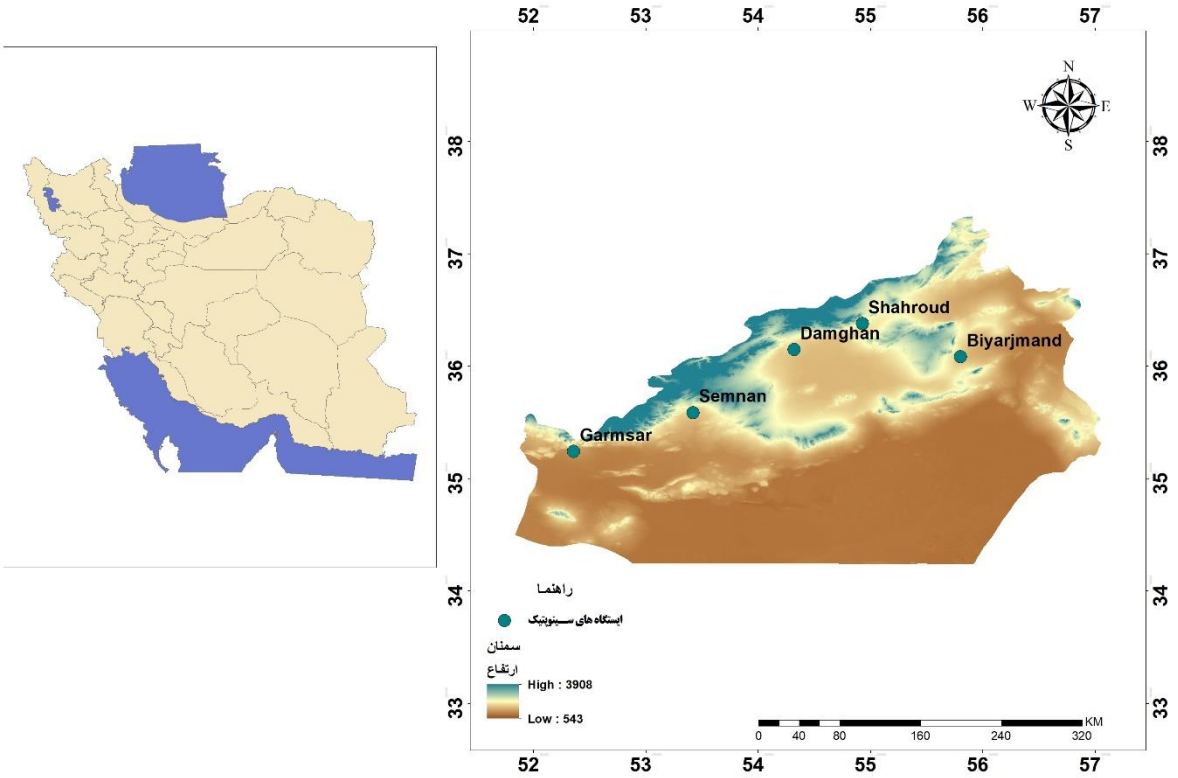
۱. تحلیل روند زمانی و مکانی شاخص AOD در ماه‌های خشک سال (می تا آگوست) طی دوره ۲۰ ساله.
۲. بررسی تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و ارزیابی روند آن در دوره مطالعه.
۳. تحلیل روند تغییرات رطوبت خاک و شاخص استاندارد بارندگی.(SPI)
۴. بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی شامل دما، بارندگی، تبخیر و تعرق، سرعت باد و رطوبت نسبی.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

۵. تعیین میزان همبستگی و رابطه خطی بین AOD و متغیرهای محیطی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون.
۶. شناسایی مهم‌ترین عامل یا عوامل کنترل‌کننده تغییرات گردوغبار در استان سمنان.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

استان سمنان با وسعت حدود ۹۷،۴۹۱ کیلومتر مربع در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی واقع شده است.(شکل ۱). بیش از نیمی از استان را دشت‌های خشک در بر گرفته و تغییرات ارتفاع از شمال به جنوب استان بیش از ۳۰۰۰ متر است. میانگین ارتفاع این استان از سطح دریا ۱۰۶۷ متر است و به سه منطقه کوهستانی، کوهپایه ای و جلگه ای تقسیم می شود. میانگین دمای استان سمنان ۱۷ درجه سانتیگراد و میانگین بارندگی در بازه زمانی ۲۰ ساله تقریباً ۱۱۹ میلی متر است. استان سمنان بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن در رده خشک قرار دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌های اقلیمی

برای ارزیابی متغیرهای اقلیمی در منطقه، داده‌های بارش، دما، سرعت سالانه باد و تبخیر و تعرق از اداره هواشناسی استان سمنان مورد تحلیل قرار گرفت. از بین هشت ایستگاه سینوپتیک استان سمنان، پنج ایستگاه بیارجمند، دامغان، گرمسار، سمنان و شاهرود بر اساس در دسترس بودن داده ها در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ انتخاب شدند (جدول ۱).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نوع داده	منبع / محصول	دقت مکانی	دقت زمانی	توضیحات
۱	شاخص NDVI	MODIS (MOD13Q1)	۲۵۰ متر	۱۶ روزه	محصول استاندارد با تصحیح اتمسفری
۲	شاخص AOD	MODIS (MYD04)	۱۰ کیلومتر	روزانه	استخراج در ماه‌های می تا آگوست
۳	رطوبت خاک	ERA5 (ECMWF)	۰/۱ درجه (~۹ کیلومتر)	ماهانه	داده بازتحلیل جهانی
۴	عوامل اقلیمی (دما، بارش، باد)	ایستگاه‌های سینوپتیک	نقطه مکانی	روزانه / ماهانه	داده‌های رسمی سازمان هواشناسی
۵	شاخص SPI	محاسبه‌شده از داده بارش	وابسته به ایستگاه	۳ ماهه	بر اساس روش McKee et al. (1993)

۲-۳- تبخیر و تعرق

برای محاسبه تبخیروتعرق پتانسیل در هر یک از ماه¬های سال، از روش تورنت وایت استفاده شد که یک روش مبتنی بر دمای متوسط ماهانه است (Davoudi et al, 2019). روش محاسبه آن به این صورت است که ابتدا نمایه حرارتی im برای هر یک از ماه‌های سال از رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود که در این رابطه im نمایه حرارتی هرماه و Tm متوسط دمای هوا به درجه سا نتیگراد در ماه مورد نظر است.

$$i_m = (T_m/5)^{1.51}$$

رابطه ۱

در صورتیکه متوسط دما در یک ماه منفی باشد، نمایه حرارتی برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود. نمایه حرارتی هرسال (I) از جمع نمایه حرارتی ماهانه طی سال به دست می‌آید (رابطهٔ ۲). با داشتن نمایه حرارتی سال I ضریب a از رابطهٔ ۳ محاسبه گردید.

$$I = \sum 1^{12} i_m$$

رابطه ۲

$$\mathrm{a} = 0.5 + 0.016 \times \mathrm{I}$$

رابطه ۳

با توجه به اینکه تعداد روزهای هرماه و تعداد ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است، لذا جهت به دست آوردن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، ضریب اصلاحی Nm (Davoudi et al, 2019) با توجه به منطقه و عرض جغرافیایی محاسبه می‌شود (رابط ۴).

$$\mathrm{PET} = 16N_m(10T_m/I)^a$$

رابطه ۴

۳-۳- شاخص نرمال پوشش گیاهی

شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به عنوان شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین شاخص در مطالعات پوشش گیاهی معرفی شده است (Birtwistle et al, 2016; Blaes et al, 2016) و همچنین می‌تواند اثرات بارش را مشخص کند (Barbosa & Kumar, 2016). اطلاعات آماری مورد بررسی با استفاده از نقشه این شاخص در سامانه گوگل ارث انجین و با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده MODIS و محصول MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر برای دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ در دوره ۱۶ روز یک بارتهیه شد.

۴-۳- شاخص AOD

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

عمق نوری هواویز یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گرد و غبارها می‌باشد. AOD در واقع به توزیع گرد و غبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص تعریف می¬شود. مسیر نوری عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو می‌باشد (Fasih-Ramandi et al, 2021). اطلاعات آماری مورد بررسی با استفاده نقشه این شاخص در سامانه گوگل ارث انجین، با بهره گیری از محصولات تولید شده توسط سنجنده MODIS به کد محصول MYD04 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ در ماه هایی که میزان شاخص AOD بیشتر بوده است (می تا آگوست)، تهیه شد.

۳-۵- رطوبت خاک

برای متغیر رطوبت خاک، از داده‌های پایگاه ERA5 استفاده شد. پایگاه داده ERA5، نسخه پنجم داده های بازتحلیل شده مرکز ECMWF می باشد که تعداد زیادی متغیر در ترازهای مختلف فشاری جو را در اختیار پژوهشگران قرار می دهد (Nikdad et al, 2023). در پژوهش حاضر داده های آماری مورد بررسی از نقشه رطوبت خاک این پایگاه طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در ماه های خشک سال (می تا آگوست) با تفکیک مکانی یک کیلومتر مورد استفاده قرار گرفته است (Herbach et al, 2020).

۳-۶- باد

برای نشان دادن وضعیت متوسط باد از اطلاعات موجود در ایستگاه های منتخب در ماه هایی که میزان شاخص AOD بیشترین میزان مشاهده شده است در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۷- تعیین شاخص استاندارد بارندگی (SPI)

خشکسالی تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش گردوخاک دارد. کاهش بارندگی و رطوبت خاک باعث می‌شود پوشش گیاهی کاهش یابد و زمین‌های خشک و بیابانی مستعد تولید گردوخاک شوند (Salajegheh et al, 2024). شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI[1]) یکی از پرکاربردترین شاخص‌هایی است که در پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yousefi Mobarhan & Khaleghi, 2024). این شاخص در یک دوره سه ماه، درماه هایی که در آن شاخص AOD بیشترین میزان را دارد، در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۳ محاسبه شد. معادله ۵ برای محاسبه شاخص SPI استفاده می‌شود که سپس بر اساس دو مقدار نشان داده شده در جدول ۲ طبقه بندی می‌شود.

رابطه ۵

$$SPI = \frac{X_{ik} - \overline{Xi}}{\delta i}$$

که در آن SPI: شاخص استاندارد بارندگی

δi: انحراف معیار داده های i ایستگاه

$\overline{Xi}$: متوسط بارندگی ایستگاه ها (mm)

X_{ik}: مقادیر بارندگی برای i ایستگاه و k مشاهده (mm)

[1] Standard Precipitation Index

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

جدول ۲ طبقه بندی شاخص SPI

شدت خشکسالی	SPI
ترسالی حاد	>۲/۰۰
ترسالی شدید	۱/۵۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱/۰۰ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۰۰
خشکسالی متوسط	۰/۹۹- تا ۰/۰۰
خشکسالی شدید	۱/۴۹- تا ۱/۰۰-
خشکسالی حاد	۱/۹۹- تا ۱/۵۰-

۸-۳- همبستگی پیرسون

به منظور بررسی همبستگی میان AOD و عوامل محیطی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. این ضریب میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که ۱ به معنای همبستگی مثبت کامل، ۰به معنی نبود همبستگی، و ۱ به معنی همبستگی منفی کامل است. این ضریب از رابطه ۶ بدست می‌آید:

رابطه ۶

$$r = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-\bar{x}}{S_x}\right)\left(\frac{y_i-\bar{y}}{S_y}\right)$$

که در آن

r : ضریب همبستگی پیرسون

N: تعداد داده

S: انحراف معیار داده‌ها

X و Y: داده مشاهده شده

برای آزمون معنی داری r، t_r از رابطه ۷ بدست می‌آید:

رابطه ۷

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

که در آن:

- r: ضریب همبستگی پیرسون
- n: تعداد نمونه‌ها
- درجه آزادی آزمون برابر با $n-2$است.

در صورتی که t_r بزرگتر از t بدست آمده از جدول توزیع t با درجه ی آزادی بزرگتر از n-۲ باشد، فرض صفر رد می‌شود.

تمامی تحلیل‌های آماری شامل همبستگی و رگرسیون صرفاً بر اساس داده‌های ماه‌های می تا آگوست (دوره اوج فعالیت گرد و غبار در منطقه مطالعه) انجام شده است. انتخاب این بازه زمانی به دلیل بیشینه بودن فراوانی رخدادهای

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

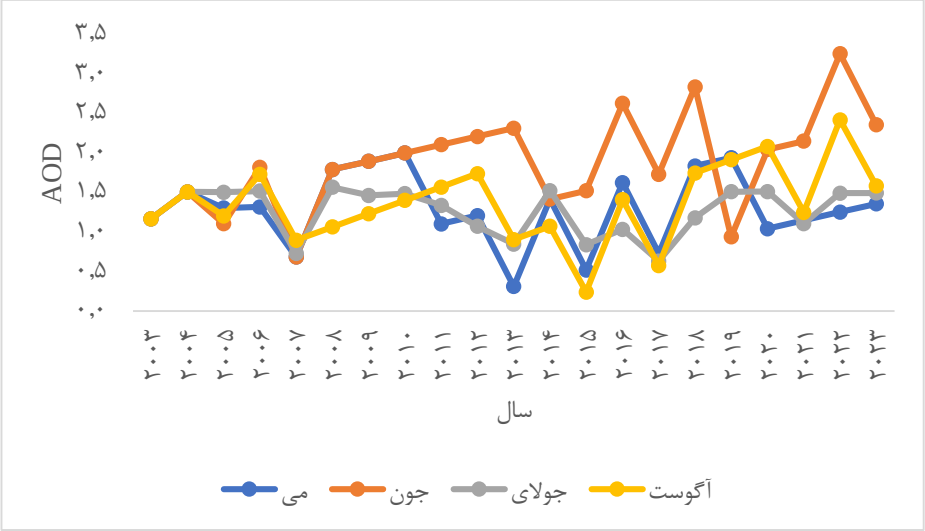
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

گرد و غبار در این ماه‌ها صورت گرفته است. بنابراین، نتایج این پژوهش تنها برای این بازه زمانی قابل تفسیر و تعمیم می‌باشد.

۴- نتایج

۴-۱- شاخص AOD

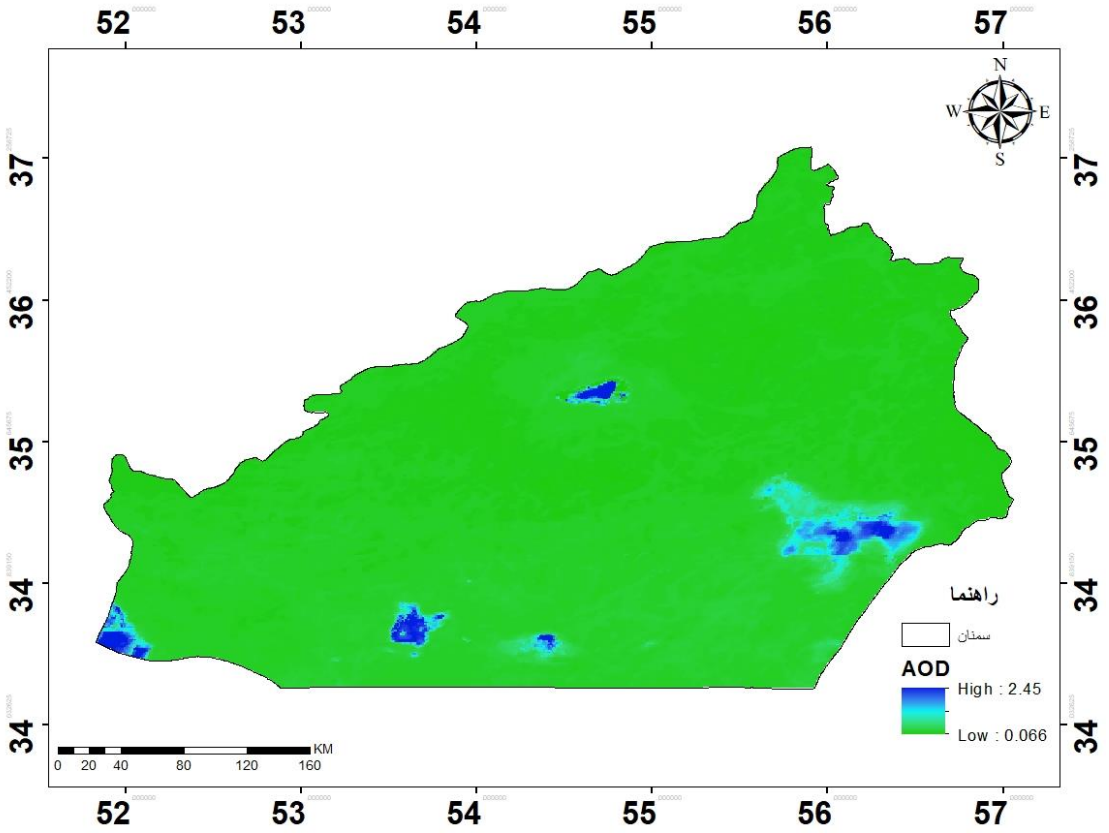
تجزیه و تحلیل تغییرات ماهانه براساس ماه های خشک سال (می تا آگوست) در شاخص AOD نشان می دهد که این استان بالاترین میزان AOD خود را در سال ۲۰۲۳ با ۳ در ماه جون (تیر) تجربه کرده است، در حالی که کمترین مقدار در سال ۲۰۱۳ با ۰/۲۳ در ماه آگوست رخ داده است. مقدار عمق نوری آئروسل (AOD) به عنوان شاخصی برای سنجش غلظت ذرات معلق در جو، روندی نوسانی اما صعودی را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. بیشترین مقادیر AOD در ماه ژوئن و آگوست ثبت شده‌اند، که این دو ماه با بیشترین شدت تابش خورشیدی و کاهش رطوبت نسبی همراه هستند. سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ از نظر مقدار AOD در اوج قرار داشته‌اند، که می‌تواند نشان‌دهنده افزایش فعالیت‌های صنعتی، وزش بادهای شدید و افزایش خشکی سطح خاک باشد. شکل ۳ تغییرات ماهانه سطوح آئروسل در ماه های خشک سال را از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ نشان می دهد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشترین تراکم ذرات در نواحی جنوب غربی دیده می‌شود.



شکل ۲ تغییرات شاخص AOD در ماه های خشک سال در استان سمنان (بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



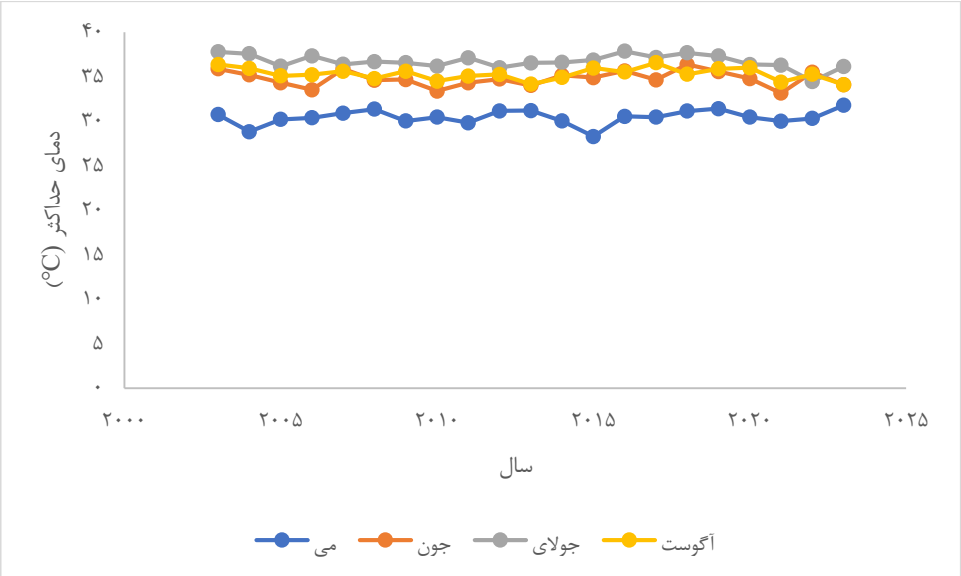
شکل ۳ نقشه میانگین عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳

۲-۴- تغییرات دمایی

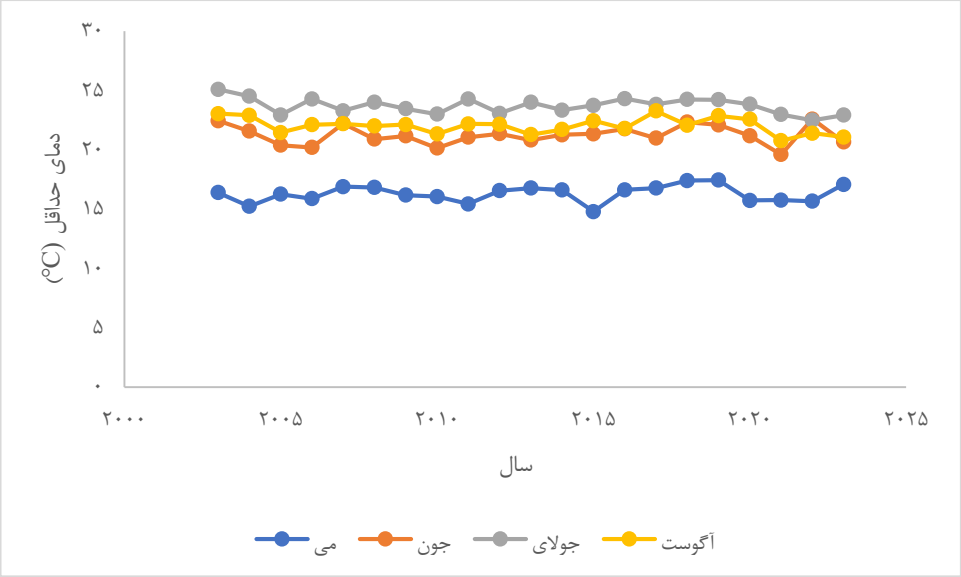
برای ارزیابی نوسانات دما، از داده های پنج ایستگاه سینوپتیک در استان با تمرکز بر دوره زمانی مورد تجزیه و تحلیل در این تحقیق استفاده شد. بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی استان، میانگین تغییرات دمایی ماهانه (می تا آگوست) در استان سمنان برای حداکثر دما تقریباً ۴۴/۶۲ درجه سانتی‌گراد و برای حداقل دما ۱۳/۰۹- درجه سانتی‌گراد است. همچنین بیشترین دمای ثبت شده در ماه های جون (تیر) و آگوست (مرداد) است که بالاترین حد شاخص AOD می‌باشد. تحلیل داده‌های دمایی نشان می‌دهد که دمای حداکثر در ماه‌های ژوئیه و ژوئن به‌طور متوسط در حال افزایش بوده و سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ گرم‌ترین سال‌ها محسوب می‌شوند. این روند افزایشی می‌تواند با افزایش تبخیر و کاهش رطوبت خاک مرتبط باشد. همچنین، دمای حداقل نیز نوسانات قابل‌توجهی را نشان داده که در برخی سال‌ها مانند ۲۰۰۵ و ۲۰۲۱ جهش‌های غیرعادی مشاهده شده است. شکل‌های ۴ و ۵ این تغییرات دما را بر اساس حداقل و حداکثر دماهای ثبت شده در ماه‌های که در آن AOD بیشترین میزان را دارد نشان می‌دهند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



شکل ۴ تغییرات دمایی براساس حداکثر دما در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

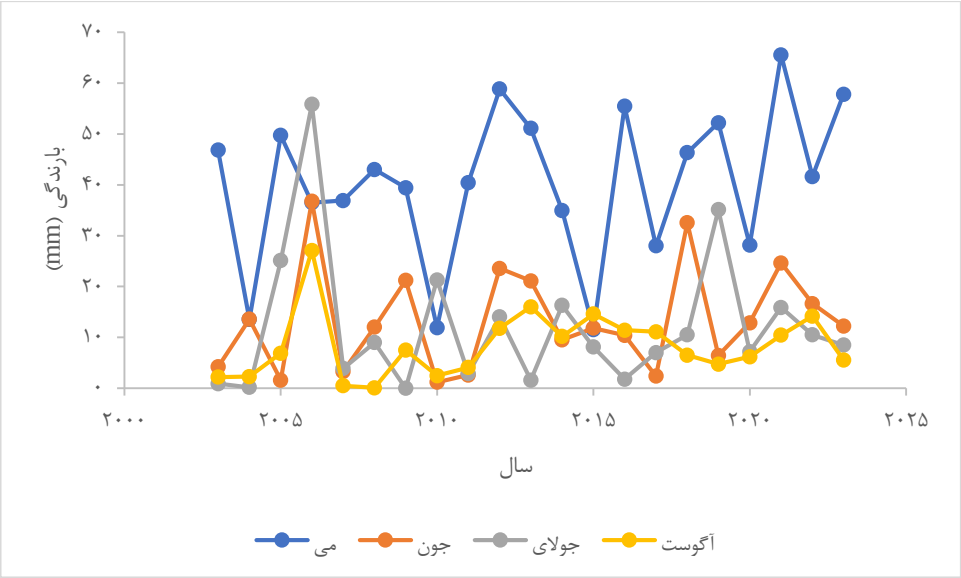


شکل ۵ تغییرات دمایی براساس حداقل دما در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۳-۴- تغییرات بارندگی

برای تجزیه و تحلیل بارندگی در استان سمنان، داده های پنج ایستگاه سینوپتیک در چارچوب زمانی این مطالعه بررسی شد. بارندگی در ماه‌های خشک به‌عنوان عاملی حیاتی برای تأمین رطوبت خاک و پایداری زیستی اهمیت دارد. داده‌های بارش ثبت‌شده در بازه زمانی مذکور گویای آن هستند که علی‌رغم وجود نوسانات شدید، در برخی دوره‌ها مقادیر قابل‌توجهی بارش رخ داده است. این بارش‌ها نقش قابل توجهی در تقویت شاخص‌های پوشش گیاهی و بهبود شرایط زیست‌محیطی ایفا کرده‌اند. بررسی توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف می‌تواند به‌منظور تدوین سیاست‌های مدیریت منابع آب در مناطق خشک مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس اعلام ایستگاه هواشناسی استان، متوسط بارندگی ماهانه (می تا آگوست) استان سمنان در این مدت تقریباً به طور میانگین ۱۸/۶۰ میلی متر است. در ماه‌های خشک، بارش کم و پراکندگی بارش نابرابر است که در افزایش گردوغبار مؤثر است. نمودار بارندگی نشان می دهد (شکل ۶).

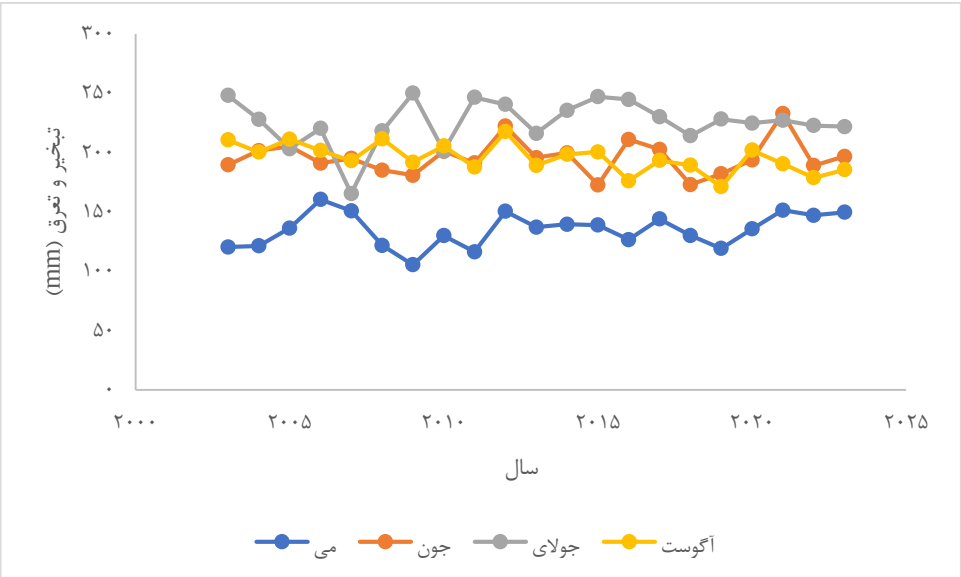
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



شکل ۶ تغییرات بارندگی در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۴-۴- تبخیر و تعرق

برای ارزیابی تبخیر و تعرق با استفاده از روش تورنت وایت در استان سمنان، داده‌های پنج ایستگاه سینوپتیک برای بازه زمانی مورد بررسی در این تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تبخیر و تعرق در مناطق خشک یک فرآیند کلیدی در تبادلات آبی سطحی و زیرسطحی است. داده‌های مربوط به این شاخص حاکی از تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی و باد در شدت این فرآیند هستند. افزایش تبخیر و تعرق در ماه‌های گرم‌تر می‌تواند منجر به افت رطوبت خاک و افزایش تنش‌های آبی برای گیاهان شود. تحلیل دقیق این شاخص در کنار داده‌های دما و رطوبت نسبی می‌تواند در طراحی مدل‌های بهره‌برداری پایدار از منابع آب بسیار مؤثر باشد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی استان، متوسط تبخیر و تعرق ماهانه (می تا آگوست) در استان سمنان برای مدت زمان مشخص شده تقریباً به طور میانگین ۱۸۷/۸۹ میلی متر است. افزایش تبخیر در ماه‌های می تا آگوست نشان‌دهنده خشکی شدید و نقش آن در افزایش گردوغبار است. علاوه بر این، نموداری که تغییرات در تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷ تغییرات تبخیر و تعرق در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

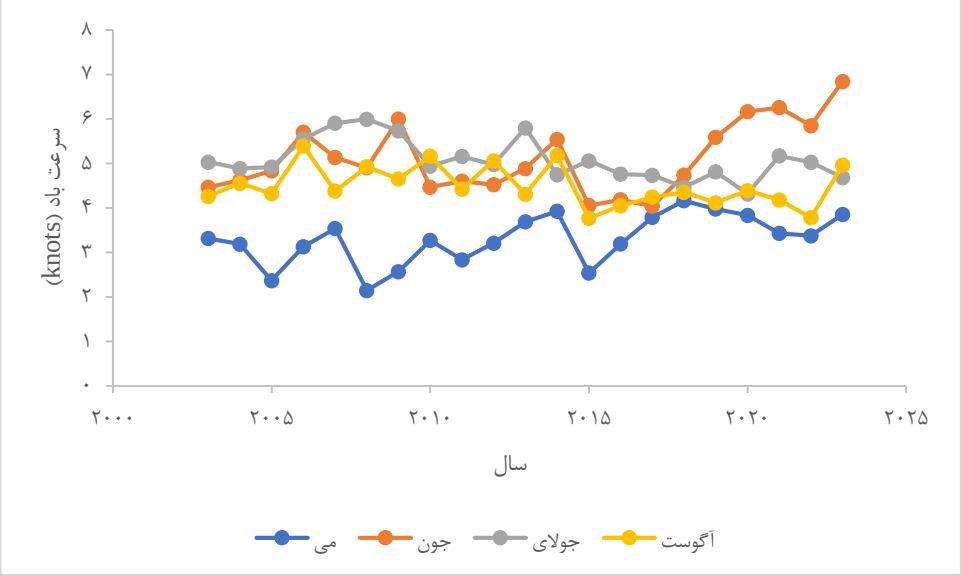
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

۵-۴- باد

جدول ۳ نمای کلی از نوع و میزان بادهای غالب در شهرهای مختلف استان سمنان را نشان می دهد. در شهرستان سمنان ۳۵ درصد بادها آرام است که باد غالب از سمت شمال غربی با سرعت ۶/۹ تا ۱۰/۸ گره (نات) و متوسط سرعت آن ۱۱/۴ گره می باشد. شهرستان شاهرود وزش بادهای آرام ۳۴ درصدی را تجربه می کند که باد غالب از شمال شرقی با سرعت ۱۰/۸ تا ۱۵/۱ گره می وزد که در نتیجه متوسط سرعت باد ۱۶/۹ گره می باشد. شهرستان گرمسار دارای ۴۲ درصد وزش باد آرام است که باد غالب از سمت غرب به بیش از ۲۱/۹ گره و متوسط سرعت باد ۱۵/۷ گره می رسد. در شهرستان بیارجمند ۴۴ درصد وزش باد آرام است و وزش باد غالب از سمت شمال شرق با سرعت ۱۶/۹ تا ۲۰/۹ گره به متوسط ۱۲ گره می باشد. شهرستان دامغان دارای وزش بادهای آرام ۲۰ درصد است که باد غالب از سمت شمال غربی با سرعت بیش از ۲۱/۹ گره دریایی به میانگین ۱۶/۳ گره می وزد. شکل ۸ تغییرات سرعت باد را در ماه های خشک سال به تصویر می کشد.

جدول ۳ ویژگی های باد منطقه

ردیف	نام شهرستان	درصد بادهای آرام	جهت باد غالب	میانگین سرعت باد غالب (گره)
۱	سمنان	۳۵	شمال غربی	۱۱,۵
۲	شاهرود	۳۴	شمال شرقی	۱۶,۹
۳	گرمسار	۴۲	غرب	۱۵,۷
۴	بیارجمند	۴۴	شمال شرقی	۱۲,۰
۵	دامغان	۲۰	شمال غربی	۱۶,۳



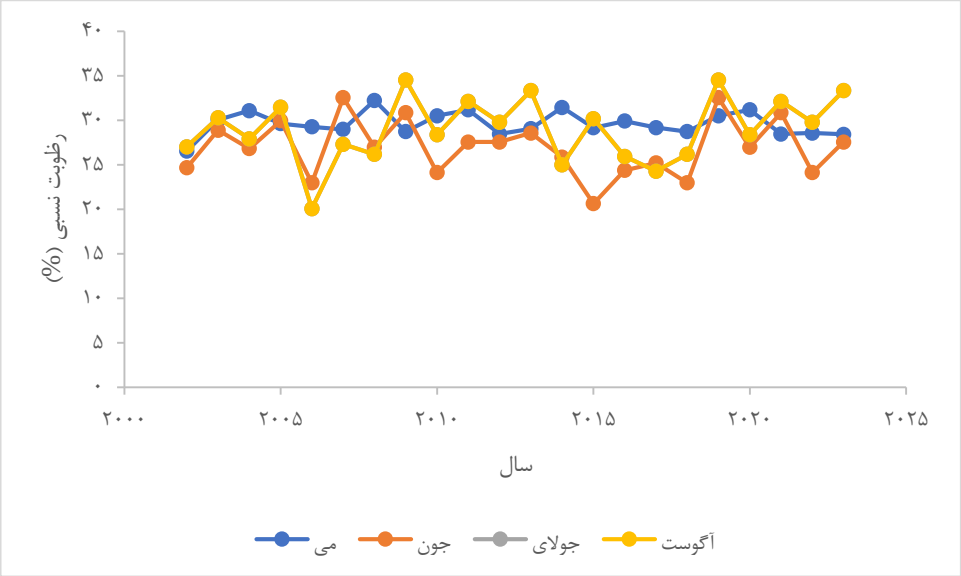
شکل ۸ تغییرات سرعت باد در ماه های خشکسال در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۶-۴- رطوبت نسبی هوا

برای تجزیه و تحلیل تغییرات رطوبت نسبی، داده‌های پنج ایستگاه سینوپتیک استان در طول دوره مورد مطالعه در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. رطوبت نسبی هوا یکی از متغیرهای مهم در ارزیابی شرایط آسایش اقلیمی و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

پتانسیل تبخیر است. در ماه‌های خشک سال، این شاخص معمولاً در سطح پایین قرار دارد و نوسانات آن تحت تأثیر دمای حداکثر و میزان بارندگی قرار می‌گیرد. کاهش رطوبت نسبی می‌تواند منجر به افزایش تبخیر سطحی و تشدید فشار زیستی بر اکوسیستم‌های طبیعی شود. تحلیل رفتار این متغیر در ترکیب با تبخیر و تعرق می‌تواند چشم‌انداز مناسبی برای مدیریت بحران خشکسالی ارائه دهد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی استان، میانگین تغییرات رطوبت نسبی ماهیانه (می تا آگوست) در استان سمنان در این بازه زمانی تقریباً ۲۸/۸۲ درصد است. براساس نتیجه به دست آمده در ماه های گرم رطوبت نسبی هوا کاهش یافته و بر پوشش گیاهی اثر منفی دارد. شکل ۹ تغییرات رطوبت نسبی استان سمنان را بر اساس داده های پنج ایستگاه نشان می دهد.



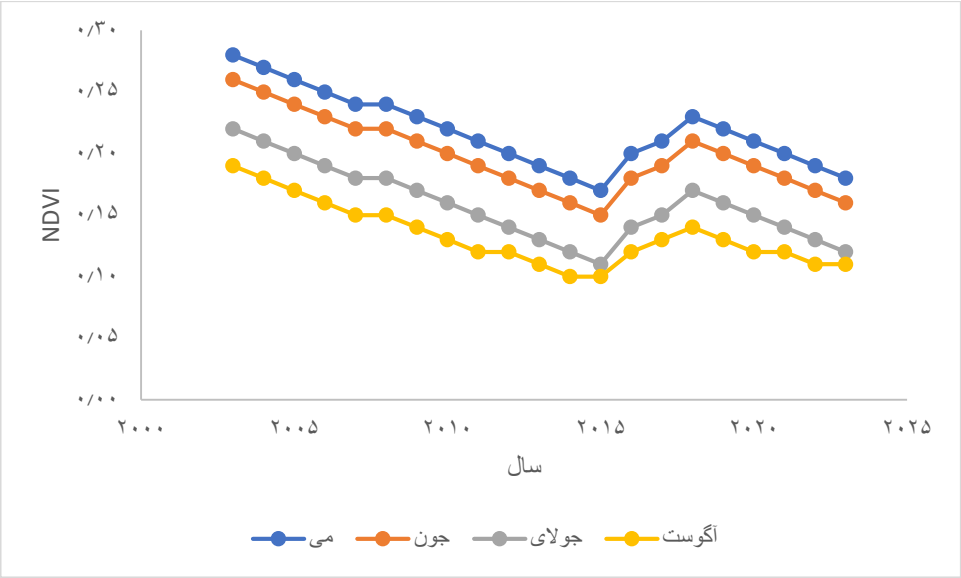
شکل ۹ تغییرات رطوبت نسبی هوا در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۷-۴- شاخص نرمال پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص نرمال تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در سنجش سلامت زیستی اکوسیستم‌ها در مناطق خشک شناخته می‌شود. در تحلیل روند این شاخص، نشانه‌هایی از واکنش مستقیم پوشش گیاهی نسبت به تغییرات بارندگی، دما و میزان رطوبت نسبی مشاهده می‌شود. مقادیر بالای NDVI در برخی سال‌ها نشان‌دهنده شرایط مناسب رشد گیاهان بوده، در حالی که افت ناگهانی آن در بعضی دوره‌ها می‌تواند بیانگر وقوع خشکسالی یا تخریب زیست‌محیطی باشد. این شاخص در مطالعات پایش محیط‌زیست و مدل‌های پیش‌بینی پوشش گیاهی ارزش بالایی دارد. براساس نتایج به دست آمده از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) نشان داد که پوشش گیاهی در ماه های گرم سال یعنی از ماه می تا آگوست نسبت به بقیه ماه های سال کاهش داشته است به طوری که بیشترین میزان پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۰/۲۸ در ماه جولای بیشترین پوشش گیاهی را در بین ماه های خشک سال داشته است. در حالی که پایین‌ترین سطح ۰/۱ در سال ۲۰۱۵ مشاهده شد (شکل ۱۴).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



شکل ۱۰ تغییرات شاخص نرمال پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

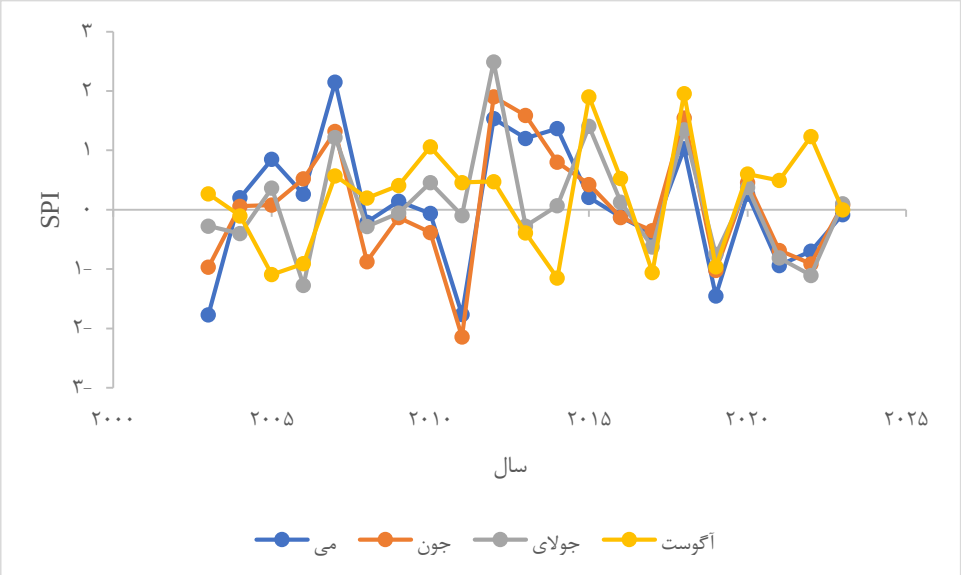
۸-۴- شاخص استاندارد بارندگی (SPI)

در ماه می، مقادیر SPI به طور کلی در محدوده خنثی تا مرطوب ضعیف قرار دارند و در اکثر سال‌ها از مرز خشکسالی عبور نکرده‌اند. این موضوع حکایت از آن دارد که علی‌رغم شرایط خشک، بارندگی در این ماه همچنان نقش مؤثری در حفظ توازن رطوبتی ایفا کرده است. در ماه جون، افزایش نسبی مقدار SPI مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده بهبود شرایط بارشی در بازه‌هایی از سال‌های مورد بررسی است. چنین شرایطی می‌تواند منجر به افزایش ذخیره رطوبت خاک و کاهش تنش زیستی شود، به‌ویژه در مناطق تحت فشار اقلیمی. ماه جولای، با دارا بودن بیشترین مقدار SPI در برخی سال‌ها، به‌عنوان دوره‌ای با توان رطوبتی بالا شناخته می‌شود. این افزایش در شاخص معمولاً هم‌زمان با رشد پوشش گیاهی و تقویت شاخص NDVI مشاهده شده است. رفتار SPI در این ماه انعکاسی از تمرکز بارش‌های فصلی و تأثیرات مثبت آن بر اکوسیستم منطقه‌ای است. در ماه آگوست نیز شاخص SPI در محدوده مثبت قرار دارد اما با نوسانات بیشتر نسبت به سایر ماه‌ها. در برخی دوره‌ها، کاهش مقدار شاخص به‌گونه‌ای بوده که هشدارهای اولیه برای آغاز دوره خشکسالی ضعیف ثبت شده‌اند. چنین تغییراتی اهمیت پایش دقیق این شاخص را در پیش‌بینی مخاطرات طبیعی دوچندان می‌کند. با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI)، استان سمنان با مقدار ۰/۵۹ در شرایط نرمال طبقه بندی شده است. شکل ۱۱ تغییرات خشکسالی استان را بر اساس نوسانات SPI ارائه می دهد. یافته های تحقیق نشان می دهد که ایستگاه دامغان با ۰/۱۵- در رده خشکسالی متوسط قرار می گیرد، در حالی که ایستگاه های گرمسار، سمنان و شاهرود به ترتیب دارای مقادیر ۰/۷۷، ۰/۹۱ و ۰/۲۶ هستند که آن‌ها را در حالت نرمال قرار می دهد. بیشترین مقدار خشکسالی در ماه جون (تیر) بوده است. دسته بندی خشکسالی همچنین ایستگاه بیارجمند طبق جدول ۴ دارای بارندگی متوسط با مقدار ۱/۱۵ است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

جدول ۴. طبقه بندی خشکسالی براساس ایستگاه‌های استان سمنان

ردیف	نام ایستگاه	SPI	طبقه خشکسالی
۱	بیارجمند	۱/۱۵	ترسالی متوسط
۲	دامغان	-۰/۱۵	خشکسالی متوسط
۳	گرمسار	۰/۷۷	نرمال
۴	سمنان	۰/۹۱	نرمال
۵	شاهرود	۰/۲۶	نرمال

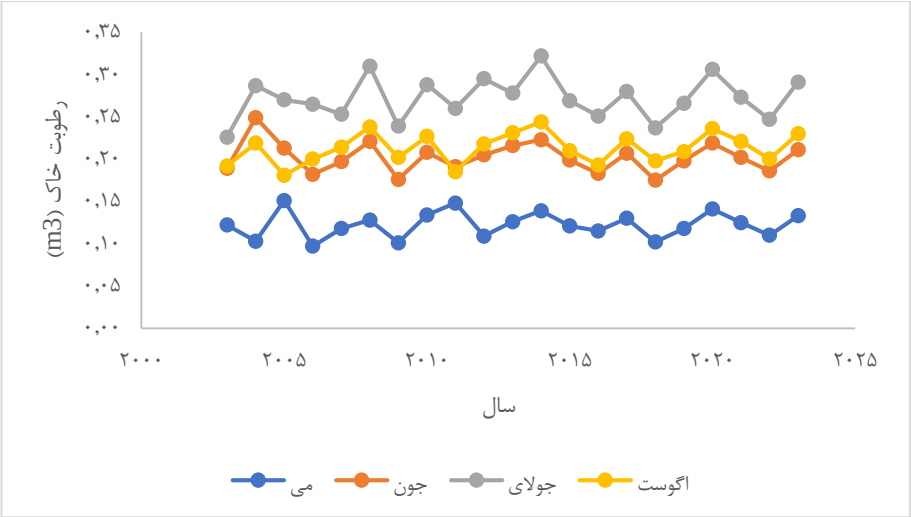


شکل ۱۱ تغییرات شاخص استاندارد بارندگی براساس ماه های خکسال در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۹-۴- رطوبت خاک

داده‌های موجود در فایل نشان می‌دهند که در برخی سال‌ها، حتی در ماه‌های خشک، مقادیر رطوبت خاک به‌طور معناداری افزایش یافته‌اند. این افزایش معمولاً هم‌زمان با بارش‌های فصلی یا بهبود شاخص SPI رخ داده و از نظر زیست‌محیطی می‌تواند نقش حیاتی در جلوگیری از افت پوشش گیاهی ایفا کند. در مقابل، دوره‌هایی با افت بارندگی، دمای بالا و تبخیر شدید، موجب کاهش محسوس رطوبت خاک شده‌اند که پیامدهای مستقیمی برای زوال گیاهان، تشدید فرسایش خاک، و کاهش کارایی سیستم‌های آبیاری داشته‌اند. تجزیه و تحلیل تصاویر پایگاه داده ERA5 روند رطوبت خاک استان سمنان را از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ نشان داد که به طور متوسط ماهیانه (می تا آگوست) مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از آن است که میانگین رطوبت حجمی خاک برابر با ۰/۱۷ مترمکعب آب در هر مترمکعب خاک ($0.17\ m^3/m^3$) بود. همچنین بیشترین میزان رطوبت خاک در ماه جولای (مرداد) در سال ۲۰۱۴ ثبت گردیده است. شکل ۱۲ تغییرات رطوبت خاک را در طول دوره ۲۰۰۳-۲۰۲۳ نشان می دهد.

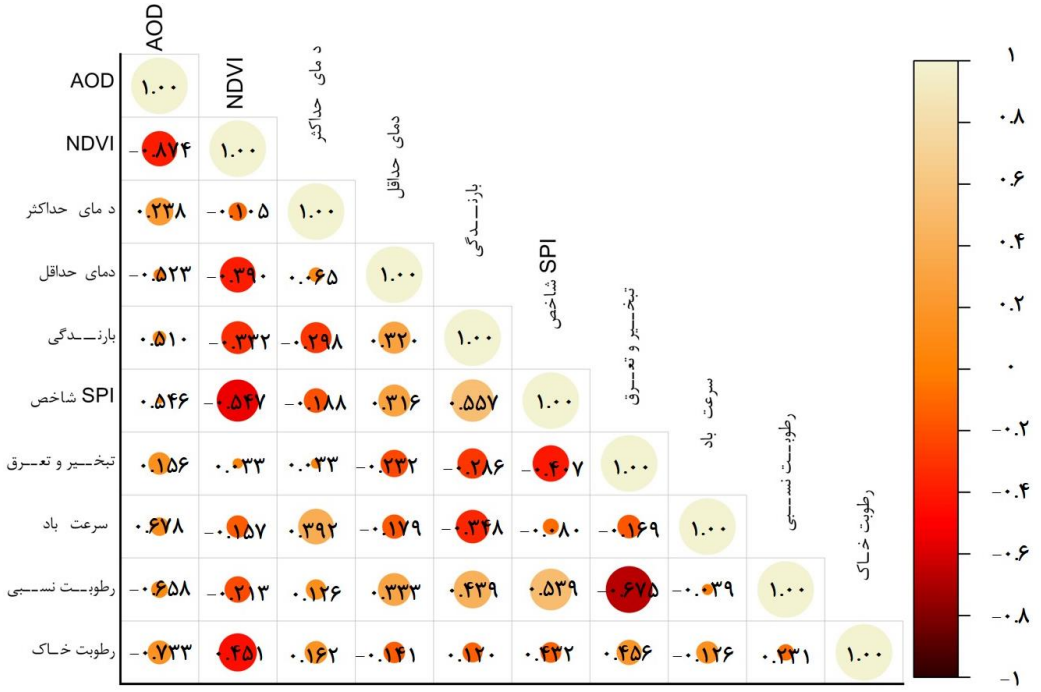
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



شکل ۱۲ تغییرات رطوبت خاک استان سمنان براساس ماه های خشک سال در بازه زمانی۲۰۰۳-۲۰۲۳ در استان سمنان

۱۰-۴- همبستگی گرد و غبار با عوامل محیطی

بررسی همبستگی گرد و غبار با عوامل محیطی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که NDVI، رطوبت خاک، سرعت باد و رطوبت نسبی هوا قوی‌ترین همبستگی‌ها را با AOD دارند (شکل ۱۳).

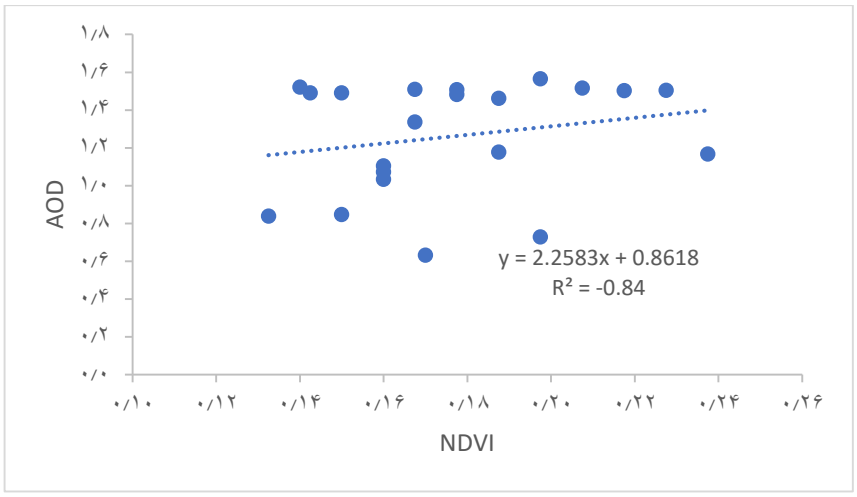


شکل ۱۳ ضرایب همبستگی پیرسون گرد و غبار و عوامل محیطی

۱۱-۴- بررسی رابطه خطی بین گرد و غبار و عوامل محیطی

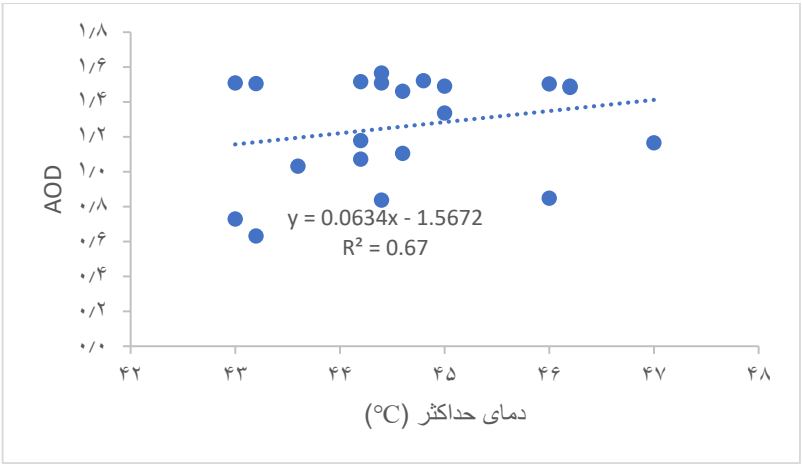
بررسی رابطه خطی میان AOD و عوامل محیطی مورد بررسی (شکل‌های ۱۴ تا ۲۲) نشان داد که بیشترین ضریب تشخیص این روابط مربوط به NDVI ۰/۹۱-، رطوبت خاک ۰/۸۲-، دمای حداقل ۰/۷۹-، رطوبت نسبی هوا ۰/۷۲- ، حداکثر دما ۰/۶۷ ، سرعت باد ۰/۶۴، بارندگی ۰/۶۳ و SPI ۰/۶۰بود. همچنین در تمامی عوامل اثرگذار بر AOD براساس ماه‌های مذکور (می تا آگوست) صورت گرفته است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



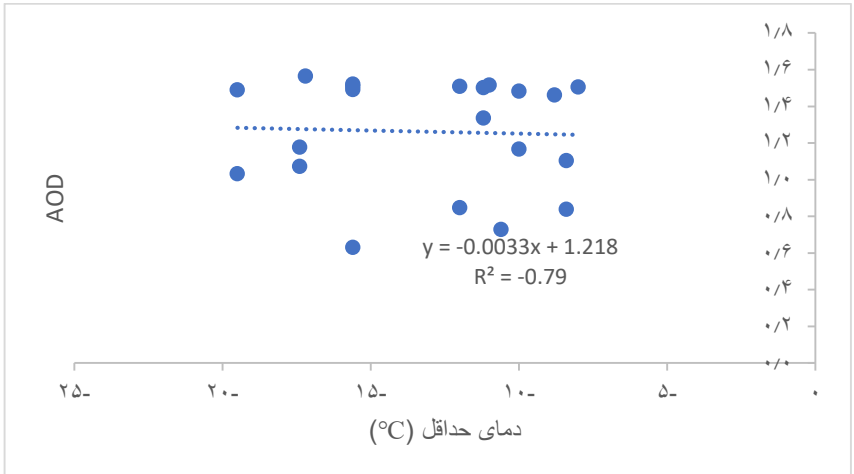
شکل ۱۴ رابطه خطی بین شاخص NDVI و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین پوشش گیاهی (NDVI) و غلظت ذرات معلق (AOD) است. با کاهش NDVI، مقدار AOD افزایش می‌یابد، که بیانگر نقش پوشش گیاهی در کاهش تراکم آئروسل است.



شکل ۱۵رابطه خطی بین دمای حداکثر و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

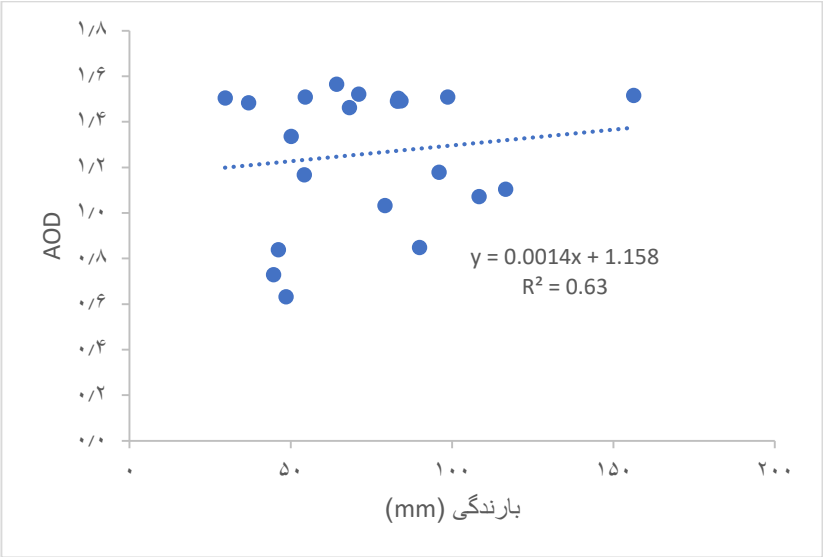
این نمودار نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین دمای حداکثر و غلظت ذرات معلق (AOD) است. با افزایش دما، مقدار AODنیز افزایش یافته که می‌تواند ناشی از کاهش رطوبت خاک، افزایش تبخیر و تشدید شرایط گردوغبار باشد.



شکل ۱۶ رابطه خطی بین دمای حداقل و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

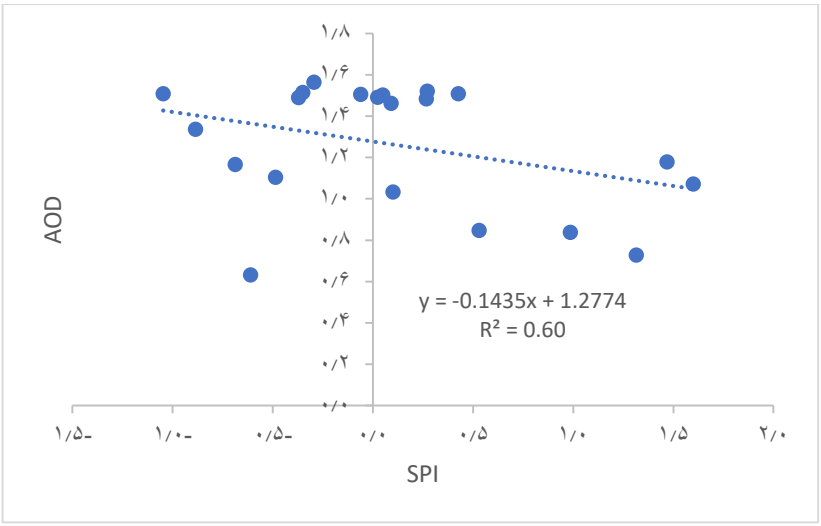
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین دمای داخل و غلظت ذرات معلق (AOD) است. با افزایش دمای داخل، مقدار AODکاهش یافته که ممکن است به‌دلیل تأثیرات غیرمستقیم شرایط اقلیمی بر توزیع ذرات معلق باشد.



شکل ۱۷ رابطه خطی بین میزان بارندگی و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین بارندگی و غلظت ذرات معلق (AOD) است. با افزایش بارندگی، مقدار AODکاهش یافته که بیانگر نقش بارش در ته‌نشینی ذرات و کاهش آلودگی هواست.

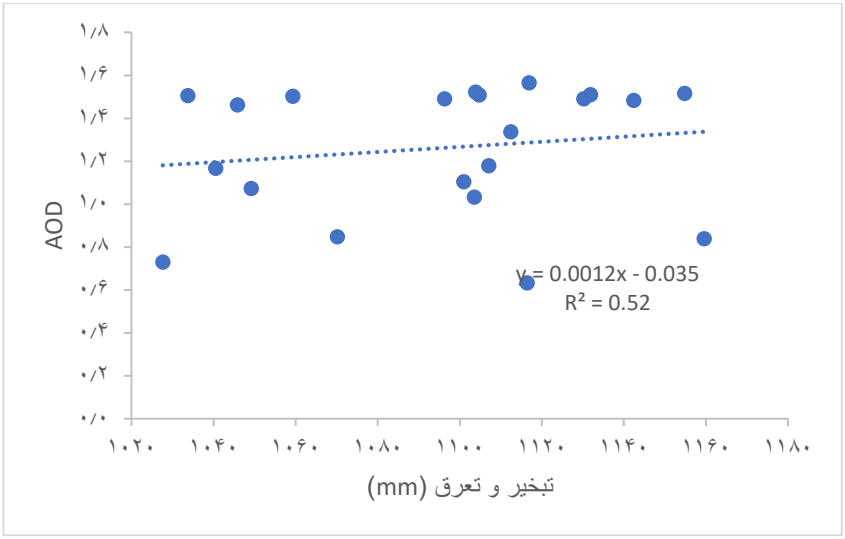


شکل ۱۸ ابطه خطی بین شاخص بارش استانداردشده (SPI) و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین شاخص SPI و غلظت ذرات معلق (AOD) است. کاهش مقادیر SPI که بیانگر شرایط خشکسالی است، با افزایش AOD همراه بوده و نشان‌دهنده تشدید گردوغبار در دوره‌های کم‌بارش است.

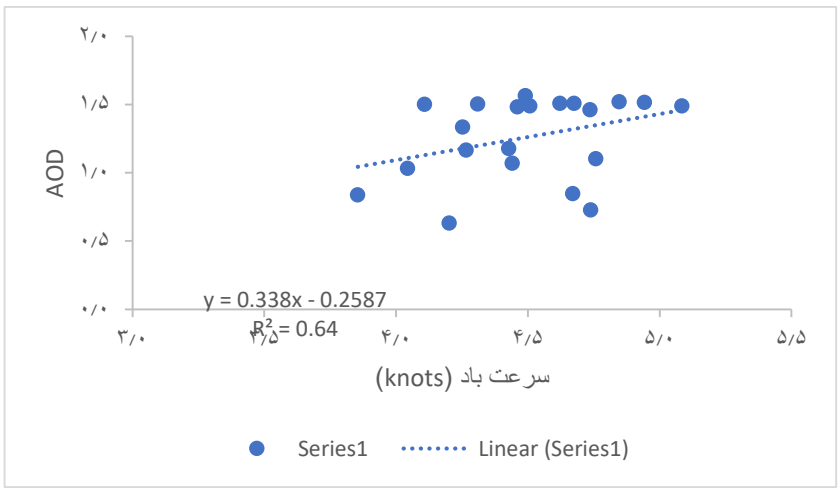
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]



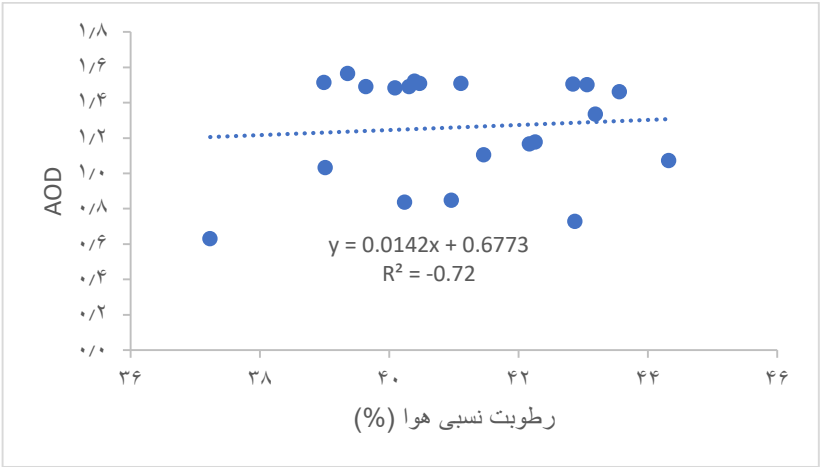
شکل ۱۹ رابطه خطی بین شاخص تبخیر و تعرق (mm) و عمق نوری آئروسل(AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین تغییرات سطحی و غلظت ذرات معلق (AOD) است. افزایش مقادیر شاخص تبخیر و تعرق با افزایش AOD همراه بوده که می‌تواند بیانگر نقش فرسایش سطحی در تشدید گردوغبار باشد



شکل ۲۰ رابطه خطی بین سرعت باد و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین سرعت باد و غلظت ذرات معلق (AOD) است. افزایش سرعت باد با افزایش AODهمراه بوده که می‌تواند ناشی از جابجایی ذرات گردوغبار و تشدید انتقال آئروسل‌ها در سطح منطقه باشد

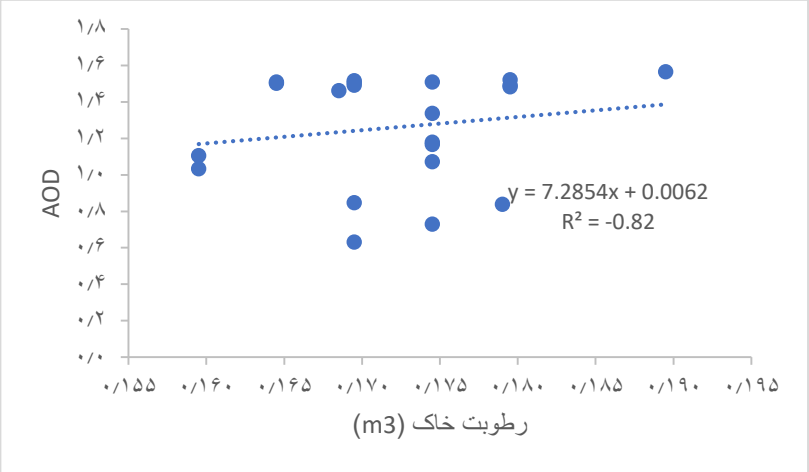


[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

شکل ۲۱ ابطه خطی بین رطوبت نسبی هوا (٪) و عمق نوری آئروسل (AOD) در استان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین رطوبت نسبی و غلظت ذرات معلق (AOD) است. با افزایش رطوبت نسبی، مقدار AOD کاهش یافته که می‌تواند ناشی از ته‌نشینی ذرات در شرایط مرطوب‌تر باشد.



شکل ۲۲ رابطه خطی بین رطوبت خاک (m^3) و عمق نوری آئروسل (AOD) دراستان سمنان

این نمودار نشان‌دهنده همبستگی منفی بین رطوبت خاک و غلظت ذرات معلق (AOD) است. کاهش رطوبت خاک با افزایش AOD همراه بوده که بیانگر نقش خشکی سطح زمین در تشدید گردوغبار و افزایش تراکم آئروسل‌هاست.

۵- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، ارتباط شاخص عمق نوری آئروسل (AOD) با عوامل محیطی شامل پوشش گیاهی، رطوبت خاک، سرعت باد و روندهای خشکسالی در استان سمنان طی بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی، ارائه تصویری دقیق از الگوهای فضایی و زمانی گردوغبار و شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر آن برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی‌های محیطزیستی و اقلیمی در سطح منطقه‌ای بود. استان سمنان به دلیل شرایط خشک و نیمه‌خشک و وقوع مکرر گردوغبار به‌عنوان منطقه مطالعه انتخاب شد. نتایج نشان داد که شاخص AOD در طول دو دهه روند معناداری داشته و تحت تأثیر تغییرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک قرار دارد. کاهش تراکم پوشش گیاهی و خشکی خاک، به ویژه در جنوب شرق و جنوب غرب استان، موجب افزایش میزان گردوغبار شد. این یافته‌ها با مطالعات Pourhashemi و همکاران (۲۰۱۵) و Sohrabi و همکاران (۲۰۱۹) هم‌راستا است و نشان می‌دهد که کاهش پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از عوامل کلیدی افزایش AOD است. بیشترین مقادیر AOD در مناطق جنوب شرق و جنوب غرب استان مشاهده شد؛ مناطقی با پوشش گیاهی تنک و خاک مستعد فرسایش. علاوه بر عوامل طبیعی، فعالیت‌های انسانی محدود مانند کشاورزی و چرای دام نیز ممکن است اثر محلی افزایش گردوغبار را تشدید کنند. این نتایج با مطالعات Mohammadi و همکاران (۲۰۲۳) و Nasri و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. NDVI و رطوبت خاک بیشترین همبستگی منفی با AOD و سرعت باد همبستگی مثبت داشتند. این نشان می‌دهد که کاهش پوشش گیاهی، خشکی خاک و بادهای شدید شرایط مناسبی برای افزایش گردوغبار فراهم می‌کنند، همان‌طور که در تحقیقات پیشین مشاهده شده است (Mohammadi و همکاران، ۲۰۲۳؛ Nasri و همکاران، ۲۰۲۳). بیشترین رخدادهای گردوغبار در ماه جولای (خرداد تا تیر) اتفاق افتاده و سال‌های دارای خشکسالی شدید، شاخص AOD بالاتری را نشان دادند. این هم‌زمانی با اوج گرمای تابستان و کاهش رطوبت خاک شرایط مساعدی برای شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار ایجاد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

می‌کند. این یافته‌ها با مطالعات Namdari و همکاران (۲۰۱۶) و Kazemi و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد و نشان‌دهنده اثر مستقیم شدت و طول دوره‌های خشکسالی بر گردوغبار در استان سمنان است. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش گیاهی، رطوبت خاک، بادهای شدید و خشکسالی از عوامل کلیدی مؤثر بر شدت گردوغبار در استان سمنان هستند. بهره‌گیری از داده‌های بلندمدت MODIS و سامانه‌های پایش ماهواره‌ای مانند Google Earth Engine امکان تحلیل مکانی و زمانی دقیق‌تر را فراهم می‌کند و می‌تواند به مدیریت پایدار منابع طبیعی، حفظ پوشش گیاهی، بهبود مدیریت منابع آب و اقدامات پیشگیرانه در کاهش شدت گردوغبار کمک کند. یکی از محدودیت‌های این مطالعه، فقدان داده‌های تغییرات کاربری اراضی برای ارزیابی مستقیم اثر فعالیت‌های انسانی بر شاخص AOD بود. مطالعات آینده می‌توانند با افزودن داده‌های کاربری اراضی، نقش فعالیت‌های انسانی را در مقایسه با عوامل محیطی بهتر بررسی کنند.

۷- منابع

1. Alizadeheh, T., Goodarzi, G., & Rostamzadeh, H. (2020) Prediction of dust storm using artificial neural networks in Kermanshah. Applied researches in Geographical Sciences, 25(78), 278-297. doi:10.61186/jgs.25.78.3. (In Persian).
2. Barbosa, H. A., & Kumar, T. L. (2016). Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. Journal of Arid Environments, 124, 377-387.doi: 10.1016/j.jaridenv.2015.08.015.
3. Bayat, R., Iranmanesh, F., & Kazemi, R. (2020). Investigating the impact of dust storms on the vegetation of Shadgan wetland. Environment and Water Engineering, 7(1), 1-13. doi: 10.22034/jewe.2020.246746.1414. (In Persian)
4. Birtwistle, A. N., Laituri, M., Bledsoe, B., & Friedman, J. M. (2016). Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes. Journal of arid environments, 131, 15-24.doi: 10.1016/j.jaridenv.2016.04.004.
5. Blaes, X., Chomé, G., Lambert, M. J., Traoré, P. S., Schut, A. G., & Defourny, P. (2016). Quantifying fertilizer application response variability with VHR satellite NDVI time series in a rainfed smallholder cropping system of Mali. Remote sensing, 8(6), 531. doi:10.3390/rs8060531.
6. Boroughani, M., Pourhashemi, S. and Zarei, M. (2022). Identification of Dust Source Areas and its Characteristics in Eastern Iran. Desert Ecosystem Engineering, 8(25), 39-52. doi: 10.22052/deej.2018.7.25.1. (In Persian).
7. Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley Jr, J. A., Hansen, J. E., & Hofmann, D. J. (1992). Climate forcing by anthropogenic aerosols. Science, 255(5043), 423-430. doi:10.1126/science.255.5043.423.
8. Dangayach, R., & Pandey, A. K. (2024). Unraveling the Complex Relationships Between Aerosol Optical Depth and Temperature: A Review. Aerosol Optical Depth and Precipitation: Measuring Particle Concentration, Health Risks and Environmental Impacts, 1-18. doi: 10.1007/978-3-031-55836-8_1.
9. Dargahian, F., & Lotfinasabasl, S. (2020). Identify trend of changes climatic zones in the watersheds leading to dust source in Khuzestan Province (Karkheh, Karoun and Zohreh-Jarahi). Iranian Journal of Range and Desert Research, 27(2), 300-320. doi:10.22092/ijrdr.2020.127555.1894. (In Persian).
10. Dargahian, F., Lotfinasabasl, S., & Razavizadeh, S. (2019). Factors affecting on the event of sandstorms and dust in Zabul with emphasis on the role of low pressure of Pakistan, Case Study July 2016. Iranian Journal of Range & Desert Research, 26(4). doi: 10.22092/ijrdr.2019.120680. (In Persian).
11. Davoudi, E, Ghasemieh, H, Abdulahi, Kh, Batlan, A. (2018). Evaluation of temporal-spatial changes in soil moisture balance using Torrent-White-Matter method (case study: Behesht Abad watershed). Remote sensing and geographic information system in natural resources, 9(1), 74-92. (In Persian).
12. de Leeuw, G., Fan, C., Li, Z., Dong, J., Li, Y., Ou, Y., & Zhu, S. (2022). Spatiotemporal variation and provincial scale differences of the AOD across China during 2000–2021. Atmospheric Pollution Research, 13(4), 101359. doi: 10.1016/j.apr.2022.101359.
13. Deniz, A., Toros, H., & Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. International Journal of climatology, 31(3), 394-403. doi:10.1002/joc.2081.
14. Dinarvand, M., Alimahmodi Sarab, S., Arami, S. A., & Heidari, K. (2021). The trend of temporal changes in vegetation in the dust center of South Ahvaz (Case study: Hanitieh area of Karun city). Journal of Plant Biological Sciences, 13(3), 81-94. doi: 10.22108/ijpb.2022.128361.1249. (In Persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

15. Farhadi, S., Mohammad Asgari, H., Dadolahi Sohrab, A., Nazemosadat, S. M. J. and Khazaei, H. (2018). Separation of Aerosol Optical Depth from the cloud and sediments in marine areas using satellite data. Environmental Researches, 9(17), 175-186. (In Persian)
16. Fasih-Ramandi, F., Sadigzadeh, A., Jafari, M. J., & Khodakarim, S. (2021). Determination of Aerosol Particle Size Distribution using Electrical Differential Mobility Analyzer (DMA). Journal of Health and Safety at Work, 11(1), 92-105. (In Persian).
17. Ghadamkheir, M. S., Borna, R., Morshedi, J., & Ghorbanian, J. (2025). Revealing the role of changes in vegetation cover and soil moisture in the annual distribution of dust events in Khuzestan province. Climate Change Research, 5(17), 17-30. doi: 10.30488/ccr.2024.422066.1168. (In Persian).
18. Goldani, M., Danesh, S. and Shad, R. (2024). Investigating the Impact of PM10 on NDVI Changes Based on Satellite Image Processing in Khuzestan Province. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 18(3), 477-488. (In Persian)
19. Harati, H., Kiadaliri, M., Tavana, A., Rahnavard, A., & Amirnezhad, R. (2023). Relationship between Changes in Water Body and Vegetation in the Eastern of Lake Urmia with the Phenomenon of Dust Storms. Journal of Civil and Environmental Engineering, 53.1(110), 44-54. doi: 10.22034/jcee.2020.41595.1961. (In Persian)
20. He, P., Liang, J., Qiu, Y., Li, Q., & Xing, B. (2020). Increase in domestic electricity consumption from particulate air pollution. Nature Energy, 5(12), 985-995.
21. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999-2049. doi:10.1002/qj.3803.
22. Hoseini Tabesh, S. , Aghashariatmadari, Z. and Hejabi, S. (2022). Assessment of MODIS Data in Monitoring the Concentrations of PM2.5 and PM10 Pollutants with Emphasis on Meteorological Variables. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(12), 2967-2983. doi: 10.22059/ijswr.2022.330907.669082. (In Persian)
23. Kaufman, Y. J., Koren, I., Remer, L. A., Rosenfeld, D., & Rudich, Y. (2005). The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(32), 11207-11212. doi: 10.1073/pnas.0505191102.
24. Kazemi, M., Nafarzadegan, A. R., & Mohammadi, F. (2021). Investigation of the relationship between maximum dust and climatic variables using remote sensing data (Case study: Hormozgan province). Iranian Journal of Range & Desert Research, 27(4). doi:10.22092/IJRDR.2020.123154. (In Persian).
25. Marmaziy, M., charchi, A., & hashemi, S. A. (2023). Investigating the effect of suspended particles on ground surface temperature and vegetation cover in Khuzestan province in a long period of time (2000-2020). Advanced Applied Geology, 13(3), 794-813. doi: 10.22055/aag.2023.43144.2347. (In Persian).
26. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
27. Mohammadi, H., Bazrafshan, J., & Liaghat, A. (2023). Correlation analysis of drought-dust and its relationship with vegetation changes in Khuzestan province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 54(10), 1447-1465. doi: 10.22059/ijswr.2023.364328.669560. (In Persian)
28. Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. Arabian Journal of Geosciences, 9, 1-11. doi:10.1007/s12517-015-2029-7.
29. Nasry, M., Rahimi, M., & Damavandi, A. A. (2023). Investigating the trend of dust storms by DSI anomaly in southeast Iran and its relationship with the NDVI index. Journal of Arid Biome, 13(2), 17-33. doi: 10.29252/aridbiom.2024.20371.1948. (In Persian)
30. Nesari, H., Shah-Hosseini, R., Goodarzi, A., Sobhan Ardakani, S. and Farzaneh, S. (2024). Aerosol optical depth retrieval using Landsat 8 satellite imagery - Case study: City of Tamanrasset, Algeria. Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 33(129), 21-37. doi: 10.22131/sepehr.2023.549754.2853. (In Persian).
31. Nikdad, P., Mohammadi Ghaleni, M., & Moghaddasi, M. (2023). Evaluation of surface soil moisture of global products using measured data in different climates of Iran. Journal of Water and Soil Conservation, 30(3), 127-146. doi: 10.22069/jwsc.2024.21470.3659. (In Persian)
32. Omara, M. O., Ramroudi, M., Rashki, A., Galavi, M., & Jabbari, M. (2021). Evaluation of dust effects on leaf, cluster and yield of palm trees (case study, Saravan). Iranian Journal of Range and Desert Research, 28(2), 357-368.doi: 10.22092/ijrdr.2021.124171. (In Persian)
33. Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M. A., & Amir Ahmadi, A. (2015). Analysis relation of vegetation cover on the number of dust event in Khorasan Razavi using geographic information system and remote sensing. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 6(4), 33-45. (In Persian)
34. Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M.A., & Amir Ahmadi, A. (2016). Analysis Relation of Vegetation Cover on the Number of Dust etvent in Khorasan Razavi Using Geographic Information System

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]

and Remote Sensing. Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science), 6(4), 33-45. (In Persian)

35. Salajegheh, S., & Eskandari Damaneh, H. (2024). Examining the Spatial and Temporal Relationships among Aerosol Optical Depth, Soil Moisture, and Wind Speed from 2000 to 2024 (Case Study: Western Iran). Desert, 29(2), 314-326. doi: 10.22059/jdesert.2024.100917. (In Persian)
36. Sohrabi, T., Vali, A. A., Ranjbar Fordoei, A., & Mousavi, S. H. (2019). Quantitative analysis of vegetation feedback on the occurrence of dust in arid ecosystems (Case study: Isfahan province). Journal of Range and Watershed Managment, 71(4), 973-985.doi: 10.22059/jrwm.2019.273257.1337. (In Persian).
37. Soleimani Sardoo, F., Karami, S., Hoseinhamzeh, N. (2021) Determining and analyzing the temporal and spatial trend of dust and its effect on vegetation and precipitation (Case study of Jazmourian Basin). Environmental Erosion Research Journal, 11(3), 64-81. doi: 20.1001.1.22517812.1400.11.3.7.9. (In Persain)
38. Tamassoki1, E., Khoorani, A., Dervishi Bolorany, A., & noheghar, A. (2016). Dust storms monitoring and predicting, using remote sensing, geographic information systems and observational data based on NDVI and climate elements A Case Study :(South and South East of Iran). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 7(4), 27-44. (In Persian)
39. Teimouri, S., Jalili, A., Khosroshahi, M., Dargahian, F., & Razavizadeh, S. (2023). Investigation of Hendijan Basin Land Cover Changes, Leading to Dust Sources of Khuzestan. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 20(2), 300-316. doi: 10.22092/ijfrpr.2023.356110.1512. (In Persian)
40. Wang, D., Zhang, F., Yang, S., Xia, N., & Ariken, M. (2020). Exploring the spatial-temporal characteristics of the aerosol optical depth (AOD) in Central Asia based on the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS). Environmental monitoring and assessment, 192, 1-15. doi: 10.1007/s10661-020-08299-x.
41. Wang, P., Tang, Q., Zhu, Y., He, Y., Yu, Q., Liang, T., & Zheng, K. (2022). Spatial-temporal variation of AOD based on MAIAC AOD in East Asia from 2011 to 2020. Atmosphere, 13(12), 1983. doi: 10.3390/atmos13121983.
42. Yousefi Mobarhan, E., & Khaleghi, A. (2024). Analyzing the Trend of Changes in the Dust Storm Index (DSI) and Its Relationship with the Meteorological Drought in the Arid Climate (Case Study: Semnan Province). Environmental Sciences, 22(2), 289-304. doi: 10.48308/envs.2024.1369. (In Persian)
43. Zhang, F. (2023). Factors Influencing the Spatio–Temporal Variability of Aerosol Optical Depth over the Arid Region of Northwest China. Atmosphere, 15(1), 54. doi: 10.3390/atmos15010054.
44. Zheng, Y., Davis, S. J., Persad, G. G., & Caldeira, K. (2020). Climate effects of aerosols reduce economic inequality. Nature Climate Change, 10(3), 220-224. doi:10.1038/s41558-020-0699-y.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.88]