

## Study of Aerosols Dispersion due to Zanjan Specialized Town of Zinc Activity

Noor, M.<sup>1</sup>  | Abedini, Y.<sup>2</sup>   | Abedi, A.<sup>3</sup>  | Zamani, A. A.<sup>1</sup>  | Abedini, P.<sup>4</sup> 

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

3. Air Pollution Lab., Environmental department of Zanjan, Zanjan, Iran.

4. Department of Biology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: [abediniy@znu.ac.ir](mailto:abediniy@znu.ac.ir)

(Received: 1 July 2025, Revised: 19 Oct 2025, Accepted: 1 Jan 2026, Published online: 30 May 2026)

### Summary

Particulate pollutants, or aerosols, are tiny solid or liquid particles suspended in the air, which are considered one of the most important air pollutants due to their environmental and health effects. On the other hand, due to aerosols optical properties in terms of absorption and scattering of solar radiation, they alter the radiation budget of the atmosphere and the Earth. Therefore, aerosols are important components in climate studies, and are important factors of uncertainty in climate change models. Key sources of aerosols include natural sources such as wind erosion, salt particles from ocean waves, volcanic ash, as well as man-made sources such as fuel combustion in transportation, industry, and services. Meteorological conditions affect the emission and dispersion of particulate pollutants, so one of the main issues in the study of air pollution is how this emission occurs and the possibility of estimating and predicting the concentration of pollutants. This can be achieved by air pollution models. Air pollution models are generally divided into two categories: destination-oriented models and source-oriented models. In this work, both methods were employed. The first, is measuring the particulate pollutants concentration by sampling at different distances and geographical directions from the Zanjan specialized town of Zinc as an air pollutant source (destination-oriented model) and the second is utilizing emission data from the pollution source along with meteorological inputs such as wind and temperature in an air pollution dispersion model (source-oriented model) to estimate aerosol concentrations and their dispersion patterns. For the first method, 18 air sampling stations were established at appropriate points around the Zanjan specialized town of Zinc, after a previous study and visit to the area, as a synoptic measurement network with the aim of determining the concentration of particulate pollutants. Then, for a year, air sampling was carried out simultaneously, twice a month, for 72 hours at each station. After each sampling, the filters installed in the devices were collected and transferred to the Zanjan Department of Environment air pollution measurement laboratory, and after the drying stage, they were weighed to determine the concentration of airborne particles. For the second method, first the necessary data such as the characteristics of each unit's chimney, the output values of each chimney (by measurement) were prepared with helping of Zanjan Department of Environment, as well as meteorological data through the Zanjan Department of Meteorology. Then, using source-oriented models such as the fixed and variable box model and Gaussian models for point and surface sources, the concentration values of particulate pollutants were determined and their distribution were examined.

The results showed that the measured concentrations of particulate pollutants decrease with distance according to the concentration changes diagram and their classification maps with distance from the specialized settlement. By comparing the concentration values with the primary and secondary standards of the particulate pollutants, it is observed that respectively 4 and 7 stations out of 18 stations in the measurement network are above the permissible limit, and the remaining stations are below the permissible limit of the standard. Observation and study of pollution rose wind and distribution patterns derived from the Gaussian model also confirm the decrease in aerosols with distance and show that aerosol concentration values and their dispersion depend on meteorological variables, especially wind direction and speed. Given the location of Zanjan city in the northeast of the Zanjan Specialized Town of Zinc and the prevailing northwesterly wind, the concentration of particles in the central strip of Zanjan city extending from southwest to northeast is high, and the further away from the strip, the particle concentration is lower.

**Keywords:** Aerosols, Sampling, Box Model, Gaussian Model, Air Pollution Meteorology.

Cite this article: Noor, M., Abedini, Y., Abedi, A., Zamani, A. A., & Abedini, P. (2026). Study of Aerosols Dispersion due to Zanjan Specialized Town of Zinc Activity. *Journal of the Earth and Space Physics*, 52(1), 65-87. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.380433.1007698>

E-mail: (1) [nearestgalaxy@gmail.com](mailto:nearestgalaxy@gmail.com) | [zamani@znu.ac.ir](mailto:zamani@znu.ac.ir) (3) [abediamin1393@gmail.com](mailto:abediamin1393@gmail.com) (4) [abediniparham@gmail.com](mailto:abediniparham@gmail.com)



© Authors Retain the Copyright and Full Publishing Rights.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.380433.1007698>

Print ISSN: 2538-371X  
Online ISSN: 2538-3906

## مطالعه انتشار هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی فلز روی زنجان

مینو نور<sup>۱</sup> | یوسفعلی عابدینی<sup>۲</sup> ✉ | امین عابدی<sup>۳</sup> | عباسعلی زمانی<sup>۱</sup> | پرهام عابدینی<sup>۴</sup>

۱. گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳. آزمایشگاه پایش آلودگی هوا، اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان، زنجان، ایران.

۴. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [abediniy@znu.ac.ir](mailto:abediniy@znu.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۷/۲۷، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۳/۹)

### چکیده

ذرات غبار یا هواویزها از آلاینده‌های مهم هوا محسوب می‌شوند. امروزه هواویزها از مؤلفه‌های مهم در مطالعات اقلیمی هستند. ذرات غبار موجود در هوا به سبب اندازه کوچک و دارا بودن انواع آلودگی‌های میکروبی و همچنین فلزات سنگین می‌توانند سلامت انسان و موجودات زنده را تحت تأثیر قرار دهند. ذرات غبار پراکنده شده از فعالیت صنایع به‌ویژه صنایع فلزی تا مسافت‌های طولانی جابه‌جا و سبب پخش آلودگی می‌شوند. در کار حاضر شهرک صنعتی روی زنجان به‌عنوان منبع تولید آلودگی ذرات انتخاب و ضمن اندازه‌گیری هم‌زمان در قالب یک شبکه نمونه‌برداری (مدل مقصدگرا) و بررسی مقادیر غلظت ذرات و پهنه‌بندی هواویزها در اطراف شهرک، از مدل‌های جعبه‌ای و گاوسی (مدل منبع‌گرا) برای مدل‌سازی انتشار آلودگی هوای ناشی از فعالیت این شهرک استفاده شده است. با این هدف ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه با توجه به کوهساری، جهت باد، فعالیت صنعت و امکانات فنی راه‌اندازی شد. نمونه‌برداری از غبار هوا با استفاده از پمپ‌های نمونه‌برداری به‌طور هم‌زمان در تمام ایستگاه‌ها هر بار به مدت ۷۲ ساعت، برای همه ماه‌ها در طول یک سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴، انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از هر دو مدل نشان می‌دهند ضمن این‌که ذرات غبار ناشی از شهرک روی، بسته به شرایط هواشناسی تا شعاعی بیش از فاصله شهرک روی تا شهر زنجان پخش شده و با فاصله از شهرک کاهش می‌یابد، با توجه به موقعیت شهر زنجان در شمال شرق شهرک تخصصی روی، غلظت ذرات در نوار مرکزی شهر زنجان با امتداد جنوب‌غرب به شمال‌شرق بالا است.

واژه‌های کلیدی: هواویزها، نمونه‌برداری، مدل جعبه‌ای، مدل گاوسی، هواشناسی آلودگی هوا.

### ۱. مقدمه

خاطر امروزه داده‌های هواویزها وارد مدل‌های تغییر اقلیم شده و در مطالعات اقلیمی بسیار اهمیت دارد (IPCC, ۲۰۰۷ و ۲۰۲۱).

ذرات جامد ریز و قطرات مایع معلق در هوا هواویزها را تشکیل می‌دهند. اندازه این ذرات از ۰/۲ نانومتر تا ۵۰۰۰ میکرومتر متغیر است. ذرات با قطرهای مختلف ویژگی‌های متفاوتی از نظر میزان پراکنش نور در هوا، رسوب، اثرات زیست‌محیطی و اثرات بهداشتی از خود بروز می‌دهند و با توجه به شدت اثر و گستردگی و متنوع بودن، ذرات معلق به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم هوا محسوب می‌شوند (WHO, ۲۰۰۰). این آلاینده‌ها باعث ایجاد مشکلات

ذرات معلق در هوا علاوه بر اینکه جزء آلاینده‌های مهم هستند، از مؤلفه‌های مهم در مطالعات اقلیمی نیز هستند. آنها یکی از منابع مهم عدم قطعیت در مدل‌های تغییر اقلیم به شمار می‌روند. هواویزها می‌توانند از طریق جذب یا پراکندگی تابش الکترومغناطیسی، بودجه تابشی زمین را تحت تأثیر قرار دهند که جزء اثر مستقیم هواویزها محسوب می‌شود. افزایش بیش از حد هواویزها باعث کاهش پوشش ابری و رطوبت نسبی می‌شوند که اثر نیمه‌مستقیم نام دارد. تأثیر غیرمستقیم هواویزها بر آب‌وهوا از طریق تغییر ویژگی‌های میکروفیزیکی ابر و تغییر خصوصیات ابرها صورت می‌گیرد (غریب زاد و همکاران، ۲۰۱۷). به‌همین

استناد: نور، مینو؛ عابدینی، یوسفعلی؛ عابدی، امین؛ زمانی، عباسعلی؛ عابدینی پرهام (۱۴۰۵). مطالعه انتشار هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی فلز روی زنجان. مجله

فیزیک زمین و فضا، ۵۲(۱)، ۶۵-۸۷. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.380433.1007698>

رایانامه: (۱) [nearestgalaxy@gmail.com](mailto:nearestgalaxy@gmail.com) | (۳) [zamani@znu.ac.ir](mailto:zamani@znu.ac.ir) | (۴) [abediniparham@gmail.com](mailto:abediniparham@gmail.com)



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2026.380433.1007698>

۱۳۸۶). مثلاً آلودگی هوا سبب کاهش دید، افزایش فراوانی و مدت مه‌های غلیظ (جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۴)، تغییر در شار تابشی خورشید و تأثیر در تغییر اقلیم می‌شود (غریب زاد و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۲۰۱۸).

بطور قطع یکی از ملاحظات مهم در مطالعه آلودگی هوا، چگونگی پراکندگی و انتشار آنها است. فرض کنید آلودگی وارد محیط شده است، مطالعه این که آلودگی در چه جهتی، تا چه مسافتی و چه غلظتی پیش می‌رود و نهایتاً سرنوشت آن به کجا می‌انجامد جزء وظایف ذاتی استفاده-گرهای مدل‌های آلودگی هوا است. از طرف دیگر، در اغلب کشورهای دنیا، قوانین استانداردهای آلودگی هوا بر اساس غلظت‌های مجاز محلی وضع می‌شوند. در اجرای برنامه‌های کنترل آلودگی هوا و برنامه‌ریزی فعالیت منابع آلاینده برای رسیدن به اهداف این قوانین، امکان پیش‌بینی غلظت ناشی از منابع آلاینده باید وجود داشته باشد. این امکان می‌تواند توسط مدل‌های آلودگی هوا برآورده شود. در یک مدل تعیین غلظت آلاینده‌های هوا امکان پیش‌بینی غلظت ناشی از نشر آلاینده‌ها از هر منبع یا با اصلاحاتی برای مجموعه‌ای از منابع، در شرایط هواشناسی خاص، در هر مکان یا فاصله از منبع و در هر دوره زمانی با ضریب اطمینان نسبتاً بالایی وجود دارد.

به‌طور کلی مدل‌های بررسی غلظت آلودگی هوا به دو دسته کلی منبع‌گرا و مقصدگرا تقسیم می‌شوند. در مدل‌های منبع‌گرا اگر اطلاعات درستی از میزان خروجی از منبع و داده‌های هواشناسی موجود باشد می‌توان برآورد دقیق‌تری از غلظت آلاینده‌های مختلف در فاصله‌های مختلف از منبع در مسیر باد داشت. اما در مدل مقصدگرا آلاینده‌های جمع‌آوری شده در یک یا چند مکان غیر از منبع مورد آزمایش قرار می‌گیرند و سپس غلظت آن در مقصد مشخص می‌شود.

هر چند که تاریخچه استفاده از مدل‌های انتشار آلاینده‌ها در دنیا طولانی بوده و به سال‌های ۱۹۳۰ باز می‌گردد (دی نورز، ۲۰۰۰). اما بیشتر کارها مربوط به دهه هفتاد میلادی به بعد است که در اینجا فقط به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. از اولین مدل‌های ساده انتشاری کاری بود که هانا

تنفسی و کاهش دید در سطح شهرها می‌شوند (لازاریدیس، ۲۰۲۳). ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر خیلی دیر ته‌نشین می‌شوند و قبل از شسته‌شدن توسط باران یا جذب توسط گیاهان قادرند چندین روز در هوا معلق بمانند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۶).

از منابع اصلی طبیعی هواویزها می‌توان به فرسایش طبیعی خاک به‌وسیله باد اشاره کرد. جریان باد، ذرات ریز خاک، شن، ماسه، گرد و غبار را از سطح زمین حرکت داده و وارد هوا می‌کند و آنها را به همراه جریان‌های جوی در سطح زمین و جو بالا (مانند جت استریم‌ها) تا مسافت‌های زیاد منتقل می‌کند (ذوالفقاری نیک‌انجام و همکاران، ۱۳۹۳). منبع طبیعی دیگر ذرات معلق، پاشیدن بلورهای نمک ناشی از امواج دریاها و اقیانوس‌ها در جو می‌باشد. با ترکیدن حباب‌های سطح آب و قرار گرفتن در هوا و تبخیر آب این قطرات کوچک، نمک وارد هوا می‌شود و توسط باد پراکنده می‌شود. از دیگر منابع طبیعی هواویزها، خاکسترهای ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی و آتش‌سوزی جنگل‌ها، گرده گل‌ها، ذرات زیستی مانند ویروس‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها و کپک‌ها هستند (ذوالفقاری نیک‌انجام، ۱۳۹۲). هواویزهای مصنوعی یا انسان‌ساز از منابعی همچون احتراق مواد سوختنی در حمل‌ونقل، تأسیسات تولید برق، منابع خانگی و صنایع مختلف شیمیایی مانند کارخانجات تولید اسید سولفوریک، صنایع فلزی، نفت، تولید سرامیک، سیمان، آجر، عملیات عمرانی، ساختمانی، راه‌سازی، کشاورزی و معادن منتشر می‌شود (محمدشفیعی و محمدی، ۱۳۹۲).

شرایط هواشناسی اثر قابل ملاحظه‌ای در مسئله آلودگی هوا از جمله انتشار و پخش آلاینده‌ها دارد. این شرایط هم شامل متغیرهای هواشناسی اولیه (جهت و سرعت باد، دما و ارتفاع آمیختگی) و هم متغیرهای ثانویه (بارش، رطوبت، تابش و دید) می‌باشد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای تابع موقعیت زمانی و مکانی، فصل و کوهساری (توپوگرافی) هستند. همان‌طوری که شرایط هواشناسی بر انتشار و غلظت آلاینده‌ها، تأثیر می‌گذارند، آلودگی هوا نیز شرایط هواشناسی را می‌تواند تغییر دهد (عابدینی و همکاران،

مدل‌های آلودگی برای تخمین انتشار آلودگی برای تعدادی از صنایع زنجان، انتشار آلودگی در جو را در شرایط مختلف جوی شبیه‌سازی کردند. رضازاده و همکاران (۱۳۹۲) شبیه‌سازی گسیل هواویزها را با مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا یا ورف-کم برای منطقه خاور میانه به انجام رساندند. رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۸) با همین مدل هواویزها را برای منطقه خوزستان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. معصومی و همکاران (۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) ضمن استفاده از داده‌های سنجش از دور برای مطالعه چشمه‌های هواویزها در زنجان، امکان سنجی استفاده از مدل ورف-کم را برای پیش‌بینی هواویزها مورد بررسی قرار دادند.

در کار حاضر تعیین غلظت هواویزها با رهیافت استفاده از مدل‌های مقصدگرا و منبع‌گرا صورت گرفته، که در ادامه بررسی نظری، روش‌ها و نتایج آن آورده شده است.

## ۲. روش پژوهش

در این بخش دو مدل یا روش اندازه‌گیری غلظت هواویزها، یعنی مدل مقصدگرا به طریق نمونه‌برداری و مدل‌های منبع‌گرا با استفاده از داده‌های خروجی منبع آلاینده و شرایط محیطی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توضیح داده شده است. البته باید گفت که علاوه بر این روش‌ها، مدل‌های عددی نیز که بر گرفته از مدل‌های پیش‌بینی عددی هواشناسی هستند، برای تعیین و پیش‌بینی غلظت آلودگی هوا از جمله هواویزها مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی نیاز به داده‌های ورودی بیشتر و ابرکامپیوترهای محاسباتی سریع هستند (لازاریدیس، ۲۰۱۱).

### ۲-۱. مدل مقصدگرا

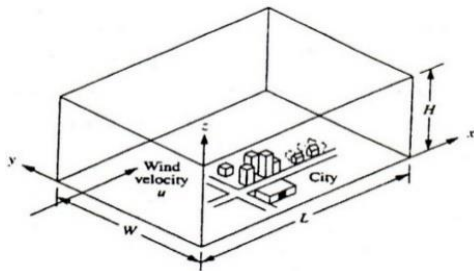
در این مدل آلاینده‌ها از طریق نمونه‌برداری حجم معینی از هوا (با دبی معین در زمان معین) در چند مکان در اطراف یک منبع آلاینده جمع‌آوری شده و سپس طی مراحل آزمایشگاهی مقدار غلظت در مقصد یعنی در هر مکان نمونه‌برداری در آزمایشگاه تعیین می‌شود. از ویژگی‌های

(۱۹۷۱) در ابتدای دهه هفتاد برای محاسبه انتشار آلودگی از منابع آلاینده شهری ارائه کرد. سپس کارل و همکاران (۱۹۷۷) توانستند یک کتاب راهنما در مورد مدل‌سازی انتشاری جو و خود هانا و همکاران (۱۹۸۱) کتاب مرجعی در مورد مسائل فنی انتشار جوی ارائه کردند. وایل و براور (۱۹۸۴) روی یک مدل به روز شده برای دودکش‌های بلند و سپس هانا و پاینه (۱۹۸۹) روی مدل انتشاری توده ترکیبی کار کردند. موریس و مایر (۱۹۹۰) راهنمایی برای مدل‌های شهری و سپس شفی نیز روی همین موضوع کار مروری کاملی انجام دادند. همچنین آژانس برنامه‌های زیست‌محیطی امریکا (۱۹۹۵) راهنمایی در مورد مدل انتشاری مجتمع‌های صنعتی شامل الگوریتم‌های مختلف برای کاربران ارائه کرد. در همان سال روش‌های کامپیوتری مدل‌های آلودگی هوا در مقیاس بزرگ مورد بررسی قرار گرفت (زلاتف، ۱۹۹۵). اواخر قرن بیست و اوایل قرن بیست و یک محققین زیادی از جمله آریا (۱۹۹۹)، پیتر و همکاران (۲۰۰۵)، ماتیو (۲۰۰۷) و لازاریدیس (۲۰۱۱) مطالعات جامعی روی موضوعات هواشناسی مرتبط با مدل‌سازی آلودگی هوا ارائه کردند. لیلوسی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در گروه هواشناسی دانشگاه ایتوس لوراتد بوداپست مرور کاملی بر مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها در جو ارائه کردند. عابدینی و همکاران (۱۳۷۳) با استفاده از برخی مدل‌ها به بررسی آلودگی ناشی از صنایع بزرگ زنجان و قزوین پرداختند. هدایتی و شفیع پور (۱۳۷۴) با ارائه یک مدل ریاضی آلودگی تهران را مورد بررسی قرار دادند. عابدینی و همکاران (۱۳۸۰) در تحقیق دیگری تحت عنوان بررسی کمیت و کیفیت آلودگی هوای کارخانه سرب و روی زنجان، از مدل‌های آلودگی استفاده کردند و غلظت آلاینده‌های ناشی از کارخانه را در فواصل و جهت‌های مختلف جغرافیایی تخمین زدند. رستمی (۱۳۸۳) تجزیه و تحلیل مدل‌های آلودگی هوا و روش‌های حل آن را مورد بررسی قرار دادند. عابدینی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی مدل‌های پخش آلودگی هوای شهرها به منظور تعیین مدل بهینه پخش آلودگی هوای زنجان پرداختند. همچنین مهاجر (۱۳۹۱) ضمن کاربرد

در نظر گرفته و با استفاده از معادله موازنه جرمی ۳ با صرف نظر از جملات تولید و تخریب، میزان تجمع صفر یعنی ثابت بودن غلظت  $c$  و دانستن این که دو جریان ورودی، اولی مقدار جریان آلاینده که توسط باد با سرعت  $u$  به داخل جعبه می آید (برابر با  $uWHb$ ) و دومی دبی آلاینده ورودی توسط شهر به مرز پایینی جعبه (برابر با  $Q = qWL$ ) و تنها یک راه برای خروج آلاینده از وجه پایین دست جعبه وجود دارد ( $qWLC$ )، غلظت آلودگی هوا به صورت زیر به دست می آید:

$$c = b + \frac{qL}{uH} \quad (4)$$

که در آن  $c$  غلظت ذرات،  $b$  غلظت زمینه،  $q$  میزان خروجی ذرات در واحد سطح،  $L$  طول شهر (شامل شهرک روی)،  $u$  سرعت یا مؤلفه سرعت باد در امتداد طول شهر و  $H$  ارتفاع آمیختگی، می باشد (علی اکبری بیدختی و بنی هاشم، ۱۳۷۶، دی نورز، ۲۰۰۰).



شکل ۱. نمایی از مدل جعبه ای یا تک سلولی.

مدل جعبه ای متغیر، معادله توازن جرمی با فرض ثابت نبودن غلظت  $c$  بصورت زیر نوشته می شود (نور، ۱۳۹۴، عابدینی و همکاران، ۱۳۹۶):

$$\frac{\partial c}{\partial t} - \frac{u}{L}c = \left(\frac{q}{H} + \frac{ub}{L}\right) \quad (5)$$

با حل تحلیلی آن خواهیم داشت:

$$c = \left(\frac{qL}{uH} + b\right)(1 - e^{-\frac{u}{L}t}) + c_0 e^{-\frac{u}{L}t} \quad (6)$$

که در آن  $c_0$  غلظت در زمان صفر است.

(۲) مدل توده گاوسی، مدل توده گاوسی از جمله مدل هایی است که پراکنش و انتشار گازها و ذرات را از کلیه منابع تولید کننده آلاینده ها مدل سازی می کند (دی نورز، ۲۰۰۰ و شینل و دی، ۱۹۹۹). این مدل برای محاسبه غلظت آلاینده ها از منابع نقطه ای، خطی و سطحی به کار می رود و

مدل مقصدگرا این است که با آنالیز ترکیب شیمیایی ذرات، تشخیص منابع تا حدودی امکان پذیر بوده و نتیجه آن می تواند منجر به سهمیه بندی منابع یا موازنه جرمی شیمیایی شود (فرایلاندر، ۱۹۷۳). برای محاسبه غلظت ذرات معلق نمونه برداری شده در هر ایستگاه از رابطه زیر استفاده شده است (مظلومی و همکاران، ۱۳۹۹):

$$c = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V_{st}} \quad (1)$$

که در آن  $c$  غلظت بر حسب میلی گرم بر متر مکعب در شرایط استاندارد،  $W_2 - W_1$  تفاوت وزن ثانویه و اولیه فیلتر بر حسب میلی گرم و  $B_2 - B_1$  تفاوت وزن اولیه و ثانویه فیلتر شاهد بر حسب میلی گرم و همچنین  $V_{st}$  حجم هوای تصحیح شده یا در شرایط استاندارد است که با استفاده از معادله زیر به دست می آید:

$$V_{st} = \frac{V \times P_a}{1013 \left(\frac{273+t}{273+t_s}\right)} \quad (2)$$

که در رابطه فوق،  $P_a$  فشار هوا در محل نمونه برداری بر حسب میلی بار،  $V$  حجم هوای نمونه برداری شده بر حسب مترمکعب (در شرایط کاری)،  $t_s$  دمای هوا در شرایط استاندارد (۲۵ درجه سانتی گراد) و  $t$  دمای هوا در محل نمونه برداری بر حسب درجه سانتی گراد است (حسین سعیدی و همکاران، ۱۳۹۵).

## ۲-۲. مدل منبع گرا

فیزیک مدل، کلیه مدل های منبع گرا دارای موازنه جرمی ساده ای هستند که معادله آن را به شکل رابطه زیر می توان نوشت (دی نورز، ۲۰۰۰؛ لازاریدیس، ۲۰۱۱):

(میزان تخریب) - (میزان تولید) + (کلیه جریان های خروجی) - (کلیه جریان های ورودی) = میزان تجمع

(۳)

این معادله میزان تجمع آلاینده را در تمامی مدل ها ارائه می کند. در ادامه مدل های مورد استفاده در این کار، یعنی مدل های جعبه ای و مدل های گاوسی، شرح داده می شوند.

(۱) مدل جعبه ای، این مدل که به نام مدل تک سلولی هم معروف بوده، حالت خاصی از مدل چند سلولی است. منطقه مورد نظر را به صورت مکعب مستطیل همانند شکل ۱

غلظت مربوط به این منبع در هر نقطه  $(x, y, z)$  برای  $x > 0$  می‌باشد.

به منظور یافتن نحوه پراکنش توسط آمیختگی تلاطمی، باز هم از معادله موازنه جرمی ۱ در اطراف یک مکعب کوچک به ابعاد  $\Delta x \Delta y \Delta z$  در همان مختصات شکل ۲ و در فضای نزدیک به مرکز توده استفاده می‌شود. ماده‌ای را در نظر بگیرید که تولید و تخریب نمی‌شود بنابراین دو جمله سوم و چهارم دست راست معادله ۲ صفر می‌باشد. جمله‌های باقی مانده عبارت‌اند از:

$$\sum (\text{کلیه جریان‌های خروجی}) - \sum (\text{کلیه جریان‌های ورودی}) = (\text{میزان تجمع}) \quad (۷)$$

نرخ تجمع از مشتق زمانی مقدار آلاینده موجود که حاصل ضرب غلظت و حجم است به دست می‌آید. اما حجم مکعب با زمان تغییر نمی‌کند، بنابراین:

$$\text{نرخ تجمع} = \frac{\partial(CV)}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} = \Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial C}{\partial t} \quad (۸)$$

در مکعب مورد نظر هیچ‌گونه جریان توده‌ای (یعنی همرفت) به داخل یا خارج وجود ندارد زیرا مکعب با سرعت باد محلی حرکت می‌کند. در عین حال در داخل هر شش وجه مکعب به علت آمیختگی تلاطمی، جریان وجود دارد. تصویر فیزیکی یا ریاضی واضح و کاملی از موضوع پیچیده آمیختگی تلاطمی در دست نیست اما می‌توان آن را با تقریب شار جریان جرمی در هر وجه، به صورت زیر به دست آورد:

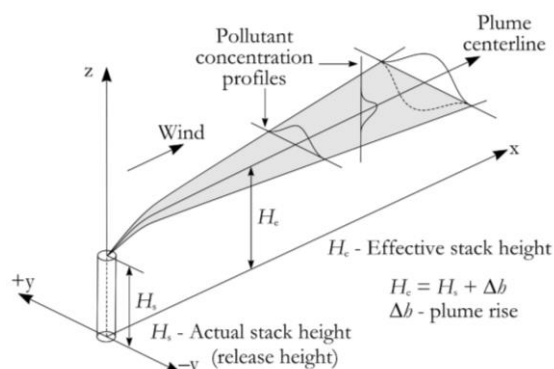
$$\text{شار (تغییرات زمانی دبی جرمی در واحد سطح)} = -K \frac{\partial C}{\partial n} \quad (۹)$$

که در آن  $n$  فاصله در جهت مورد نظر (در حالت عادی  $x$ ،  $y$  یا  $z$ ) و  $K$  ضریب پراکنش متلاطم بر حسب مترمربع بر ثانیه است. بنابراین جریان جرمی خالص حاصل از انتشار تلاطمی میان دو وجه عمود بر محور  $x$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} &= \text{شار (خالص به داخل مکعب در جهت } x) \\ &= \left[ (-K_x \frac{\partial C}{\partial x})_x - (-K_x \frac{\partial C}{\partial x})_{x+\Delta x} \right] \Delta y \Delta z \quad (۱۰) \end{aligned}$$

با تقسیم معادله فوق بر حجم  $\Delta x \Delta y \Delta z$  و حدگیری از آن

فرض می‌کند که آلاینده‌ها در جهت‌های افقی و قائم و به شکل زنگ (منحنی توزیع گاوسی) پخش شده و بیشترین غلظت نیز در وسط توده قرار دارد. ساده‌ترین شکل آن زمانی است که منبع تولید آلاینده به صورت یک نقطه مانند دودکش نیروگاه‌ها، کارخانجات یا وقوع انفجارات در مبدأ دستگاه مربوطه مختصات  $(x, y, z)$  مانند شکل ۲ در نظر گرفته شود، به این مدل، مدل گاوسی آشوبناک هم اطلاق می‌شود، به این دلیل که برای حل معادلات می‌توان از روش تلاطمی یا اختلال نیز استفاده کرد (لازاریدیس، ۲۰۱۱).



شکل ۲. نمایی از مدل گاوسی (لیلوسی و همکاران، ۲۰۱۴).

در شکل ۲ مبدأ سیستم مختصات، بر پایه دودکش منطبق بوده و محور  $x$  جهت وزش باد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود توده گازی حاوی مواد آلاینده (که معمولاً ستون دود یا توده نامیده می‌شود) از دودکش صعود و سپس در جهت  $x$  حرکت کرده و در ضمن حرکت در جهات  $y$  و  $z$  پراکنده می‌شود.

در حالت عادی این توده‌ها مسافت قابل توجهی در بالای دودکش صعود می‌کنند زیرا دمای آنها بالاتر از دمای هوای جو بوده و دارای سرعت عمودی هستند. در محاسبات مربوط به مدل توده گاوسی فرض بر این است که توده از نقطه‌ای با مختصات  $(0, 0, H)$  که ارتفاع مؤثر دودکش (ارتفاع فیزیکی یا واقعی دودکش  $H_0$  در شکل ۲ به اضافه میزان صعود دود یا پلوم  $\Delta h$  در همان شکل) نامیده می‌شود، با میزان نشر  $Q$  (در حالت عادی بر حسب گرم بر ثانیه) منتشر می‌شود. همچنین باد با سرعت  $u$  مستقل از زمان، مکان و ارتفاع و در جهت  $x$  می‌وزد. مسئله، محاسبه

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (15)$$

که  $Q$ ،  $u$ ،  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  به ترتیب دبی جرمی آلاینده خروجی از دودکش، سرعت باد در جهت محور  $x$ ، ضریب پراکنندگی افقی و عمودی هستند.

همچنین  $H$  ارتفاع مؤثر دودکش است که از رابطه زیر بر اساس پارامترهای دودکش و محیطی، به دست می آید:

$$H = H_0 + \Delta h \quad (16)$$

و در آن

$$\Delta h = \frac{v_s D}{u} (1.5 + 0.00268 PD \frac{(T_s - T_a)}{T_s}) \quad (17)$$

که  $v_s$  سرعت آلاینده خروجی از دودکش،  $D$  قطر دودکش،  $P$  فشار هوا،  $T_s$  دمای گاز یا آلاینده قبل از خروج از دودکش و  $T_a$  دمای هوا است (لازاریدیس، ۲۰۱۱، گولای، ۱۹۸۲، بریگز، ۱۹۷۵).

متذکر می شود که ضرایب پراکنندگی به صورت جدول و نمودار برای فاصله های مختلف از منبع (پایین دست) و شرایط پایداری و ناپایداری مختلف هوا قابل دسترس می باشند (شونل و دی، ۱۹۹۹، ترنر، ۱۹۷۰ و ۱۹۹۴، پاسکوئیل و اسمیت، ۱۹۸۳).

مدل توده گاوسی برای یک منبع سطحی، در این بخش کافی است از معادله پایه در مدل گاوسی روی سطح منبع انتگرال گرفته تا رابطه غلظت برای سطح زمین در امتداد خط مرکزی به صورت زیر به دست آید (نور، ۱۳۹۴، عابدینی و همکاران، ۱۳۹۶):

$$c = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_L^{x_0} \frac{Q}{u \sigma_z} dx \quad (18)$$

که در آن  $x_0$  نزدیک ترین منبع نشر به محل اندازه گیری غلظت،  $L$  فاصله شهر تا منبع سطحی و  $\sigma_z = i_z x (1 + a_z x)^{b_z}$  می باشد ( $i_z$ ،  $a_z$ ،  $b_z$  ضرایب ثابتی هستند که با توجه به وضعیت پایداری و ناپایداری هوا تعیین می شوند).

در نهایت با در دست داشتن روابط مربوط به محاسبه غلظت هواویزها از مدل های فوق، داده های واحدهای صنعتی مستقر در شهرک تخصصی روی و داده های هواشناسی، غلظت در فاصله های مختلف مورد محاسبه قرار می گیرد.

= شار (خالص به داخل مکعب در جهت  $x$ ) بر واحد حجم

$$K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (11)$$

با کار مشابه در جهت های  $x$  و  $y$  و جمع سه مؤلفه، شار کل بر واحد حجم به صورت زیر به دست می آید.

= شار کل بر واحد حجم

$$K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (12)$$

که در واقع این شار کل بر واحد حجم همان نرخ تجمع است بر واحد حجم، یعنی معادله ۸ تقسیم بر  $\Delta x \Delta y \Delta z$  بنابراین معادله مدل به صورت زیر به دست می آید:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (13)$$

که با حل معادله دیفرانسیل فوق  $c$  یعنی غلظت آلاینده به دست می آید. نهایتاً با توجه به نوع پراکنندگی گاوسی شکل، موازنه جرمی برای ورقه ای نازک با طول واحد در جهت  $x$  و با ابعاد بزرگ تا بی نهایت در جهت های  $y$  و  $z$  که با سرعت باد حرکت می کند، انجام می شود (مثل برش های نان مخروطی شکل که راس آن در انتهای دودکش به طور افقی قرار گرفته است). این ورقه با انتشار تلاطمی مواد را به ورقه های بالادست و پایین دست منتقل می کند، اما به همان مقدار مواد از طریق ورقه های فوق دریافت می کند. بنابراین انتقال خالص مواد از ورقه فوق در جهت  $x$  ناچیز و تقریباً صفر است و در نتیجه انتشار دو بعدی ( $y, z$ ) می شود. بنابراین در سمت راست رابطه فوق جمله اول حذف و جواب آن به صورت زیر خواهد شد:

$$c = \frac{X}{4\pi t K_y K_z} \exp\left[-\frac{1}{4t} \left(\frac{y^2}{2K_y} + \frac{z^2}{2K_z}\right)\right] \quad (14)$$

که رابطه فوق از نظر ریاضی یک تابع گاوسی است و در مبدأ جمله نمایی برابر ۱ و جمله باقی مانده غلظت لحظه ای در مبدأ را نشان می دهد. واضح است برای نقاط غیر مبدأ به خاطر علامت منفی در توان جمله نمایی غلظت نسبت به

مبدأ کاهش می یابد. بنابراین با توجه به روابط  $X = \frac{Q}{u}$

$K_z = \frac{\sigma_z^2 u}{2x}$ ،  $K_y = \frac{\sigma_y^2 u}{2x}$  و  $Z \rightarrow Z - H$  مدل توده گاوسی دو بعدی برای محاسبه غلظت به صورت زیر خواهد شد:

## ۳. اندازه‌گیری و محاسبات

## ۳-۱. منطقه مورد مطالعه

استان زنجان در قسمت مرکزی و شمال باختری کشور، بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۶ دقیقه خاوری از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این استان بین هفت استان قزوین، گیلان، کردستان، همدان، اردبیل و آذربایجان غربی و شرقی واقع شده و مرکز آن شهر زنجان است. شهر زنجان در فلات مرتفع زنجان-ابهر به وسعت ۱۴۵۲۰ کیلومتر مربع در ۴۸ درجه و ۲۸ تا ۳۰ دقیقه طول خاوری و ۳۶ درجه و ۴۰ تا ۴۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع شهر از سطح دریا در محل ایستگاه سینوپتیک زنجان ۱۶۶۳ متر می‌باشد. میانگین ارتفاع استان زنجان بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. پست‌ترین نقطه در داخل استان با ارتفاع ۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در منطقه طارم و بلندترین قله آن با ارتفاع ۲۹۰۰ متر در ارتفاعات شهرستان ماهنشان قرار دارد. مساحت استان ۲۲۱۶۴ کیلومتر مربع است که ۱/۳۴ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این شهر دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. ماه‌های تیر و مرداد با میانگین دمای حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و ماه دی با میانگین دمای ۲/۵- درجه سانتی‌گراد سردترین ماه سال است. میانگین بارندگی در دوره آماری ۳۳ ساله حدود ۳۰۹ میلی‌متر است که بیشترین میزان بارندگی در فصل بهار با ۳۵/۷ درصد و کمترین میزان آن در فصل تابستان با ۴/۲ درصد اتفاق می‌افتد (بهرام لوثیان، ۱۳۹۳). با توجه به قرار گرفتن معدن سرب و روی انگوران در استان زنجان صنایع وابسته زیادی از جمله شهرک تخصصی روی در این استان شکل گرفته‌اند که باعث پیشرفت اقتصادی و صنعتی منطقه شده است و در عین حال آلودگی‌های فراوانی را نیز در منطقه به وجود آورده‌اند (حاجی‌سلطانی، ۱۳۸۹).

شهرک تخصصی روی، این شهرک در جنوب غربی شهر زنجان حدود ۵ کیلومتری جاده زنجان به بیجار قرار دارد. مساحت شهرک ۱۶۸ هکتار می‌باشد. صنایع متعددی در

این شهرک در راستای تولید و فرآوری فلز روی فعالیت می‌کنند. شهرک فوق به دلایل زیر می‌تواند در تولید و انتشار آلاینده‌های جوی نقش داشته باشد:

۱- حمل و نقل خاک معدن، به طوری که همواره در خیابان‌های شهرک و محوطه صنایع مقدار زیادی خاک معدن ریخته شده که می‌تواند توسط باد به هوای اطراف شهرک منتشر شود. گاهی آب‌پاشی محوطه خود باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی اطراف می‌شود.

۲- فرایند فنی تولید فلز از مواد معدنی که طبیعتاً می‌تواند باعث تولید آلاینده‌های گازی مثل  $SO_2$ ، ذرات معلق و همچنین پسماندها شود.

۳- پسماندهای تولیدی صنایع استقرار یافته در شهرک زیاد بوده و معمولاً به صورت روباز نگهداری می‌شود، لذا در اثر وزش باد به محیط اطراف پخش می‌شوند و ضمن آلودگی هوا پس از طی مسیری یا همراه بارش روی سطح زمین نشست و باعث آلودگی آب، خاک و گیاه می‌شود.

۴- عدم تهویه و فیلترهای مناسب در دودکش‌ها دیگر عاملی است که می‌تواند در پخش و پراکنش آلاینده‌ها از طریق این صنایع مؤثر باشد.

بنابراین در کل این شهرک صنعتی، در عین حالی که باعث شکوفایی صنعت روی کشور و استفاده از منابع وسیع روی در استان زنجان و اشتغال است، می‌تواند مستعد تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌ویژه از نظر ذرات شامل فلزات سنگین در هوا شود. با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط باد این ذرات می‌توانند در محیط اطراف شهرک منتشر و باعث آلودگی هوا شوند.

### ۳-۲. تعیین غلظت هواویزها با نمونه‌برداری (مدل مقصدگرا)

با مطالعه تصاویر ماهواره‌ای منطقه و بازدیدهای میدانی مختلف از شهرک تخصصی روی زنجان (که در ادامه گاهاً از آن شهرک نام برده می‌شود) و محیط اطراف تا شعاع ۱۲ کیلومتری و مشاوره با کارشناس‌های اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان، امکان‌سنجی محل ایستگاه‌های

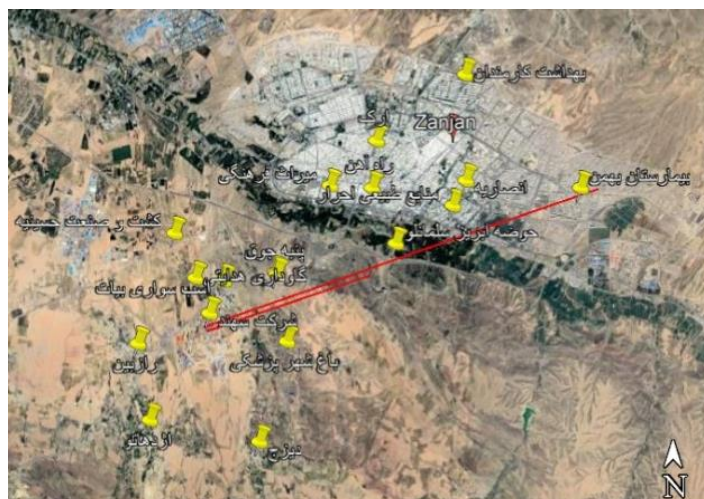
امکان‌پذیر شد. در قدم اول، فیلترهای نصب شده در دستگاه‌های نمونه‌برداری که نمونه ذرات روی آنها جمع شده، بعد از انتقال از ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مدتی در محیط آزمایشگاهی در آزمایشگاه سنجش آلودگی هوای اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان نگهداری شد تا مرحله خشک‌سازی آنها انجام گیرد. در قدم دوم، کار توزین فیلترها جهت تعیین غلظت کلی ذرات از رابطه ۱ انجام شده است.

موقعیت شهرک تخصصی روی نسبت به زنجان و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۳ آورده شده است.

نمونه‌برداری‌ها صورت گرفت. این امکان‌سنجی بر اساس فاصله از شهرک، فراهم‌بودن امکانات فنی از نظر نصب و استقرار دستگاه‌ها، امکانات برق، امنیت و با تأکید بر سمت شهر زنجان با هدف مطالعه تأثیر آلاینده‌ها به این شهر، انجام گرفته است. البته چون تأثیر بر شهر هم مهم بود چند ایستگاه هم در سطح شهر در نظر گرفته شد. سپس موقعیت دقیق محل ایستگاه‌ها از نزدیک با دستگاه جی‌پی‌اس تعیین شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. به این ترتیب یک شبکه اندازه‌گیری همزمان نمونه‌برداری و تعیین غلظت در اطراف شهرک تخصصی روی با تأکید بر سمت شهر

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	فاصله از شهرک (کیلومتر)
۱	شرکت سهند روی (شهرک)	۳۶°۳۷'۵۳/۹۶"	۴۸°۲۵'۴۵/۳۲"	۱۴۳۸	۰
۲	مرکز بهداشت رازبین	۳۶°۳۷'۲۵/۹۶"	۴۸°۲۴'۲۲/۶۵"	۱۴۴۱	۲/۲۵
۳	روستای ازدهاتو	۳۶°۳۶'۱۵/۹۶"	۴۸°۲۴'۳۶/۴۸"	۱۵۴۴	۳/۶۵
۴	کشت و صنعت مصباح	۳۶°۳۹'۰۸/۹۳"	۴۸°۲۵'۰۴/۸۵"	۱۶۸۷	۲/۵۴
۵	گاوداری هدایتی	۳۶°۳۸'۲۶/۶۰"	۴۸°۲۵'۲۹/۰۷"	۱۶۸۴	۱/۱۴
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۳۶°۳۸'۲۴/۱۸"	۴۸°۲۵'۴۰/۷۲"	۱۶۸۷	۱/۱۲
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۳۶°۳۷'۲۷/۸۹"	۴۸°۲۷'۱۴/۹۵"	۱۶۹۱	۲/۴۵
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۳۶°۳۵'۵۵/۷۶"	۴۸°۲۶'۴۲/۷۶"	۱۷۰۱	۱/۸۱
۹	دبستان پنبه جوق	۳۶°۳۸'۳۰/۱۳"	۴۸°۲۷'۰۳/۴۷"	۱۷۸۵	۲/۲۴
۱۰	حوضه ابخیز سلمان‌لو	۳۶°۳۸'۵۸/۷۸"	۴۸°۲۹'۲۱/۴۱"	۱۷۵۹	۵/۷۴
۱۱	راه آهن زنجان	۳۶°۳۹'۵۰/۴۵"	۴۸°۲۸'۵۳/۹۷"	۱۶۵۰	۵/۹
۱۲	میراث فرهنگی	۳۶°۳۹'۵۲/۷۶"	۴۸°۲۸'۰۵/۳۰"	۱۶۵۰	۵/۰۵
۱۳	انصاریه	۳۶°۳۹'۵۷/۴۶"	۴۸°۳۰'۴۲/۵۳"	۱۷۱۰	۸/۳۵
۱۴	ارک	۳۶°۴۰'۳۴/۴۲"	۴۸°۲۸'۵۸/۸۸"	۱۷۰۰	۶/۹۶
۱۵	بیمارستان بهمن	۳۶°۳۹'۵۰/۶۷"	۴۸°۳۲'۵۴/۷۳"	۱۷۱۰	۱۰/۰۲
۱۶	منابع طبیعی احرار	۳۶°۳۹'۳۴/۱۶"	۴۸°۳۰'۲۷/۵۱"	۱۶۵۰	۷/۶۲
۱۷	سهرین	۳۶°۵۲'۱۲/۳۱"	۴۸°۲۴'۵۴/۷۷"	۱۷۰۰	۲۶/۶۱
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۳۶°۴۱'۳۵/۶۷"	۴۸°۳۰'۴۰/۷۲"	۱۷۳۰	۱۱/۳۱



شکل ۳. موقعیت شهرک تخصصی روی (به مرکزیت شرکت سهند)، شهر زنجان (شمال-شمال شرق شهرک) و ایستگاه‌های نمونه‌برداری (دو خط قرمز کوتاه و بلند به ترتیب نشانگر فاصله‌های ۵ و ۱۲ کیلومتری از شهرک تخصصی روی است).

(تمیز)، با محاسبه، مقادیر غلظت کلی هواویزها در هر کدام از ایستگاه‌ها تعیین شدند. سپس مقادیر میانگین غلظت بر حسب میکروگرم بر مترمکعب برای ماه‌ها، فصل‌ها، شش‌ماهه اول و دوم و سالانه محاسبه شده که نتایج آن در جدول‌های ۲ تا ۶ آورده شده است.

مقادیر غلظت با استانداردها مقایسه شده که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است. همچنان که ملاحظه می‌شود بر اساس استاندارد سالانه اولیه ایران، مصوب ۱۳۷۳/۹/۲۰ سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور (طبق تعریف سازمان حفاظت محیط‌زیست استاندارد سالانه اولیه برای تأمین سلامت جامعه است و استاندارد سالانه ثانویه برای تأمین رفاه و آسایش عمومی است)، که در آن مقدار متوسط سالانه ۷۵ میکروگرم بر متر مکعب برای ذرات تعیین شده است، در ۵ ایستگاه شامل ایستگاه‌های سهند روی، مصباح، سوارکاری، پنبه جوق و سهرین، غلظت ذرات بالاتر از حد استاندارد و در بقیه ایستگاه‌ها زیر حد استاندارد است. همچنین بر اساس استاندارد سالانه ثانویه ایران یعنی میانگین ۶۰ میکروگرم بر متر مکعب برای ذرات، در ۷ ایستگاه شامل ایستگاه‌های سهند روی، مصباح، سوارکاری، پنبه جوق، سهرین، گاوداری هدایتی و میراث فرهنگی، غلظت ذرات بالای حد استاندارد و در بقیه ایستگاه‌ها زیر حد استاندارد است. در قدم بعدی مقادیر غلظت هواویزها با استفاده از نرم‌افزار جی‌آی‌اس، برای ایستگاه‌های

۳-۳. محاسبه غلظت و انتشار ذرات با مدل‌های منبع‌گرا با توجه به روابط مربوط به غلظت هواویزها از هر مدل، داده‌های ورودی لازم در هر مدل مشخص و سپس بخشی از این داده‌ها از طریق استعمال از واحدهای مستقر در شهرک تخصصی روی زنجان و همچنین با اندازه‌گیری‌های لازم مانند مشخصات دودکش و مقادیر آلاینده خروجی از دودکش هر واحد تهیه شده‌اند. بخش دیگر داده‌ها با توجه به زمان محاسبه داده‌های هواشناسی بودند که از طریق اداره کل هواشناسی زنجان تأمین شده است. در نهایت غلظت هواویزها با استفاده از کدنویسی متلب و نرم‌افزارهای مربوطه، که در این کار از نرم‌افزار ردی (ready) مربوط به سازمان ملی جو و اقیانوس (NOAA) استفاده شده است (<https://ready.noaa.gov>), مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

#### ۴. بحث

بحث و نتایج حاصل برای همه روش‌های مورد استفاده در این بخش آورده شده است.

۴-۱. بحث و نتایج نمونه‌برداری یا مدل مقصدگرا اندازه‌گیری‌ها از طریق نمونه‌برداری برای روزهای مختلف در هر ماه انجام گرفته و بعد از مراحل اولیه و وزن‌کشی فیلترهای به‌دست آمده از نمونه‌برداری‌ها و فیلترهای شاهد

نمونه‌برداری به روی نقشه منطقه آورده شد و پهنه‌بندی فصل‌ها، شش ماهه اول، دوم و سالانه در شکل‌های ۴ تا ۷ غلظت کلی هواویزها انجام شد. نتایج پهنه‌بندی برای نشان داده شده است.

جدول ۲. غلظت هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی برای فصل بهار (بر حسب میکروگرم بر مترمکعب).

ردیف	نام ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	متوسط فصلی بهار
۱	شرکت سهند روی	۲۶۰/۶۸	۳۲۳/۸۴	۲۵۷/۶۴	۲۸۰/۷۲
۲	مرکز بهداشت رازبین	۴۲/۶۳	۸۸/۴۰	۸۱/۶۰	۷۰/۸۷
۳	روستای ازدهاتو	۳۰/۹۴	۵۱/۲۳	۶۰/۰۷	۴۷/۴۱
۴	کشت و صنعت مصباح	-	۷۶/۱۸	۶۸/۳۷	۷۲/۲۸
۵	گاوداری هدایتی	۴۰/۶۳	۶۶/۸۶	۵۹/۳۸	۵۵/۶۲
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۸۷/۲۷	۹۸/۵۱	۱۲۱/۲۹	۱۰۲/۶۹
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۴۶/۱۹	۸۵/۲۴	۷۰/۰۵	۶۷/۱۶
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۵۸/۹۵	۳۵/۹۷	۱۱۸/۱۹	۷۱/۰۴
۹	دبستان پنبه جوق	-	۸۷/۴۴	۵۱/۴۳	۶۹/۴۴
۱۰	حوضه ابخیز سلمان‌لو	۱۵/۹۰	۴۴/۶۲	۴۸/۹۲	۳۶/۴۸
۱۱	راه آهن زنجان	-	۸۰/۵۳	۴۹/۰۲	۶۴/۷۸
۱۲	میراث فرهنگی	۵۹/۴۳	۷۹/۴۷	۹۳/۹۶	۷۷/۶۲
۱۳	انصاریه	-	۱۳۳/۹۳	۸۴/۶۹	۱۰۹/۳۱
۱۴	ارک	۵۹/۵۶	۳۴/۸۹	۵۸/۶۷	۵۱/۰۴
۱۵	بیمارستان بهمن	۶۳/۳۴	۳۳/۶۴	۶۴/۰۰	۵۳/۶۳
۱۶	منابع طبیعی احرار	۴۵/۹۲	۴۳/۰۹	۳۲/۲۴	۴۰/۴۲
۱۷	سهرین	۱۳/۱۰	۷۴/۴۶	۱۶/۱۹	۳۴/۵۹
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۴۵/۵۱	۵۶/۰۰	۵۵/۷۱	۵۲/۴۱

جدول ۳. غلظت هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی برای فصل تابستان (بر حسب میکروگرم بر مترمکعب).

ردیف	نام ایستگاه	تیر	مرداد	شهریور	متوسط فصلی تابستان
۱	شرکت سهند روی	۴۶۴/۳۰	۲۳۹/۳۲	۱۹۲/۲۵	۲۹۸/۶۲
۲	مرکز بهداشت رازبین	۴۷/۷۶	۱۲/۷۲	۳۰/۱۴	۳۰/۲۱
۳	روستای ازدهاتو	۸/۳۷	۱۰/۳۹	۴۴/۴۸	۲۱/۰۸
۴	کشت و صنعت مصباح	۱۴۰/۳۹	۲۵/۱۸	۱/۵۵	۵۵/۷۱
۵	گاوداری هدایتی	۷۲/۴۳	۳/۳۵	۳۶/۳۳	۳۷/۳۷
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۱۵۰/۴۷	۲۶/۴۵	۶۶/۹۰	۸۱/۲۷
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۱۷/۴۵	-	۲۳/۹۶	۲۰/۷۰
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۵۵/۲۸	۲۸/۷۶	۵۱/۱۲	۴۵/۰۵
۹	دبستان پنبه جوق	۴۶/۳۰	۴۳۶/۰۰	۷۹/۵۸	۱۸۷/۲۹
۱۰	حوضه ابخیز سلمان‌لو	۱۴/۴۳	۱۰/۰۲	۴/۶۴	۹/۷۰
۱۱	راه آهن زنجان	۲۶/۳۱	۱۲/۱۰۸	۲۹/۴۷	۲۲/۶۲
۱۲	میراث فرهنگی	۶۳/۶۷	۲۲/۶۷	۳۸/۰۹	۴۱/۴۸
۱۳	انصاریه	-	-	۸/۴۲	۸/۴۲
۱۴	ارک	۳۹/۸۶	۵/۵	۴۷/۸۰	۳۱/۰۰
۱۵	بیمارستان بهمن	۵۳/۰۸	۰/۳۵	۱۸/۹۷	۲۴/۱۳
۱۶	منابع طبیعی احرار	۶/۴۸	-	۲۳/۲۲	۱۴/۸۴
۱۷	سهرین	۶۲/۵۰	۵/۰۴	-	۳۳/۷۷
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۱۳/۰۱	-	-	۱۳/۰۱

جدول ۴. غلظت هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی برای فصل پاییز (بر حسب میکروگرم برترمکعب).

ردیف	نام ایستگاه	مهر	آبان	آذر	میانگین فصلی پاییز
۱	شرکت سهند روی	۱۴۹/۷۸	۱۱۰/۹۳	۲۷/۵۲	۹۶/۰۸
۲	مرکز بهداشت رازبین	۸۵/۹۲	۸/۴۱	-	۴۷/۱۷
۳	روستای ازدهاتو	۵۱/۱۶	۸/۷۷	۲۲/۱۶	۲۷/۳۷
۴	کشت و صنعت مصباح	۰/۷۷	۱۹۳/۱۲	۳۲/۶۲	۷۵/۵۰
۵	گاوآرداری هدایتی	۵۶/۶۲	۱۱/۱۴	۴۶/۰۶	۳۷/۹۴
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۸۱/۴۵	۱۹/۷۲	۶۳/۴۷	۵۴/۸۸
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۲۲/۷۷	۳۷/۳۰	۱۹/۰۰	۲۶/۳۵
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۵۸/۲۴	۹/۰۳	۲۲/۸۵	۳۰/۰۴
۹	دبستان پنبه جوق	۸۰/۰۸	۱۰/۱۰	۱۳/۳۹	۳۴/۵۰
۱۰	حوضه ابخیز سلمانلو	۴/۸۰	۱۰/۳۴	۱۰/۳۰	۸/۳۹
۱۱	راه آهن زنجان	۳۰/۳۴	۸/۴۳	۳۵/۸۹	۲۴/۸۸
۱۲	میراث فرهنگی	۸۵/۳۸	۱۸/۲۸	۶۰/۴۱	۵۴/۶۹
۱۳	انصاریه	۸/۶۳	۱۴/۲۲	۱۹/۵۰	۱۴/۱۲
۱۴	ارک	۴۶/۳۹	۱۰/۷۰	۷۴/۳۷	۴۳/۸۲
۱۵	بیمارستان بهمن	۳۰/۷۰	۹۹/۱۹	۴۷/۸۶	۵۹/۲۵
۱۶	منابع طبیعی احرار	۲۲/۵۷	۹/۱۷	۲۲/۸۲	۱۸/۱۸
۱۷	سهرین	۲۷۹/۹۲	۸/۷۲	-	۱۴۴/۳۲
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	-	-	۱۰/۹۰	۱۰/۹۰

جدول ۵. غلظت هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی برای فصل زمستان (بر حسب میکروگرم برترمکعب).

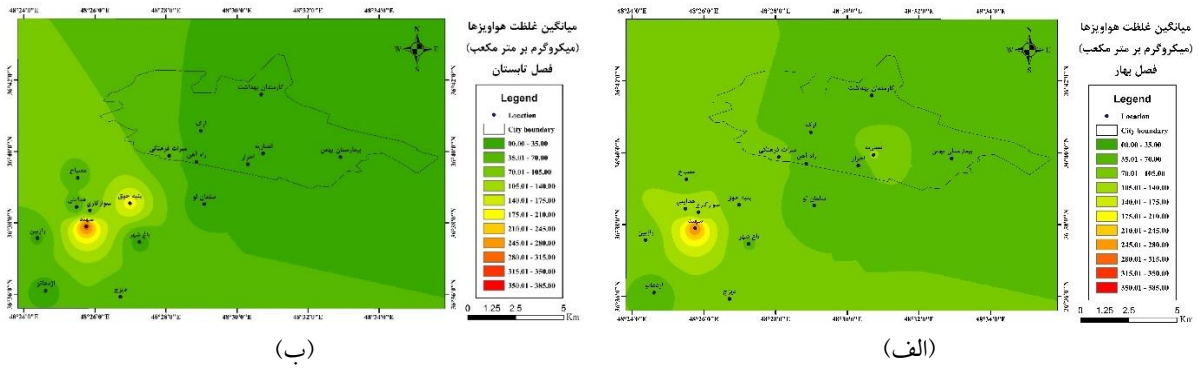
ردیف	نام ایستگاه	دی	بهمن	اسفند	متوسط فصلی زمستان
۱	شرکت سهند روی	۵۱۴/۳۷	۲۰۴/۰۶	۳۸۵/۵۲	۳۶۷/۹۸
۲	مرکز بهداشت رازبین	۲۳/۵۷	۶۱/۰۷	۵۴/۳۷	۵۶/۳۴
۳	روستای ازدهاتو	۱۸/۵۶	۵۶/۳۷	۲۸/۰۰	۳۴/۳۱
۴	کشت و صنعت مصباح	۱۸۹/۲۸	۸۶/۸۸	۵۹/۶۶	۱۱۱/۹۴
۵	گاوآرداری هدایتی	۲۸/۹۴	۷۰/۳۲	۷۷/۵۴	۵۸/۹۴
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۸۱/۵۶	۱۰۵/۸۸	۹۳/۱۶	۹۳/۵۳
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۳۶/۶۸	۱۰۴/۴۷	۴۱/۰۴	۶۰/۷۳
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۲۱/۴۷	۸۶/۲۲	۴۹/۰۱	۵۲/۲۳
۹	دبستان پنبه جوق	۴۷/۶۴	۷۶/۲۹	۴۳/۶۶	۵۵/۸۶
۱۰	حوضه ابخیز سلمانلو	۳۴/۶۳	۷۷/۸۵	۳۶/۵۸	۶۹/۴۹
۱۱	راه آهن زنجان	۲۷/۹۶	۷۶/۶۷	۶۵/۲۱	۵۶/۶۱
۱۲	میراث فرهنگی	۲/۸۱	۱۲۱/۶۷	۹۲/۷۵	۷۲/۴۱
۱۳	انصاریه	۳۸/۱۴	۱۰۵/۷۷	۶۱/۸۸	۶۸/۶۰
۱۴	ارک	۴۲/۸۰	۹۸/۳۵	۷۸/۹۱	۷۳/۳۵
۱۵	بیمارستان بهمن	۵۱/۳۹	۱۲۲/۲۸	۸۹/۰۸	۸۷/۵۹
۱۶	منابع طبیعی احرار	۳۵/۴۲	۹۳/۱۷	۸۱/۹۴	۷۰/۱۸
۱۷	سهرین	۱۰۰/۱۷	۶۳/۰۰	۱۱۶/۳۹	۹۳/۱۹
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۱۷۷/۶۴	۳۸/۴۹	۱۰۹/۳۳	۱۰۸/۴۸

جدول ۶. غلظت هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی برای شش ماهه اول، دوم و سالانه (بر حسب میکروگرم بر متر مکعب).

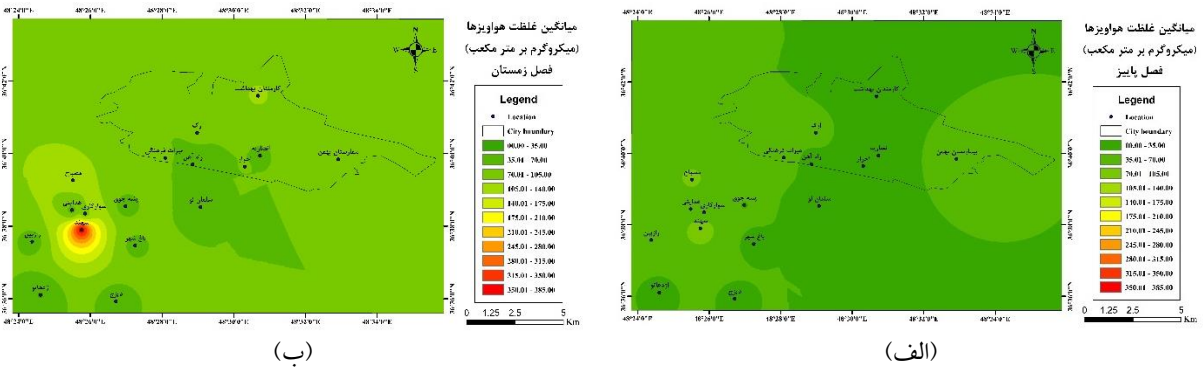
ردیف	نام ایستگاه	شش ماهه اول	شش ماهه دوم	سالانه
۱	شرکت سهند روی	۲۸۹/۶۷	۲۳۲/۰۳	۲۶۰/۰۹
۲	مرکز بهداشت رازبین	۵۰/۴۳	۵۱/۷۵	۵۱/۱۵
۳	روستای اژدهاتو	۳۴/۲۵	۳۰/۸۴	۳۲/۵۴
۴	کشت و صنعت مصباح	۶۴/۰۰	۹۳/۷۲	۷۸/۸۵
۵	گاوداری هدایتی	۷۷/۶۰	۴۸/۴۴	۶۳/۰۲
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۹۲/۰۰	۷۴/۲۱	۸۳/۱۰
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۴۳/۹۳	۴۳/۵۴	۴۳/۷۴
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۵۸/۰۴	۴۱/۱۴	۴۹/۶۰
۹	دبستان پنبه جوق	۱۲۸/۳۷	۴۵/۱۸	۸۶/۸۰
۱۰	حوضه ابخیز سلمانلو	۲۳/۱۰	۲۹/۰۴	۲۶/۰۶
۱۱	راه آهن زنجان	۴۳/۷۰	۴۰/۷۵	۴۲/۲۲
۱۲	میراث فرهنگی	۵۹/۵۵	۶۳/۵۵	۶۱/۵۵
۱۳	انصاریه	۵۸/۸۷	۴۱/۳۶	۵۰/۱۱
۱۴	ارک	۴۱/۰۲	۵۸/۵۹	۴۹/۸۰
۱۵	بیمارستان بهمن	۳۸/۹۰	۷۳/۴۲	۵۶/۱۶
۱۶	منابع طبیعی احرار	۲۷/۶۳	۴۴/۱۸	۳۵/۹۱
۱۷	سهرین	۳۴/۱۸	۱۱۸/۷۵	۷۶/۴۷
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۳۲/۷۱	۵۹/۷۰	۴۶/۲۰

جدول ۷. مقایسه غلظت میانگین سالانه (بر حسب میکروگرم بر متر مکعب) هواویزهای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی با استانداردها.

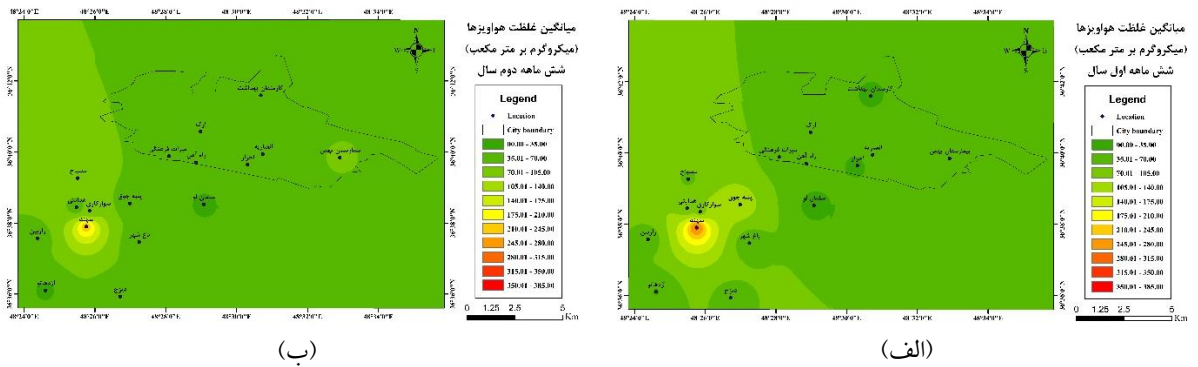
ردیف	نام ایستگاه	میانگین سالانه	استاندارد سالانه اولیه (۷۵ میکروگرم بر متر مکعب)	استاندارد سالانه ثانویه (۶۰ میکروگرم بر متر مکعب)
۱	شرکت سهند روی	۲۶۰/۰۹	بالای استاندارد	بالای استاندارد
۲	مرکز بهداشت رازبین	۵۱/۱۵	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۳	روستای اژدهاتو	۳۲/۵۴	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۴	کشت و صنعت مصباح	۷۸/۸۶	بالای استاندارد	بالای استاندارد
۵	گاوداری هدایتی	۶۳/۰۲	زیر استاندارد	بالای استاندارد
۶	باشگاه سوارکاری بیات	۸۳/۰۹	بالای استاندارد	بالای استاندارد
۷	باغ شهر علوم پزشکی	۴۳/۷۸	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۸	خانه بهداشت دیزج بالا	۴۹/۵۹	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۹	دبستان پنبه جوق	۸۹/۷۷	بالای استاندارد	بالای استاندارد
۱۰	حوضه ابخیز سلمانلو	۲۶/۰۴	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۱	راه آهن زنجان	۴۲/۲۲	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۲	میراث فرهنگی	۶۱/۵۵	زیر استاندارد	بالای استاندارد
۱۳	انصاریه	۵۰/۱۱	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۴	ارک	۴۹/۸۰	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۵	بیمارستان بهمن	۵۶/۱۶	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۶	منابع طبیعی احرار	۳۵/۹۱	زیر استاندارد	زیر استاندارد
۱۷	سهرین	۷۶/۴۷	بالای استاندارد	بالای استاندارد
۱۸	مرکز بهداشت کارمندان	۴۶/۲۰	زیر استاندارد	زیر استاندارد



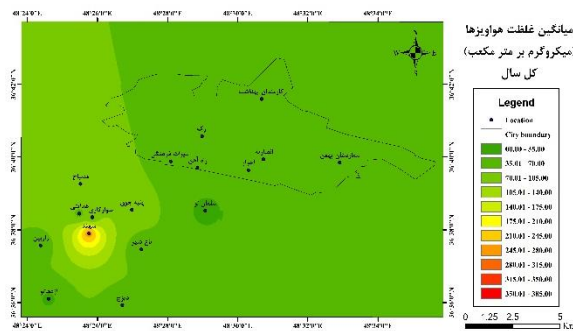
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت هواویزها در فصل بهار (الف) و فصل تابستان (ب).



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت هواویزها در فصل پاییز (الف) و فصل زمستان (ب).



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت هواویزها در شش ماهه اول سال (الف) و شش ماهه دوم سال (ب).



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت هواویزها برای سالانه.



۸۸/۴۱ میکروگرم بر مترمکعب بوده که در مقایسه با سایر فصل‌های بهار، تابستان و پاییز که مقادیر میانگین غلظت ذرات آنها به ترتیب برابر ۷۵/۴۱، ۵۴/۲۴ و ۴۴/۹۱ میکروگرم بر مترمکعب بوده، بالاتر است. به این ترتیب کمترین مقدار میانگین غلظت ذرات نیز از آن فصل پاییز است.

به طوری که در نقشه‌های پهنه‌بندی مشاهده می‌شود که کشیدگی پهنه غلظت بالای ذرات به علت باد غالب جنوب غربی در محدوده خط شمال شرق شهرک تخصصی روی بوده که بر نقاط قرارگیری ایستگاه‌های باشگاه سوارکاری بیات، دبستان پنبه جوق، میراث فرهنگی، راه آهن زنجان و مرکز بهداشت کارمندان می‌گذرد و مقدار میانگین غلظت این ایستگاه‌ها برابر با ۶۴/۵۷ میکروگرم بر مترمکعب است. همچنین خارج از خط فوق ایستگاه‌های منابع طبیعی احرار، بیمارستان بهمن، انصاریه، حوضه آبخیز سلمان‌لو، ارک و گاوداری هدایتی قرار دارند که میانگین غلظت ذرات آنها برابر با ۴۹/۲۳ میکروگرم بر مترمکعب (مقدار ۴۲/۰۵ میکروگرم بر مترمکعب در بخش شمال غرب خط مرکزی و ۵۶/۴۱ میکروگرم بر مترمکعب در بخش جنوب شرق آن) بوده که در مقایسه با ایستگاه‌های محدوده خط مرکزی شمال شرق پایین تر است. بنابراین بخش نوار مرکزی جنوب غرب به شمال شرق شهر زنجان بیشتر تحت تأثیر ذرات معلق ناشی از فعالیت واحدهای شهرک تخصصی روی قرار دارد و هر چه فاصله از نوار مرکزی فوق بیشتر شود مقدار غلظت ذرات کاهش می‌یابد. به علت بادهای غالب جنوب شرقی به ویژه در تابستان کشیدگی پهنه غلظت بالا در امتداد شمال غرب شهرک تخصصی روی قرار دارد و این موضوع در نقشه پهنه‌بندی سالانه هم دیده می‌شود.

#### ۴-۲. بحث و نتایج مدل‌های منبع‌گرا

در این بخش با توجه به مدل‌های منبع‌گرا که در بخش‌های قبل توضیح داده شد به محاسبه غلظت و تحلیل انتشار هواویزهای ناشی از صنایع مستقر در شهرک تخصصی روی پرداخته می‌شود. برای این کار به داده‌های مربوط به

با توجه به بررسی که روی داده‌های باد همزمان با نمونه‌گیری‌ها انجام شد معلوم شد که باد در کنار عوامل دیگر به ویژه کوهساری، می‌تواند عاملی برای چگونگی انتشار و پراکندگی هواویزهای ناشی از صنایع شهرک تخصصی روی باشد. بررسی بادهای مختلف و سالانه در زنجان نشان می‌دهد که بادهای غالب زنجان در فصل‌های بهار، پاییز، زمستان و همچنین باد غالب سالانه زنجان، غربی-جنوب غربی و کمی هم شرقی، و در فصل تابستان شرق، جنوب شرقی و کمی هم غربی است. بنابر این قاعدتاً به غیر از تابستان، در بیشتر فصل‌ها و مواقع سال، شهر زنجان باید تحت تأثیر هواویزهای منتشر شده بیشتری از شهرک تخصصی روی قرار گیرد. اما با توجه به اندازه‌گیری‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت هواویزها (شکل‌های ۴ تا ۱۰) این گونه به نظر نمی‌رسد. دلیل آن قرارگیری شهرک تخصصی روی در ارتفاع پایین (حدود ۱۴۰۰ متر) و وجود موانع توپوگرافی در شمال شرق و شرق شهرک تخصصی روی، بین شهرک فوق و شهر زنجان با اختلاف ارتفاعی بالاتر، حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر است. بنابراین جریان هوای حامل هواویزها به طرف شمال، شمال غرب و کمی هم جنوب غرب شهرک تخصصی روی کشیده می‌شود. البته علاوه بر تأثیر موارد بالا مبنی بر کاهش هواویزها با فاصله و پایین بودن غلظت آنها در پایین دست نسبت به بالادست، وجود رودخانه زنجان رود و فضای سبز حاشیه آن بین شهرک روی و شهر زنجان را نیز باید اضافه کرد.

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی در شکل‌های ۴ تا ۷ و بادهای غالب زنجان (خدائی، ۱۳۹۳) که در بیشتر زمان‌های طول سال یعنی بهار، پاییز، زمستان و همچنین سالانه، غربی و جنوب غربی است، بنابراین به طور کلی شهر زنجان در مواقع فوق تحت تأثیر ذرات معلق ناشی از فعالیت واحدهای شهرک تخصصی روی قرار دارد. البته در بین فصل‌ها در فصل زمستان مقادیر بالایی از غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های اطراف شهرک تخصصی روی مشاهده می‌شود. این مورد از نظر آماری هم تأیید می‌شود به طوری که میانگین مقادیر غلظت همه ایستگاه‌ها در زمستان برابر با

دودکش و ویژگی‌های گاز یا آلاینده خروجی از آن نیاز بود (در محاسبات ارتفاع مؤثر دودکش و مدل گاوسی) که تحت برنامه‌ریزی مناسب و همکاری اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان و شرکت به‌سنج نوین، با استعلام از صنایع مستقر در شهرک تخصصی روی و اندازه‌گیری‌ها در محل دودکش، جمع‌آوری شد که نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است. همچنین داده‌های هواشناسی مانند فشار، دما، پوشش ابر (به‌منظور تعیین کلاس پایداری و ناپایداری (ترنر، ۱۹۷۰))، جهت و سرعت باد نیز لازم بود که از طریق اداره کل هواشناسی زنجان تأمین شد. همان‌طوری که در جدول فوق ملاحظه می‌شود از بین واحدهای مستقر در شهرک تخصصی روی زنجان، دبی

جرمی خروجی از دودکش واحدهای زیرین روی، سرب و روی البرز و خالص سازان دارای بیشترین دبی جرمی به‌ترتیب ۷۰۵/۸، ۶۲۳/۹ و ۳۴۵/۱ میلی‌گرم بر ثانیه هستند. همچنین پایین‌ترین مقدار دبی خروجی مربوط به واحد سپیداکسید زنجان با دبی جرمی خروجی ۱/۴ میلی‌گرم بر ثانیه است. بنابر این واحد زیرین روی و سپیداکسید زنجان به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین نقش در انتشار ذرات معلق دارند. در مجموع مقدار کل دبی جرمی خروجی همه واحدهای شهرک تخصصی روی برابر با ۴۱۳۰/۱ میلی‌گرم بر ثانیه است. در بخش‌های بعدی ذرات معلق ناشی از این دبی‌های خروجی از طریق مدل‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

جدول ۸. برخی مشخصات فیزیکی و خروجی دودکش صنایع روی مستقر در شهرک تخصصی روی.

ردیف	نام واحد	ارتفاع دودکش $m$	قطر دودکش $m$	سطح مقطع $m^2$	سرعت گاز $m/s$	دمای گاز دودکش $^{\circ}C$	دبی $m^3/s$	میزان انتشار ذرات $mg/s$
۱	الوان روی	۶	۰/۶۰	۰/۲۸	۳/۴۰	۱۹	۰/۹۶	۹۲/۲
۲	تعاونی سرب و روی کشور	۱۳	۰/۳۵	۰/۱۰	۱۷/۰۰	۲۸	۱/۶۳	۲۲۱/۸
۳	خالص‌سازان	۸	۰/۶۰	۰/۲۸	۱۰/۱۰	۲۲	۲/۸۵	۳۴۵/۱
۴	ذوب روی صبا صنعت	۵	۰/۴۰	۰/۱۳	۱۳/۲۹	۳۱	۱/۶۷	۶۰/۹
۵	روی خمسه	۵	۰/۶۰	۰/۲۸	۹/۵۰	۴۵	۲/۶۸	۱۶۶/۵
۶	روی کاوان	۷	۰/۵۰	۰/۲۰	۱۲/۰۰	۵۲	۲/۳۶	۳۵/۳
۷	روی گداز	۷	۰/۴۰	۰/۱۳	۱۴/۲۰	۴۰	۱/۷۸	۱۱۴/۷
۸	روی گستر جم	۶	۰/۵۰	۰/۲۰	۱۲/۶۰		۲/۴۷	۵۶/۴
۹	روئین طلای زنجان	۲	۰/۴۰	۰/۱۳	۱۵/۴۰	۱۸	۱/۹۳	۲۸۲/۴
۱۰	روئین کار شمس	۳	۰/۶۰	۰/۲۸	۳/۶۰	۵۱	۱/۰۲	۵۵/۶
۱۱	زیرین روی	۹	۰/۶۰	۰/۲۸	۱۳/۵۰	۸۳	۳/۸۲	۷۰۵/۸
۱۲	سازند روی	۷	۰/۶۰	۰/۲۸	۴/۲۰	۳۰	۱/۱۹	۱۵۷/۶
۱۳	سپید اکسید زنجان	۴	۰/۲۰	۰/۰۳	۱/۲۵	۱۴	۰/۰۴	۱/۴
۱۴	سدید روی*	۱۲	۰/۶۰×۰/۶۰	۰/۳۶	۱۹/۰۰	۶۲	۶/۸۴	۱۶۵/۳
۱۵	سرب و روی البرز*	۱۰	۰/۴۰×۰/۵۰	۰/۲۰	۲۲/۰۰	۱۵۷	۴/۴۰	۶۲۳/۹
۱۶	نوین کار آفرینان خمسه	۴	۰/۷۰	۰/۳۸	۲۴/۷۰	۲۱	۹/۵۰	۴۴۰/۸
۱۷	صانع روی زنجان	۶	۰/۶۰	۰/۲۸	۷/۸۰	۳۵	۲/۲۰	۸۱/۳
۱۸	نوین پژوهان شمش زنگان*	۵	۰/۵۰×۰/۵	۰/۲۵	۶/۳۶	۸۵	۱/۵۹	۶۸/۹
۱۹	کاوش روی	۷	۰/۵۰	۰/۲۰	۱۲/۰۰	۱۲	۲/۳۶	۳۰/۶
۲۰	گسترش روی ایرانیان	۶	۰/۴۰	۰/۱۳	۱۳/۵۰	۲۲	۱/۷۰	۱۰۹/۴

\*دهانه مستطیل شکل است.

غلظت با در نظر گرفتن زمان برابر با  $0/79$  میکروگرم بر مترمکعب خواهد شد. نتیجه فوق می‌تواند نشانگر این باشد که ذرات در طول حرکت در مسیر منبع یعنی شهرک تخصصی روی تا شهر زنجان حدوداً ۳۸ درصد آنها در اثر نیروی گرانش زمین بر سطح زمین نشت می‌کنند.

مدل توده گاوسی برای منبع نقطه‌ای، با استفاده از معادله اساسی توده گاوسی و داده‌های دودکش هر صنعت به‌عنوان منبع نقطه‌ای، محاسبات برای دو فاصله ۵ کیلومتری (حومه شهرک تخصصی روی) و ۱۲ کیلومتری (شهر زنجان) و برای دو موقعیت خط مرکزی توده آلودگی یعنی درست نقطه مقابل صنعت در جهت و امتداد باد و همچنین در موقعیت دور از خط مرکزی به فاصله حدود یک‌ونیم کیلومتر از خط مرکزی توده و در سطح زمین انجام گرفته که نتایج آن برای تعدادی از صنایع شهرک تخصصی روی در جدول ۹ آورده شده است.

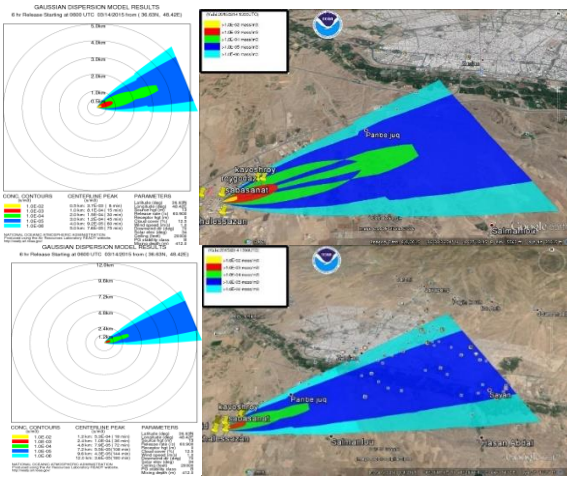
همچنین خروجی مدل یا در واقع توزیع گاوسی هواویزها که با توجه به ویژگی‌های خروجی هر واحد آلاینده و شرایط محیطی به‌ویژه جهت باد (که در این کار گلباد آلودگی نامیده می‌شوند)، استخراج شده‌اند. سپس آنها با نرم‌افزار گوگل‌ارث روی نقشه منطقه آورده شده که نتایج برای واحدهای جدول ۹ در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲، به‌عنوان نمونه برای همان روز با سرعت باد ۱ متر بر ثانیه و جهت جنوب‌غربی ( $250^\circ$  درجه)، آورده شده است (گلباد آلودگی (سمت چپ) و روی نقشه منطقه با گوگل‌ارث (سمت راست)).

مدل جعبه‌ای ثابت، ابتدا ناحیه یا سطحی که قرار بود غلظت هواویز در جو آن تخمین زده شود، مشخص شد. برای این کار مستطیلی به طول  $L=12$  کیلومتر و عرض  $W=12$  کیلومتر (عرض شهر زنجان) در نظر گرفته شد به‌طوری که این سطح هم شامل شهر زنجان و هم شامل شهرک تخصصی روی باشد. البته در این صورت مؤلفه‌ای از باد در محاسبات به کار برده می‌شود که در امتداد طول این سطح باشد. سپس مکعبی به ارتفاعی برابر با ارتفاع آمیختگی،  $H$ ، منطبق با وضعیت هواشناسی (که در زمان‌های مختلف تغییر می‌کند)، بر روی سطح فوق ایجاد شد. در مرحله بعد مقدار آلاینده ورودی به این مکعب با جمع خروجی دودکش‌های مربوط به کلیه صنایع مستقر در شهرک روی که حالا جزو قاعده این مکعب بوده به‌دست آورده شد. سپس داده‌های سرعت باد، پوشش ابری، دما و فشار هوا برای روز یا محدوده زمانی محاسبه غلظت، فراهم شد تا بتوان ارتفاع آمیختگی را که همان ارتفاع مکعب ساخته شده است، تخمین زد. در نهایت با استفاده از کد متلب که بر اساس مدل جعبه‌ای یعنی رابطه ۴ نوشته شد، مقدار غلظت مورد محاسبه قرار گرفت. به‌عنوان نمونه برای یک روز نوعی از ماه فروردین با سرعت باد ۱ متر بر ثانیه، ارتفاع آمیختگی ( $H$ ) ۴۱۱ متر و  $Q$  خروجی کل صنایع  $4130/1$  میلی‌گرم بر ثانیه بر مترمربع، مقدار غلظت هواویزها با استفاده از این مدل،  $1/25$  میکروگرم بر متر مکعب به‌دست

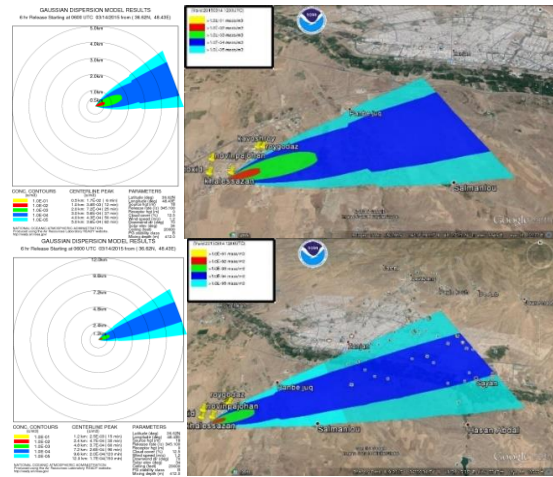
مدل جعبه‌ای متغیر، با فرض غلظت زمینه صفر، مقدار

جدول ۹. غلظت هواویزها برحسب میکروگرم بر مترمکعب با مدل گاوسی برای تعدادی از صنایع شهرک تخصصی روی.

ردیف	صنعت	غلظت هواویز در فاصله ۵ کیلومتری در خط مرکزی	غلظت هواویز در فاصله ۱۲ کیلومتری در خط مرکزی
۱	خالص سازان	۱۶۲/۲۰	۳۴/۵۱
۲	ذوب روی صبا صنعت	۴/۶۳	۰/۰۶۱
۳	روی گداز	۱۷/۲۱	۱۱/۴۷
۴	سپید اکسید زنجان	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶
۵	نوبین پژوهان شمش زنگان	۴/۷۰	۰/۰۶۹
۶	کاوش روی	۱/۱۶	۰/۳۱

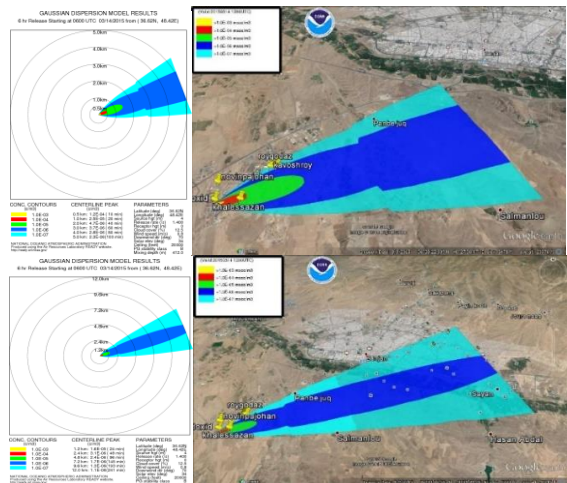


(ب)

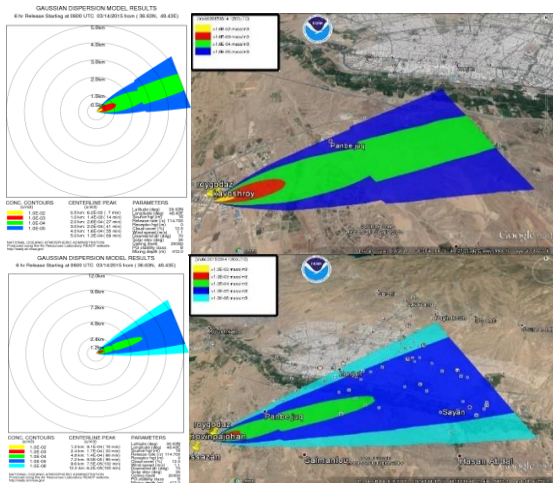


(الف)

شکل ۱۰. الف) گلباد انتشار آلودگی خالص سزاسان برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین)، ب) گلباد انتشار آلودگی ذوب روی صبا صنعت برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین).

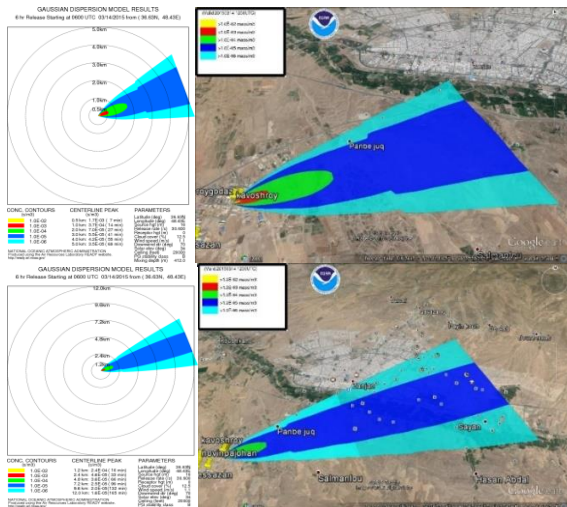


(ب)

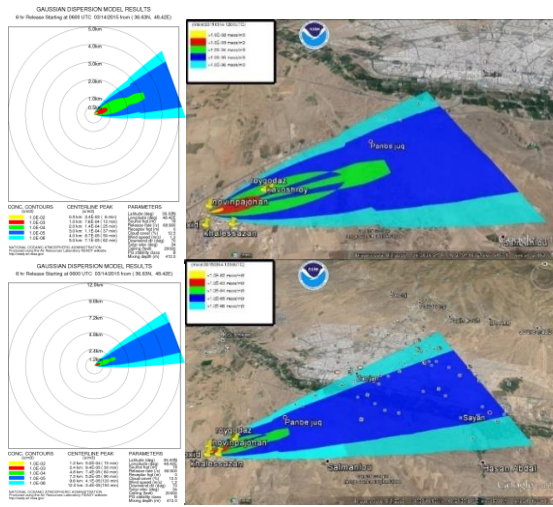


(الف)

شکل ۱۱. الف) گلباد انتشار آلودگی روی گداز برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین)، ب) گلباد انتشار آلودگی سپیداکسید زنجان برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین).



(ب)



(الف)

شکل ۱۲. الف) گلباد انتشار آلودگی نوین پژوهان شمش زنگان برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین)، ب) گلباد انتشار آلودگی کاوش روی برای فاصله ۵ کیلومتری (بالا) و ۱۲ کیلومتری (پایین).

پزشکی، دیزج، پنبه جوق) و ایستگاه‌های داخل شهر زنجان به‌عنوان منطقه ۳ با فاصله بالای ۵ کیلومتری از شهرک تخصصی روی (ایستگاه‌های راه آهن، میراث فرهنگی، انصاریه، ارک، بیمارستان بهمن، احرار و بهداشت کارمندان) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری انجام و با استفاده از آزمون کای دو، آلودگی مناطق فوق با هم مقایسه شد. فرض صفر ( $H_0$ ) بیانگر این است که بین آلودگی مناطق تفاوت معنادار وجود ندارد و فرض مقابل ( $H_1$ ) بیانگر این است که تفاوت معنادار وجود دارد. خروجی آزمون کای دو برای آماره کای اسکوتر، درجه آزادی و سطح معناداری به ترتیب برابر با ۲۷۵/۲۵۷، ۳ و ۰/۰۰۱ است. با توجه به سطح معناداری به‌دست‌آمده که کوچک‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، فرض صفر رد می‌شود بنابراین بین آلودگی مناطق تفاوت معنادار وجود دارد. روند تغییرات میانگین غلظت ذرات معلق (بر حسب میکروگرم بر مترمکعب) به‌صورت زیر می‌باشد:

منطقه ۱ (۲۷۰/۸۵۲۱)  $\leq$  منطقه ۲ (۵۷/۲۰۲۵)  $\leq$  منطقه ۳ (۴۵/۸۵۱۱)

همچنین بر اساس استاندارد سالانه اولیه و ثانویه ایران که مقادیر آنها به ترتیب ۷۵ و ۶۰ میکروگرم بر مترمکعب است، غیر از منطقه ۱ میانگین سایر مناطق ۲ و ۳ از لحاظ استاندارد زیر حد مجاز یعنی بدون آلودگی هستند.

##### ۵. نتیجه‌گیری

با توجه به نمونه‌های حاصل از ایستگاه‌های نمونه‌برداری مقادیر غلظت هواویزها در هر کدام از ایستگاه‌ها برآورد شد. با بررسی مقادیر سالانه غلظت اندازه‌گیری شده معلوم شد که در ۵ ایستگاه سهند روی، مصباح، سوارکاری، پنبه جوق و سهرین در مقایسه با استاندارد سالانه اولیه ایران مقادیر بالای حد مجاز و در ۷ ایستگاه شامل ایستگاه‌های سهند روی، مصباح، سوارکاری، پنبه جوق، سهرین، گاوداری هدایتی و میراث فرهنگی، غلظت هواویزها در مقایسه با مقادیر استاندارد سالانه ثانویه ایران بالای حد مجاز و در بقیه ایستگاه‌ها زیر حد مجاز است. نمودارها و نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با دور شدن از شهرک تخصصی روی زنجان در تمامی

مدل توده گاوسی برای منبع سطحی، در این مدل کل شهرک تخصصی روی به‌عنوان یک منبع سطحی آلاینده در نظر گرفته شده است. به‌عنوان نمونه برای یکی از روزهای نمونه‌برداری (۲۵ فروردین ۱۳۹۴)، با توجه به شرایط جوی، ارتفاع آمیختگی ۴۱۲ متر و فاصله ۱۰ کیلومتری شهر زنجان از شهرک تخصصی روی، با استفاده از رابطه ۶ مقدار غلظت هواویزها برابر با ۱۹/۸۳ میکروگرم بر مترمکعب به‌دست می‌آید. مقدار فوق با مقایسه با مرتبه مقادیر اندازه‌گیری‌شده (جدول ۲) در سطح شهر یعنی ۴۵/۹۲ میکروگرم بر مترمکعب عدد بسیار خوبی است.

با توجه به نتایج مدل‌های مختلف، جدول ۹ و شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ ملاحظه می‌شود که نتایج این بخش یعنی نتایج مدل‌های منبع‌گرا با مدل مقصد‌گرا مبنی بر کاهش غلظت ذرات معلق با فاصله از شهرک تخصصی روی و از خط مرکزی توده ذرات، همخوانی خوبی دارند. در محاسبات حاصل از مدل‌ها فقط سهم ذرات معلق انتشاری از واحدهای شهرک روی لحاظ می‌شود و اختلاف آن با مقادیر حاصل از روش نمونه‌برداری برای هر منطقه مشترک، مربوط به ذرات معلق زمینه و به‌عبارت دیگر ناشی از فعالیت خود شهر خواهد بود. به‌عنوان نمونه در انتهای بخش قبل مورد کاربرد مدل گاوسی برای منبع سطحی این اختلاف برابر با ۲۶/۰۹ میکروگرم بر مترمکعب است که عدد فوق تقریباً نشانگر مقدار ذرات معلق شهری سطح شهر است. بنابراین می‌توان گفت مقدار محاسبه شده ذرات معلق ناشی از شهرک روی حدود ۴۳ درصد کل مقدار غلظت اندازه‌گیری بوده و لذا آن را می‌توان به‌طور تقریبی برای تخمین مقدار کل آلاینده در مناطقی که اندازه‌گیری در دسترس نیست، برون‌یابی کرد.

##### ۳-۴. تحلیل آماری نتایج

برای هواویزهای اندازه‌گیری شده تحلیل آماری نیز انجام شد. برای این تحلیل، ایستگاه سهند روی به‌عنوان منطقه ۱، ایستگاه‌های خارج از شهرک، تا فاصله ۵ کیلومتری از شهرک تخصصی روی به‌عنوان منطقه ۲ (ایستگاه‌های رازبین، اژدهاتو، مصباح، هدایتی، سوارکاری، باغ شهرعلوم

زنجان، دانشکده علوم. جوانمرد، س.؛ بذاق جمالی، ج. و عابدینی، ی. (۱۳۹۴). مبانی هواشناسی فیزیکی و تعدیل وضع هوا. زنجان: انتشارات جهاد دانشگاهی استان زنجان.

حسین سعیدی، ل.؛ حاجی هادی، م. و رستگاری، م. (۱۳۹۵). تعیین غلظت فلزات سنگین در نواحی شهری (مطالعه موردی: شهرری). مطالعات علوم محیط‌زیست، (۱)، ۲۳-۳۶.

خدایی، ا. (۱۳۹۳). بررسی پتانسیل انرژی بادی در استان زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی یوسفعلی عابدینی و صادق ضیائیان. زنجان: دانشگاه زنجان، دانشکده علوم.

رستمی، م. (۱۳۸۳). تجزیه و تحلیل مدل‌های آلودگی هوا و روش‌های حل آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی محمد حسینی. تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

رضازاده، م.؛ ایران نژاد، پ. و یاپینگ، ش. (۱۳۹۲). شبیه سازی گسیل غبار با مدل پیش بینی عددی وضع هوا WRF-Chem با استفاده از داده‌های جدید سطح دو در منطقه خاورمیانه. مجله فیزیک زمین و فضا، (۱)، ۱۹۱-۲۱۲.

رنجبر سعادت آبادی، ع.؛ کرمی، س.؛ صحت کاشانی، س.؛ رهنما، م.؛ فتاحی، ا.؛ نوری، ف.؛ کریمخانی، م. و حسین حمزه، ن. (۱۳۹۸). مطالعه، طراحی و راه‌اندازی سامانه جامع پایش، پیش‌بینی و هشدار گردو خاک استان خوزستان. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.

ذوالفقاری نیک انجام، س. (۱۳۹۲). مطالعه هواویزهای جو زنجان با استفاده از داده‌های ایستگاه زمینی و مقایسه آن با داده‌های به‌دست آمده از روش سنجش از راه دور، پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی یوسفعلی عابدینی و حمیدرضا خالصی‌فرد. زنجان: دانشگاه زنجان، دانشکده علوم.

ذوالفقاری نیک انجام، س.؛ خالصی‌فرد، ح. ر. و عابدینی، ی. (۱۳۹۳). تخمین زمان ریزش پدیده چند روز غباری با استفاده از همبستگی داده‌های PM<sub>10</sub> و داده‌های

جهت‌های جغرافیایی از مقدار غلظت هواویزها کاسته می‌شود. این روند کاهشی نسبت به خط مرکزی توده شامل ذرات انتشاری از شهرک روی و مطابق با جهت باد غالب نیز صدق می‌کند. همچنین مشاهده و بررسی گلبادهای آلودگی به همراه نقشه‌های انتشار آنها، که از مدل انتشاری گاوسی حاصل شدند، ضمن تأیید روند کاهشی غلظت هواویزها با فاصله از شهرک تخصصی روی و بستگی مقادیر غلظت هواویزها و پراکندگی آنها به پارامترهای هواشناسی به‌ویژه سمت و سرعت باد، مقدار غلظت ذرات در روی خط مرکزی توده ذرات همیشه دارای مقایر بیشتری نسبت به کناره‌های آن بوده و هر چه بازهم از خط مرکزی فوق که منطبق بر جهت باد غالب است، فاصله گرفته شود مقدار غلظت بیشتر کاهش خواهد داشت. نتایج تحلیل آماری نیز معناداری اختلاف مقادیر غلظت با فاصله از شهرک تخصصی روی را تأیید کرد و نشان داد که مقادیر میانگین غلظت در مقایسه با استانداردها، به غیر از منطقه ۱ یعنی محل شهرک، در مناطق ۲ و ۳ اطراف شهرک زیر حد مجاز استاندارد می‌باشند.

با توجه به موارد فوق و باد غالب شمال‌غربی زنجان، نوار مرکزی با امتداد جنوب‌غرب به شمال‌شرق شهر زنجان بیشترین تأثیر را از ذرات معلق ناشی از شهرک تخصصی روی می‌گیرد و هر چه از نوار فوق فاصله گرفته شود این تأثیرپذیری کاهش نشان می‌دهد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مساعدت اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان و معاونت پژوهشی دانشگاه زنجان برای تهیه امکانات لازم برای نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها، و همچنین از اداره کل هواشناسی زنجان بابت در اختیار گذاشتن داده‌های لازم قدردانی می‌شود.

### مراجع

بهرام‌لوئیان، س. (۱۳۹۳). بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی در استان زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی یوسفعلی عابدینی و حبیب اله عصاره. زنجان: دانشگاه

تقیلو، م. (۱۴۰۲). بررسی منابع گرد و غباری زنجان و امکان سنجی پیش بینی آن (طرح پژوهشی)، اداره کل هواشناسی زنجان و سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان زنجان.

معصومی، ا.؛ عابدینی، ی.؛ مرادحاصلی، ر.؛ کرمی، س. و تقیلو، م. (۱۴۰۳). بررسی چشمه‌های داخلی گرد و غبار استان زنجان، نهمین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ۱۴۰۳.

مظلومی، س. ع.؛ اسماعیلی ساری، ع. و بهرامی‌فر، ن. (۱۳۹۹). بررسی میزان فلزات سنگین در ذرات معلق (PM<sub>4</sub>) هوای شهر تهران و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آن‌ها. فصلنامه علوم محیطی، ۱۸(۱)، ۱۶-۱.

مهاجر، ج. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی انتشار آلودگی در جو. پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی کوروش باقری و یوسفعلی عابدینی، تهران، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده علوم.

نور، م. (۱۳۹۴). مطالعه انتشار آلودگی هوای ناشی از فعالیت شهرک تخصصی روی زنجان. پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی یوسفعلی عابدینی. زنجان: دانشگاه زنجان، دانشکده علوم.

شیدسنج خورشیدی. فصلنامه علوم محیطی، ۱۲ (۱)، ۱۱۵-۱۲۰.

عابدینی، ی.؛ پری‌زنگنه، ع. و خامسی، ج. (۱۳۸۰). بررسی پخش و پراکندگی آلاینده‌های هوای ناشی از صنایع سرب و روی زنجان، اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان و دانشگاه زنجان.

عابدینی، ی.؛ خامسی، ج. و عزیزی، ا. ح. (۱۳۸۶). بررسی مدل‌های پخش و پراکنش آلودگی هوا و انتخاب مدل بهینه برای زنجان، دانشگاه زنجان و اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان.

عابدینی، ی.؛ زمانی، ع.؛ رسولی‌فرد؛ م. ح.؛ خامسی، ج.؛ عابدی، ا. و نور، م. (۱۳۹۶). بررسی میزان غلظت فلزات سنگین ناشی از فعالیت شهرک روی بر شهر زنجان، اداره کل حفاظت محیط‌زیست زنجان و دانشگاه زنجان.

علی‌اکبری بیدختی، ع. ع. و بنی‌هاشم، ت. (۱۳۷۶). لایه آمیخته شهری و آلودگی هوا، محیط‌شناسی، ۲۰(۰)، ۵۳-۶۰.

محمدشفیعی، م. ر. و محمدی، ب. (۱۳۹۲). آلودگی هوا و اثرات آن بر محیط‌زیست، انتشارات علم آفرین. معصومی، ا.؛ عابدینی، ی.؛ مرادحاصلی، ر.؛ کرمی، س. و

Arya, S. P. (1999). *Air Pollution Meteorology and Dispersion*. Oxford. Oxford University Press.

Briggs, G. A. (1975). Plume rise predictions. Lectures on Air Pollution and Environmental Impact, 59-111, Analyses, Workshop Proceedings, Boston, Massachusetts. September 29 - October 3. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts.

De Nevers, N. (2000). *Air Pollution Control Engineering*. USA: McGraw-Hill.

EPA. (1995). User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model. Volume II-Description of Model Algorithms, EPA-454/B-95-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C.

Friedlander, S. K. (1973). Chemical Element Balances and Identification of Air Pollution Sources. *Environ. Sci. Technol.* 7, 235-240.

Gharibzadeh, M., Alam, K., Bidokhti, A. A., Abedini, Y., & Masoumi, A. (2017). Radiative effects and optical properties of aerosol during

two dust events in 2013 over Zanjan, Iran. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(3), 888-898.

Gharibzadeh, M., Alam, K., Bidokhti, A. A., Abedini, Y., & Masoumi, A. (2018). Climatological analysis of the optical properties of aerosols and their direct radiative forcing in the Middle East. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 183.

Golay, M.W. (1982). Numerical modeling of buoyant plumes in a turbulent, stratified atmosphere. *Atmos. Environ.*, 16, 2373-2381.

Hanna, S. R. (1971). A Simple Model for Calculating Dispersion from Urban Area Sources. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 21, 774-777.

Hanna, S. R., Metro Briggs, G. A., & Hosker, R. P. (1981). *Handbook on atmospheric diffusion*. Washington, USA: U.S. Department of Energy.

Hanna, S.R., & Paine, R.J. (1989). Hybrid Plume Dispersion Model (HPDM) Development and

- Evaluation. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 206-224.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Karl, B., Schnelle, Jr., & Partha, R. (1977). *Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide*. USA: A Division of the McGraw-Hill Companies.
- Lazaridis, M. (2023). Modelling approaches to particle deposition and clearance in the human respiratory tract, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16, 1989–2002.
- Lazaridis, M. (2011). *First Principles of Meteorology and Air Pollution*, New York: Springer.
- Leelossy, A., Ferenc Modnar, Jr., & Ferenc, I. (2014). Agnes Havasi, Istvan Lagzi, Robert Meszaros, Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere. *Central European Journal of Geosciences*, 6(3), 257-278.
- Matthew, R. (2007). Air pollution climatology using meteorological reanalysis, Imperial College London, Ph.D thesis.
- Morris, R. E., & Myers, T. C. (1990). User's Guide for the Urban Airshed Model. USA: U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-450/4-90-007A and B.
- Pasquill F., & Smith F. B. (1983). *Atmospheric Diffusion* New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Hurley, P. J., Physick, W. L., & Luhar, A. K. (2005). TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling. *Environmental Modelling & Software*, 20(6), 737-752.
- Scheffe, R. D. (1993). A Review of the Development and Application of the Urban Airshed Model. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(1), 23-39.
- Schnelle, K. B., & Dey, P. R. (1999). *Atmospheric dispersion modeling compliance guide*. New York: McGraw-Hill.
- Turner, D. B. (1970). *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*, USA: U.S. Environmental Protection Agency Report AP-26, Washington, DC.
- Turner, D. B. (1994). *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates; an Introduction to Dispersion Modeling*, 2d ed., Boca Raton: Lewis publishers.
- Weil, J.C., & Brower, R.P. (1984). An Updated Gaussian Plume Model for Tall Stacks. *Journal of Air Pollution Control Association*, vol.34, 818-827.
- WHO. (2000). *Air quality Guideline*. Second Edition, Denmark: Copenhagen.
- Zlatev, Z. (1995). *Computer Treatment of Large Air Pollution Models*, Dordrecht-Boston-London: KLUWER Academic Publishers.