



Vulnerability Analysis due to Dust Phenomenon in Kerman Province

Ali Ahmadabadi¹ | Fateme Emadoddin² | Sara Kiani³

1. Corresponding Author, Department of physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: ahmadabadi@khu.ac.ir
2. Department of physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Department of physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 13 Dec 2023

Received in revised form:
16 Mar 2024

Accepted: 18 Mar 2024

Available online: 06 Apr
2024

Keywords:

Erodibility,
Landform,
Horizontal visibility,
CoCoSo model,
Exposure.

Many arid and semi-arid regions are also exposed to the risk of dust storms due to their fragile environmental stability. This environmental hazard has caused displacement of surface soil, damage to agricultural lands and vegetation and has affected the lives of people, especially vulnerable groups, close to critical centers and distant areas. The purpose of this research is to evaluate and analyze the vulnerability of social, economic and environmental criteria caused by dust storms in Kerman province. In this regard, social and economic criteria, including population density, gender structure, rural-to-urban population ratio, and rainfed agricultural lands have been considered. Also, the erodibility of geomorphological landforms, poor pastures and bare lands has been identified as an environmental criterion. The results of horizontal visibility (from weather stations) dispersion analysis show that there is a minimum average horizontal visibility in the center of the province. The amount of exposure to dust in Kerman province is between 0.73 and 8.7 meters, so the cities of Baft, Bardsir and Raber are the most exposed to this phenomenon. The results of ranking the Cocos model showed that the cities of Kerman, Bam, Erzuye and Qalaganj are the most sensitive to dust. The results of the vulnerability of the dust phenomenon in Kerman province showed that all the cities of this province are not the same vulnerability to the dust phenomenon. The vulnerability of the dust phenomenon in Kerman province was obtained in 5 categories from very low to very high. 86% of Kerman province area is very high and high vulnerable to dust phenomenon. The results of this research can provide a basis for the development of dust storm reduction studies in order to reduce the vulnerability caused by dust storms in Kerman province for managers and decision makers.

Cite this article: Ahmadabadi, A., Emadoddin, F., Kiani, S. (2024). Vulnerability Analysis due to Dust Phenomenon in Kerman Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (1), 101-119. DOI: 10.22126/GES.2024.9855.2707



© The Author(s).
DOI: 10.22126/GES.2024.9855.2707

Publisher: Razi University

تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان

علی احمدآبادی^۱ | فاطمه عمادالدین^۲ | سارا کیانی^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ahmadabadi@khu.ac.ir
۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخچه مقاله:</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸</p> <p>دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸</p> <p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>فرسایش‌پذیری، لندفرم، دید افقی، مدل کوکوسو، مواجهه.</p>	<p>بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک علی‌رغم پایداری محیطی شکننده در معرض مخاطره پدیده گردوغبار نیز قرار دارند. این مخاطره زیست‌محیطی سبب جابه‌جایی خاک سطحی، آسیب به اراضی کشاورزی و پوشش گیاهی شده و بر زندگی افراد بخصوص گروه‌های آسیب‌پذیر، نزدیک به کانون‌های بحرانی و مناطق دورتر اثر گذاشته است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری معیارهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان است. در این راستا معیارهای اجتماعی و اقتصادی شامل تراکم جمعیت، ساختار جنسی، نسبت جمعیت روستا به شهر و اراضی کشاورزی دیم در نظر گرفته شده است. همچنین فرسایش‌پذیری لندفرم‌های ژئومورفولوژی، مراتع ضعیف و اراضی بایر به‌عنوان معیار محیطی شناسایی شده است. در این پژوهش از شاخص دید افقی (متر) ایستگاه‌های هواشناسی به‌منظور تحلیل مواجهه با گردوغبار در استان کرمان استفاده شده است. نتایج تحلیل پراکندگی دید افقی نشان می‌دهد حداقل میانگین دید افقی در مرکز استان وجود دارد. میزان مواجهه با گردوغبار در استان کرمان بین ۰/۷۳ تا ۸/۷ متر است بطوریکه شهرستان‌های بافت و رابر بیشترین مواجهه را با این پدیده دارند. نتایج رتبه‌بندی مدل کوکوسو نشان داد شهرستان‌های کرمان، بم، ارزوئیه و قلعه‌گنج بیشترین حساسیت را به گردوغبار دارند. نتایج حاصل از آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در استان کرمان نشان داد همه شهرستان‌های این استان نسبت به پدیده گردوغبار آسیب‌پذیری یکسانی ندارند؛ زیرا پراکندگی معیارهای محیطی، اقتصادی و اجتماعی در شهرستان‌ها یکسان نیست. آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در استان کرمان در ۵ طبقه خیلی کم تا خیلی زیاد به دست آمد. ۸۶ درصد از مساحت استان کرمان نسبت به آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند زمینه‌ای را برای توسعه مطالعات کاهش پدیده گردوغبار به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان برای مدیران و تصمیم‌گیران فراهم آورد.</p>

استناد: احمدآبادی، علی؛ عمادالدین، فاطمه؛ کیانی، سارا (۱۴۰۳). تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۴ (۱)، ۱۰۱-۱۱۹. DOI: 10.22126/GES.2024.9855.2707



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

گردوغبار یک پدیده هواشناختی است که بر سلامت انسان، عوامل اقتصادی اجتماعی، محیط زیست و کشاورزی اثر می گذارند (Sivakumar, 2005). به علت موقعیت جغرافیایی ایران که بر روی کمربند خشک و نیمه خشک قرار گرفته است امروزه پدیده گردوغبار به طور چشمگیری افزایش یافته که گاهی منجر به آسیب های جبران ناپذیر به زیرساخت های اقتصادی و اجتماعی می شود (Asl et al., 2018; Dastoorpoor et al., 2018; Goudarzi et al., 2019). بنابراین نظارت مستمر و شناسایی اثرات ناشی از غبارناکی بر پیشگیری و کنترل اثرات منفی آن مؤثر است. پدیده گردوغبار در شرق و جنوب شرق به یک بحران ملی و درجه یک تبدیل شده است. از سویی دیگر خشک شدن پلایها، از بین رفتن پوشش گیاهی و وجود یا عدم وجود رطوبت در کنار هوای ناپایدار از مهم ترین شرایط ایجاد گردوغبار است (علیچانی، ۱۳۷۴: ۴۸). نقشه آسیب پذیری در پهنه بندی گروه های آسیب پذیر جامعه، مناطق آسیب پذیر و میزان آسیب پذیری استفاده می شوند. بدین ترتیب از نقشه های آسیب پذیری در هنگام مدیریت مخاطرات طبیعی از جمله پدیده گردوغبار می توان بهره گرفت.

ذرات معلق در هوا در پدیده گردوغبار می توانند سبب اثرات مخرب، مستمر و طولانی مدت بخصوص بر محیط داشته باشند. اولاً ذرات معلق اثرات جدی بر کیفیت هوا دارند. ثانیاً به طور قابل توجهی غلظت کل ذرات معلق (TSP) افزایش می یابد که بر سلامت انسان اثر می گذارد (Alastuey et al., 2005; Wang et al., 2006; Kim et al., 2009; Feng & Wang, 2012). همچنین بر تابش های خورشیدی اتمسفری نیز اثر می گذارد (Legrand et al., 1988). مطالعات انجام شده بر خصوصیات تابش در صحرا نشان داد که گردوغبار می تواند گرما و سرمای سطح را به ترتیب در طول روز و شب کاهش دهد. همچنین این پدیده در محیط های اقیانوسی می تواند مؤثر باشد (Yuan & Zhang, 2006; Iwamoto et al., 2011). تأثیر گردوغبار بر رشد مناطق شهری و پوشش گیاهی که در فاصله کمتر و بیشتر از ۴۰۰ کیلومتر از کانون های گردوغبار در عربستان سعودی نشان داد که باتوجه به اینکه در این منطقه مطالعاتی ۱۳ کانون گردوغبار فعال وجود دارد. بین گردوغبار با رشد مناطق شهری و پوشش گیاهی به ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۷۳ همبستگی وجود دارد (Alsubhi et al., 2022). در نتیجه پدیده گردوغبار ممکن است بسیاری از زیرساخت های مهم از جمله برق، آب، جاده خراب شوند که می تواند خدمت رسانی در مواقع بحرانی را مختل کند. همه این اثرات می تواند بر پایداری زیرساخت ها و مشاغل بزرگ و کوچک اثر بگذارد (APDIM, 2021).

تأثیر پوشش گیاهی و ارتباط آن با وقوع گردوغبار استان خراسان رضوی طی دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص تأثیر پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) نشان داد که تعداد وقوع گردوغبار با پراکنش پوشش گیاهی ارتباط نزدیکی دارد و با کاهش پوشش گیاهی، بر تعداد وقوع گردوغبار افزوده می شود (پورهایمی و همکاران، ۱۳۹۴). کانون های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS در استان خراسان رضوی ۶۵ کانون شناسایی شد که بیشتر کانون های گردوغبار در کاربری های مراتع ضعیف و اراضی دیم با خاک و لیتولوژی حساس به فرسایش که دارای پوشش گیاهی ضعیف است قرار دارند (پورهایمی و همکاران، ۱۳۹۷). با مطالعه تغییرات لحظه ای سرعت باد و دید افقی در طی شبانه روز، ماه های مختلف سال و همچنین تغییرات فراوانی ماهانه و سالانه طوفان های گردوغبار در منطقه سیستان مشخص شد که با افزایش سرعت باد دید افقی کاهش می یابد (میری، ۱۳۹۹). در بازه زمانی چهارماهه در سال ۱۳۹۷ تعداد ۶ رخداد پدیده گردوغبار ثبت شده است. واکاوی هر رخداد با استفاده از داده های لحظه ای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM₁₀ ایستگاه هواشناسی زابل نشان داد مقدار رسوبات با سرعت و مدت زمان وزش باد ارتباط داشته و بین غلظت PM₁₀ ثبت شده در ایستگاه هواشناسی و مقدار رسوبات جمع آوری شده وابستگی نزدیک وجود دارد (رضائی ترشیزی و میری، ۱۳۹۹).

تغییرات مکانی و فصلی پدیده غبارناکی و ارتباط آنها با شرایط جوی و پوشش گیاهی در مناطق نیمه خشک مرکزی ایران با استفاده از مدل RR و فاکتورهای تغییرات بارندگی فصلی، سرعت باد، دمای هوا و شاخص پوشش

گیاهی (EVI) با شاخص پدیده گردوغبار در دو دوره متفاوت (۲۰۰۸-۲۰۰۱ و ۲۰۱۶-۲۰۰۹) نشان داد که طوفان‌های گردوغبار بخصوص در مرز ایران و ترکمنستان در دهه دوم افزایش قابل توجهی داشته است (Ebrahimi Khusfi et al., 2020). آسیب‌پذیری و تحلیل ریسک پدیده گردوغبار در اهواز با استفاده از معیارهای سن، جنسیت، تعداد اعضای خانوار، میزان تحصیلات، تعداد طبقات ساختمان، قدمت منازل مسکونی، دمای سطح زمین، کاربری، درصد افراد باسواد، فاصله از بیمارستان و مراکز شهری، پارک و فضای سبز نشان داد؛ مناطق ۱ و ۵ شهر اهواز به ترتیب به‌عنوان مناطق با آسیب‌پذیری زیاد و کم شناسایی شدند (Darvishi Boloorani et al., 2021).

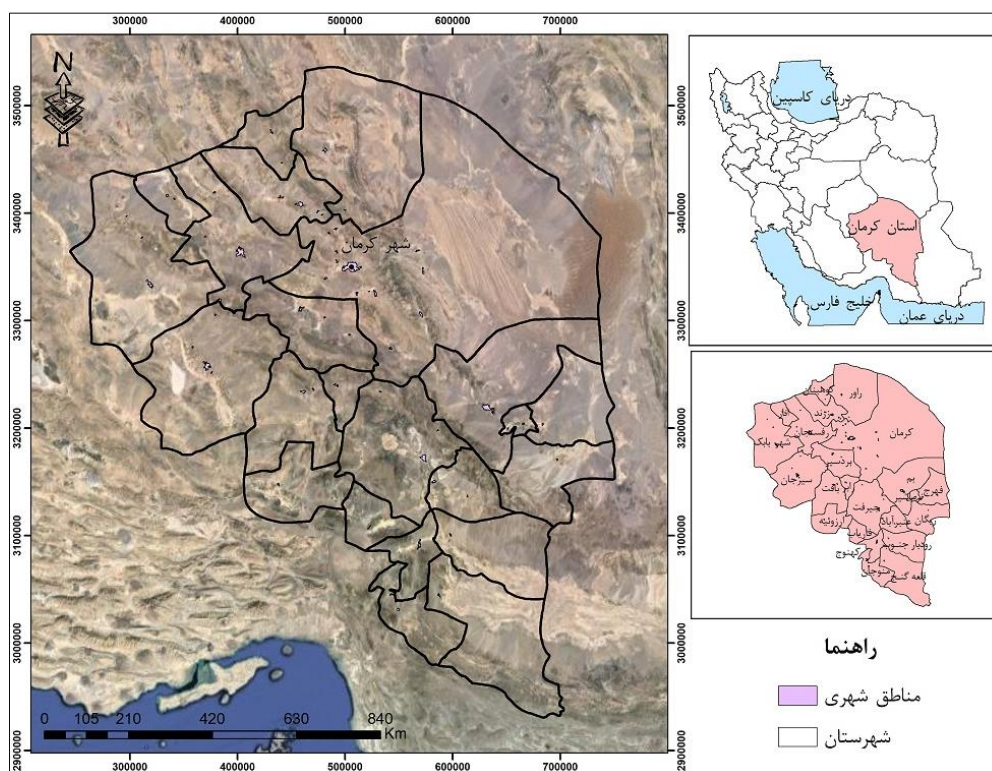
آسیب‌پذیری کانون‌های گردوغبار طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و چهار شاخص $BTD3132$ ، $BTD2931$ ، $NDDI$ و متغیر D در کویر مرکزی ۱۳۵ نقطه به‌عنوان کانون گردوغبار شناسایی شد. همچنین دو فاکتور کاربری اراضی و خاک‌شناسی به‌عنوان مؤثرترین عوامل بر آسیب‌پذیری گردوغبار شناسایی شدند (بروغنی و همکاران، ۱۴۰۱). پژوهشی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیار نشان داد که ۳۷ درصد مناطق روستایی ایران در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد طوفان‌های گردوغبار قرار دارند بطوریکه مناطق روستایی جنوب و جنوب شرق ایران بخصوص استان‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان در معرض آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارند. (Darvishi Boloorani et al., 2023). در حال حاضر تالاب جازموریان، تالاب‌های خشکیده استان سیستان و بلوچستان و کانون‌های کشور افغانستان مهم‌ترین کانون‌های تولید گردوغبار برای جنوب کرمان هستند (نژادافضلی، ۱۳۹۵).

اگرچه مطالعات زیادی در خصوص پدیده غبارناکی و ارتباط آن با پوشش گیاهی و سرعت باد و منشأ گردوغبار در بخش‌هایی از محدوده مطالعاتی انجام شده است؛ اما پژوهشی در خصوص برآورد آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در استان کرمان انجام نشده است. از آنجایی که دید افقی ارتباط غیرمستقیم با مواجهه گردوغبار دارد؛ با کاهش دید افقی میزان مواجهه با گردوغبار افزایش می‌یابد؛ لذا در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های دید افقی میزان مواجهه ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان برآورد گردیده شده و سپس به ارزیابی و تحلیل حساسیت و آسیب‌پذیری معیارهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی استان کرمان نسبت به پدیده گردوغبار در چند سال اخیر پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

محدوده مطالعه استان کرمان با مساحت حدود ۱۷۹۴۹۴ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۹۶ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). این استان دارای ۲۳ شهرستان شامل نرماشیر، رابر، انار، کهنوچ، فاریاب، کوهبنان، عنبرآباد، ارزوئیه، فهرج، زرنده، ریگان، بردسیر، رودبار جنوب، بافت، رفسنجان، جیرفت، قلعه گنج، بم، سیرجان، راور، شهر بابک و کرمان می‌شود. میانگین بارندگی با استفاده از داده‌های ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی موجود در محدوده مطالعاتی (شامل ایستگاه‌های انار، بم، جیرفت، زرنده، سیرجان، شهداد، شهر بابک، بافق، کهنوچ و کرمان) برابر ۱۰۷/۸۴ میلیمتر در بازه ۱۰ ساله (۲۰۰۹-۲۰۱۸) است. میانگین سالانه بارندگی ایستگاه‌های استان کرمان نشان می‌دهد که در بازه ده ساله مطالعاتی کاهش یافته و تنها در ایستگاه شهداد میانگین بارندگی ۱۵/۳۹ میلی‌متر در دوره مطالعاتی افزایش داشته است. بیشترین و کمترین تغییرات بارندگی در یک دوره ده ساله در ایستگاه شهر بابک و بافق به ترتیب برابر ۲۳۰ و ۶۰/۲۹ میلی‌متر مشاهده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی استان کرمان

داده‌ها و روش تحقیق

معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار محدوده مطالعاتی به دو دسته اجتماعی، اقتصادی و محیطی طبقه‌بندی شدند. معیارهای اجتماعی و اقتصادی شامل تراکم جمعیت، نسبت جنسی، مناطق سکونتگاهی و نسبت جمعیت روستایی به شهری معیار اقتصادی اراضی دیم و محیطی شامل فرسایش‌پذیری لندفرم‌های ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی (مراع ضعیف) و اراضی بایر شناسایی شدند (شکل ۲). به منظور اولویت‌بندی هر یک از معیارهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی از مدل کوکوسو استفاده شد. در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی^۱ (عمادالدین و احمدآبادی، ۱۴۰۱) به برآورد آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار پرداخته شده است. روش برآورد آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در استان کرمان در ادامه شرح داده شده است.

در پژوهش حاضر داده‌های حداقل، حداکثر و میانگین دید افقی (متر) و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی بازه ده ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۹)، پوشش گیاهی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدل ارتفاعی رقومی (DEM) ۱۲/۵ متر راداری سنجنده PALSAR استان کرمان و داده‌های جمعیتی مرکز آمار استان کرمان سال ۱۳۹۵ استفاده شده است.

– آسیب‌پذیری^۲

آسیب‌پذیری به‌عنوان تابعی از مولفه‌های مواجهه^۳، حساسیت^۴ و ظرفیت سازگاری^۵ تعریف می‌شود. مواجهه به میزان و ماهیت عناصر سیستم که در معرض خطر طبیعی یا انسانی هستند اطلاق می‌شود (Gibb, 2018). حساسیت مفهوم

1. Weighted Linear Combination (WLC)
2. Vulnerability
3. Exposure
4. Sensitivity
5. Adaptive Capacity

دیگری از آسیب‌پذیری است و به درجه‌ای از یک سیستم که تحت تأثیر محرک‌های خطر قرار می‌گیرد بیان می‌شود (Preston et al., 2011) که آسیب‌پذیری (V) با مواجهه (E) و حساسیت (S) رابطه مستقیم و با ظرفیت سازگاری (AC) رابطه معکوس خواهد داشت. میزان آسیب‌پذیری کلی نسبت به پدیده گردوغبار با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$V = \frac{E \cdot S}{AC} \quad \text{رابطه (۱)}$$



شکل ۲. معیارهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی در برآورد آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار استان کرمان

دید افقی

شاخص دید افقی یکی از معیارها برای ارزیابی میزان غبارناکی است (McTainsh et al., 2005). در این بخش از داده‌های دید افقی استفاده شده است که بر همین اساس، دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب مورد مطالعه در کشور در چهار طبقه کمتر از ۸۰۰ متر، ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر طبقه بندی شده‌اند.

لازم به توضیح است که در پدیده شناختی هواشناسی یا در واقع همان وضع هوا، کدهای ۰۴ تا کد ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ از بین ۱۰۰ کد وضعیت هوا مربوط به وضعیت گردوغبار و توفان گردوغبار و شن است. کد ۰۴ برای حالتی که آلودگی هوا با دود و مه ترکیب شود در انگلیسی واژه ترکیبی smog ترکیب smoke و fog و در فارسی واژه «مه‌دود» بکار برده شده است. کد ۰۵ را برای غبار معادل Haze انگلیسی و برای بیان حالتی که دید افقی به دلیل افزایش ذرات جامد معلق در جو به کمتر از ۱۰ کیلومتر کاهش یابد، بکار می‌رود که هر دو خارج از موضوعات مورد مطالعه در این پژوهش هستند. اما مطابق جدول ۱ که مربوط به کدهای هواشناسی مربوط به پدیده گردوغبار است؛ کد ۰۶ حالتی است که به دلیل تعلیق ذرات در هوا علاوه بر دید افقی، دید عمودی نیز کاهش یافته که مصداق حالتی است که از سطوح فوقانی گردوغبار به لایه‌های سطح زمین فرود آمده و لزوماً وزش باد محلی شرط نیست و لذا در منابع هواشناسی، معادل گردوغبار با منشأ خارجی در نظر گرفته می‌شود. اما در کدهای ۰۷، ۰۸ و ۰۹ گردوغبار ناشی از وزش باد در محل و یا مجاورت ایستگاه هواشناسی بوده و لازمه آن وزش باد محلی است. طوفان‌های شن نیز با کدهای ۳۰ تا ۳۵ اعلام می‌گردند.

جدول ۱. کدهای هواشناسی وضعیت هوای حاضر مربوط به پدیده گردوغبار

شماره کد	تعریف کد
۰۶	گردوغبار در هوا که در اثر طوفان شن و خاک که از نقاط دور به ایستگاه آمده است.
۰۷	گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیده بانی بلند شده است.
۰۹	طوفان گردوخاک در ساعت دیده بانی در اطراف ایستگاه
۳۰	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن کم شده است.
۳۱	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن تغییر نکرده است.
۳۲	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن افزایش یافته است.
۳۳	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت توفان کاسته شده است.
۳۴	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته، شدت توفان تغییر نکرده است.
۳۵	طوفان شدید گردوخاک یا شن، طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است.

مدل کوکوسو^۱

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ به دو دسته وزن‌دهی و رتبه‌بندی تقسیم می‌شوند. تعدادی از روش‌ها مثل آنتروپی تنها برای وزن‌دهی معیارها و تعداد دیگر برای رتبه‌بندی معیارها استفاده می‌شوند. اما در بسیاری موارد نیاز است که از روشی به صورت ترکیبی جهت وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها استفاده شود. راه‌حل ترکیبی سازشی کوکوسو یک تکنیک جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال (۲۰۱۸)، توسط یزدانی و همکاران ارائه شد (Yazdani, et al., 2019). این روش برای انتخاب بهترین نقشه معیار استفاده می‌شود. روش کوکوسو ترکیبی از وزن‌دهی ساده^۳ و مدل تولید وزنی^۴ است. این روش شامل ۵ مرحله می‌شود.

مرحله اول: تشکیل یک ماتریس تصمیم

در حقیقت اولین مرحله در تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تشکیل ماتریس تصمیم است که در رابطه ۲ نشان داده شده است. در این راستا X_{mn} در واقع ارزیابی گزینه m بر اساس معیار n است.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۲)}$$

مرحله دوم: استانداردسازی ماتریس تصمیم

بر اساس رابطه ۳، ماتریس تصمیم استاندارد می‌شود. اولی برای نقشه معیارهای مثبت و دومی برای نقشه معیارهای منفی استفاده می‌شود. $\max X_{ij}$ و $\min X_{ij}$ در واقع بالاترین و کمترین مقادیر هر ستون شاخص هستند. بر اساس این استانداردسازی، نقشه معیارها بین ۰ و ۱ قرار می‌گیرند. بی‌مقیاسی برای یک شاخص با جنبه مثبت از رابطه ۳ استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij} - r_j^{\min}}{r_j^* - r_j^{\min}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

بی‌مقیاسی برای یک شاخص با جنبه منفی از رابطه ۴ استفاده می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{r_j^* - r_{ij}}{r_j^* - r_j^{\min}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

1. Combined Compromise Solution (CoCoSo)
2. Multi-Criteria Decision-Making method (MCDM)
3. Simple Additive Weighting (SAW)
4. Weighted Product Models (WPM)

مرحله سوم: محاسبه جمع وزنی و ضرب وزنی

در این پژوهش از دو مدل وزن‌دهی ساده (Si) و واسپاس (Pi) به ترتیب برای جمع وزنی (رابطه ۵) و ضرب وزنی (رابطه ۶) استفاده خواهد شد.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j r_{ij}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

مرحله چهارم: وزن‌دهی

وزن‌دهی نقشه معیارها بر اساس سه استراتژی محاسبه می‌شوند. به طوری که Kia میانگین حسابی امتیازات WPM و WSM (رابطه ۷)، Kib مجموع امتیازات نسبی WPM و WSM در مقایسه با بهترین امتیاز (رابطه ۸) و Kic حد وسط امتیازات مدل‌های WPM و WSM است (رابطه ۹).

$$K_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$K_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda (S_i) + (1-\lambda)(P_i)}{(\lambda \max S_i + (1-\lambda) \max P_i)}; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad \text{رابطه (۹)}$$

مقدار λ توسط تصمیم‌گیران بین صفر تا یک انتخاب می‌شود؛ اما مقدار λ ۰/۵ بیشترین انعطاف‌پذیری را دارد.

مرحله پنجم: تعیین امتیاز نهایی و رتبه‌بندی نقشه معیارها

مقدار Ki از مجموع میانگین هندسی و حسابی محاسبه می‌شود (رابطه ۱۰). امتیاز Ki برای هر کدام از نقشه معیارها که بالاتر باشد نشان دهنده اولویت و برتری آن نقشه معیار خواهد بود.

$$K_i = (K_{ia} \cdot K_{ib} \cdot K_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (K_{ia} + K_{ib} + K_{ic}) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

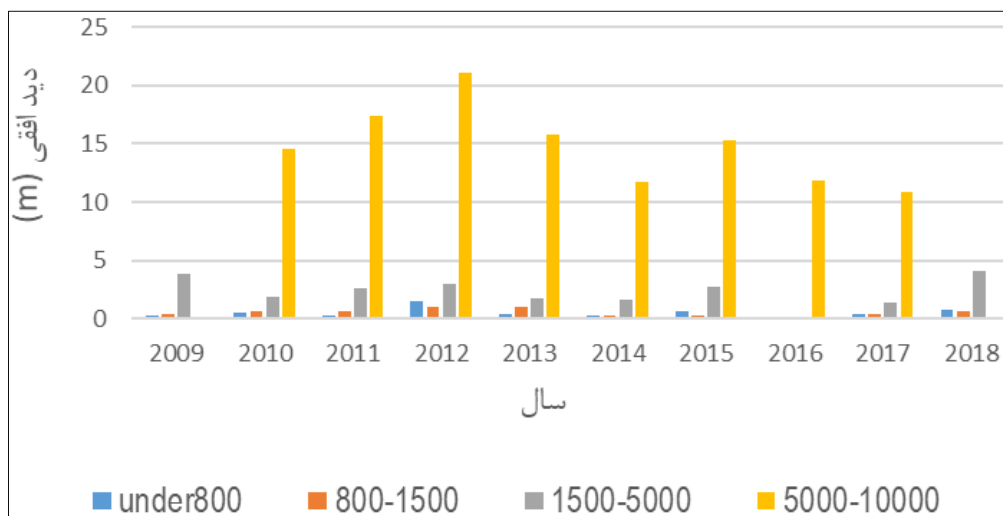
نتایج

تحلیل عامل مواجهه

میزان دید افقی در ارتفاع‌های مختلف نسبت به سطح زمین (کمتر از ۸۰۰ متر، ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر) در یک بازه ده ساله در شکل ۳ نشان داده شده است. بطور کلی میزان دید افقی در هر یک از طبقات در بازه ۱۰ ساله روند کاهشی داشته؛ که نشان دهنده افزایش پدیده گردوغبار در محدوده مطالعاتی است. به علت فعال بودن فرسایش بادی نیکاهای زیادی در این شهرستان‌ها تشکیل شده است (شکل ۴). شکل ۵ مقدار حداقل، حداکثر و میانگین دید افقی در استان کرمان در بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۰۹-۲۰۱۸) را نشان می‌دهد. میانگین دید افقی در استان کرمان بین ۲ تا حدود ۶ متر است.

شهرستان‌های رابر و بافت میانگین دید افقی برابر ۲ متر و شهرستان قلعه گنج میانگین دید افقی حدود ۶ متر در بازه زمانی ۱۰ سال را تجربه کرده‌اند. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده میزان دید افقی در مرکز استان کرمان برابر ۰/۷۳ متر و با فاصله از مرکز استان میزان دید افقی افزایش یافته و به ۸/۷ متر می‌رسد. از آنجایی که با کاهش دید

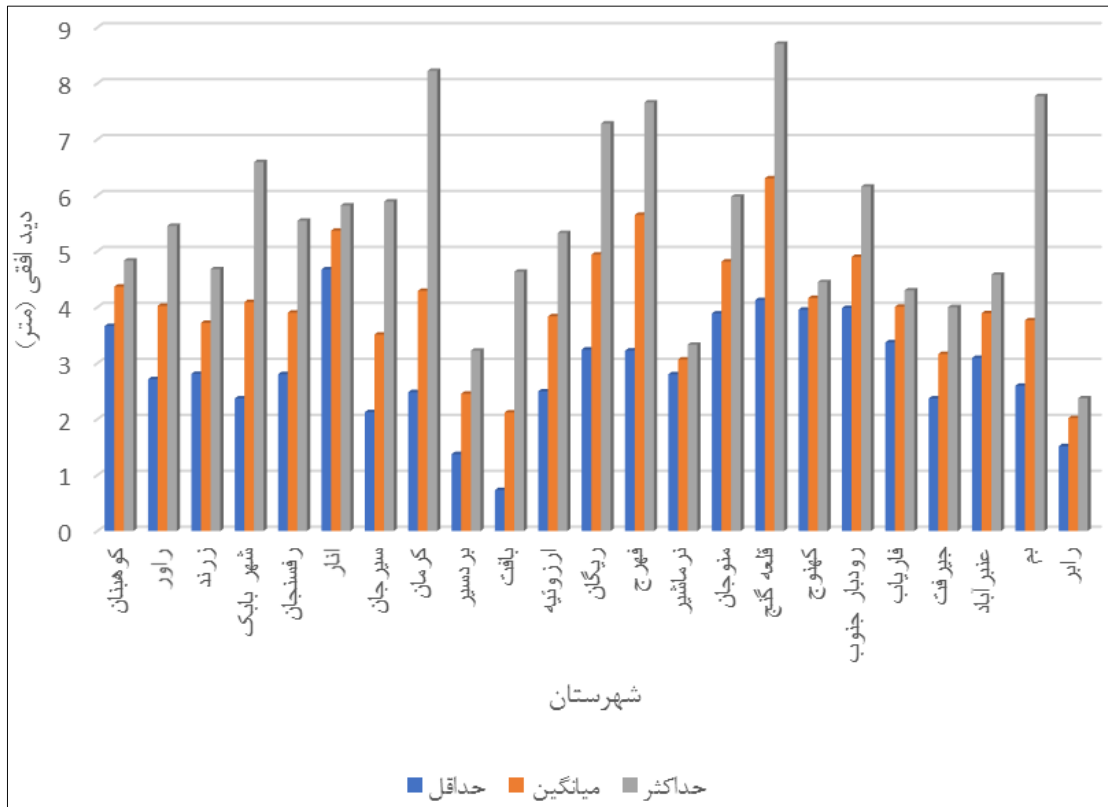
افقی میزان مواجهه گردوغبار افزایش می‌یابد می‌توان گفت شهرستان‌هایی که در مرکز استان کرمان قرار دارند از جمله رابر، بردسیر و بافت بیشترین مواجهه با گردوغبار را تجربه می‌کنند (در شکل ۶ شهرستان‌هایی که مواجهه بیشتری با گردوغبار دارند با رنگ قرمز و نارنجی نشان داده است). از طرفی شهرستان‌های قلعه گنج و فهرج به ترتیب با دید افقی ۶/۳ و ۵/۵ متر میزان مواجهه کمتری با گردوغبار در استان کرمان دارند. شکل ۶ خندق رسوب‌گیر به عمق ۲ متر و عرض ۱/۵ در شهرستان نرماشیر را نشان می‌دهد. خندق رسوب‌گیر به‌منظور به دام انداختن رسوبات در سال ۱۳۹۹ احداث شده بود. در مطالعات پیش‌بینی شده بود که این خندق‌های رسوب‌گیر در مدت ۱۰ سال از رسوبات پر می‌شوند. درحالی‌که بازبینی‌ها نشان داد کمتر از ۳ سال این خندق به‌طور کامل از رسوبات بادی پر شده است (شکل ۷).



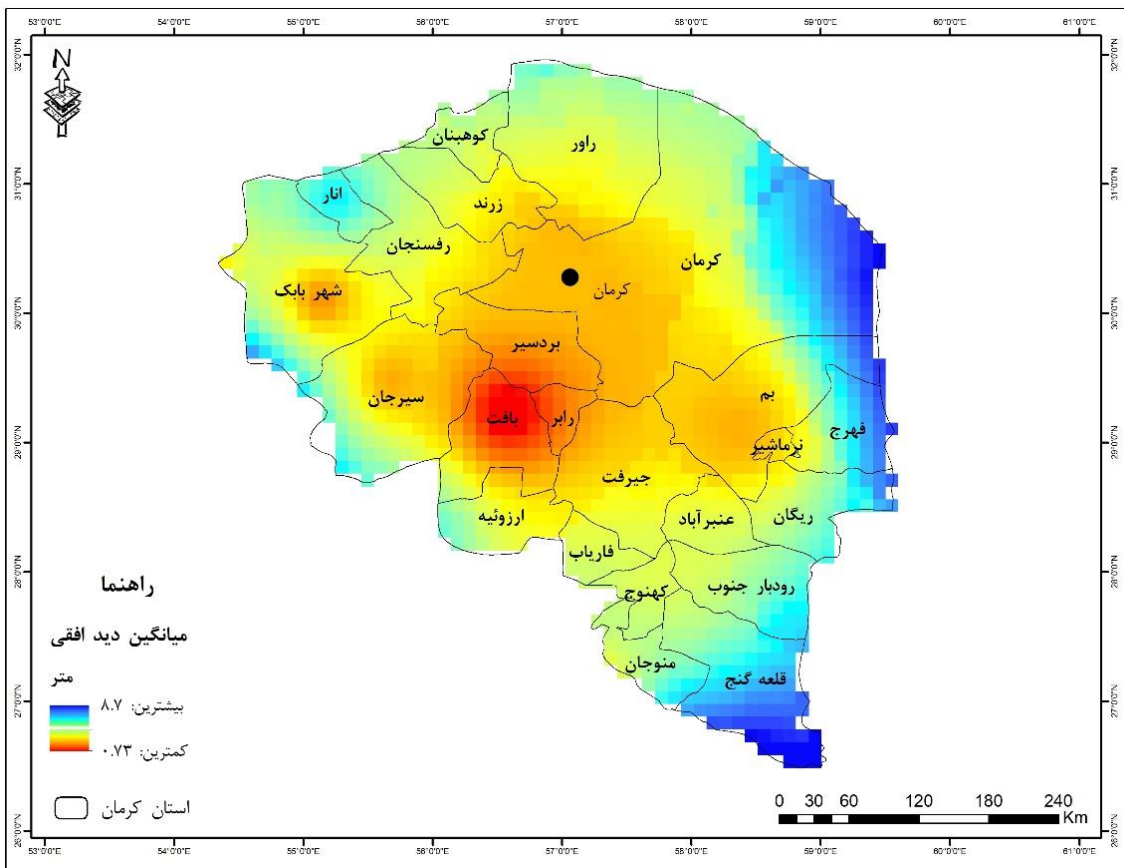
شکل ۳. مقادیر دید افقی (متر) سالانه استان کرمان (۲۰۰۹-۲۰۱۸)



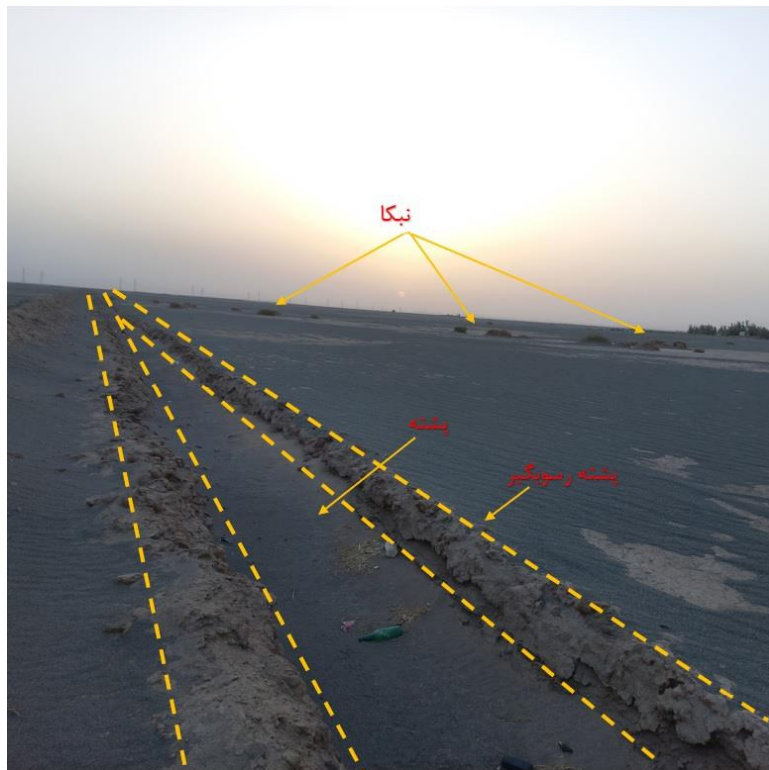
شکل ۴. تشکیل نمکا در شهرستان بم (عکس از نگارنده تاریخ ۱۴۰۲/۷/۲۵)



شکل ۵. مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل دید افقی (متر) شهرستان‌های استان کرمان (۲۰۰۹-۲۰۱۸)



شکل ۶. میانگین دید افقی (متر) استان کرمان (۲۰۰۹-۲۰۱۸)



شکل ۷. پر شدن خندق رسوبگیر ناشی از پدیده گردوغبار در شهرستان نماشیر (عکس از نگارنده تاریخ ۱۴۰۲/۷/۲۵)

تحلیل عامل حساسیت

حساسیت نسبت به پدیده گردوغبار به طور کلی از تلفیق معیارهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی محاسبه می‌شود. معیارهای اجتماعی و اقتصادی شامل مناطق سکونتگاهی (روستایی و شهر)، تراکم جمعیت، نسبت جنسی (نسبت مرد به زن)، نسبت جمعیت روستا به شهر و اراضی دیم است. همچنین معیار محیطی که نسبت به پدیده گردوغبار حساسیت دارند شامل اراضی بایر، مراتع درجه ۳ یا فقیر و اراضی فرسایش پذیر می‌شود. با افزایش تراکم جمعیت تعداد افراد بیشتری در معرض گردوغبار قرار گرفته بنابراین حساسیت افزایش می‌یابد. از آنجایی که تراکم جمعیت در شهرستان‌های کرمان، جیرفت، رفسنجان، سیرجان، زرد و شهربابک به نسبت سایر شهرستان‌ها بیشتر است میزان حساسیت این شهرستان‌ها نسبت به گردوغبار نیز افزایش می‌یابد (شکل ۸).

شکل ۹ نسبت تعداد مردها به تعداد زن‌ها در استان کرمان را نشان می‌دهد. از طرفی زنان و کودکان نسبت به مردان حساسیت بیشتری نسبت به گردوغبار دارند. نسبت جنسی به ترتیب در شهرستان‌های شهربابک، رفسنجان، انار، سیرجان، بم و فهرج نزدیک به یک و در سایر شهرستان‌ها کاهش می‌یابد بطوریکه شهرستان قلعه گنج کمترین نسبت جنسی ۰/۸۹ مشاهده می‌شود. با رخداد پدیده گردوغبار سکونتگاه‌های روستایی نسبت به سکونتگاه‌های شهری حساسیت بیشتری نسبت به پدیده گردوغبار دارند. نسبت جمعیت روستا به شهر در استان کرمان از شمال به جنوب افزایش می‌یابد (شکل ۱۰). شکل ۱۱ معیارهای تراکم جمعیت، نسبت جنسی و نسبت جمعیت روستا به شهر در استان کرمان به تفکیک هر شهرستان به صورت نمودار ستونی مقایسه کرده است. در همه شهرستان‌های استان کرمان به استثنای شهرستان فهرج زنان و کودکان نسبت به مردان (نسبت جنسی) در مواجهه بیشتری در برابر گردوغبارها در مقایسه با سایر عوامل اجتماعی هستند.

در شهرستان فهرج نسبت سکونتگاه‌های روستایی نسبت به شهری در مقایسه با نسبت جنسی تقریباً برابر است که نشان می‌دهد شهرستان فهرج در مقایسه با سایر شهرستان‌ها سکونتگاه‌های روستایی بیشتری نسبت به سکونتگاه شهری دارد؛ بنابراین سکونتگاه‌های روستایی شهرستان فهرج و بخصوص کودکان و زنان در مواجهه بیشتری در برابر گردوغبارها قرار دارند. با مقایسه سکونتگاه‌های روستایی نسبت به شهری، تراکم جمعیت و نسبت جنسی در شهرستان نماشیر می‌توان

در جدول ۲ مساحت شهرستان‌های استان کرمان به همراه درصد اراضی بایر، اراضی دیم مراتع فقیر، مناطق مسکونی و سطوح فرسایش‌پذیر ارائه شده است. درصد هر یک از اراضی بایر، اراضی دیم مراتع فقیر، مناطق مسکونی و سطوح فرسایش‌پذیر از نسبت مساحت هر از این اراضی به مساحت شهرستان بدست آمده است. شهرستان‌های کرمان و نرماشیر به ترتیب بزرگترین و کوچکترین شهرستان با مساحت ۴۱۱۸۵۷۱ و ۶۶۶۳۵ هکتار در استان کرمان هستند. پس از شهرستان کرمان شهرستان‌های سیرجان، راور و شهر بابک بیشترین مساحت را در استان کرمان دارند. همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است بیش از نیمی از مساحت شهرستان‌های بم، فهرج و نرماشیر دارای اراضی بایر است. درصد اراضی بایر در شهرستان‌های سیرجان، بافت، رابر و زرنده به ترتیب ۱/۹، ۲/۸، ۱/۳ و ۴/۹ است. ۳۳/۵ درصد مساحت شهرستان کرمان از اراضی بایر پوشیده شده است. شهرستان‌های ارزوئیه، انار، بم، جیرفت، راور، رودبار جنوب، زرنده، فاریاب، فهرج، کوهبنان، کهنوج، منوجان و نرماشیر بدون اراضی دیم هستند (شکل ۱۳). نسبت اراضی دیم به مساحت شهرستان در شهرستان بافت برابر ۲/۳ درصد و پس از آن در شهرستان‌های بردسیر، رابر، سیرجان، رفسنجان، کرمان، شهر بابک، عنبرآباد و ریگان به ترتیب ۱/۶، ۱/۴، ۰/۸، ۰/۵۸، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰۰۷ و ۰/۰۰۷ درصد از مساحت هر شهرستان دارای اراضی با کاربری دیم است. با در نظر گرفتن مساحت شهرستان‌های استان کرمان شهر بابک با مساحت ۱۳۵۶۴۷۶ هکتار و شهرستان زرنده با مساحت ۵۵۴۱۴۲ هکتار بیش از ۷۰ درصد آن‌ها از مراتع فقیر پوشیده شده است (شکل ۱۴).

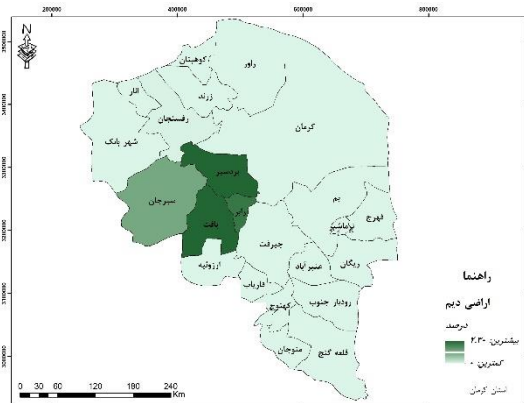
شهرستان فهرج دارای کمترین اراضی با کاربری مراتع فقیر (۲/۸ درصد) و پس از آن شهرستان بم ۱۸/۷ درصد از سطح شهرستان دارای مراتع فقیر است. شهرستان‌های ارزوئیه، بافت، رودبار جنوب، کهنوج و منوجان بیش از ۴۰ درصد مساحت شهرستان از مراتع فقیر پوشیده است. همچنین بیش از ۵۰ درصد مساحت شهرستان‌های جیرفت، رابر، رفسنجان، ریگان و سیرجان دارای کاربری مراتع فقیر هستند. مناطق مسکونی بین ۰/۰۸ تا ۲/۵ درصد سطح هر یک از شهرستان‌های استان کرمان متفاوت است. بطوریکه شهرستان راور و نرماشیر به ترتیب کمترین و بیشترین درصد مناطق سکونتگاهی را نسبت به مساحت هر شهرستان در استان کرمان دارند. متوسط درصد مناطق سکونتگاهی در شهرستان‌های سیرجان، زرنده، کهنوج و رفسنجان ۱/۳۵ درصد است. همچنین درصد مناطق سکونتگاهی هر یک از شهرستان‌های ارزوئیه، رودبار جنوب، ریگان و کوهبنان برابر ۰/۳ است (شکل ۱۵). با توجه به شکل ۱۶ سطوح فرسایش‌پذیر در شهرستان‌های بافت، جیرفت، رابر، سیرجان، عنبرآباد، فاریاب، کهنوج، منوجان و نرماشیر دیده نمی‌شود. درصد سطوح فرسایش‌پذیر در شهرستان‌های ارزوئیه و انار تقریباً نزدیک به هم (حدود ۱۸ درصد) و در شهرستان‌های راور و کوهبنان بیش از ۱۳ درصد مشاهده شده است. همچنین درصد این سطوح فرسایش‌پذیر در شهرستان‌های بردسیر، رفسنجان، رودبار جنوب و زرنده به ترتیب برابر ۱/۷، ۱/۵، ۱/۱ و ۱/۲ است. میزان حساسیت استان کرمان به پدیده گردوغبار در شکل ۱۷ ارائه شده است. این مقدار بین ۲/۰۵-۰/۹۹ است. شهرستان‌های کرمان و ارزوئیه بیشترین حساسیت را در مقابل طوفان گردوغبار دارند و پس از شهرستان‌های بم، راور، کوهبنان، رفسنجان و قلعه گنج نسبت به پدیده گردوغبار حساس هستند. در حالیکه شهرستان‌های فهرج و ریگان کمترین حساسیت را در مقابل پدیده گردوغبار دارند.

جدول ۲. مساحت شهرستان‌ها (هکتار) و درصد اراضی بایر، دیم، فرسایش‌پذیر، مناطق مسکونی و مراتع فقیر استان کرمان

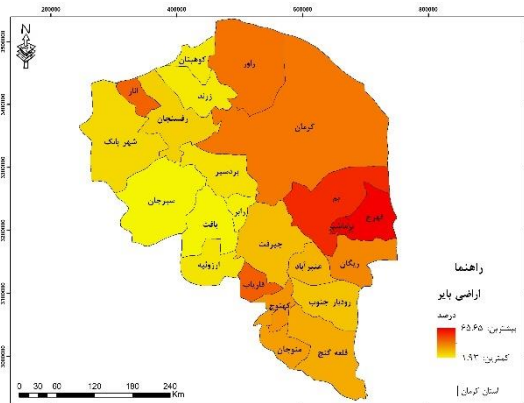
شهرستان	مساحت (هکتار)	درصد اراضی بایر	درصد اراضی دیم	درصد مراتع فقیر	درصد مناطق سکونتگاهی	درصد فرسایش‌پذیر
ارزوئیه	۴۸۱۲۳۹	۶/۶	۰	۴۷/۳	۰/۳	۱۸/۲
انار	۲۰۹۴۱۳	۳/۸	۰	۳۳/۶	۰/۹	۱۷/۹
بافت	۶۴۴۵۷۲	۲/۸	۲/۳	۴۴/۶	۰/۵	۰
بردسیر	۶۰۶۷۰۳	۷	۱/۶	۶۱/۵	۰/۴	۱/۷
بم	۱۱۵۱۵۱۰	۵۲/۷	۰	۱۸/۷	۰/۴	۸/۵

ادامه جدول ۲.

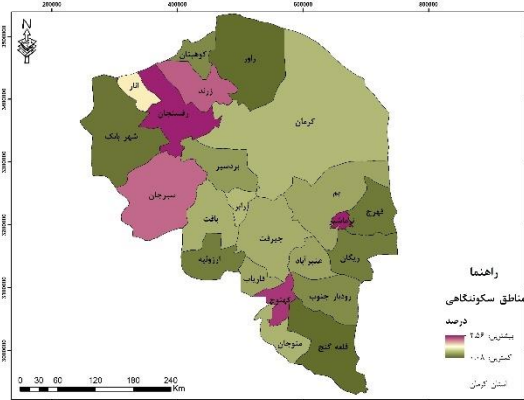
شهرستان	مساحت (هکتار)	درصد اراضی بایر	درصد اراضی دیم	درصد مراتع فقیر	درصد مناطق سکونتگاهی	درصد فرسایش پذیر
جیرفت	۹۷۴۶۵۶	۱۶/۴	۰	۵۰/۵	۰/۵	۰
راور	۱۵۸۲۴۷	۳/۱	۱/۴	۵۶	۰/۵	۰
راور	۱۳۵۲۰۳۱	۳۴/۹	۰	۲۸/۱	۰/۰۸	۱۳/۷
رفسنجان	۸۲۴۴۳۳	۱۱/۸	۰/۰۵	۵۸	۱/۵	۱/۵
رودبار جنوب	۶۱۷۵۶۵	۱۳/۷	۰	۴۳/۵	۰/۳	۱/۱
ریگان	۵۷۵۴۱۴	۲۹	۰/۰۰۷	۵۲/۱	۰/۳	۹
زرند	۵۵۴۱۴۲	۴/۹	۰	۷۲/۹	۱/۳	۱/۲
سیرجان	۱۳۰۴۸۷۳	۱/۹	۰/۸	۵۳/۸	۱/۲	۰
شهربابک	۱۳۵۶۴۷۶	۹/۱	۰/۰۱	۷۸/۳	۰/۲	۰/۷
عنبرآباد	۳۴۰۱۲۳	۱۸/۴	۰/۰۷	۴۶	۰/۴	۰
فاریاب	۲۴۱۲۰۶	۳۹/۸	۰	۳۷/۶	۰/۴	۰
فهرج	۴۹۴۶۴۷	۶۲/۹	۰	۲/۸	۰/۲	۲/۸
قلعه گنج	۱۰۰۵۹۹۱	۱۹/۹	۰	۳۸/۲	۰/۲	۱۰/۶
کرمان	۴۱۱۸۵۷۱	۳۳/۵	۰/۰۲	۱۶/۲	۰/۵	۵/۳
کوهبنان	۲۶۹۲۸۹	۵/۵	۰	۶۴/۹	۰/۳	۱۳/۱
کهنوج	۲۳۹۸۴۱	۲۵/۸	۰	۴۰/۱	۱/۴	۰
منوجان	۳۶۱۸۸۹	۲۳/۷	۰	۴۶/۳	۰/۵	۰
نرماشیر	۶۶۶۳۵	۶۵/۷	۰	۲/۶	۲/۵	۰



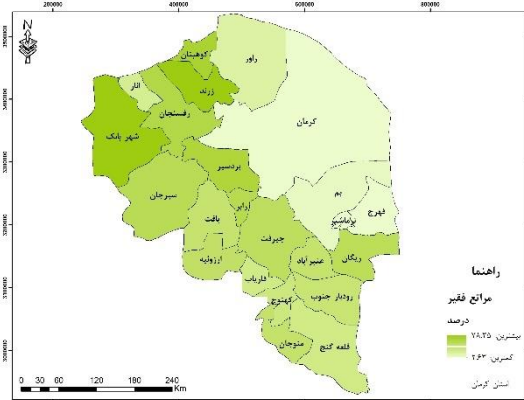
شکل ۱۳. درصد اراضی دیم در استان کرمان



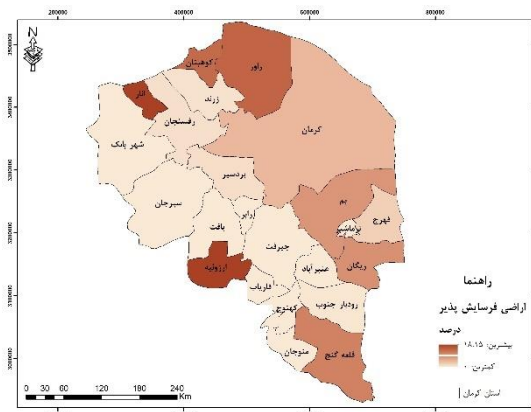
شکل ۱۲. درصد اراضی بایر در استان کرمان



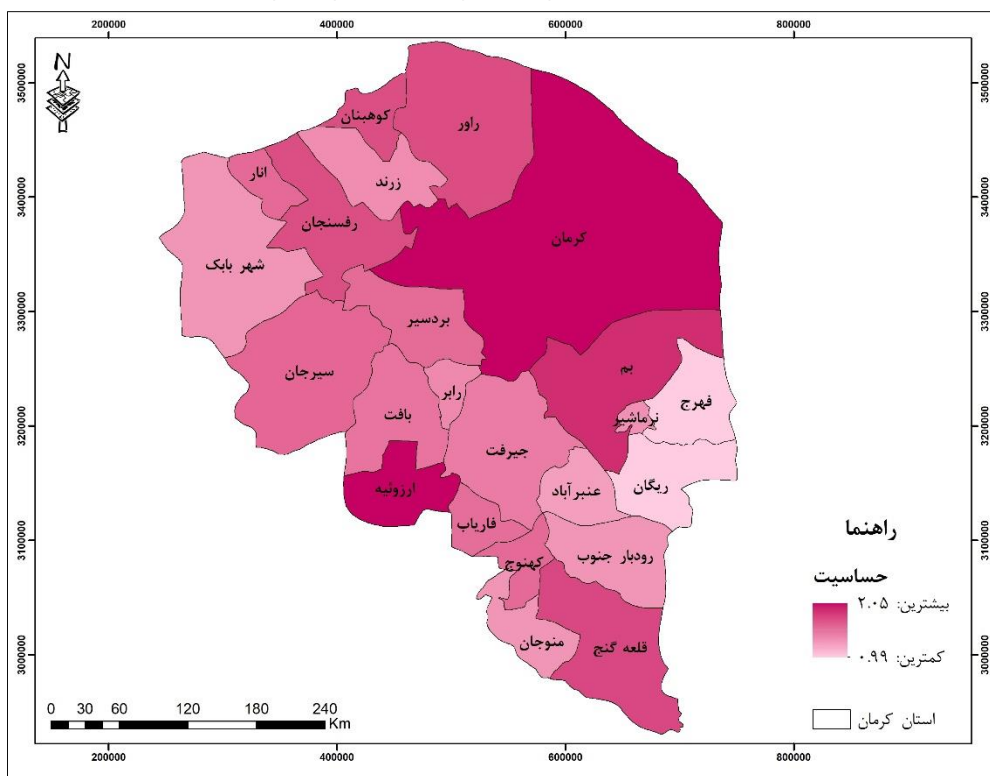
شکل ۱۵. درصد مناطق سکونتگاهی در استان کرمان



شکل ۱۴. درصد مراتع فقیر در استان کرمان



شکل ۱۶. درصد سطوح فرسایش پذیر در استان کرمان

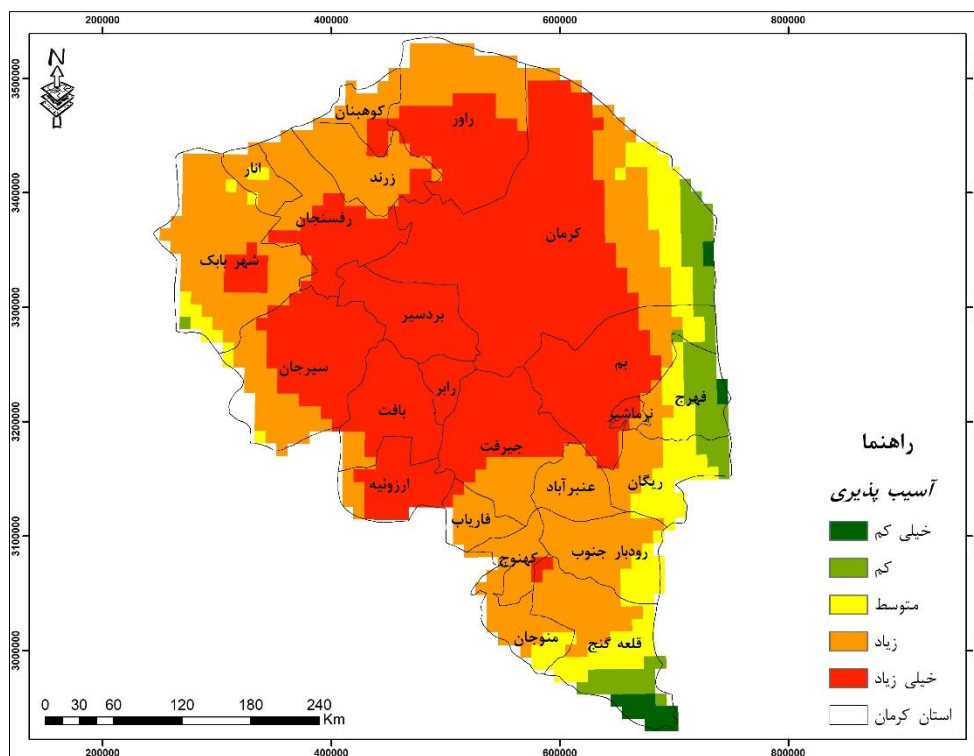


شکل ۱۷. حساسیت ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان

تحلیل عامل آسیب پذیری

نتایج نقشه آسیب پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان نشان می دهد در منطقه مطالعاتی ۵ طبقه آسیب پذیری شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد وجود دارد (شکل ۱۸). پهنه های خیلی کم و کم در شرق و جنوب استان کرمان به ترتیب به مساحت ۱۵۸۸۳۲ و ۷۶۷۲۲۱ حدود ۵ درصد شهرستان های کرمان، بم، فهرج، ریگان و قلعه گنج دیده می شود. پهنه با آسیب پذیری متوسط به صورت نواری پیوسته از شرق به جنوب شرق و جنوب استان کرمان گستره است. به طوری که شرق شهرستان های کرمان، بم، ریگان، رودبار جنوب و منوجان و بخش های مرکزی شهرستان های قلعه گنج و فهرج در طبقه با آسیب پذیری متوسط قرار دارد. همچنین پهنه خیلی زیاد و زیاد به ترتیب به مساحت ۸۶۳۶۴۷۰ و ۶۵۴۵۷۶۹ هکتار در شهرستان های راور، کرمان، بم، نورماشیر، جیرفت، بافت، سیرجان، شهرابک، رفسنجان، بردسیر، رابر، زرنده و کوهبنان گستره است (جدول ۳). شهرستان های انار، عنبرآباد، فاریاب، رودبار جنوب و منوجان در پهنه با آسیب پذیری زیاد قرار دارند. به طور کلی حدود ۹۵ درصد استان کرمان در طبقه

آسیب پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.



شکل ۱۸. آسیب پذیری ناشی از طوفان گردوغبار در استان کرمان

جدول ۳. مساحت (هکتار) و درصد طبقات آسیب پذیر در استان کرمان

درصد	مساحت	طبقات آسیب پذیر
۰/۹	۱۵۸۸۳۲	خیلی کم
۴/۳	۷۶۷۲۲۱	کم
۸/۷	۱۵۲۸۷۱۷	متوسط
۳۷/۱	۶۵۴۵۷۶۹	زیاد
۴۹	۸۶۳۶۴۷۰	خیلی زیاد

بحث

امروزه به دلیل اثرات پدیده گردوغبار بر جوامع بشری تحقیقات بسیاری در مورد پدیده گردوغبار در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. از جمله مطالعات قبلی (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶) به ارزیابی کیفیت هوا در شهر کرمان در سال ۱۳۹۴ با استفاده از شاخص کیفیت هوا، (پویان و همکاران، ۱۳۹۸) توزیع مکانی شاخص توفان های گردوغبار در ایران، (جعفری و صنعتی، ۱۴۰۰) شناسایی کانون ها و طوفان های گردوغبار جنوب استان کرمان با استفاده از داده های ماهواره ای مودیس، (Malakootian et al., 2013) غلظت و ویژگی گردوغبار شهری در شهر کرمان و (Darvishi Boloorani et al., 2023) به ارزیابی آسیب پذیری مناطق روستایی به طوفان های گردوغبار و ریزگرد در ایران پرداخته اند.

پژوهش حاضر باهدف ارزیابی آسیب پذیری عوامل محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان انجام شد. پژوهش انجام شده توسط (پویان و همکاران، ۱۳۹۸) نشان داد جنوب شهرستان های ریگان، فهرج، بهم، جنوب کرمان و قلعه گنج کانون های گردوغبار و منشأ آنها با طبقه شدید و خیلی شدید شناسایی شدند. از طرفی وزش باد سبب جابه جایی گردوغبارها شده و اثرات خود را بر شهرستان های مجاور کانون گردوغبار بجای می گذارند؛

بنابراین با پژوهش حاضر هم راستا است. از آنجایی که (Darvishi Boloorani et al., 2023) نتیجه گرفتند ۳۷ درصد مناطق روستایی ایران در معرض آسیب پذیری ناشی از طوفان گردوغبار هستند در پژوهش حاضر نیز نسبت جمعیت روستا به شهر به عنوان یکی از معیارهای اجتماعی انتخاب شد. معیار نسبت جمعیت روستا به شهر در شهرستان‌های فهرج، نرماشیر، ارزوئیه، فاریاب، منوجان، قلعه گنج و رودبار جنوب بیشتر از سایر شهرستان‌ها است. همین‌طور این شهرستان‌ها نسبت به طوفان‌های گردوغبار در طبقه آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین پژوهش حاضر با پژوهش (Ge et al., 2017) در زمینه آسیب‌پذیری اجتماعی ناشی از پدیده گردوغبار در چین هم‌راستا است. آنان نشان دادند که همه استان‌های چین نسبت به پدیده گردوغبار آسیب‌پذیری یکسانی ندارند برای مثال استان شانگهای نسبت به سایر استان‌ها آسیب‌پذیری کمتری دارد. آنان نتیجه گرفتند تنوع فضایی و نابرابری اجتماعی، مبنایی علمی برای پیشگیری از آلودگی هوا و مدیریت پایدار برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در سه بعد محیطی، اقتصادی و اجتماعی ارزیابی و تحلیل شده است. با مدنظر قراردادن این ابعاد در جهت کاهش آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار، استان کرمان به پایداری نزدیک‌تر می‌شود. نتایج حاصل از حساسیت معیارهای اجتماعی (تراکم جمعیت، نسبت جنسی و نسبت جمعیت روستا به شهر) نشان می‌دهد معیار نسبت جنسی حساسیت بیشتری نسبت به سایر معیارهای اجتماعی به پدیده گردوغبار در استان کرمان دارد. همچنین با توجه به جمعیت بیشتر روستا به شهر در شهرستان‌های جنوبی استان کرمان از جمله ریگان، فهرج، ارزوئیه، فاریاب، منوجان، قلعه گنج و رودبار جنوب معیار نسبت جمعیت روستا به شهر در این شهرستان‌ها از معیار تراکم جمعیت حساسیت بیشتری دارد.

در حالی که در سایر شهرستان (انار، شهربابک، رفسنجان، کرمان، بم، رابر، سیرجان، جیرفت و کهنوج) به دلیل کاهش جمعیت روستاها و همچنین افزایش جمعیت مناطق شهری معیار تراکم جمعیت نسبت به معیار نسبت جمعیت روستا به شهر حساسیت بیشتری به پدیده‌های گردوغبار در استان دارند. از طرفی بیش از ۸۰ درصد مساحت شهرستان‌های انار، شهربابک و کوهبنان (به ترتیب ۹۰/۴، ۸۸/۳۱ و ۸۳/۸) از اراضی فرسایش‌پذیر، مناطق مسکونی، مراتع فقیر، اراضی بایر و اراضی دیم پوشیده شده است. به همین جهت در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. از آنجایی که مطالعاتی که تاکنون در زمینه پدیده گردوغبار انجام شده عمدتاً بزرگ‌مقیاس بوده و به ندرت تمایز بین عوامل طبیعی و فعالیتهای انسانی در تولید گردوغبار را مورد توجه قرار داده‌اند؛ بنابراین تحقیقات بیشتری مورد نیاز است تا درک شود چه میزان فعالیتهای انسانی در بیابان‌زایی و تولید گردوغبار نقش دارند. همچنین نیاز به برنامه‌ریزی و مطالعات بیشتر تصمیم‌گیران در زمینه کنترل کانون‌های گردوغبار و کاهش آسیب‌پذیری ناشی از پدیده گردوغبار در استان کرمان وجود دارد.

منابع

- بروغنی، مهدی؛ میرچولی، فهیمه؛ محمدی، مازیار (۱۴۰۱). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های یادگیری ماشین. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۳(۴۷)، ۱-۱۳. https://jargs.su.ac.ir/article_161558.html
- پورهاشمی، سیما؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ صالحی، مهدی (۱۳۹۷). شناسایی و تعیین خصوصیات کانون‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۳۴(۱)، ۹-۱. doi: 10.29252/geores.34.1.1
- پورهاشمی، سیما؛ بروغنی، مهدی؛ زنگنه اسدی، محمدعلی؛ امیراحمدی، ابوالقاسم (۱۳۹۴). تحلیل ارتباط پوشش گیاهی بر وقوع تعداد گردوغبار استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۶(۴)، ۳۳-۴۵. <https://sid.ir/paper/189509/fa>
- پویان، سهیلا؛ زارع، محمد؛ اختصاصی، محمدرضا (۱۳۹۸). بررسی توزیع مکانی و دسته‌بندی شاخص توفان‌های گردوغبار (DSI)

- با استفاده از روش گشتاور خطی. منابع طبیعی ایران، ۷۲(۱)، ۲۹-۴۳. doi: 10.22059/jrwm.2018.249574.1216
- جعفری، رضا؛ صنعتی، حکیمه (۱۴۰۰). شناسایی کانون‌ها و طوفان‌های گردوغبار جنوب استان کرمان با استفاده از داده‌های سنجش از دور. علوم آب و خاک، ۲۵(۳)، ۱۴۵-۱۵۸. doi: 10.47176/jwss.25.3.13894
- حیدری، محسن؛ حیدری‌نژاد، ضحی؛ علیپور، ولی؛ دیندارلو، کاووس؛ رحمانیان، امید؛ گودرزی، بابک؛ موسی، پورحسن (۱۳۹۶). ارزیابی کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا در شهر کرمان در سال ۱۳۹۴. بهداشت محیط، ۳(۳)، ۲۰۸-۲۱۸. doi: 10.22038/jreh.2018.26051.1173
- رضائی‌ترشیزی، محسن؛ میری، عباس (۱۳۹۹). بررسی توزیع عمودی رسوبات بادی طوفان‌های گردوغبار در منطقه سیستان. مدیریت بیابان، ۸(۱۵)، ۱۲۱-۱۳۸. doi: 10.22034/JDMAL.2020.44934
- علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). آب و هوای ایران. تهران: انتشارات پیام نور.
- عمادالدین، فاطمه؛ احمدآبادی، علی؛ شریفی‌پور، مرجان (۱۴۰۰). ارزیابی توان محیطی گردشگری در پهنه‌های جنگلی شمال کشور. هشتمین همایش ملی ژئومورفولوژی، کارکردها و ضرورت‌ها. <https://civilica.com/doc/1382344>
- عمادالدین، فاطمه؛ احمدآبادی، علی (۱۴۰۱). ارزیابی توان محیطی جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: زیرحوضه رودخانه تیرم). نهمین همایش ملی ژئومورفولوژی، محیط‌های ژئومورفیک، میراث‌ها و تنوع زیستی. <https://civilica.com/doc/1687640>
- میری، عباس (۱۳۹۹). تحلیل طوفان‌های گردوغبار سیستان با استفاده از شاخص‌های DDI و DSI و پارامترهای سرعت باد، دید افقی و غلظت PM₁₀. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۷(۱)، ۱-۲۳. doi: 10.22069/JWSC.2020.16883.3225
- نژادافضلی، کرامت (۱۳۹۵). تحلیل عوامل مؤثر بر پلاهای جازموریان در وقوع ریزگرد (جنوب کرمان). اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی کشاورزی، محیط‌زیست و امنیت غذایی، جیرفت. <https://civilica.com/doc/638212>

References

- Alastuey, A., Querol, X., Castillo, S., Escudero, M., Avila, A., Cuevas, E., Torres, C., Romero, P.M., Exposito, F., Garcia, O., Diaz, J.P., Dingenen, R.V., & Putaud, J.P. (2005). Characterisation of TSP and PM_{2.5} at Izana and Sta. Cruz de Tenerife (Canary Islands, Spain) during a Saharan Dust Episode (July 2002). *Atmospheric Environment*, 39(26), 4715-4728. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.04.018
- Alijani, B. (1997). Iran's Weather. Tehran: Payame Noor University Publishers. (In Persian).
- Alsubhi, Y., Qureshi, S., Assiri, M. E., & Siddiqui, M. H. (2022). Quantifying the Impact of Dust Sources on Urban Physical Growth and Vegetation Status: A Case Study of Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 14(22), 5701. doi: 10.3390/rs14225701.
- Asian and Pacific Center for the Development of Disaster Information Management (APDIM) (2021). Sand and Dust Storms Risk Assessment in Asia and the Pacific. <https://apdim.unescap.org/knowledge-hub/sand-and-dust-storms-risk-assessment-asia-and-pacific>.
- Bahrami Asl, F., Leili, M., Vaziri, Y., Salahshour Arian, S., Cristaldi, A., Conti, G.O., & Ferrante, M. (2018). Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran. *Environmental Research*, 161, 114-121. doi: 10.1016/j.envres.2017.10.050.
- Boroghani, M., Mirchooli, F., & Mohammadi, M. (2022). Dust source mapping using satellite imagery and machine learning models. *Arid Regions Geographic Studies*, 13(47), 1-13. https://jargs.su.ac.ir/article_161558.html (In Persian).
- Darvishi. Bolorani, A., Soleimani, M., Neysani Samany, N., Bakhtiari, M., Qareqani, M., Papi, R., & Mirzaei, S. (2023). Assessment of Rural Vulnerability to Sand and Dust Storms in Iran. *Atmosphere*, 14(2), 281. doi: 10.3390/atmos14020281
- Darvishi. Bolorani, A., Nadizadeh Shorabeh, S., Neysani Samany, N., Mousivand, A., Kazemi, Y., Jaafarzadeh, N., Zahedi, A., & Rabieci, J. (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, Iran. *Environmental pollution*, 279, 116859. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116859
- Dastoorpoor, M., Idani, E., Goudarzi, Gh., & Khanjani, N. (2018). Acute effects of air pollution on spontaneous abortion, premature delivery, and stillbirth in Ahvaz, Iran: a timeseries

- study. *Environmental Science and Pollution Research International*. 25(6), 5447–5458. doi: 10.1007/s11356-017-0692-9.
- Ebrahimi, Khusfia, Z., Khosroshahi, M., Roustaei, F., & Mirakbari, M. (2020). Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran, *Geoderma*, 365(15), 114-225. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114225.
- Emadoddin, F., & Ahmadabadi, A., & Sharifipour, M. (2022). Evaluating the recreation potential of forest regions in north of Iran. *8th National Conference on Geomorphology, Functions and Necessities*. DOI: <https://civilica.com/doc/1382344> (In Persian).
- Emadoddin, F., & Ahmadabadi, A. (2023). Evaluation of environmental capacity of Hyrkan forests (case study: Tiram River sub-basin). *9th National Conference on Geomorphology (Geomorphologic Environments, Heritage and Geodiversity)*. <https://civilica.com/doc/1687640> (In Persian).
- Feng, X., & Wang, S. (2012). Influence of different weather events on concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China. *Environmental Sciences (China)*, 24(4), 665-674. doi: 10.1016/s1001-0742(11)60807-3.
- Ge, Y., Zhang, H., Dou, W., Chen, W., Liu, N., Wang, Y., Shi, Y., & Rao, W. (2017). Mapping social vulnerability to air pollution: A case study of the Yangtze River 742 Delta region, China. *Sustainability*, 9(1), 109. doi: 10.3390/su9010109
- Gibb, C. (2018). A critical analysis of vulnerability. *International journal of disaster risk reduction*, 28, 327-334. doi: 10.1016/j.ijdr.2017.11.007
- Goudarzi, Gh., Shirmardi, M., Naimabadi, A., Ghadiri, A., & Sajedifar, J. (2019). Chemical and organic characteristics of PM_{2.5} particles and their in-vitro cytotoxic effects on lung cells: the Middle East dust storms in Ahvaz, Iran. *Science of The Total Environment*, 655, 434-445. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.153
- Heidari, M., Heidarinejad, Z., Alipour, V., Dindarloo, K., Rahmanian, O., Goodarzi, B., & Mousapour, H. (2015). Evaluation of Air Quality based on Air Quality Index in Kerman City. *Environmental Health*, 3(3), 208-218. doi: 10.22038/jreh.2018.26051.1173 (In Persian).
- Iwamoto, Y., Yumimoto, K., Toratani, M., Tsuda, A., Miura, K., Uno, I., & Uematsu, M. (2011). Biogeochemical implications of increased mineral particle concentrations in surface waters of the northwestern North Pacific during an Asian dust event. *Geophysical Research Letters* 38(1). doi: 10.1029/2010GL045906.
- Jafari, R., & Sanati, H. (2021). Identification of Dust Sources and Storms in the South of Kerman Province Using Remote Sensing Data. *Water and Soil Science*, 25 (3), 145-158. doi: 10.47176/jwss.25.3.13894 (In Persian).
- Kim, N.K., Park, H.J., & Kim, Y.P. (2009). Chemical composition change in TSP due to dust storm at Gosan, Korea: do the concentrations of anthropogenic species increase due to dust storm?. *Water, Air, and Soil Pollution*, 204(1-4), 165-175. doi: 10.1007/s11270-009-0035-7
- Legrand, M., Desbois, M., & Vovor, K. (1988). Satellite detection of Saharan dust: optimized imaging during nighttime. *Climate*, 1(3), 256-264. doi: 10.1175/1520-0442(1988)001<0256:SDOSDO>2.0.CO;2
- Malakootian, M., Ghiasseddin, M., Akbari, H., & Jaafarzadeh-Haghighi Fard, N. (2013). Urban Dust Fall Concentration and its Properties in Kerman City, Iran. *Health Scope*, 1(4), 194-200. doi: 10.17795/jhealthscope-8507
- McTainsh, G.H., Chan, Y.C., McGowan, H.A., Leys, J.F., & Tews, E.K. (2005). The 23rd October, 2002 dust storm in eastern Australia: characteristics and meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 39 (7), 1227–1236. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.10.016
- Miri, A. (2020). Dust storms analysis in the Sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM₁₀ parameters. *Water and Soil Conservation*, 27 (1), 1-23. DOI: <https://sid.ir/paper/377666/en> (In Persian).

- Nejad Afzali, K. (2017). *First International Conference and the National Conference on Agriculture, the Environment and food Security*. DOI: <https://civilica.com/doc/638212/> (In Persian)
- Pourhashemi, S., Amir Ahmadi, A., Zangane, M.A., & Salehi, M. (2019). Identification and Characterization of Dust Source in Khorasan Razavi Province. *Geographical Research*, 34 (1), 1-9. doi: 10.29252/geores.34.1.1 (In Persian).
- Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M.A., & Amir Ahmadi, A. (2016). Analysis relation of vegetation cover on the number of dust event in Khorasan Razavi using geographic information system and remote sensing. *Rs and GIS for Natural Resources*, 6 (4), 33-45. <https://sid.ir/paper/189509/fa> (In Persian).
- Pouyan, S., Zare, M., & Ekhtesasi, M.R. (2019). Regional distribution and clustering of dust storm index (DSI) using linear moments approach. *Range and Watershed Management*, 72 (1), 29-43. doi: 10.22059/jrwm.2018.249574.1216 (In Persian).
- Preston, B.L., Yuen, E.J., & Westaway, R.M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability science*, 6(2), 177-202. doi: 10.1007/s11625-011-0129-1
- Rezaei Torshizi, M., & Miri, A. (2020). Investigation of Vertical of Dust Storms Sediment Flux in Sistan Region. *Desert Management*, 8(15), 121-138. doi: 10.22034/jdmal.2020.44934 (In Persian).
- Sivakumar, M.V. K. (2005). Impacts of sand storms/dust storms on agriculture. *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture*. Springer. 159-177. doi: 10.1007/3-540-28307-2_10
- Wang, Shigong., Yuan, Wei., & Shang, K.ezheng. (2006). The impacts of different kinds of dust events on PM10 pollution in northern China. *Atmospheric Environment*, 40, 7975-7982. doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.06.058
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turski, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519. doi: 10.1108/MD-05-2017-0458
- Yuan, W., & Zhang, J. (2006). High correlations between Asian dust events and biological productivity in the western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 33 (7).