

Temporal and Spatial Variations of Dust Days in Western Azarbaijan Province, Determination of The Influencing Factors and Source of Events

B. Choubin^{1*}, F. Sajedi Hosseini², O. Rahmati³, M. Mehdizadeh Youshanloei⁴, M. Jalali⁴

1. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.
2. PhD, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran.
4. Research Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

* Corresponding Author: b.choubin@areeo.ac.ir

Received date: 16/03/2022

Accepted date: 21/05/2022

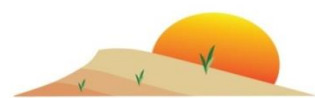
 [10.22034/JDMAL.2022.550729.1378](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550729.1378)

Abstract

In addition to the increase in prone areas to wind erosion processes in western Azarbaijan province due to the drying of Lake Urmia, there is a growing concern regarding the intensification of dust storms. Considering the impacts of this phenomenon on the environment, public health, agriculture, and transportation sections, more detailed studies on its source, severity, and frequency is necessary. Therefore, this study was designed to assess the temporal and spatial changes of dust storm events using satellite data, to detect the dust source, and to analyze the factors affecting the occurrence of dust storms in western Azarbaijan province. Analysis of the number of dusty days using the MODIS-AOD product indicated that the years 2003, and 2008 to 2012 were the dust storm peaks during the period 2000-2020 at western Azarbaijan province. Most dust storm events have occurred in summer and spring seasons, and monthly changes indicate the maximum dust storm between March and October. Trend analysis indicated that there was no significant trend in AOD and dust storm events. Among vegetation and climate variables, there is a significant relationship between AOD and wind speed (i.e., the correlation is about 64%). Spatially, dust storms occur more frequently along the shores of Urmia Lake (mostly in the east and south and slightly in the west). Southern areas of the province reported a higher frequency of dust event than the central and northern parts of the province. Due to the direction of the prevailing wind, it seems to be most affected by dust storms coming from the neighboring country of Iraq, however, the areas around the Lake Urmia are the inner source of dust storms.

Keywords: Dust source; Aerosol; Wind erosion; MODIS; Urmia





بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخدادهای گرد و غبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشاء

بهرام چوبین^{۱*}، فرزانه ساجدی حسینی^۲، امید رحمتی^۳، منصور مهدیزاده یوشانلوئی^۴، محمد جلالی^۴

۱. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
 ۲. دانش‌آموخته دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۳. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
 ۴. کارشناس پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
- * نویسنده مسئول: b.choubin@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱

doi: [10.22034/JDMAL.2022.550729.1378](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2022.550729.1378)

چکیده

خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه در استان آذربایجان غربی، موجب تشکیل مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی و افزایش رخدادهای گرد و غبار شده است. با توجه به پیامدهای اثرگذار گرد و غبار بر سلامت انسان، محیط زیست، کشاورزی و حمل و نقل، بررسی دقیق‌تر برای یافتن منبع وقوع گرد و غبار، فراوانی و شدت آن ضروری است. پژوهش حاضر به بررسی تغییرات زمانی و مکانی وقوع گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، شناخت منشاء گرد و غبار و واکاوی عوامل اثرگذار بر رخداد گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی می‌پردازد. بررسی نوسان‌های سالانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار با استفاده از شاخص عمق نوری هواویز (AOD) سنجنده MODIS در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ نشان داد که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ اوج رخداد گرد و غبار بوده است. بیشترین وقایع گرد و غبار در فصل‌های تابستان و بهار به‌وقوع پیوسته و نوسان‌های ماهانه گرد و غبار نشان‌گر بیشینه گرد و غبار از ماه اسفند تا مهر است. تحلیل نوسان‌های زمانی نشان داد که از نظر آماری هیچ روند معنی‌داری در مقدار AOD و فراوانی رخداد گرد و غبار وجود ندارد. بررسی ارتباط بین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری (به‌میزان ۶۴٪) دارد. تغییرات مکانی دهنده فراوانی بیشتر تعداد رخداد گرد و غبار در حاشیه دریاچه ارومیه (بیشتر در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی) است. مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی نشان می‌دهد که با توجه به جهت باد غالب به‌نظر می‌رسد بیشتر تحت تاثیر گرد و غبارهای کشور عراق قرار دارد؛ اما حاشیه دریاچه ارومیه منشاء داخلی وقوع گرد و غبار هستند.

واژگان کلیدی: ارومیه، تحلیل روند، فرسایش بادی، سنجنده مودیس، منبع گرد و غبار



■ مقدمه

امروزه با توجه به پدیده‌های تغییر اقلیم، خشکسالی و بیابان‌زایی، وقوع توفان‌های گرد و غبار از جمله مهمترین مخاطره‌های اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۲۷، ۱۱). نگرانی جهانی برای وقوع توفان‌های گرد و غبار با توجه به تأثیرهای مهم اجتماعی و اقتصادی، محیط زیست و سلامت انسان وجود دارد (۶، ۹). کاهش درآمد جوامع، افزایش بیکاری و مهاجرت، تعطیلی مراکز تفریحی و آموزشی، تخریب سرزمین، خسارت به بخش‌های صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و گردشگری نمونه‌های آشکاری از تبعات اجتماعی-اقتصادی گرد و غبار است (۱۸، ۲۶، ۷). همچنین سازمان جهانی بهداشت و بسیاری از موسسه‌های تحقیقات سرطان، گرد و غبار معلق هوا را بسیار مضر برای سلامت انسان دانسته و سرطان‌زا معرفی کرده‌اند (۹).

بر اساس بررسی‌های پیشین خسارت‌های ناشی از وقوع توفان‌های گرد و غبار به بخش کشاورزی استان آذربایجان غربی منطبق با سناریوهای کاهش ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ ارزش ستاده به‌ترتیب برابر با ۱۷۳۰۶، ۳۸۹۳۸، ۶۶۷۵۱ و ۱۰۳۸۳۵ میلیارد ریال در دوره زمانی ۹۱-۱۳۸۵ برآورد شده است. همچنین بر اساس ارزش افزوده استانی، خسارت ناشی از هر روز تعطیلی به‌علت گرد و غبار حدود ۱۷۳ میلیارد ریال معادل ۱۷ میلیون دلار در سال ۱۳۸۸ برآورد شده است (۱۸). تحلیل زمانی و مکانی وقایع گرد و غبار در شرق دریاچه ارومیه در طول سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ نشان‌دهنده افزایش گرد و غبار بین سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ می‌باشد که هر چقدر از مناطق دوردست شرقی به سمت دریاچه حرکت شود بر مقدار وقایع گرد و غبار افزوده می‌شود (۱۰). همچنین پردازش تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۷۹-۱۳۹۶ حاکی از آن است که سطوح خشک شده دریاچه ارومیه به یک منشاء فعال برداشت گرد و غبار تبدیل شده که حتی فواصل بزرگ بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر در پایین دست دریاچه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵).

از بین بررسی‌هایی که در مناطق دیگر کشور انجام شده می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که به بررسی عوامل مؤثر بر وقوع گرد و غبار در استان خوزستان پرداخته است. نتایج

این پژوهش حاکی از آن است که عامل سرعت باد از بین عوامل مختلف شامل سرعت باد، بارش، بافت خاک، چگالی ظاهری خاک، هدایت الکتریکی، ماده آلی، ظرفیت آب در دسترس، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، کاربری زمین، زمین‌شناسی و مدل رقومی ارتفاع، مهمترین فاکتور اثرگذار بر رخداد گرد و غبار می‌باشد (۱۴). تحلیل زمانی نوسان پدیده گرد و غبار در شهرستان خرم‌آباد بین سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۴ با استفاده از روش‌های تحلیل روند خطی، پلی‌نومینال^۱ و آزمون روند من-کندال^۲ نشان می‌دهد که رخداد توفان‌های گرد و غبار به‌طور معنی‌داری در حال افزایش می‌باشد (۱۳). بررسی ماهواره‌ای کانون‌های برداشت گرد و غبار در استان البرز حاکی از آن است که با اعمال شاخص‌های طیفی، بخوبی منابع بالقوه گرد و غبار شناسایی می‌شوند (۱۹). بررسی توزیع مکانی-زمانی رخدادهای گرد و غبار در جنوب غربی ایران در بازه زمانی ۲۲ ساله از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷ با استفاده از کدهای گرد و غبار ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ نشان داده که ۸۴٪ از رویدادهای گرد و غبار منشأ محلی نداشته است. میانگین تعداد روزهای گرد و غبار در خرداد برابر با ۱۸۸ روز و در تیر برابر با ۱۹۳ روز می‌باشد که بیشتر از دیگر ماه‌های سال است؛ در حالی که رخداد گرد و غبار پس از مرداد ضعیف می‌شود (۱۶). بررسی پراکنش رخدادهای گرد و غبار نشان داده است که کشور ایران متأثر از مناطق برداشت گرد و غبار داخلی و خارجی می‌باشد. توفان‌های گرد و غبار که در مناطق خاصی از ایران به ویژه در ماه‌های تابستان بوقوع می‌پیوندند منشأ فرامرزی گرد و غبار از صحرا و شمال آفریقا، بیابان‌های عراق و سوریه، عربستان، دشت‌ها و مرداب‌های بین‌النهرین، افغانستان و ترکمنستان دارند. منشأ اصلی داخلی نیز شامل دشت‌ها و مرداب‌های بین‌النهرین در ایران، دشت‌های کویر و لوت، فرورفتگی جازموریان، سیستان و سواحل مکران است (۲۵). در همین راستا، بررسی منشأ گرد و غبار در شرق خاورمیانه از طریق شاخص‌های آشکارسازی گرد و غبار حاکی از آن است که تعداد ۹۳ نقطه برداشت در خارج از کشور و ۱۲۳ نقطه برداشت در داخل کشور وجود دارد (۴). علاوه بر این، ارزیابی وقایع گرد و غبار با استفاده از شاخص عمق نوری

برخی از عوامل طبیعی مانند تغییر اقلیم و خشکسالی، پدیده بیابانزایی در سطح استان در حال گسترش می‌باشد. علاوه بر این سطح وسیعی از دریاچه ارومیه کم آب و خشک شده است؛ که همه این موارد موجب افزایش مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی در سطح استان شده است.

داده‌های مورد استفاده

الف) شاخص عمق نوری هواویز (AOD): برای پایش گرد و غبار استان آذربایجان غربی از محصول MCD19A2 سنجه MODIS استفاده شد. این محصول خروجی ترکیبی تصاویر ماهواره‌های Terra و Aqua است که به صورت روزانه و با توان تفکیک مکانی ۱ km در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. این محصول شامل AOD در طول موج‌های باند آبی با مقدار $0.47 \mu\text{m}$ و باند سبز با مقدار $0.55 \mu\text{m}$ می‌باشد. شاخص AOD کمیتی بی‌بعد می‌باشد که میزان جلوگیری از عبور پرتو نور در جو به دلیل وجود هواویزها را نشان می‌دهد (۲۸، ۲۰). در پژوهش حاضر داده‌های محصول سنجه از دوری AOD در طول موج $0.47 \mu\text{m}$ طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ به صورت روزانه با استفاده از سامانه گول ارث انجین دریافت شد. بنابراین ۲۱ سال آمار به منظور پایش وضعیت گرد و غبار در منطقه مورد استفاده شد. تمامی پایش پردازش‌های مورد نیاز این محصول مثل تصحیحات هندسی و حذف پوشش ابری در این محصول توسط ناسا انجام شده است. بر اساس گزارش اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا، مقادیر AOD نزدیک به ۰/۰۱ مربوط به جو بسیار صاف و مقدار ۰/۴ مربوط به یک شرایط بسیار مه‌آلود می‌باشد (۲۲).
ب) متغیرهای هواشناسی: متغیرهای بارش، دما و باد ایستگاه‌های هواشناسی از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی دریافت شد. نقشه متغیرهای سرعت باد غالب، متوسط بارش و متوسط دمای هوای سالیانه از طریق روش درونیابی کریجینگ و نقشه جهت باد غالب از طریق ابزار Voronoi map در نرم افزار ArcGIS برای هر سال طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ استخراج شدند. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در شکل ۱ ارائه شده است.

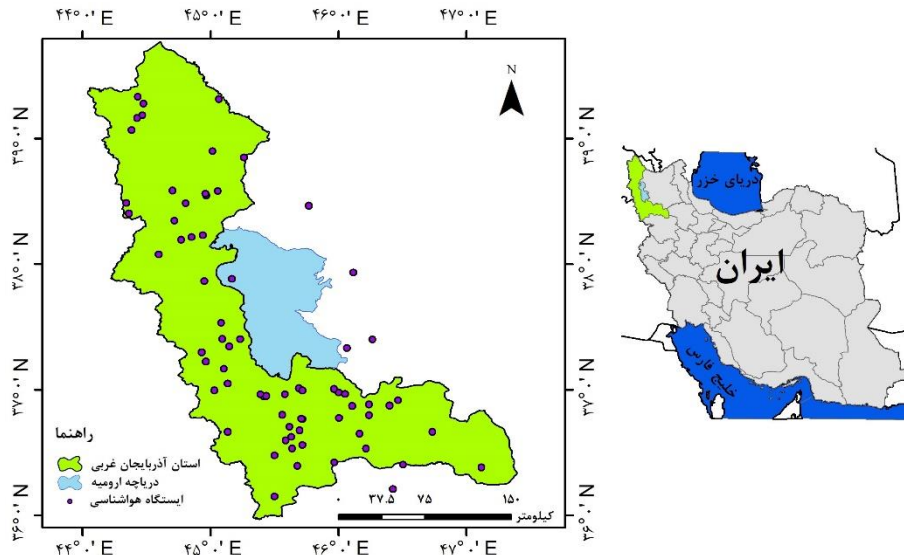
هواویز (AOD)^۱ سنجنده MODIS نشان می‌دهد که سال ۱۳۸۸ فعال‌ترین سال گرد و غبار بوده و پس از آن سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۸۷ به دلیل شرایط خشکسالی طولانی و افزایش انتشار گرد و غبار از دشت‌های عراق بوده است. سال‌هایی که بیشترین رخداد گرد و غبار را داشته‌اند مصادف با بارش کمتر و بادهایی با شدت بیشتر در دشت‌های عراق و جنوب غربی ایران بوده است (۱۶).

یکی از روش‌های شناسایی کانون‌های گرد و غبار بررسی میزان فراوانی وقوع گرد و غبار در منطقه می‌باشد. بر اساس این دیدگاه، مناطقی که فراوانی بیشتری از رخداد گرد و غبار را به خود اختصاص داده‌اند خود منشاء برداشت گرد و غبار می‌باشند (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴). بر اساس مرور منابع انجام شده، خلاء بررسی‌های پیشین را می‌توان ارزیابی این دیدگاه در کنار واکاوی عوامل اثرگذار دانست. از اینرو، اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل استفاده از داده‌های ماهواره‌ای روزانه برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی وقوع گرد و غبار، شناخت منشاء گرد و غبار بر اساس شاخص میزان فراوانی وقوع، و واکاوی عوامل اثرگذار بر رخداد‌های گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی بودند.

■ مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در سطح استان آذربایجان غربی واقع در شمال غربی کشور انجام شد که سطحی حدود 37210 km^2 را دربر دارد (شکل ۱). از نظر اقلیم این استان متأثر از جریان‌های هوایی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه است و اکثر بارش استان ناشی از حاکمیت این جریانات غربی می‌باشد. در فصل زمستان جریانات سرد سیبری به این منطقه نفوذ کرده و دمای هوا را به شدت کاهش می‌دهد و بعضاً در طول ۲ تا ۳ ماه یخبندان شدید حاکمیت دارد. ریزش‌های جوی در کوهستان‌های بیشتر به صورت برف است. میانگین درازمدت بارش استان بین $810 - 210 \text{ mm}$ متغیر است. با توجه به مشکل‌های ناشی از مداخله‌های انسانی در بهره‌برداری بیش از اندازه از آب‌های سطحی و زیرزمینی، از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب اراضی و فرسایش خاک و



شکل ۱. موقعیت استان آذربایجان غربی

به عبارتی در هر پیکسل مشخص شد که تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در هر فصل و هر سال چقدر بود. جهت آشکارسازی تغییرات زمانی وضعیت گرد و غبار، در هر سال تعداد وقایع گرد و غبار برای هر پیکسل شناسایی شده و از این طریق تغییرات سالیانه گرد و غبار در طی دوره زمانی یاد شده بررسی شد.

بررسی ارتباط بین AOD و متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی

ارتباط بین مقادیر AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد جهت آشکارسازی عوامل اثرگذار بر گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. بدین صورت که مقادیر متوسط منطقه‌ای مقادیر AOD و متغیرهای پوشش گیاهی و اقلیمی از طریق لایه‌های رستری سالیانه محاسبه شد و سپس میزان همبستگی متغیرها بررسی شد.

تغییرات مکانی فراوانی وقایع گرد و غبار و شناسایی کانون‌های بالقوه تولید آن

علاوه بر تغییرات زمانی، تغییرات مکانی گرد و غبار نیز برای هر سال و فصل بررسی شد. بر اساس منابع موجود، کانون‌های گرد و غبار با استفاده از میزان فراوانی وقوع گرد

(ج) شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI): جهت استخراج NDVI از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. بدین صورت که از طریق سامانه گول ارث انجین تصاویر ۱۶ روزه لندست با پوشش ابری کمتر از ۱٪ در هر سال فراخوانی شد و از طریق مقادیر بازتاب میانه، شاخص NDVI سالیانه برای سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ استخراج شد.

شناسایی وقایع گرد و غبار

بر اساس تحقیقات گذشته مقدار AOD برابر با ۰/۵ به عنوان آستانه تشخیص روزهای همراه با گرد و غبار استفاده شد (۱، ۳، ۸). به عبارتی، پیکسل‌هایی که دارای مقادیر AOD بیشتر از ۰/۵ در یک روز مشخص می‌باشند نشانگر وقوع گرد و غبار در آن پیکسل‌ها در همان روز می‌باشد. بر این اساس پیکسل‌های گرد و غبار از پیکسل‌های بدون گرد و غبار در هر روز در کل منطقه شناسایی شدند.

بررسی فراوانی وقایع گرد و غبار و آشکارسازی تغییرات زمانی

در پژوهش حاضر با بررسی پیکسل‌های توأم با گرد و غبار در طی بازه زمانی یاد شده، فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار در هر پیکسل توسط نرم افزار R محاسبه شد.

۲). تغییرات تعداد روزهای توأم با گرد و غبار ($0/5 >$ AOD) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی حاکی از آن است که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ بیشترین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار را داشته‌اند (شکل ۳). مقادیر میانگین منطقه‌ای تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ برابر با $10/57$ ، در سال ۱۳۸۷ برابر $7/15$ ، در سال ۱۳۹۱ برابر $5/28$ ، در سال ۱۳۸۲ برابر $4/82$ ، در سال ۱۳۹۰ برابر $4/80$ و در سال ۱۳۸۹ برابر $4/04$ روز بود که خط روند تقریباً حالت ثابت در طی زمان را نشان می‌دهد (شکل ۳).

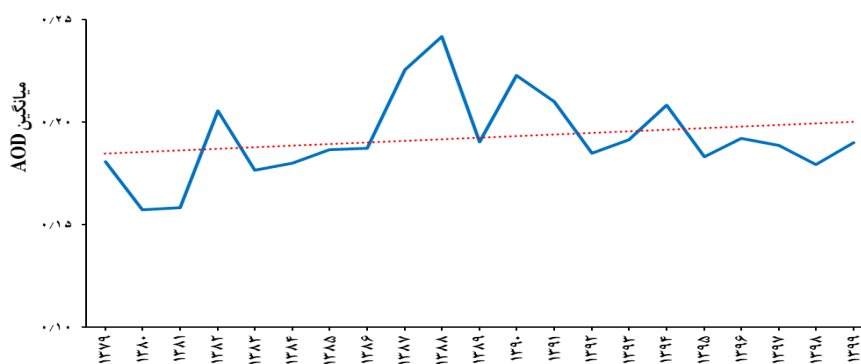
تعداد پیکسل‌های بدون گرد و غبار با AOD کوچکتر از $0/5$ و توأم گرد و غبار با AOD بزرگتر از $0/5$ حداقل یک روز در سال در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که سطح فراگیری گرد و غبار از روند خاصی تبعیت نمی‌کند ولی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تعداد پیکسل‌های بیشتری درگیر گرد و غبار بوده‌اند (شکل ۴). فراوانی تعداد پیکسل‌های همراه با گرد و غبار بر حسب روز در سطح استان آذربایجان غربی تعیین شد (جدول ۱).

و غبار منطقه شناسایی شد (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴). به عبارتی پیکسل‌هایی که فراوانی بیشتری از رخداد گرد و غبار داشتند به عنوان منشاء برداشت گرد و غبار شناخته شدند؛ که از طریق بازدید میدانی و ارزیابی عرصه نیز مورد تایید قرار گرفتند. بر این اساس، فراوانی وقوع گرد و غبار به تفکیک هر پیکسل در طی دوره زمانی مورد بررسی، استخراج شد. منظور از فراوانی وقوع گرد و غبار، تعداد روزهایی است که میزان AOD بیشتر از $0/5$ در طی دوره زمانی ۲۱ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹) می‌باشد.

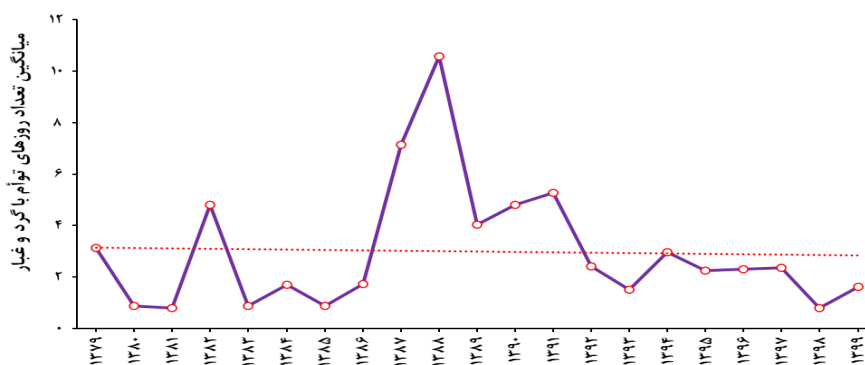
■ نتایج

نتایج بررسی تغییرات زمانی گرد و غبار

تغییرات زمانی مقادیر میانگین منطقه‌ای AOD در سطح استان آذربایجان غربی در شکل ۲ ارائه شده است. حداکثر مقدار میانگین AOD مربوط به سال ۱۳۸۸ با مقدار $0/242$ می‌باشد و حداقل مقدار میانگین AOD برابر $0/157$ بوده که مربوط به سال ۱۳۸۰ می‌باشد. خط روند حالت نسبتاً صعودی در طی زمان را نشان می‌دهد (شکل



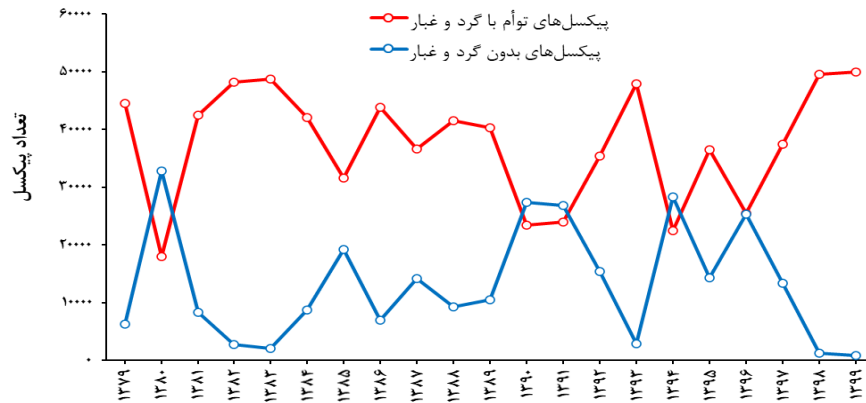
شکل ۲. میانگین AOD سالانه در سطح استان آذربایجان غربی



شکل ۳. تعداد روزهای توأم با گرد و غبار ($AOD > 0/5$) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی

۱). نتایج نشان می‌دهد که سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ گستره بیشتری از استان در معرض گرد و غبار بوده است. در سال ۱۳۹۸ تعداد ۴۹۵۲۲ پیکسل و در سال ۱۳۹۹ تعداد ۴۹۹۷۱ پیکسل حداقل یک روز دارای رخداد گرد و غبار بوده‌اند (شکل ۴، جدول ۱).

برای نمونه، تعداد پیکسل‌هایی که بیش از ۳۰ روز در سال دارای گرد و غبار بوده‌اند در سال ۱۳۷۹ برابر با ۵۰۳ پیکسل و در سال ۱۳۹۹ برابر با ۴۶۷ پیکسل بود. در حالیکه در برخی از سال‌ها مثل ۱۳۸۲، ۱۳۸۴ و ... هیچ پیکسلی بیشتر از ۳۰ روز گرد و غبار را تجربه نکرد (جدول



شکل ۴. تعداد پیکسل‌های بدون ($AOD < 0.5$) و توأم (حداقل یک روز $AOD > 0.5$) گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی

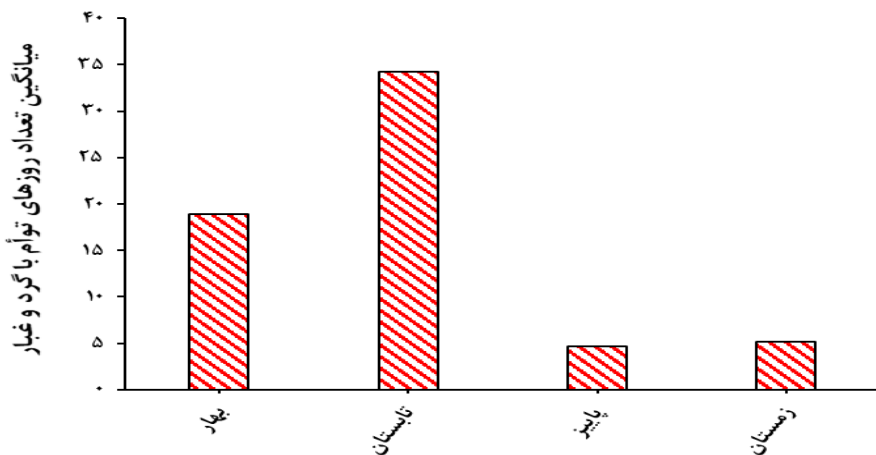
جدول ۱. فراوانی تعداد پیکسل‌های همراه با گرد و غبار در استان آذربایجان غربی

سال	$AOD > 0.5$						$AOD < 0.5$
	دارای گرد و غبار	≤ 5 روز	≤ 7 روز	≤ 10 روز	≤ 15 روز	≤ 20 روز	بدون گرد و غبار
۱۳۷۹	۴۴۵۶۰	۷۵۱۷	۲۷۲۵	۱۳۳۲	۸۶۵	۷۱۲	۶۲۷۰
۱۳۸۰	۱۸۰۱۵	۱۴۶۲	۱۰۴۶	۷۴۳	۵۶۲	۴۳۷	۳۲۸۱۵
۱۳۸۱	۴۲۴۹۲	۱۹۳۸۷	۱۳۳۰۱	۴۷۵۵	۳۸۸	۸۲	۸۳۳۸
۱۳۸۲	۴۸۱۲۵	۲۲۱۴۴	۱۲۹۱۷	۵۷۲۶	۱۱۶۰	۱۳۷	۲۷۰۵
۱۳۸۳	۴۸۷۷۰	۲۴۶۵۴	۱۶۲۱۶	۷۱۹۲	۹۵۸	۱۸۴	۲۰۶۰
۱۳۸۴	۴۲۰۹۱	۷۳۵۲	۲۱۱۰	۵۲۶	۱۱۷	۳۱	۸۷۳۹
۱۳۸۵	۳۱۶۲۱	۳۰۴۵	۱۷۴۶	۱۰۰۲	۴۶۳	۱۸۶	۱۹۲۰۹
۱۳۸۶	۴۳۸۶۰	۱۰۸۸۱	۴۷۵۵	۱۲۶۲	۳۰۶	۹۷	۶۹۷۰
۱۳۸۷	۳۶۶۵۱	۷۷۳۵	۲۵۹۰	۸۵۷	۲۷۵	۱۱۲	۱۴۱۷۹
۱۳۸۸	۴۱۵۱۶	۶۷۰۲	۱۴۳۸	۳۶۹	۱۴۱	۴۴	۹۳۱۴
۱۳۸۹	۴۰۲۸۸	۷۴۳۷	۲۷۹۱	۸۴۷	۱۸۷	۵۳	۱۰۵۴۲
۱۳۹۰	۲۳۴۴۱	۱۰۱۳	۵۵۸	۲۲۹	۴۰	۷	۲۷۳۸۹
۱۳۹۱	۲۳۹۹۵	۱۰۰۵	۴۹۸	۱۶۹	۴۶	۹	۲۶۸۳۵
۱۳۹۲	۳۵۴۰۲	۲۶۳۵	۱۱۱۸	۵۹۰	۲۵۳	۹۵	۱۵۴۲۸
۱۳۹۳	۴۷۸۷۷	۲۴۷۷۷	۱۳۸۸۴	۳۷۴۵	۴۷۱	۱۲۹	۲۹۵۳
۱۳۹۴	۲۲۴۳۱	۱۴۷۸	۹۳۵	۴۳۶	۱۴۰	۵۳	۲۸۳۹۹
۱۳۹۵	۳۶۴۸۰	۳۵۰۰	۱۰۲۲	۳۳۱	۸۳	۳۲	۱۴۳۵۰
۱۳۹۶	۲۵۴۲۶	۱۰۱۳	۴۴۸	۱۷۱	۴۳	۶	۲۵۴۰۴
۱۳۹۷	۳۷۴۷۳	۳۰۶۳	۱۳۱۸	۶۵۸	۲۳۱	۶۸	۱۳۳۵۷
۱۳۹۸	۴۹۵۲۲	۳۴۸۶۸	۲۶۳۶۶	۱۴۴۱۷	۲۵۴۷	۵۹۲	۱۳۰۸
۱۳۹۹	۴۹۹۷۱	۳۶۰۹۸	۳۰۵۸۸	۲۴۲۷۳	۱۵۷۱۹	۸۰۱۰	۸۵۹

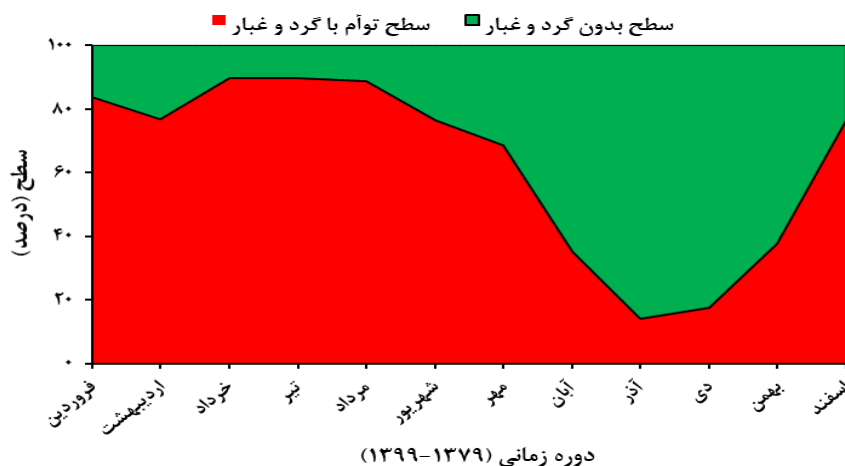
رخ نداده است. بر این اساس حداکثر فراگیری گرد و غبار در هشت ماه از اسفند تا مهر می‌باشد، که بیش از ۶۸٪ پیکسل‌ها یا سطح استان در ۸ ماه یاد شده حداقل یکبار دارای گرد و غبار بوده‌است. ماه‌های آذر، دی، آبان و بهمن که جزء ماه‌های سرد سال هستند به ترتیب کمترین مقادیر فراگیری را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۶).

برای بررسی روند تغییر زمانی وقایع گرد و غبار در سطح استان آذربایجان غربی از آزمون من-کندال و آماره من-کندال استفاده شد. بر اساس این آزمون، میانگین وضعیت نسبتاً صعودی را نشان می‌دهد (شکل ۲) ولی از نظر آماری معنی‌دار نبوده و مقدار AOD طی زمان بدون روند می‌باشد (جدول ۲). میانگین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (شکل ۳) و تعداد پیکسل‌های توأم با گرد و غبار (شکل ۴) نیز فاقد روند معنی‌دار در سطح خطای ۵٪ در طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ را نشان می‌دهند (جدول ۲).

تغییرات فصلی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی بررسی شد. بیشترین مقدار گرد و غبار به ترتیب در فصل‌های تابستان، بهار، زمستان و پاییز رخ داده است، به طوری که در فصل تابستان میانگین درازمدت تعداد روزهای گرد و غبار برابر با ۳۴/۲ روز، در فصل بهار ۱۸/۹ روز، در فصل زمستان ۵/۱ روز و در فصل پاییز ۴/۷ روز بود. بنابراین فصول تابستان و بهار بیشترین رخداد‌های گرد و غبار در سطح استان بوقوع پیوسته است (شکل ۵). همچنین تغییرات ماهانه سطوح بدون گرد و غبار در مقایسه با سطوح توأم با گرد و غبار بررسی شد. سطح قرمز رنگ در شکل ۶ درصد پیکسل‌ها یا سطح استان را نشان می‌دهد که حداقل یک روز در ماه در معرض گرد و غبار بوده است و سطح سبز رنگ حاکی از درصد پیکسل‌ها یا سطح استان که مقادیر AOD از حد (۰/۵) تجاوز نکرده و به اصطلاح گرد و غبار



شکل ۵. تغییرات فصلی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار (AOD > ۰/۵) در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی



شکل ۶. تغییرات ماهانه سطوح بدون گرد و غبار در مقایسه با سطوح توأم با گرد و غبار در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹

جدول ۲. آزمون من-کندال جهت بررسی روند سالیانه AOD و تعداد روزها و پیکسل‌های توأم با گرد و غبار

متغیر	آماره من-کندال	P-value	وضعیت روند
AOD	۰/۲۰	۰/۲۲	بدون روند معنی‌دار
میانگین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار	-۰/۰۱	۰/۹۸	بدون روند معنی‌دار
تعداد پیکسل‌های توأم با گرد و غبار	-۰/۰۴۸	۰/۷۹	بدون روند معنی‌دار

۱۳۸۲، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ فراوانی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار بیشتر بود (شکل ۹). در سال ۱۳۸۸ بیشترین رخداد گرد و غبار بوقوع پیوسته است که حواشی دریاچه ارومیه واقع در مناطق شرقی و جنوبی دریاچه به‌همراه مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری از گرد و غبار را تجربه کرده‌اند (شکل ۹).

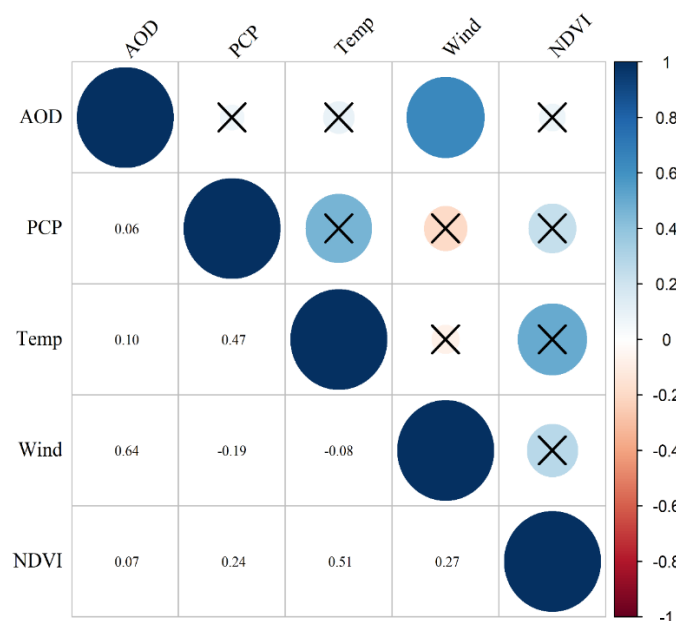
تغییرات مکانی فراوانی تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در فصل‌های مختلف در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ نیز بررسی شد (شکل ۱۰). تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در فصل‌های بهار و تابستان فراوانی بیشتری نسبت به پاییز و زمستان نشان می‌دهد. از نظر پراکنش مکانی در تمامی فصول اطراف دریاچه فراوانی بیشتری را نسبت به دیگر قسمت‌ها دارد، در حالیکه مناطق جنوبی استان نیز فراوانی قابل توجهی از رخداد‌های گرد و غبار بخصوص در فصل تابستان را نشان می‌دهند (شکل ۱۰).

بررسی ارتباط بین AOD و متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی

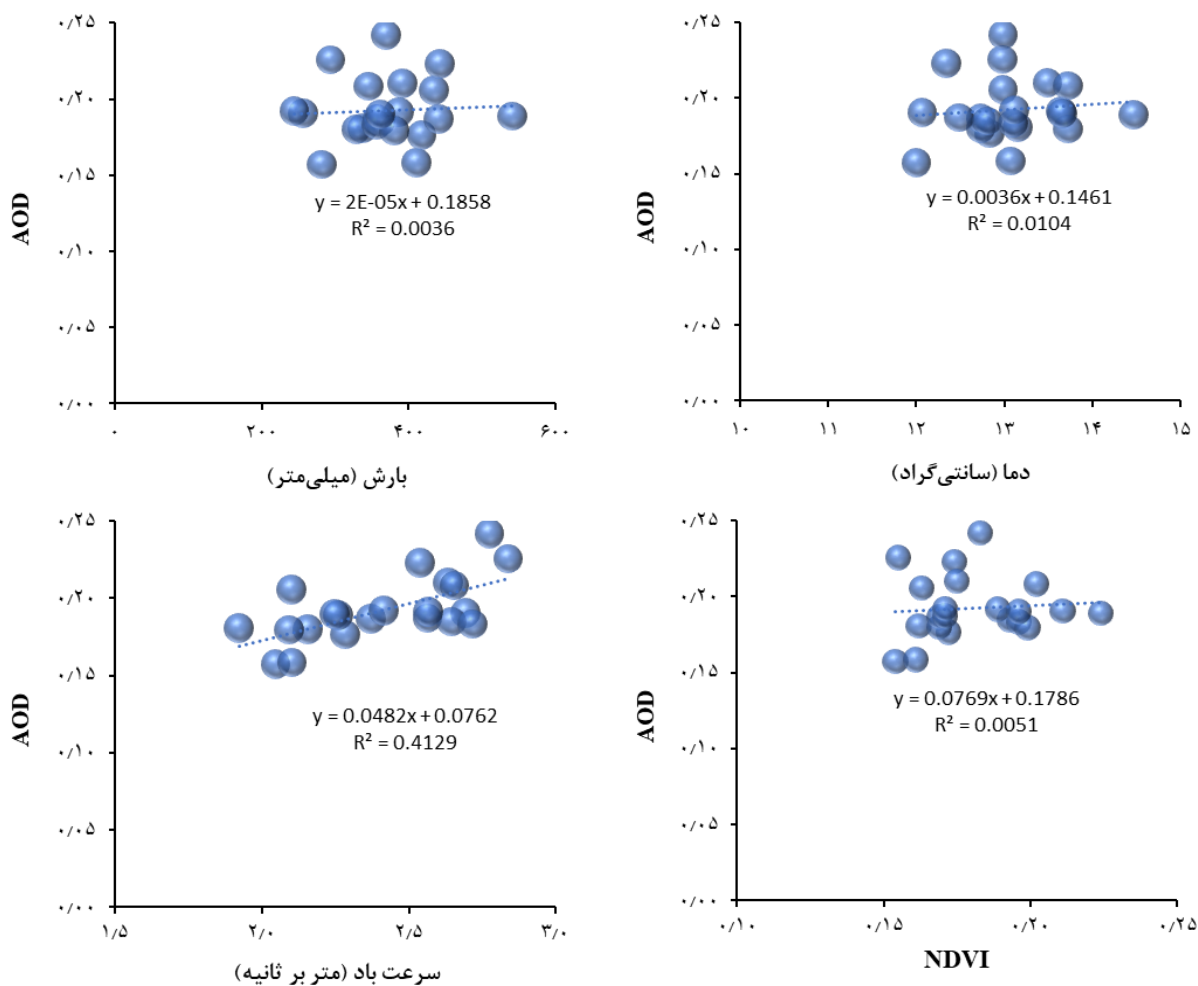
بررسی ضریب همبستگی سالیانه بین میانگین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری در سطح ۵٪ دارد ($r = 0.64$) می‌باشد؛ در حالیکه با NDVI، بارش و دما هیچ ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷). نمودار رابطه همبستگی و پراکنش بین AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد نشان داد که مقدار R^2 بین AOD و سرعت باد بیشتر از بقیه بود و برابر با ۰/۴۱ می‌باشد (شکل ۸).

نتایج بررسی تغییرات مکانی و شناسایی بالقوه منشاء گرد و غبار

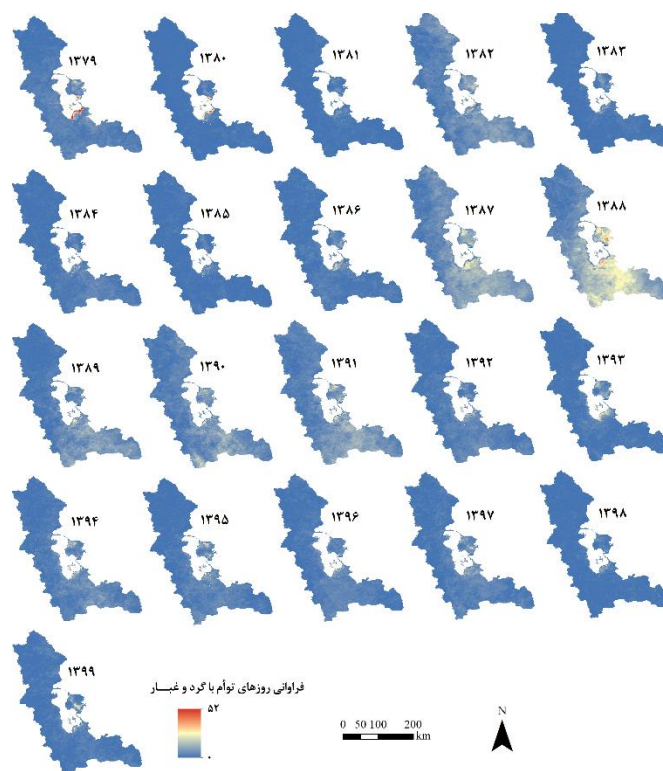
تغییرات مکانی فراوانی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار طی سال‌های مختلف نشان داد که در سال‌های



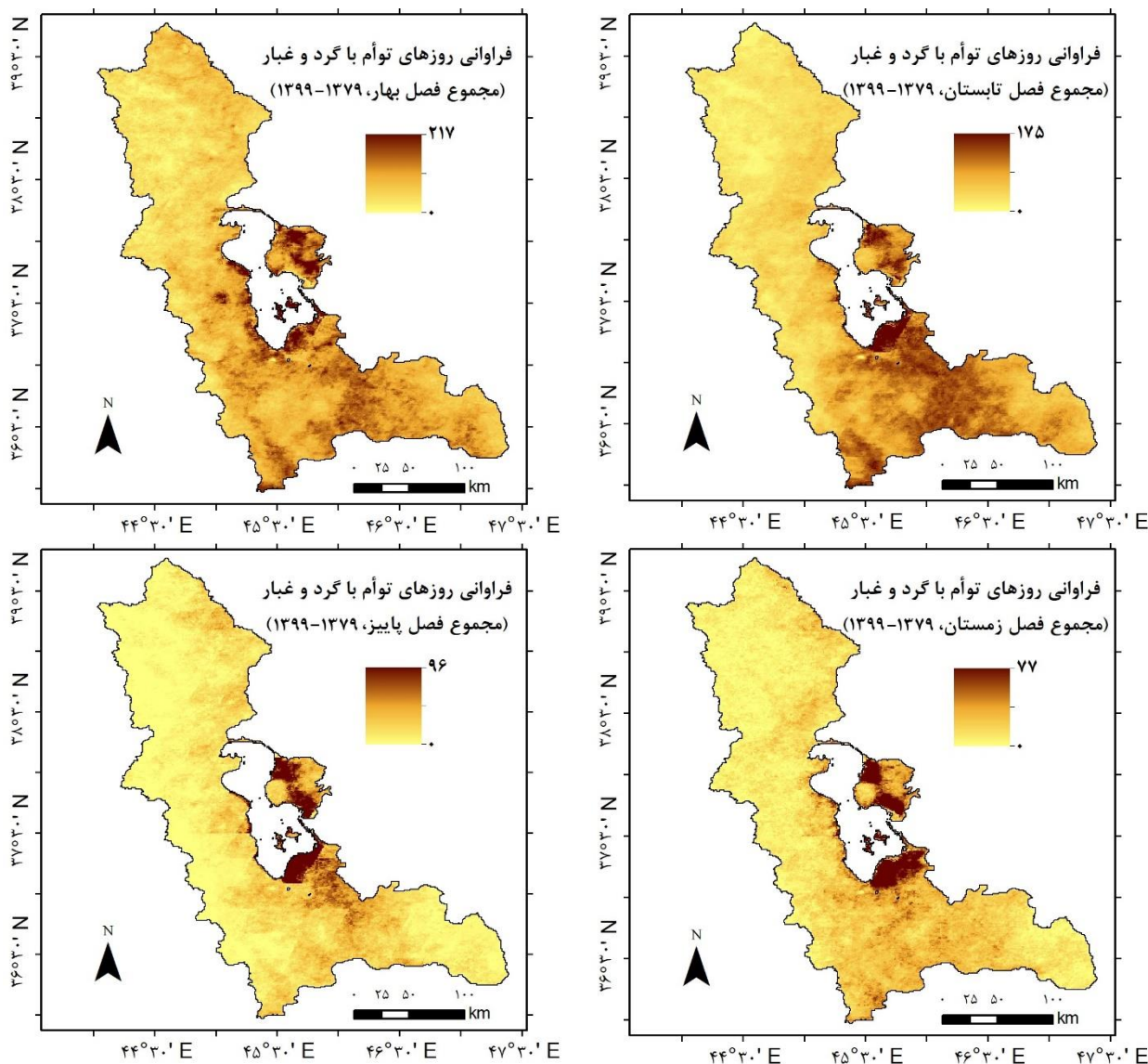
شکل ۷. ضریب تبیین بین مقدار AOD با متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹



شکل ۸. مقادیر سالیانه AOD در برابر متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹



شکل ۹. نقشه فراوانی سالیانه روزهای همراه با گرد و غبار (راهنمای نقشه‌ها جهت مقایسه در یک مقیاس واحد ارائه شده)



شکل ۱۰. نقشه فراوانی فصلی روزهای همراه با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹

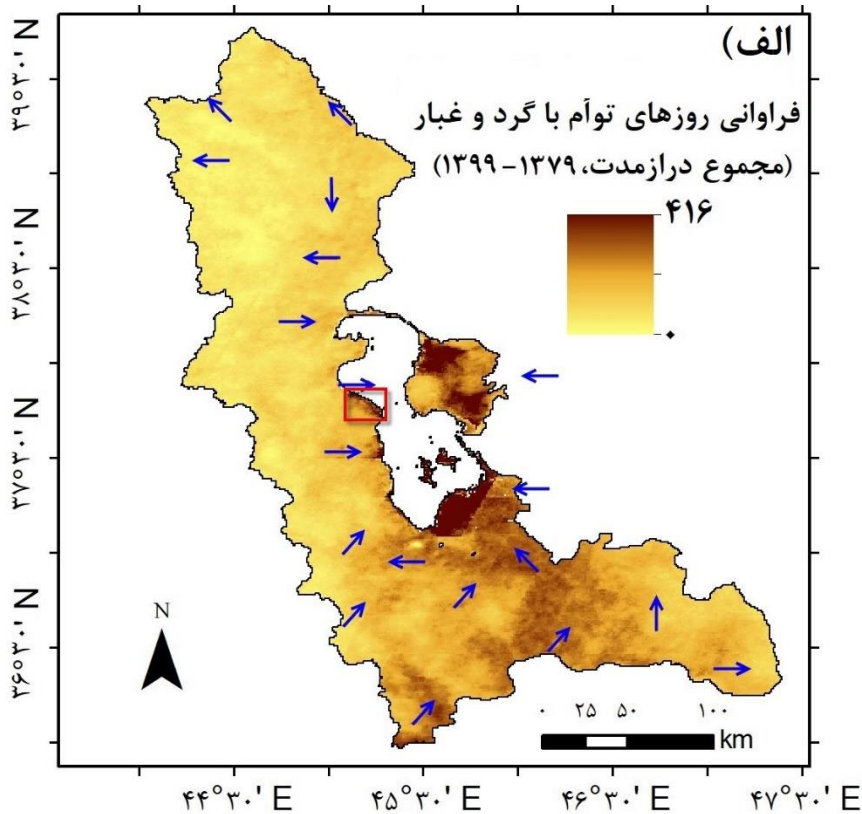
جهت باد غالب در ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهند. با توجه به جهت باد غالب، مناطق جنوبی متأثر از گرد و غبارهای کشورهای همسایه و عراق می‌باشد ولی مناطق اطراف دریاچه منشاء داخلی دارند (شکل ۱۱ الف).

■ بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات سالیانه تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ در سطح استان آذربایجان غربی نشان داد که سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۱ بیشترین تعداد روزهای توأم با گرد و غبار را داشته‌است. از بین این سال‌ها، سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ بیشترین مقادیر AOD و تعداد رخداد‌های گرد و غبار را به‌خود اختصاص داده‌اند.

نقشه فراوانی روزهای همراه با گرد و غبار در دوره زمانی مورد بررسی نشان داد که مجموع فراوانی طی ۲۱ سال بین صفر تا ۴۱۶ روز متغیر می‌باشد. تغییرات مکانی حاکی از فراوانی بیشتر در حواشی دریاچه عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی می‌باشد (شکل ۱۱ الف). بازدیدهای میدانی انجام شده نیز نتایج حاصل شده را تایید کرد. به‌عنوان نمونه محدوده قرمز رنگ ارائه شده در شکل ۱۱ ب مناطق جبل‌کندی و سپرغان را نشان می‌دهد که دربرگیرنده ماسه‌های بادی است و توسط ماهواره به‌درستی تشخیص داده شده است.

همچنین مناطق جنوبی استان فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی نشان می‌دهد. فلش‌ها



شکل ۱۱. الف) فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ (فلش‌ها جهت باد غالب در ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان می‌دهند)، ب) تصاویر میدانی

طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ حاکی از آن است که به ترتیب فصل‌های تابستان، بهار، زمستان و پاییز دارای بیشترین مقدار گرد و غبار بوده‌اند. بنابراین بیشترین وقایع گرد و غبار در فصل‌های تابستان و بهار به وقوع پیوسته است. این نتایج مطابق با نتیجه‌های بررسی‌های پیشین در جنوب شرقی و جنوب غربی ایران است (۲، ۱۷). تغییر ماهانه گرد و غبار نشانه بیشترین گرد و غبار از ماه اسفند تا مهر است. همچنین، ماه‌های آذر، دی، آبان و بهمن که جزء ماه‌های

در این راستا طی بررسی‌های پیشین نیز مشخص شده است که سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ اوج توفان‌های گرد و غبار در جنوب شرق ایران بوده است (۲). همچنین از نظر وقوع گرد و غبار سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷ فعال‌ترین سال‌ها در جنوب غرب ایران عنوان شده است (۱۶، ۱۷). در حوضه‌های شرقی دریاچه ارومیه نیز مقدار گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ بیشتر از دیگر سال‌ها گزارش شده است (۱۰). تغییر فصلی تعداد روزهای دارای گرد و غبار

ماهانه و فصلی انتشار پیدا می‌کند نیز وضعیت انتشار گرد و غبار در مناطق جنوبی استان بیشتر است (۱۲). به هر حال عمده مناطقی که وقایع بیشتر گرد و غبار را بخود اختصاص داده‌اند در اطراف دریاچه ارومیه قرار دارند. مجموعه‌ای از عوامل زیر را می‌توان عنوان کرد که پیرامون دریاچه ارومیه منشأ داخلی گرد و غبار می‌باشند: (۱) تمرکز و تعداد پدیده گرد و غبار شناسایی شده توسط سنجش از دور بیشتر در این مناطق قرار دارد. مناطقی که فراوانی بیشتری از گرد و غبار را دارند خود منشأ برداشت گرد و غبار هستند (۱۵، ۲۱، ۲۳، ۲۴)؛ که از طریق بازندهای میدانی نیز مورد تأیید قرار گرفتند. (۲) جهت باد غالب در مناطق شرقی و جنوبی دریاچه که بیشترین وقایع گرد و غبار را دارند از سمت شرق می‌باشد که به‌طور قطع نمی‌توان منشأ خارجی گرد و غبار برای این مناطق عنوان کرد. (۳) مقادیر NDVI در حواشی دریاچه ارومیه نسبت به سایر قسمت‌ها کمتر می‌باشد. (۴) حواشی دریاچه ارومیه جزء مناطقی هستند که کمترین مقدار بارش را دارند. (۵) کم آب شدن دریاچه و قرارگیری سطوح خشک شده پیرامونی. به‌طوریکه از اواخر دهه ۱۹۹۰ دچار خشکی فاجعه‌آمیز شد و موجب از دست رفتن ۵۰٪ از مساحت آن تا سال ۲۰۱۴ شده است (۲۵). (۶) رده خاک غالب در طراف دریاچه ارومیه از نوع اریدیسول است که در آنها رس، کربنات کلسیم، سیلیس، نمک و گچ تجمع یافته است. (۷) همچنین از نظر زمین‌شناسی نیز واحد سنگی Qsl که حاکی از وضعیت نمکی غالب در حواشی دریاچه ارومیه است. بنابراین با استناد به دلیل‌های مذکور پیرامون دریاچه ارومیه منشأ تولید گرد و غبار داخلی است. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در بررسی‌های گذشته نیز ساحل جنوبی دریاچه ارومیه منبع تولید و برداشت گرد و غبار عنوان شده است (۵). به‌طوریکه گرد و غبار فعال ناشی از سطوح خشک شده دریاچه ارومیه تا فواصل بزرگ (بیش از ۱۰۰ کیلومتر) در پایین دست دریاچه نیز گسترش پیدا می‌کند (۵). از قسمت‌های شرقی نیز هر چقدر به سمت دریاچه ارومیه حرکت می‌شود بر مقدار گرد و غبار افزوده می‌شود (۱۰).

سرد سال هستند به‌ترتیب کمترین مقادیر گرد و غبار را بخود اختصاص داده‌اند. در این راستا بررسی‌ها در جنوب شرق ایران نیز حاکی از آن بوده است که فعالیت گردوغبار در چهار ماه آبان، آذر، دی و بهمن ضعیف‌تر از سایر ماه‌ها می‌باشد (۲). همچنین تغییرات ماهانه گرد و غبار در جنوب غرب ایران و استان خوزستان نیز حاکی از آن است که ماه‌های سرد سال از آبان تا بهمن ماه کمترین مقدار روزهای گرد و غبار را دارند (۱۶، ۱۷).

بررسی روند تغییرات زمانی در سطح استان آذربایجان غربی نشان داد که از نظر آماری هیچ روند معنی‌داری در میزان AOD و وقایع گرد و غبار در طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ وجود ندارد. برخلاف نتایج پژوهش حاضر، روند تعداد روزهای گرد و غبار در استان خوزستان افزایشی و معنی‌دار بوده است، اما بعضی از ایستگاه‌های هواشناسی مثل اهواز، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان فاقد روند معنی‌دار می‌باشند (۱۷). بررسی ارتباط بین میانگین مقادیر AOD با پوشش گیاهی و متغیرهای اقلیمی بارش، دما و سرعت باد حاکی از آن است که AOD تنها با سرعت باد رابطه معنی‌داری در سطح ۵٪ دارد که این مقدار همبستگی برابر با ۶۴٪ می‌باشد؛ در حالیکه با NDVI، بارش و دما هیچ ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین مطابق با نتایج بررسی‌های پیشین سرعت باد مهمترین عامل مؤثر بر ایجاد گرد و غبار می‌باشد (۱۴، ۲۴).

تغییرات مکانی حاکی از فراوانی بیشتر تعداد وقایع گرد و غبار در حواشی دریاچه ارومیه عمدتاً در بخش‌های شرقی و جنوبی و اندکی در بخش غربی می‌باشد. همچنین مناطق جنوبی فراوانی بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی و شمالی استان نشان می‌دهند. با توجه به جهت باد غالب بنظر می‌رسد مناطق جنوبی بیشتر متأثر از گرد و غبارهای کشورهای همسایه و عراق می‌باشد، کما اینکه مناطق جنوبی از میزان بارش و پوشش گیاهی بهتری برخوردار می‌باشند. ولی احتمال گسترش گرد و غبارهایی که منشأ خارجی از کشور عراق دارد به بخش‌های شمالی وجود ندارد، به همین دلیل مناطق جنوبی گرد و غبار بیشتری نسبت به مناطق شمالی نشان می‌دهند. در این راستا، در نشریه‌های هواشناسی استان آذربایجان غربی که به‌صورت

■ سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب "۰۰۰۱۰۳-۰۰۶-۲۹-۳۶-۲" در سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. از حمایت‌های مادی و معنوی این سازمان و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی تشکر و قدردانی می‌شود.

■ References

1. Al-Dabbagh, S. K. (2020). The use of aerosol optical properties in identification of dust sources in Iraq. *Physics: Conference Series*, 1660(1), 012049.
2. Arjmand, M., Rashki, A., & Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, Southeast of Iran based on the Satellite Data. *Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168. (in Farsi)
3. Bogan, M. A. B., Kul, S., Zengin, S., Oktay, M., Sabak, M., Gumusboga, H., & Bayram, H. (2021). The effects of desert dust storms, air pollution, and temperature on morbidity due to spontaneous abortions and toxemia of pregnancy: 5-year analysis. *Biometeorology*, 65(10), 1733-1739.
4. Boroghani, M., Pourhashemi, S., Zanganeh Asadi, M., & Moradi, H. (2017). Dust source identification in the Middle East by using remote sensing. *Natural Environmental Hazards*, 6(11), 101-118. (in Farsi)
5. Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S. H., Pourhashemi, S., & Berndtsson, R. (2019). Desiccating Lake Urmia: a new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(9), 1483-1487.
6. Boroughani, M., Pourhashemi, S., Hashemi, H., Salehi, M., Amirahmadi, A., Asadi, M. A. Z., & Berndtsson, R. (2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithms in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, 56, 101059.
7. Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235.
8. Ciren, P., & Kondragunta, S. (2014). Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS. *Geophysical Research: Atmospheres*, 119(8), 4770-4792.
9. Dehghan, A., Khanjani, N., Bahrapour, A., Goudarzi, G., & Yunesian, M. (2018). The relation between air pollution and respiratory deaths in Tehran, Iran-using generalized additive models. *BMC pulmonary medicine*, 18(1), 1-9.
10. Delfi, S., Mosaferi, M., Hassanvand, M. S., & Maleki, S. (2019). Investigation of aerosols pollution across the eastern basin of Urmia lake using satellite remote sensing data and HYSPLIT model. *Environmental Health Science and Engineering*, 17(2), 1107-1120.
11. El-Askary, H., Gautam, R., & Kafatos, M. (2004). Remote sensing of dust storms over the Indo-Gangetic basin. *Indian Society of Remote Sensing*, 32(2), 121-124.
12. General Meteorological Department of West Azarbaijan Province (2022). *Meteorological journals of West Azarbaijan province*, Received on March 3, 2015 from <http://www.azmet.ir/in/book/nashreh.htm>. (in Farsi)

13. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashani Zand, E. (2018). The temporal analysis of dust storms in Khoramabad synoptic station. *Applied researches in Geographical Sciences*, 18(51), 87-102. (in Farsi)
14. Gholami, H., Mohamadifar, A., & Collins, A. L. (2020). Spatial mapping of the provenance of storm dust: Application of data mining and ensemble modelling. *Atmospheric Research*, 233, 104716.
15. Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50, RG3005.
16. Hamzeh, N. H., Kaskaoutis, D. G., Rashki, A., & Mohammadpour, K. (2021). Long-term variability of dust events in southwestern Iran and its relationship with the drought. *Atmosphere*, 12(10), 1350.
17. Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Sabzevari, H., & Lo Alizadeh, M. (2021). Investigation of trend analysis of the number of dust stormy days and aerosol concentration derived from satellite in Khuzestan province by using non-parametric Mann-Kendall test. *Climate Research*, 1399(44), 91-103.
18. Khaledi, K. (2017). Estimating the economic losses of dust storms on agriculture sector in the western provinces of the Iran. *Eqtesad-E Keshavarzi Va Towse'e*, 24(96), 151-183. (in Farsi)
19. Kheirandish, Z., Bodagh Jamali, J., & Rayegani, B. (2018). Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data. *Natural Environmental Hazards*, 7(15), 207-220. (in Farsi)
20. Levy, R. C., Remer, L. A., Mattoo, S., Vermote, E. F., & Kaufman, Y. J. (2007). Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance. *Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D13211).
21. Moridnejad, A., Karimi, N., & Ariya, P. A. (2015). A new inventory for middle east dust source points. *Environmental monitoring and assessment*, 187(9), 1-11.
22. NOAA Research. (2020). *NOAA ESRL global monitoring laboratory: SURFRAD aerosol optical depth*, Retrieved March 03, 2020, from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/surfrad/aod/>.
23. Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1), 2-1.
24. Rahmati, O., Panahi, M., Ghiasi, S. S., Deo, R. C., Tiefenbacher, J. P., Pradhan, B., Jahani, A., Goshtasb, H., Kornejady, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Khosravi, H., Davoudi Moghaddam, D., Mohtashamian, M., & Bui, D. T. (2020). Hybridized neural fuzzy ensembles for dust source modeling and prediction. *Atmospheric Environment*, 224, 117320.
25. Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2021). Dust storms in Iran—Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, 48, 100655.
26. Song, H., Zhang, K., Piao, S., & Wan, S. (2016). Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years. *Atmospheric environment*, 126, 117-127.

-
27. Toofan, M. (2010). The challenges and the prospect of regional cooperation in curbing micro dust phenomenon. *Foreign Policy*, 24(4), 943-958. (in Farsi)
 28. Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Kahn, R., Levy, R., Verduzco, C., & Villeneuve, P. J. (2010). Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environmental health perspectives*, 118(6), 847-855.