



## Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County)

Mahdi Najjarian<sup>a</sup>, Hossein Etemadfar<sup>\*b</sup>, Mostafa Golmohammadi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> MSc in Geospatial Information System, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>b</sup> Assistant professor in Geodesy and Geomatics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

**Received: 17 June 2023**

**Revised: 30 July 2023**

**Accepted: 9 August 2023**

### Abstract

Dust particles are one of the significant and fundamental challenges in dry, semi-arid, and desert regions, constantly causing numerous problems for the people and the environment in those areas. Assessments of the effects of aerosols on the climate and environment still feature large uncertainties, and a better understanding of the spatiotemporal variation in these effects is needed. Dust particles exist in various dimensions and sizes, dispersing in the air and influencing a region's environment. Identifying the sources of dust mass formation is crucial for taking necessary measures to combat it. The present study examines this issue in the Sabzevar City area. Using the satellite-based Aerosol Optical Depth (AOD) index collected from MODIS, the study focuses on mapping dust masses in a three-dimensional tensor approach, with each pixel having a dimension of 2 kilometers. The Google Earth Engine platform was used to extract satellite images for the region's study. The formation sources of dust masses during two different time intervals, June 2008 and March 2018, are studied. According to the obtained results, the sources of dust mass formation in Sabzevar are located in the plains surrounding the city of Davarzan, approximately 70 to 80 kilometers away from the study area, extending towards Sabzevar city. In the same way, the tensor tool can be used to accurately identify the source of pollution in different regions of the country and help to eliminate or reduce the pollution in the region. In addition to dust, this tool can be used to check industrial pollutants.

**Keywords:** Dust storm, Air quality, Origin of dust, Aerosol Optical Depth (AOD), Tensor capability, Northeastern of Iran.


---


\* .Corresponding author :Hossein Etemadfar Email: etemadfar@um.ac.ir Tell:+989118793285  
How to cite this Article: Najjarian, M., Etemadfar, H., & Golmohammadi, M. (2024). Identification of the Dust Formation Center with Tensor Approach (Study Case: Sabzevar County). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(2), 1-21.






## شناسایی کانون شکل‌گیری توده‌های گردوغبار با استفاده از نگرش تنسوری (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار)

مهدی نجاریان- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران 

حسین اعتمادفرد<sup>۱</sup>- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران 

مصطفی گلمحمدی- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۸

### چکیده

یکی از این پدیده‌های غالب جوئی در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی جهان، گردوغبار است. یکی از عوامل این پدیده وزش بادهای شدیدی است که به دنبال تغییرات سریع فشار هوا و دما در موقع مشخصی از سال در منطقه رخ می‌دهد. ذرات گردوغبار یکی از چالش‌های مهم و اساسی در این مناطق هستند که ابعاد و اندازه‌های مختلفی دارند و در هوا پراکنده می‌شوند و می‌توانند مشکلات زیادی را برای محیط‌زیست و افراد آن مناطق ایجاد کنند؛ بنابراین بایستی اقدامات لازم جهت مقابله با آن صورت پذیرد که در اولین قدم برای این کار بایستی منشأ و کانون شکل‌گیری این توده‌ها شناسایی شود. این پژوهش به بررسی این موضوع در منطقه مطالعاتی شهر سبزوار پرداخته است. در این مطالعه ابتدا داده‌های سازمان هواشناسی بررسی شده و دو دوره زمانی با گردوغبار بالا در سطح شهر سبزوار انتخاب شده است. دوره‌های زمانی مورد مطالعه شامل ماه ژوئن سال‌های ۲۰۰۸ و ماه مارس سال ۲۰۱۸ است. پس از تعیین دوره‌های زمانی، با استفاده از سامانه GEE تصاویر مربوط به شاخص AOD با ابعاد پیکسل ۲ کیلومتر استخراج شده و مورد پردازش قرار گرفته است و سپس هر تصویر به صورت لایه‌های مجزا در تنسور ترسیم شده است. طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار در سبزوار، در دشت‌های غربی شهر داورزن، در فاصله ۷۰ تا ۸۰ کیلومتری از منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است که این توده‌ها جابجا شده و به سمت شهر سبزوار امتداد می‌یابد و می‌تواند این شهر را تحت تأثیر ذرات گردوغبار قرار دهد.

**کلیدواژه‌ها:** گرد و غبار، کیفیت هوا، منشأ انتشار غبار، قابلیت‌های تنسور، عمق نوری آئروسول (AOD)، شمالشرق ایران.

## مقدمه

کشور ایران، به دلیل خصوصیات خاص اقلیمی و زمین‌شناسی، تحت تأثیر مسائلی از قبیل طوفان شن و غلظت بالای ریزگردها قرار دارد و در نتیجه خطرات زیادی را برای جامعه ایجاد می‌کند بنابراین بایستی در جهت رفع عوامل ایجاد آلودگی در مناطق مختلف تلاش نمود (Rezazadeh, Irannejad, & Shao, 2013). این ذرات در برخی موارد منجر به خسارات و مشکلات فراوانی می‌شود که از جمله این مشکلات می‌توان به بیماری‌های تنفسی، عفونی، بینایی، اختلال در سیستم حمل‌ونقل، آلودگی آب‌ها و محیط‌زیست اشاره نمود. از طرفی جابجا شدن این ذرات گردوغبار از نقاط مختلف می‌تواند موجب انتقال بیماری‌های واگیردار تنفسی و شیوع انواع بیماری‌ها شود (Wang, et al., 2023; Liu, Fang, Sun, Liao, 2023). ذرات گردوغبار در ابعاد و اندازه‌های مختلف و با منشأهای متفاوت در هوا پراکنده می‌شوند و می‌توانند محیط‌زیست یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهند؛ بنابراین درک بهتر و پیش‌بینی تأثیر آن‌ها بر آب‌وهوا مستلزم مشاهدات دقیق انتشار و حمل‌ونقل گردوغبار است. یافتن محل و منشأ شکل‌گیری پدیده گردوغبار می‌تواند تا حد زیادی به مقابله با این پدیده کمک کننده باشد (Abdollahi, Madadi, Ostad-Ali-Askari, 2021).

یکی از راه‌های مطالعه بر روی ذرات گردوغبار مشاهدات از فضا و تصاویر ماهواره‌ای است که فرصت مناسبی را برای مطالعه روزانه یا چند روزه و با وضوح مکانی بالا، در مقیاس جهانی یا محلی و در طول سری‌های زمانی طولانی فراهم می‌نماید. ذرات گردوغبار یا به عبارت کلی‌تر، ذرات معلق (PM)<sup>۱</sup>، به دو دسته PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> تقسیم می‌شود که ذرات PM<sub>2.5</sub>، ذراتی با آیرودینامیکی بیشتر از ۱۰ میکرون است. (Matandirotya, 2021). همچنین به صورت کلی به ذرات PM، آئروسول<sup>۲</sup> نیز گویند. ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی کمتر از ۲.۵ میکرومتر (PM<sub>2.5</sub>) به اندازه کافی کوچک هستند که قابل استنشاق بوده و غلظت آن در سطح زمین به‌عنوان یک آلاینده کنترل می‌شود (Su, et al., 2022). ۹۲ درصد از جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کند که PM<sub>2.5</sub> موجود در اتمسفر آن‌ها، بیشتر از ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب است که می‌تواند موجب به خطر افتادن سلامت انسان‌ها شود (Jiang, Chen, Yang, & Yang, 2022). لذا منشأ‌یابی و تلاش در راستای حذف ذرات گردوغبار برای حل مسائل زیست‌محیطی بسیار مهم است. آئروسول‌ها ذرات معلق در هوا هستند که در تغییرات محیطی و آب‌وهوا نقش تأثیرگذاری دارند. علاوه بر این، مقدار نور مرئی تحت تأثیر غلظت بالای آئروسول کاهش می‌یابد که موجب اثرات نامطلوبی بر انسان و محیط می‌گردد (Tie & Cao, 2009) (Eom, et al., 2022).

<sup>1</sup> Particulate matter

<sup>2</sup> Aerosol

یکی از روش‌های ترسیم توزیع مکانی ذرات معلق PM2.5 نزدیک به سطح زمین، استفاده از عمق نوری آئروسول (AOD) ماهواره‌ای است. AOD دارای تنوع جغرافیایی و فصلی زیادی است (یانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲)؛ به عبارت دیگر AOD دارای تنوع‌های مکانی-زمانی است. بر اساس مطالعه‌ای، ارزیابی شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که میانگین جهانی AOD تغییرات منطقه‌ای را پنهان می‌کند و بنابراین نیاز به ارزیابی آئروسول در مقیاس منطقه‌ای را برجسته می‌کند (Chen, et al., 2013b). AOD بر این اساس است که چگونگی رفتار ذرات، نحوه انعکاس و جذب نور مرئی و مادون‌قرمز جو را تغییر می‌دهد. به طور گسترده‌ای به عنوان یک پارامتر کلیدی برای ارزیابی میزان آلودگی آئروسول استفاده می‌شود. در حقیقت محصول AOD نشان‌دهنده مقدار آئروسول و غلظت آن است. در واقع AOD معیاری از ممانعت ذرات معلق و گردوغبار در برابر رسیدن نور خورشید به زمین است. این معیار می‌تواند تا حدی تعیین‌کننده میزان آلودگی هوا نیز باشد (Qi, Ge, Huang, 2013). توزیع فراوانی PM2.5 نشان می‌دهد که AOD می‌تواند به عنوان یک شاخص برای تخمین PM2.5 در منطقه مورد مطالعه استفاده شود، زیرا میزان تغییرات AOD با PM2.5 ارتباط مستقیم دارد (Raju, Gandhimathi, Mathew, & Ramesh, 2022). امروزه استفاده از مشاهدات سنسور از دور ماهواره‌ای برای مطالعات آلودگی هوا با توجه به شبکه سطحی پراکنده فراگیر شده است و مقادیر آئروسول ماهواره‌ای برای استخراج خصوصیات مکانی-زمانی ذرات معلق در هوا استفاده می‌شود (Shen, et al., 2022). جهت تخمین میزان AOD در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس<sup>۲</sup> استفاده شده است. مادیس دارای دو حسگر به نام‌های Terra و Aqua است. وسعت دید آن ۲۳۳۰ کیلومتر است و هر یک از آن‌ها تا دو روز یکبار کل سطح زمین را تصویربرداری می‌کنند. آشکارسازهای آن ۳۶ باند طیفی بین ۰/۴۰۵ و ۱۴/۳۸۵ میکرومتر را اندازه‌گیری می‌کنند و داده‌ها را در سه وضوح فضایی ۲۵۰ متر، ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر به دست می‌آورند. در مطالعه‌ای (Karimi, et al., 2012) مقایسه تکنیک‌های شناسایی منابع گردوغبار سطح زمین در خاورمیانه با استفاده از داده‌های مادیس نشان دادند که الگوریتم حرارتی در مقایسه با مدل‌های اپتیکی در شناسایی گردوغبار توانایی بالاتری برای تعیین پیکسل‌های گردوغباری دارد و مدل‌های حرارتی می‌تواند اساس شناخت و مطالعه مناطق صحرائی و بیابانی باشد. آن‌ها داده‌های مادیس را با مقایسه چند الگوریتم بازیابی گردوغبار بکار گرفته و روش جدید برای شناسایی توفان‌های گردوغبار را به وسیله مادون‌قرمز حرارتی (TIR) و ترکیب باند مرئی مورد ارزیابی قرار دادند (Karimi, et al., 2012) (امیدوار و نکونام، ۱۳۹۰) کاربرد گلباد و گلغبار را برای تحلیل پدیده گردوخاک شهر سبزوار بررسی نمودند. نتایج حاصل از تحلیل آماری و تحلیل فضایی داده‌ها نشان داد که به طور متوسط ۲۰ روز در سال هوا همراه با

<sup>1</sup> Yang et all

<sup>2</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

گردوغبار است و فصل بهار شایع‌ترین زمان بروز این پدیده است. همچنین سیستم‌های غربی در انتقال ذرات معلق گردوخاک از سرزمین‌های دورتر مشهود است.

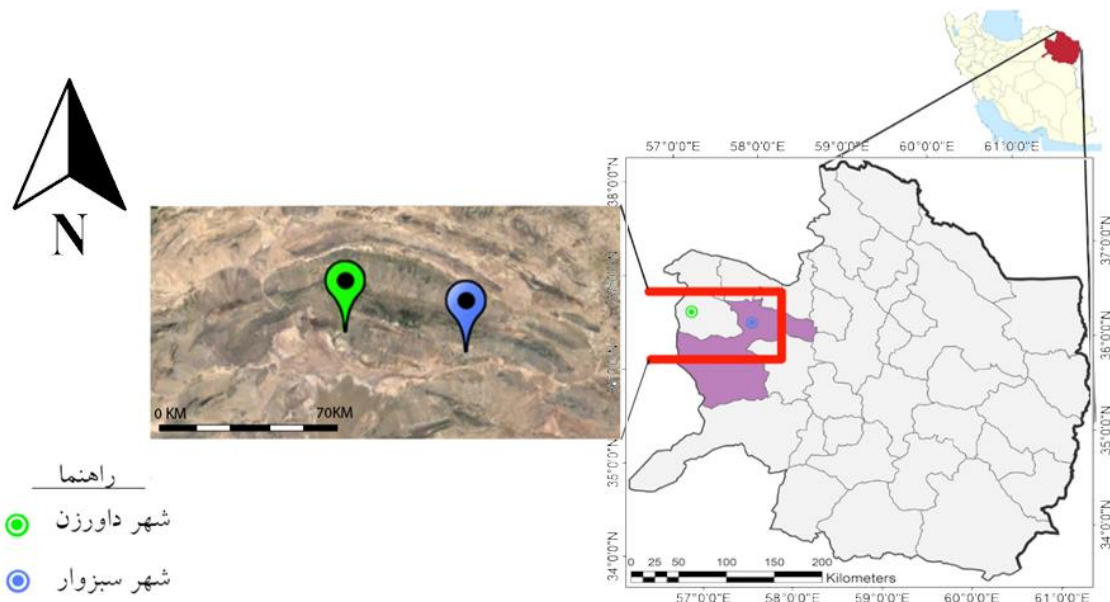
در این پژوهش جهت بررسی و تحلیل مکان و زمان ایجاد گردوغبار در مناطق مختلف، از تانسور مکانی-زمانی استفاده شده است که در مطالعات پیشین از این روش جهت تحلیل روند گردوغبار یک منطقه، استفاده نشده است. در واقع به کمک تانسور، مکان ایجاد توده‌های گردوغبار و همچنین زمان تشکیل آن‌ها به صورت هم‌زمان نمایش داده می‌شود و تحلیل دقیق‌تر و ساده‌تری از ایجاد گردوغبارها در هر منطقه به دست می‌آید.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، توده‌های گردوغبار منطقه موردنظر مورد مطالعه قرار گرفته است و با ترسیم این توده‌ها در قالب تانسور به یافتن منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار پرداخته شده است.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهر سبزوار واقع در غرب خراسان رضوی به مختصات جغرافیایی  $36^{\circ}21'$  شمالی و  $57^{\circ}68'$  شرقی است. در شکل ۱ موقعیت مکانی شهر سبزوار و همین‌طور منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی

Fig.1. Study area

شهر سبزوار از شرق به بخش‌های بیابانی داورزن و از شمال به کوه‌های جغتای و از جنوب به ارتفاعات کوه‌میش متصل می‌شود. منطقه شرقی و شمالی این شهر کوهستانی است و تنها دو رشته رودخانه فصلی به نام کال شور در این ناحیه وجود دارد که سیلاب‌های دشت سبزوار را به نمکزارهای کویر هدایت می‌کند. آب‌وهوای غالب منطقه به صورت گرم و خشک است و به دلیل مجاورت این شهر با دشت‌های بیابانی و خشک در برخی روزهای سال با پدیده گردوغبار مواجه است. در این پژوهش، جهت بررسی دقیق‌تر منشأ گردوغبار، منطقه مطالعاتی به سمت غرب امتداد داده شده است.

#### داده‌ها

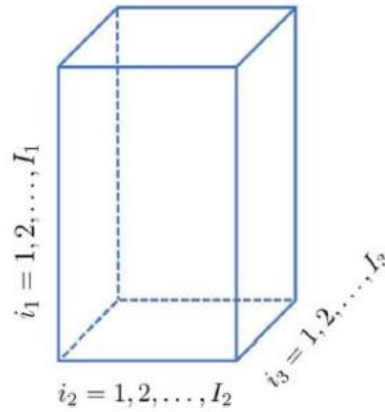
این پژوهش، شامل دو بخش داده است که بخش اول داده‌های شامل تصاویر ماهواره‌ای است که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ است. این تصاویر با استفاده از سنجنده‌های مادیس گردآوری و توسط سامانه<sup>۱</sup> GEE استخراج شده است. برای این پژوهش برای هر روز تنها به یک تصویر از میزان AOD نیاز است بنابراین با استفاده از دستورات میانگین‌گیری در سامانه GEE به گونه‌ای عمل شد که تصاویر استخراج شده به صورتی باشد که برای هر روز یک تصویر میانگین از وضعیت AOD بر روی منطقه بدهد. دسته دوم، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی است که برای ایستگاه شهر سبزوار این داده‌ها دریافت شد. داده‌ها شامل تعداد مشاهدات پدیده گردوغبار در یک روز، میزان دید افقی و مختصات جغرافیایی ایستگاه است.

#### روش پژوهش

این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به کمک تنسور مکانی-زمانی جهت ترسیم و تحلیل تصاویر در لایه‌های مجزا و ایجاد فضایی سه‌بعدی برای مشاهده روند گردوغبار بر روی منطقه، انجام شده است. در روش‌های پیشین، بررسی گردوغبار تنها در یک حالت مکانی یا زمانی ممکن بوده است و تحلیل گردوغبار در دو بعد زمانی- مکانی به صورت هم‌زمان انجام نشده است. تنسور یکی از روش‌های نوین به شمار می‌آید که در پژوهش‌های پیشین جهت بررسی روند گردوغبار از آن استفاده نشده است. با استفاده از تنسورها می‌توان به توصیف و تحلیل پدیده گردوغبار در منطقه پرداخت. تنسورها متشکل از چندین عارضه صفر بعدی در کنار یکدیگر، یا تشکیل شده از چندین عارضه تک بعدی است. همچنین تنسورها را می‌توان صفحات دو بعدی ماتریسی که در لایه‌های مختلف بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند در نظر گرفت و همین‌طور می‌توان ماتریس‌ها را تنسورهایی با مرتبه کمتر از سه دانست. بر این اساس می‌توان تنسورها با ابعاد بالاتر از

<sup>۱</sup> Google Earth Engine

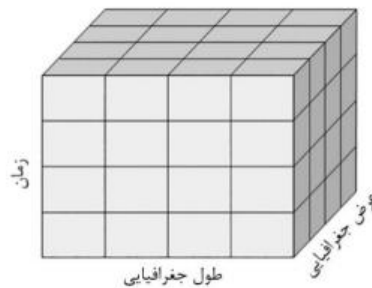
۳ را تشکیل داد به شکلی که درایه‌های تنسور  $n$  بعدی تنسورهایی با ابعاد  $n-1$  بُعد باشند. برای نمایش ابعاد تشکیل دهنده تنسور از فرم  $I_n$  استفاده می‌گردد. در شکل ۲ یک تنسور سه بعدی نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمایش تنسور ۳ بعدی

Fig.2. 3D tensor display

در شکل ۲ تنسور در سه بُعد  $i_1$ ،  $i_2$ ،  $i_3$  مشاهده می‌شود. تعداد اندیس  $i$  بیانگر تعداد بُعد و مقدار اندیس  $I$  بیانگر تعداد مؤلفه‌های قابل تعریف در آن بُعد است. اجزاء تشکیل دهنده تنسور از ذراتی تشکیل شده است که دارای مقدارهای متفاوت در هر بُعد است. در تنسور به این ذرات وکسل گویند که نمونه آن در شکل ۳ نمایش داده شده است.



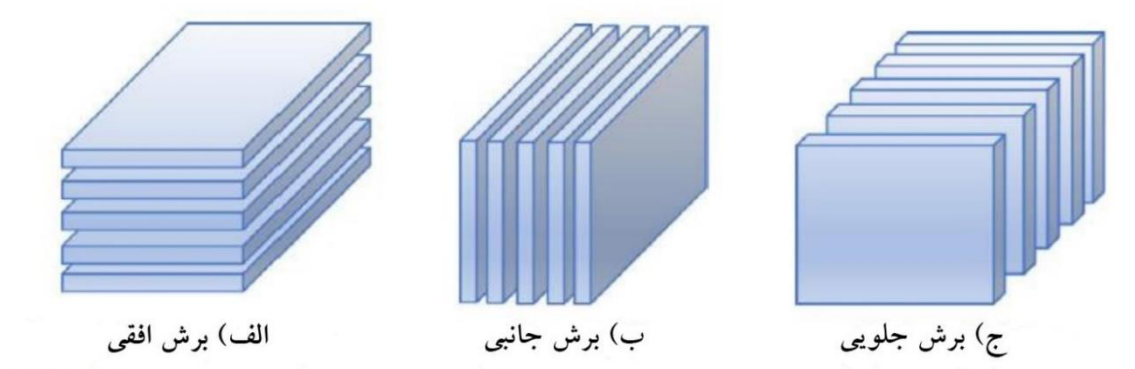
شکل ۳- نمایش وکسل‌ها در تنسور

Fig.3. Representation of voxels in tensor

از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های تنسور امکان مقایسه چندلایه زمانی مختلف در یک تنسور است، درحالی‌که با استفاده از روش‌های غیرتنسوری باید لایه‌های زمانی دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه شوند. در واقع امکانات و



روش‌های مرسوم GIS نظیر روش‌های زمین‌آماری، امکان مقایسه پدیده‌ها در طول یک بازه زمانی را فراهم نمی‌کند؛ درحالی‌که با استفاده از تنسورها، هر یک از این ابعاد ذکر شده می‌تواند محل تمایز در رفتار یک پدیده باشد (Golmohammadi Etemadfrad, & Kharaghani, 2023). از طرفی هر برش از تنسور توانایی تولید یک مجموعه محتوای اطلاعاتی را دارد. بر این اساس می‌توان تنسورها با ابعاد بالاتر از سه را نیز تشکیل داد. همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است تنسور از زوایای مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۴- نمایش تنسور از زوایای مختلف

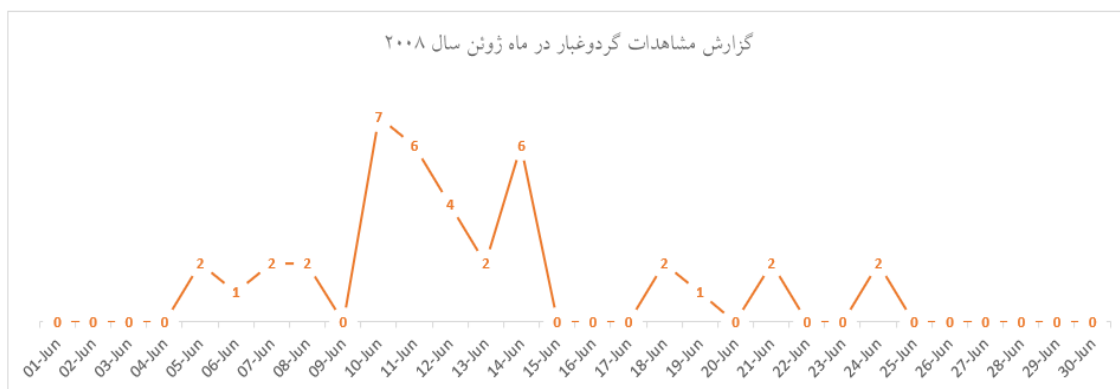
Fig.4. Tensor display from different angles

طبق این شکل تنسور را می‌توان به سه حالت افقی (شکل الف-۴)، جانبی (شکل ب-۴) و جلویی (شکل ج-۴) نمایش داد. در حالت برشی (الف) این نمایش به صورت افقی است و لایه‌های مختلف را می‌توان به صورت افقی و در راستای محور  $I_1$  مشاهده نمود. در حالت برشی (ب) این نمایش به صورت جانبی است و لایه‌های مختلف را در جهت  $I_2$  نمایش می‌دهد. در حالت برشی (ج) نمایش به صورت جلو بوده و لایه‌ها پشت یکدیگر در جهت  $I_3$  قرار می‌گیرند. از این برش‌های مختلف برای نمایش تنسور استفاده شده است.

در این پژوهش با استفاده از روش تنسور یک فضای سه بعدی ایجاد گردیده و بر اساس آن تحلیل‌ها انجام شده است. به منظور برداشت میزان AOD در هر نقطه از زمین از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. با استفاده از مادیس، تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی موردنظر و در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری شده است. در این پژوهش فرض بر این است که در مکان‌هایی که غلظت گردوغبار به صورت ناگهانی افزایش می‌یابد را می‌توان به عنوان کانون اصلی گردوغبار تشخیص داد بنابراین جهت پیدا کردن روزهای با گردوغبار بالا از گزارش‌های سازمان هواشناسی استفاده شده است.



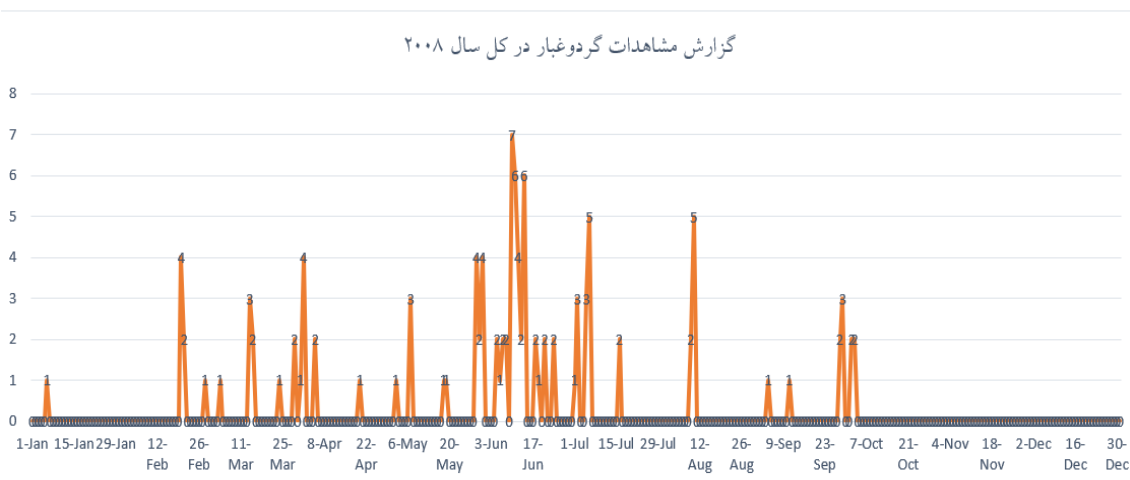
در گزارش‌های هواشناسی پارامترهای مختلفی جهت بررسی وضعیت آب‌وهوا وجود دارد. یکی از آن‌ها، پارامتر تعداد مشاهدات پدیده گردوخاک در روز است. این مشاهدات در طول ۲۴ ساعت هر ۳ ساعت انجام می‌شود و در طول روز حداکثر ۸ بار مشاهده انجام می‌شود. بخشی از این گزارش به صورت نمودار در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز (محور افقی زمان و محور عمودی تعداد گزارش‌ها است)

**Fig.5. Meteorological report of dust observations per day (the horizontal axis is time and the vertical axis is the number of reports)**

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در تاریخ ۱۰ ژوئن تعداد ۷ مشاهده گردوغبار بر روی سطح شهر وجود دارد که نشان‌دهنده یک روز با گردوغبار بالا است و این گردوغبار طی چند روز ادامه داشته و به مرور کاهش یافته است. همچنین این نمودار را می‌توان برای کل سال ۲۰۰۸، در شکل ۶ مشاهده نمود.



شکل ۶- گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز برای کل سال ۲۰۰۸ (محور افقی زمان و محور عمودی تعداد گزارش‌ها است)

**Fig.6. Meteorological report of daily dust observations for the whole year 2008 (the horizontal axis is time and the vertical axis is the number of reports)**

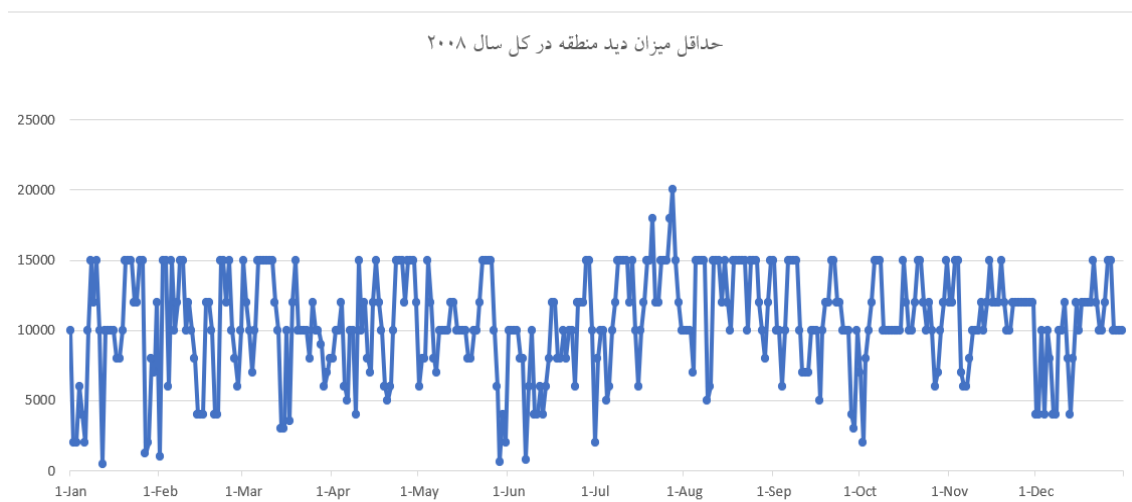
در این شکل به صورت کلی از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا انتهای آن میزان مشاهدات گردوغبار در هر روز نمایش داده شده است. پارامتر دیگری که کیفیت هوای منطقه را نمایش می‌دهد پارامتر حداقل دید افقی است که در توده‌های مه غلیظ یا گردوغبارها عدد این پارامتر پایین می‌آید. نمونه این گزارش به صورت نمودار در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷- گزارش هواشناسی از حداقل دید افقی منطقه

**Fig.7. Weather report from the minimum horizontal visibility of the area**

طبق شکل ۷ در تاریخ ۱۰ ژوئن که تعداد مشاهدات گردوغبار بالا گزارش شده بود، میزان حداقل دید افقی به ۴ کیلومتر کاهش یافته است که نشان‌دهنده حجم بالای گردوغبار است. همچنین این گزارش برای کل سال ۲۰۰۸ در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸- حداقل میزان دید منطقه در کل سال ۲۰۰۸ (محور افقی زمان و محور عمودی فاصله بر حسب متر است)

**Fig.8. The minimum visibility of the area in the whole of 2008 (horizontal axis is time and vertical axis is distance in meters)**

در این پژوهش جهت یافتن روزهای با گردوغبار بالا از دو پارامتر میدان دید افقی و مشاهده پدیده گردوغبار، استفاده نموده و روزهایی که تعداد مشاهدات گردوغبار بالا و دید افقی منطقه کاهش یافته باشد مورد بررسی قرار داده شده است و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به این روزها استخراج می‌شود تا منشأ این گردوغبارها مشخص شود. همین‌طور برای نتیجه‌گیری بهتر، کل روزهای مربوط به آن ماه که گردوغبار در آن مشاهده شده، مورد بررسی قرار گرفته است.

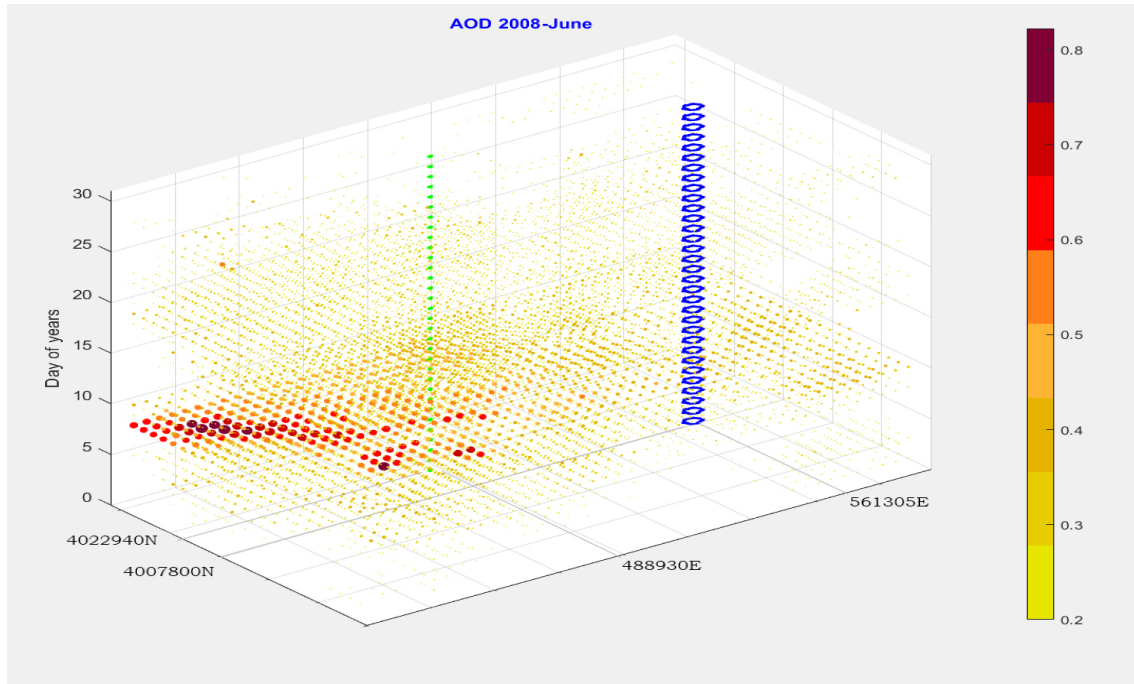
جهت استخراج تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه بر روی منطقه، از سامانه GEE استفاده شد. در این سامانه با استفاده از کدنویسی به زبان جاوا اسکریپت، می‌توان تصاویر ماهواره‌ای را استخراج نمود. پس از استخراج کامل تصاویر برای بازه زمانی مورد نظر، با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۲۱، به ایجاد تنسور و تحلیل و بررسی آن‌ها پرداخته شد به گونه‌ای که به ازای هر بازه زمانی یک تنسور از لایه‌های مربوطه به آن خروجی بدهد. لازم به ذکر است به جهت تحلیل بهتر بر روی داده‌ها، استخراج داده‌ها به صورتی انجام شد که اولین روز آن، از تاریخ ۲۰ می آغاز شده باشد که مصادف با اول فروردین است و لذا به این صورت مجموعه تصاویر استخراج شده بر حسب سال شمسی محاسبه شده است و نمایش تنسور نیز بر اساس سال شمسی است که

به این صورت درک بهتری از تنسور ایجاد می‌شود. همچنین آلودگی‌های کمتر از ۰/۱ به‌طور کلی حذف شده و آلودگی‌های بین ۰/۱ تا ۰/۵ به‌صورت کم تاثیرتر نمایش داده می‌شود. در این پژوهش محور  $I_2$  که نشان‌دهنده مسافت طولی بر روی زمین، محور  $I_3$  نشان‌دهنده مسافت عرضی بر روی زمین و محور  $I_1$  که نشان‌دهنده روز از سال، برای هر سال شمسی است.

ابعاد هر وکسل نمایش داده شده در تنسور، در جهت محورهای  $I_2$  و  $I_3$  نشان‌دهنده ۲ کیلومتر زمینی است و در راستای  $I_1$  نشان‌دهنده یک روز است. از آنجایی که پدیده گردوغبار یک پدیده وابسته به مکان و زمان می‌باشد، بنابراین ممکن است در هر منطقه نوع این گردوغبار متفاوت باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی، نوع رفتار توده‌های گردوغبار در این منطقه طی سال‌های مختلف، مورد بررسی قرار گرفته و سپس با بررسی گزینه‌های ممکن، پیکسل سایز بهینه برای تحلیل و نمایش این پدیده انتخاب شده است.

### نتایج و بحث

با ترسیم شدن تنسور برای بازه‌های زمانی موردنظر، برای منطقه شهر سبزوار و دشت‌های غربی آن و تحلیل و بررسی تصاویر در یک فضای سه بعدی، می‌توان ایجاد یک توده از گردوغبار در مرکز فضای تنسور در سال‌های مختلف را مشاهده نمود و منشأ شکل‌گیری این توده‌ها را مشخص نمود. در این پژوهش ابتدا گزارش‌های هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت و ماه‌هایی با تعداد گزارش‌های بالا در پدیده گردوغبار، انتخاب و مورد بررسی جهت یافتن منشأ قرار گرفت. از طرفی جهت اطمینان از صحیح بودن تنسور، از گزارش‌های دریافتی از مرکز هواشناسی استفاده شده است و روزهای همراه با گردوغبار بر روی سطح شهر سبزوار با تصاویر ایجاد شده در تنسور مقایسه گردیده است که در تاریخ‌های اعلام شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی، بر روی شهر سبزوار توده‌های گردوغبار دیده شده و میزان AOD در این تاریخ‌ها بالا رفته باشد. به این روش می‌توان از درستی تنسور ترسیم شده اطمینان حاصل نمود. بررسی‌ها در این مطالعه، برای ماه ژوئن سال ۲۰۰۸ و ماه مارس سال ۲۰۱۸ صورت گرفته است. همچنین نمایش موقعیت سبزوار بر روی تنسور و مشخص کردن موقعیت دقیق شهر داورزن در این فضا، موجب درک بهتری از مکان منشأ گردوغبار و روند حرکتی آن می‌شود. در شکل ۹ تنسور مربوط به ماه ژوئن سال ۲۰۰۸ نمایش داده شده است.



شکل ۹- تنسور گردوغبار در ماه ژوئن سال ۲۰۰۸

Fig.9. Dust tensor in June 2008

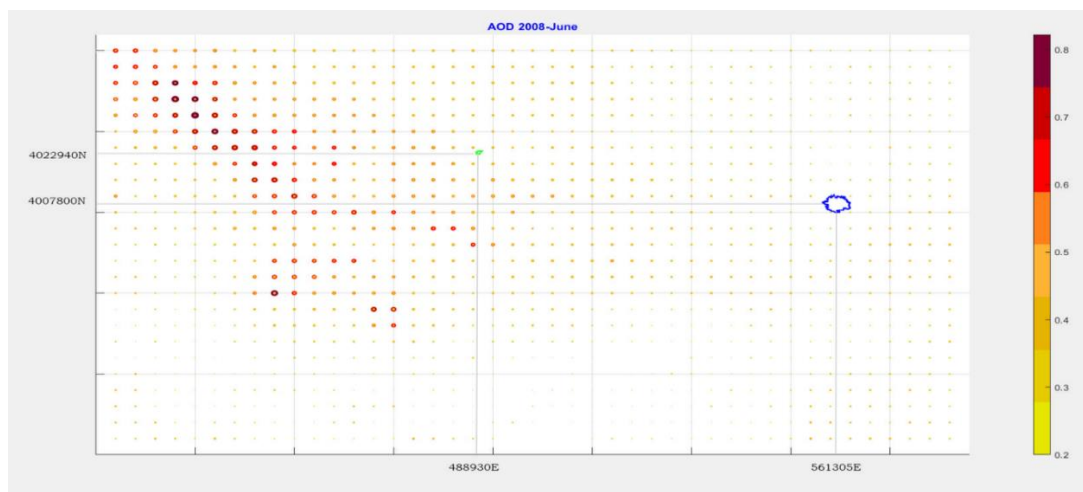
در این شکل لایه‌های مربوط به زمان در جهت  $i_1$  می‌باشد که نمایش آن به صورت افقی در تنسور (Horizontal) است. در این شکل موقعیت شهرهای سبزوار و داورزن، برای هر لایه زمانی ترسیم شده است تا بهتر بتوان رفتار گردوغبار در زمان‌های مختلف بر روی شهر را مورد بررسی قرار داد و از آنجایی که اندازه و مختصات تصویر در تمام لایه‌های زمانی یکسان است موقعیت شهرها نیز به این صورت یکسان نمایش داده شده است. نقاط آبی‌رنگ در هر لایه مکان شهر سبزوار را مشخص کرده است و نقاط سبز رنگ مکان شهر داورزن را نمایش می‌دهد. لایه‌های مربوط به عرض جغرافیایی ( $\varphi$ ) در جهت  $i_2$  می‌باشد که نمایش آن به صورت نمایش جانبی در تنسور (Lateral) است. لایه‌های مربوط به طول جغرافیایی ( $\lambda$ ) نیز در جهت  $i_3$  می‌باشد که به صورت نمایش جلو در تنسور (Frontal) است.



شکل ۱۰- تنسور گردوغبار، ماه ژوئن سال ۲۰۰۸- نمایش افقی

Fig.10. Dust tensor, June 2008 - horizontal view

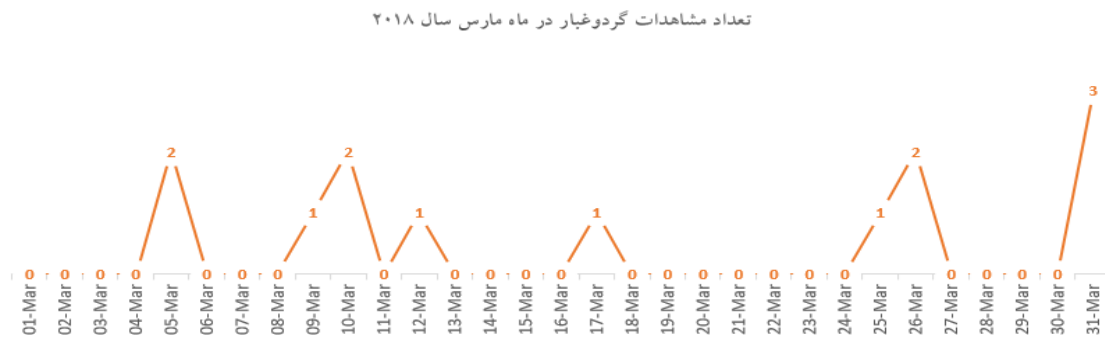
طبق گزارش‌هایی که در شکل ۵ و شکل ۷ مشاهده می‌شود، در روزهای ۱۰ تا ۱۴ ماه ژوئن، آلودگی‌های زیادی به تعداد دفعات بالا در سطح شهر سبزوار رؤیت شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، می‌توان توده آلودگی را در روزهای ۹ تا ۱۳ مشاهده نمود که این آلودگی‌ها از اطراف نقطه سبزنگ که نشان‌دهنده منطقه داورزن است، وجود دارد و تا حوالی نقطه آبی‌رنگ که نشان‌دهنده منطقه سبزوار می‌باشد، امتداد یافته است. در شکل ۱۲ نیز می‌توان تنسور را به صورت برش‌های جلویی مشاهده نمود که گردوغبار با حجم بالایی در مناطق داورزن مشاهده می‌شود و به سمت شهر سبزوار امتداد یافته است.



شکل ۱۱- تنسور گردوغبار، ماه ژوئن سال ۲۰۰۸- نمایش جلویی

Fig.11. Dust tensor, June 2008 - front view

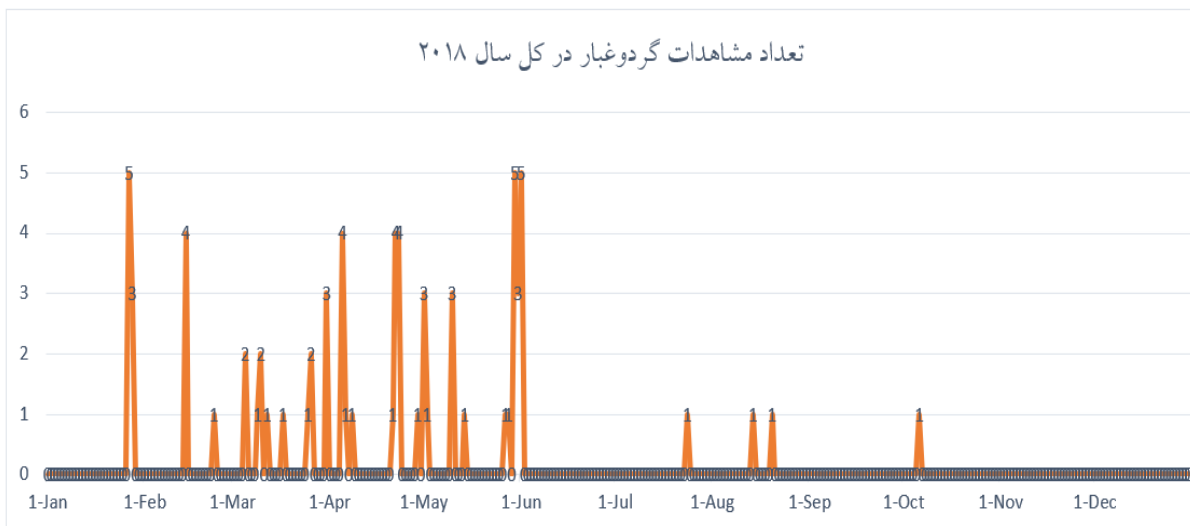
به‌صورت مشابه به بررسی روند گردوغبار در ماه مارس سال ۲۰۱۸ پرداخته شده است. برای این کار گزارش‌های هواشناسی موردبررسی قرار گرفت.



شکل ۱۲- گزارش هواشناسی از مشاهدات گردوغبار در روز

Fig.12. Meteorological report of dust observations during the day

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، در تاریخ ۲۵ و ۲۶ و ۳۱ ماه مارس سال ۲۰۱۸ پدیده گردوخاک بر روی شهر سبزوار گزارش شده است. لذا به بررسی گردوغبار در این تاریخ‌ها به‌وسیله تنسور پرداخته شده است. در شکل ۱۳ میزان مشاهدات گردوغبار برای کل سال نیز نمایش داده شده است.



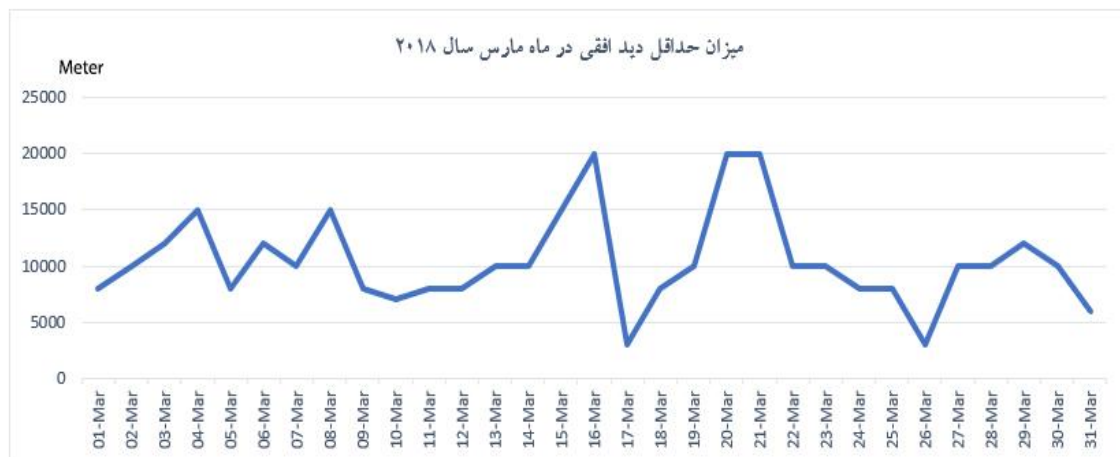
شکل ۱۳- تعداد مشاهدات گردوغبار در کل سال ۲۰۱۸

Fig.13. The number of dust observations in the whole year 2018

همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان مشاهدات گردوغبار در طول روز، در اوایل سال ۲۰۱۸ بیشتر بوده است.



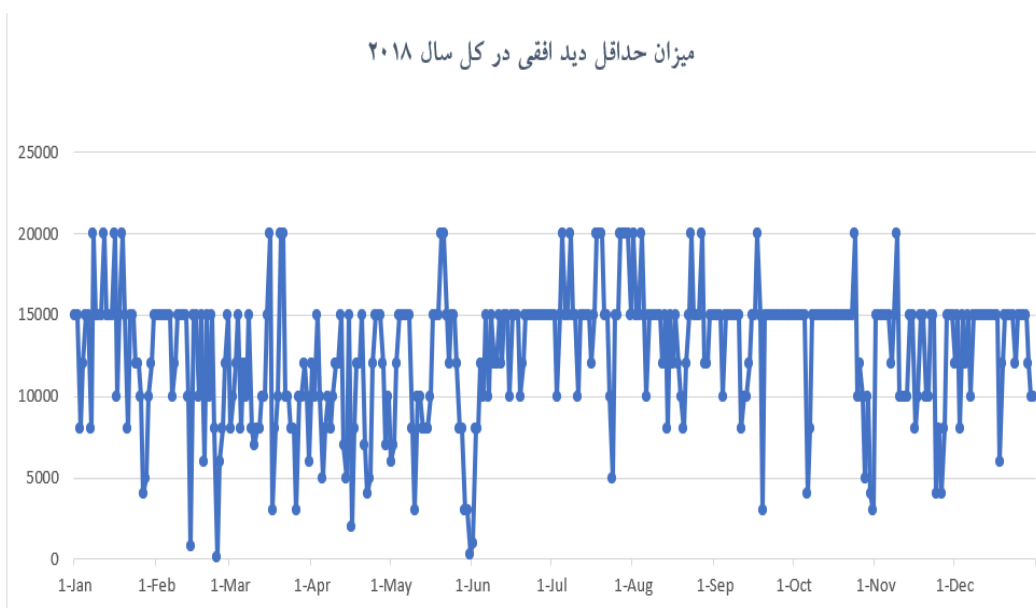
در شکل ۱۴ نیز مشاهده می‌شود که در روزهای با گزارش گردوغبار، میزان دید افقی به‌شدت کاهش یافته است.



شکل ۱۴- گزارش هواشناسی از حداقل دید افقی منطقه

**Fig.14. Weather report from the minimum horizontal visibility of the area**

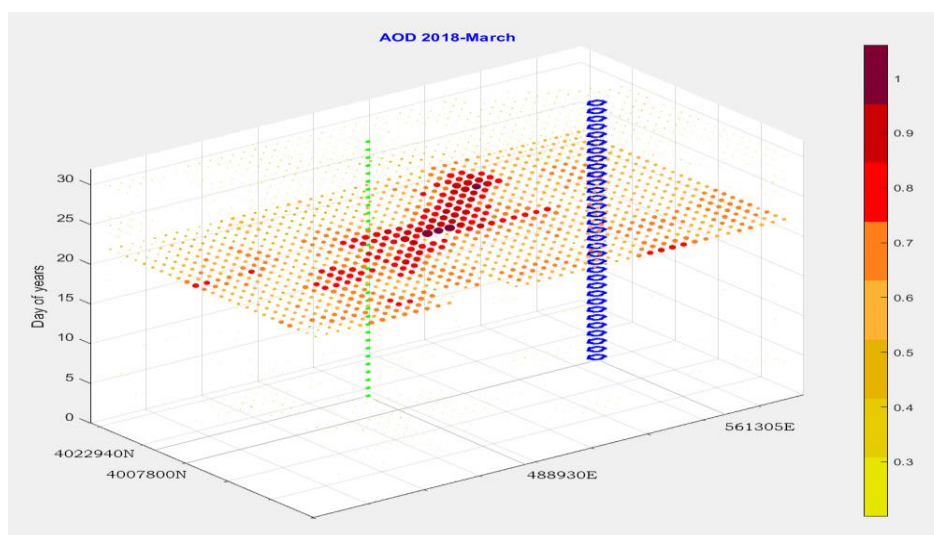
همچنین طبق شکل ۱۴ در تاریخ ۱۷ مارس میزان دید افقی کاهش زیادی داشته است که در این تاریخ نیز یک مورد پدیده گردوغبار در سطح شهر گزارش شده است. بیشترین میدان دید نیز در تاریخ‌ها ۲۰ و ۲۱ مارس بوده است. در شکل ۱۵ نیز میزان حداقل دید افقی برای کل سال نمایش داده شده است.



شکل ۱۵- میزان حداقل دید افقی در کل سال ۲۰۱۸

Fig.15. The amount of minimum horizontal visibility throughout the year 2018

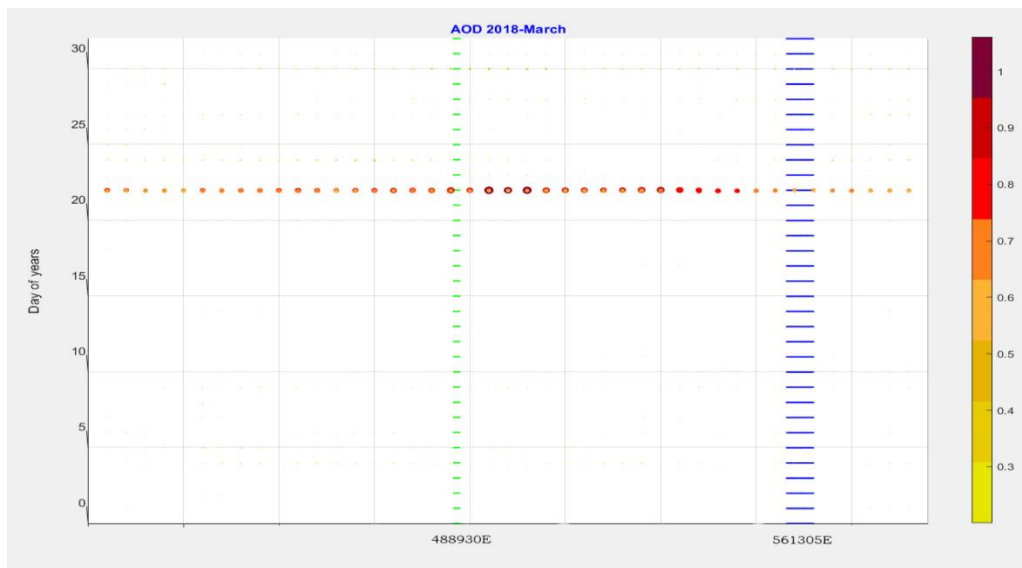
در شکل ۱۶ تصویر استخراج شده از سامانه GEE مربوط به تاریخ ۲۲ مارس سال ۲۰۱۸ نمایش داده شده است. در این شکل نیز میزان و حجم گردوغبار قابل تشخیص نیست و بایستی جهت نمایش بهتر آن مورد پردازش قرار گیرد. در شکل ۱۶ می‌توان تنسور توده‌ای گردوغبار مربوط به ماه مارس سال ۲۰۱۸ را مشاهده نمود.



شکل ۱۶- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸

Fig.16. Dust tensor for March 2018

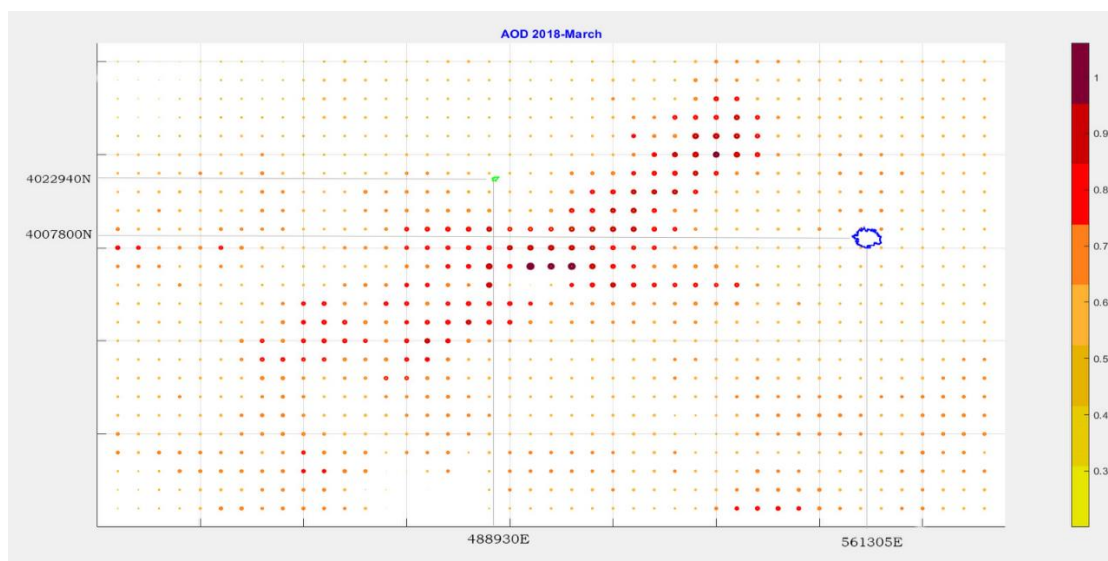
در این شکل، به دلیل پایین بودن سطح گردوغبار در روزهای دیگر از ماه مارس، فضای تنسور تقریباً خالی بوده و یا آلودگی‌ها با نقاط کم‌رنگ نمایش داده شده است. در شکل ۱۷ می‌توان مشاهده نمود که توده‌های گردوغبار در روز ۲۲ از ماه مارس تشکیل شده است و به سمت سبزوار امتداد یافته است.



شکل ۱۷- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸ - نمایش افقی

Fig.17. Dust tensor for March 2018 – horizontal view

همین‌طور با توجه به شکل ۱۸ می‌توان مشاهده نمود که توده گردوغبار در منطقه داورزن قرار دارد و به سمت شهر سبزوار امتداد داشته است. این توده گردوغبار به‌صورت واضح‌تر در شکل ۱۸ قابل مشاهده است. در این شکل نیز می‌توان موقعیت دقیق شکل‌گیری توده‌های گردوغبار، در منطقه داورزن را مشاهده نمود.



شکل ۱۸- تنسور گردوغبار ماه مارس سال ۲۰۱۸ - نمایش جلویی (Frontal)

Fig.18. Dust Tensor for March 2018 – Frontal View

در واقع با بررسی تنسورها در زمان‌های مختلف می‌توان مشاهده نمود که در روزهایی که گردوغبار گزارش شده است، توده‌های گردوغبار دقیقاً در چه زمانی و در چه نقطه‌ای از منطقه رؤیت شده‌اند و الگوی رفتاری این توده‌ها در حرکت به سمت مناطق مختلف و زمان از بین رفتن آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. همچنین می‌توان مشاهده نمود که با بررسی روزهای قبل از وقوع گردوغبار و روزهایی که تعداد گزارش گردوغبار کمتر بوده است، حجم آلودگی بسیار پایین‌تر می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از نگرش تنسور، داده‌های مربوط به AOD یک فضای سه بعدی ترسیم شد و سپس از نظر ابعاد زمانی و مکانی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. طبق یافته‌های این پژوهش، پس از پیاده‌سازی و بررسی تنسورها در بازه‌های زمانی موردنظر، حجم بالای آلودگی در مناطق داورزن مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد اغلب توده‌های گردوغبار در بخش‌های شمالی یا جنوبی داورزن شکل می‌گیرد و سپس به سمت سبزوار امتداد می‌یابد. میزان فاصله منشأ گردوغبار تا شهر سبزوار را حدود ۷۰ تا ۸۰ کیلومتر است که با توجه به میزان سرعت حرکت گردوغبار به سمت شهر سبزوار بازه رسیدن توده گردوغبار به سطح شهر متفاوت می‌باشد. همچنین با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از نگرش تنسور می‌توان منشأ شکل‌گیری توده‌های گردوغبار را شناسایی نمود و به کمک این نگرش روند این توده‌ها را در مکان و زمان مختلف مشاهده نمود. به همین صورت می‌توان از ابزار تنسور به جهت شناسایی

دقیق منشأ آلودگی، در مناطق مختلف از کشور استفاده شود و به رفع یا کاهش آلودگی منطقه کمک نمود. از این ابزار علاوه بر بررسی گردوغبار می‌توان در بررسی آلاینده‌های صنعتی بهره برد.

### قدردانی و تشکر

با تشکر از سازمان هواشناسی کشور بابت در اختیار گذاشتن داده‌های باد و گردوغبار.

### References

- Abdollahi, S., Madadi, M., Ostad-Ali-Askari, K. (2021). Monitoring and Investigating Dust Phenomenon on Using Remote Sensing Science, Geographical Information System and Statistical Methods. *Applied Water Science*, 11.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s13201-021-01419-z>
- Chen, B.B., Sverdlik, L.G., Imashev, S.A., Solomon, P.A., Lantz, J., Schauer, J.J., Shafer, M.M., Artamonova, M.S., & Carmichael, G.R. (2013a). Lidar Measurements of the Vertical Distribution of Aerosol Optical and Physical Properties Over Central Asia. *International journal of atmospheric sciences*, 2013(1).  
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/261546>
- Chen, B.B., Sverdlik L.G., Imashev, S.A., Solomon, P.A., Lantz, J., Schauer, J.J., Shafer, M.M., Artamonova, M.S., & Carmichael, G. (2013b). Empirical Relationship Between Particulate Matter and Aerosol Optical Depth Over Northern Tien-Shan, Central Asia. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 6, 385-96.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11869-012-0192-5>
- Chin, M., Ginoux, P., Kinne, S., Torres, O., Holben, B.N., Duncan, B.N., Martin, R.V., Logan, J.A., Higurashi, A., Nakajima, T. (2002). Tropospheric Aerosol Optical Thickness from the GOCART Model and Comparisons with Satellite and Sun Photometer Measurements. *Journal of the atmospheric sciences*, 59(3), 461-83.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2002\)059<0461:TAOTFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2002)059<0461:TAOTFT>2.0.CO;2)
- Darmany, M., Ara, H., Rashki, A., & Mafi, A. (2020). Source Identifying and Characterizing Physical and Chemical Fine Dust in Sarakhs City. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3), 21-37. [In Persian]  
<https://doi.org/10.22067/geo.v9i3.87970>
- Eom, S., Kim, J., Lee, S., Holben, B.N., Eck, T.F., Park, S.B., & Park, S.S. (2022). Long-Term Variation of Aerosol Optical Properties Associated with Aerosol Types Over East Asia Using AERONET and Satellite (VIIRS, OMI) Data (2012–2019). *Atmospheric Research*, 280, 106457. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106457>
- Golmohammadi M., Etemadfrad, H., & Kharaghani, H. (2023). Spatio-Temporal Analysis of the Covid-19 Impacts on the Using Chicago Urban Shared Bicycles by Tensor-Based Approach. *Journal of Geospatial Information Technology*, 10 (3), 95-119. [In Persian].  
<http://dx.doi.org/10.52547/jgit.10.3.95>
- Karimi, N., Moridnejad, A., Golian, S., Vali Samani, J.M., Karimi, D., & Javadi, S. (2012). Comparison of Dust Source Identification Techniques Over Land in the Middle East Region Using MODIS Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(5), 586-599.  
<http://dx.doi.org/10.5589/m12-048>

- Liu, Z., Fang, C., Sun, B., Liao, X. (2023). Governance Matters: Urban Expansion, Environmental Regulation, and PM<sub>2.5</sub> Pollution. *Science of The Total Environment*, 876, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162788>
- Matandirotya, N.R. (2021). Research Trends in the Field of Ambient Air Quality Monitoring and Management in South Africa: A Bibliometric Review. *Environmental Challenges*, 5, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100263>
- Omidvar K., and Nekoonam Z. 2011 An application of wind rose and dust rose in the analysis of dust phenomenon and determining the seasonal regime of dust winds (case study: Sabzevar city). *Physical Geography Research Quarterly* 43(76): 85-104.
- Qi, Y., Ge, J., Huang, J. (2013). Spatial and Temporal Distribution of MODIS and MISR Aerosol Optical Depth over Northern China and Comparison with AERONET. *Chinese Science Bulletin*. 58, 2497-506. <http://dx.doi.org/10.1007/s11434-013-5678-5>
- Raju, L., Gandhimathi, R., Mathew, A. & Ramesh, S.T. (2022). Spatio-Temporal Modelling of Particulate Matter Concentrations Using Satellite Derived Aerosol Optical Depth Over Coastal Region of Chennai in India. *Ecological Informatics*, 69, 101681. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101681>
- Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East Dust Events. *Aeolian Research*. 10, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.001>
- Shen, L., Wang, H., Zhao, T., Liu, J., Bai, Y., Kong, S., & Shu, Z. (2020). Characterizing Regional Aerosol Pollution in Central China Based on 19 Years of MODIS Data: Spatiotemporal Variation and Aerosol Type Discrimination. *Environmental Pollution*. 263:114556. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114556>
- Su, X., Wang, L., Gui, X., Yang, L., Li, L., Zhang, M., Qin, W., Tao, M., Wang, S., & Wang L. (2022). Retrieval of Total and Fine Mode Aerosol Optical Depth by an Improved MODIS Dark Target Algorithm. *Environment International*, 166, 107343. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107343>
- Tie, X., Cao, J. (2009). Aerosol Pollution in China: Present and Future Impact on Environment. *Particuology*, 7(6), 426-31. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2009.09.003>
- Wang, J., Yan, Y., Si, H., Li, J., Zhao, Y., Gao, T., Pi, J, Zhang, R., Chen, R., Chen, W., Zheng, Y. (2023). The Effect of Real-Ambient PM<sub>2.5</sub> Exposure on the Lung and Gut Microbiomes and the Regulation of Nrf2. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 254, 114702. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114702>
- Xiang, Y., Ye, Y., Peng, C., Teng, M., Zhou, Z. (2022). Seasonal Variations for Combined Effects of Landscape Metrics on Land Surface Temperature (LST) and Aerosol Optical Depth (AOD). *Ecological Indicators*, 138:108810. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108810>
- Xuan, J, Sokolik, I.N., Hao, J., Guo, F., Mao, H., Yang, G. (2004). Identification and Characterization of Sources of Atmospheric Mineral Dust in East Asia. *Atmospheric Environment*, 38(36), 6239-6252. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.042>
- Yang, Y., Jiang, M., Chen, Z., Ni, C., & Yang, Q. (2022). Establishment of Aerosol Optical Depth Dataset in the Sichuan Basin by the Random Forest Approach. *Atmospheric Pollution Research*, 13(5), 101394. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101394>