



# Investigation of the Sources of Dust Particles in Northern and Northwestern Mashhad and their Impact on the Air Quality Index

Received: 2025.04.29

Accepted: 2025.05.31

Hoda Azarakhsh,<sup>1\*</sup>  Alireza Mazloumi Bajestani,<sup>1</sup> Naser Hafezi Moghaddas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Geology, Payame Noor University, Mashhad Center, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Department of Environmental Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Dust storms are atmospheric phenomena that create numerous problems and deficiencies. Some of these problems include environmental and ecosystem degradation in the region, the spread of various diseases, social and civic dissatisfaction, and reduced productivity and efficiency. The present study is a basic research investigation that examines the sources and environmental consequences of dust particles in the northern and northwestern parts of Mashhad.

**Material and methods:** After conducting preliminary investigations and reviewing general concepts and previous studies, this research evaluated data and performed statistical analyses for the years 2015 and 2016 (1394–1395 in the Iranian calendar). It also examined the sources of pollution, the level of air pollution, and its consequences. Finally, based on statistics related to dust events, the study compared the two years and conducted zoning of dust concentration and identification of their sources.

**Results and discussion:** The occurrence of dust particles is increasing worldwide, particularly in the Middle East and Iran, and the city of Mashhad is no exception. Measurements conducted over recent years indicate a continuous increase in dust particles, which unfortunately can be attributed to inadequate decision-making and ineffective management strategies by responsible authorities, as well as insufficient environmental awareness and compliance among citizens. The results of this study, based on sampling from 40 locations, showed no significant difference between the years 2015 and 2016 in terms of air quality index, dust concentration, and their spatial distribution. According to the zoning map of the average PM concentration in northern Mashhad, the eastern part of the study area showed high pollution levels, while the northwestern part of Mashhad (western section of the study area) showed lower pollution levels. Other areas exhibited varying concentrations of dust depending on land use and other factors. According to existing standards, the air quality in the study area is considered clean. However, it should be noted that this result is based solely on samples collected on a single day and cannot be generalized to the entire year. Various factors affecting dust concentration (such as peak traffic hours, wind, temperature, etc.) may have had unexpected influences at the time of sampling.

**Conclusion:** The results indicate that although the area falls within the clean air quality range, several relatively weak dust production centers can still be identified based on different PM levels. Each of these centers generates dust particles with specific PM characteristics depending on the type of monitoring station, which may be classified as traffic-related, industrial, residential, or construction-related. The types of dust particles present in the area also vary depending on the station type (residential, residential–educational, residential–medical, residential–commercial, and traffic). The use of public transportation is recommended to reduce pollution caused by vehicles. In this regard, several recommendations are proposed, including improving and standardizing factories and related industries, as well as enhancing vehicle manufacturing standards to reduce emissions. Proper irrigation practices in agricultural lands should be implemented to preserve soil structure and improve vegetation cover. Additionally, planting shrubs and vegetation compatible with the local climate is recommended to ensure greater ecological stability. To collect and store precipitation, which can increase soil moisture and support vegetation preservation, the construction of underground reservoirs is also suggested.

**Keywords:** Pollution, Dust particles, Environmental, Mashhad.

**How to cite this article:**  
Azarakhsh, H., Mazloumi Bajestani, A. and Hafezi Moghaddas, N. 2026. Investigation of the Sources of Dust Particles in Northern and Northwestern Mashhad and their Impact on the Air Quality Index. *Adv. Environ. Sci.* 24 (1): 249-276.

\* Corresponding Author Email Address: hoda.azarakhsh@pnu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.235727.1504



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## بررسی منشأ ریزگردهای شمال و شمال غرب مشهد و تأثیر آن بر شاخص کیفیت هوا



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

هدی آذرخش<sup>۱\*</sup>، علیرضا مظلومی بجزستانی<sup>۱</sup>، ناصر حافظی مقدس<sup>۲</sup><sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه پیام نور مرکز مشهد، ایران<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده مبسوط

**سابقه و هدف:** گردوغبار از پدیده‌های جوی است که مشکلات و نارسایی‌های متعدد را ایجاد می‌کند؛ برخی از این نارسایی‌ها در حوزه‌های تخریب محیط زیست و اکوسیستم منطقه، ابتلا به انواع بیماری‌ها، نارضایت‌مندی اجتماعی و شهروندی و کاهش تولید و بهره‌وری را شامل می‌شود. مطالعه حاضر مجموعه‌ای مشتمل بر مطالعات پایه بررسی منشأ و پیامدهای زیست‌محیطی ریزگردها در شمال و شمال غرب شهر مشهد است.

**مواد و روش‌ها:** این نوشتار پس از تحقیقات اولیه و مروری بر کلیات و مطالعات گذشته، به ارزیابی داده‌ها و تجزیه و تحلیل آماری در دوره زمانی ۹۴ و ۹۵ و همچنین به بررسی منشأ آلودگی، میزان آلودگی هوا و پیامدهای آن پرداخته است، در نهایت تلاش شده است با توجه به آمارهای وقوع پدیده گردوغبار به مقایسه ۲ سال و همچنین پهنه‌بندی غلظت ریزگردها و منشأ یابی آن پرداخته شود.

**نتایج و بحث:** بررسی‌های این مطالعه از ۴۰ نقطه نمونه‌برداری شده نشان داده است که تفاوت چندانی بین دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ از لحاظ شاخص کیفیت هوا و غلظت ریزگردها و پراکندگی آن‌ها وجود ندارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت PM<sub>۱۰</sub> در شمال شهر مشهد، شرق منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی بالا و همچنین شمال غرب شهر مشهد (غرب منطقه مورد مطالعه) آلودگی پایین دیده شد و سایر نقاط با توجه به نوع کاربری و ... دارای غلظت‌های متفاوتی از ریزگردهاست.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که هرچند این منطقه در حوزه کیفیت هوای پاک قرار می‌گیرد، ولی به‌طور کلی می‌توان کانون‌های تولید ریزگرد نه‌چندان قوی را در محدوده با توجه به PM<sub>۱۰</sub>های مختلف به‌دست‌آمده تشخیص داد که هرکدام مولد تولید ریزگردهایی با PM<sub>۱۰</sub>های مشخص هستند که بسته به نوع ایستگاه می‌توان ایستگاه را ترافیکی، صنعتی، مسکونی یا عمرانی دانست. نوع ریزگردهای موجود در منطقه متفاوت است که بسته به نوع ایستگاه (مسکونی\_آموزشی، مسکونی\_درمانی، مسکونی\_تجاری، مسکونی\_ترافیکی) می‌توان آن‌ها را متغیر دانست.

**واژه‌های کلیدی:** ریزگرد، مشهد، زیست‌محیطی، آلودگی.

*استناد به این مقاله: آذرخش، ه.، مظلومی بجزستانی، ع.، ن. حافظی مقدس. ۱۴۰۵. بررسی منشأ ریزگردهای شمال و شمال غرب مشهد و تأثیر آن بر شاخص کیفیت هوا. فصلنامه علوم محیطی نوین. ۲۴ (۱): ۲۴۹-۲۷۶.*

\* Corresponding Author Email Address: hoda.azarakhsh@pnu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.235727.1504



## مقدمه

کشیده می‌شود. کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرار داشتن در روی کمربند خشک کره زمین، پیوسته از آثار فرسایش بادی چه با منشأ داخلی یا خارجی، متأثر بوده است و این رخداد اغلب خسارات و صدماتی را به منابع زیستی، اقتصادی اجتماعی و حتی فرهنگی وارد کرده است. اگرچه رخداد فرسایش بادی در کشور سابقه دیرینه‌ای دارد، اما در سال‌های اخیر بنا به مجموعه‌ای از عوامل و دلایل اعم از مسائل طبیعی، نظیر وقوع خشک‌سالی‌ها و تغییر شرایط اقلیمی یا اثر عامل انسانی، نظیر مدیریت نادرست منابع آب، خاک، پوشش گیاهی و بهره‌برداری ناپایدار از منابع اراضی، عوارض پدیده فرسایش خاک تشدید شده است (Tabatabaei et al., 2013). شدت این امر به‌ویژه در انتقال ذرات ریز خاک و ریزگردها کاملاً مشهود است و از این رهگذر، زیان‌های فراوانی به کشور تحمیل شده است.

با توجه به مطالب بیان‌شده، در این پژوهش به بررسی ریزگردهای موجود در منطقه شمال و شمال غربی شهر مشهد پرداخته‌ایم. این شهر کلان‌شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است که در زمان افشاریان، پایتخت ایران بوده است. مشهد با ۳۲۸ کیلومتر مربع مساحت، دومین شهر پهناور ایران بعد از تهران است و در حوزه رودخانه کشف‌رود و در دشت مشهد بین کوه‌های هزارمسجد و بینالود گسترده شده است. بیشینه ارتفاع این شهر ۱۱۵۰ متر و کمینه آن ۹۵۰ متر است. این شهر دارای آب‌وهوای متغیر اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. بیشینه درجه حرارت در تابستان‌ها ۴۳ درجه بالای صفر و کمینه آن در زمستان‌ها ۲۳ درجه زیر صفر است (Mashhad Municipality, Statistical Yearbook, 2013).

### ضرورت انجام تحقیق

افزایش جمعیت شهرها، رفت‌وآمد وسایل نقلیه موتوری، تغییر الگوی زندگی، استفاده نادرست از وسایل

بخش عمده‌ای از ریزگردها از مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد هوا می‌شوند. وسعت زیادی از کشور ایران و کشورهای همسایه غرب و جنوب غرب ایران را نیز مناطق خشک تشکیل می‌دهند. همچنین تخریب اراضی، از بین رفتن پوشش گیاهی، خشک شدن تالاب‌ها، تغییر اقلیم منطقه و غیره باعث شده که این مناطق به عنوان منشأ و منبعی برای تولید ریزگردها باشند. ریزگردهای موجود در جو مانع رسیدن امواج خورشید به زمین و برهم زدن تعادل آن‌ها در جو می‌شوند (Alidadi & Jafari, 2014). ریزگردهای بیولوژیک نیز، آلاینده‌های میکروبی هستند که به‌صورت ذرات معلق در هوا موجود بوده و با توجه به اندازه آن‌ها که بین ۱ تا ۱۲ میکرون است می‌توانند به راحتی وارد قسمت‌های تحتانی دستگاه تنفسی شده، در آنجا استقرار یافته و موجب آسیب گردند. از جمله مشکلات مرتبط با ورود ریزگردهای بیولوژیک به بدن، می‌توان به آلرژی و سایر مشکلات ازدیاد حساسیت، مشکلات تنفسی و حتی در بعضی موارد بیماری‌های عفونی، اشاره نمود. ریزگردهای جوی مؤلفه مهمی از هوای کره زمین و سیستم آب‌وهوا محسوب می‌شوند. در اتمسفر زمین، نقش گردوغبار بستگی به عوامل متعددی از جمله غلظت گردوغبار، ترکیب کانی‌شناسی (از طریق ضریب انکسار)، توزیع اندازه و توزیع عمودی ذرات دارد. به‌عنوان یک نتیجه، گردوغبار؛ فعالیت انتقال عمودی هوا و تشکیل ابر و همچنین تعدیل اندازه قطرات باران و مقدار بارش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ریز گرد، پدیده‌ای است که از ترکیب ذرات ریز گردوغبار با آلاینده‌های شهری به وجود می‌آید و این ترکیب برای بیماران تنفسی بسیار مضر است (Alidadi & Jafari, 2014). سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک و عرصه‌های بیابانی، پیوسته با پدیده فرسایش بادی روبه‌رو هستند. گاهی عوارض این پدیده سطح وسیعی از این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهد و دامنه اثرات آن، از جمله جابه‌جایی ریزگردها، حتی به نقاط مرطوب و عرض‌های شمالی کره زمین هم

افزایش یافته است. واقعیت آن است که منشأ ظهور پدیده ریزگردها در جهان به عنوان بخشی از آثار و عوارض فرسایش بادی، عموماً مختص مناطق خشک و نیمه خشک است؛ اگرچه دامنه اثرات آن ممکن است بخش‌های وسیع‌تری، حتی مناطق مرطوب و نیمه مرطوب را هم در برگیرد. آنچه امروز به نام پدیده ریزگردها در کشور ما و به خصوص شهر مشهد مطرح شده، ناشی از جابه‌جایی و حرکت ذرات ریز و بسیار ریز تشکیل‌دهنده خاک‌ها به صورت معلق تحت تأثیر طوفان‌ها و جریانات هوایی است. آمار و ارقام چندساله اخیر پایش آلودگی هوا نشان می‌دهد که طی سال‌های اخیر کیفیت هوا در شهر مشهد به طور پیوسته کاهش یافته است که یکی از مهم‌ترین عوامل به وجود آورنده آن ریزگردها عنوان شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با توجه به اثرات روزافزون این پدیده، لزوم توجه به آن احساس می‌گردد.

#### منطقه مورد مطالعه

مشهد مقدس، مرکز استان خراسان رضوی و دومین کلان‌شهر ایران می‌باشد که در  $4^{\circ} 27'$  تا  $22^{\circ} 42'$  طول شرقی و  $35'$ ،  $42^{\circ}$  تا  $27'$ ،  $42^{\circ}$  عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

گرم‌کننده و گسترش شهرها، از مشخصه‌های عصر حاضر است که موجب آلودگی هوا شده است. تحقیقات علمی انجام‌گرفته طی دو دهه اخیر، نشان داده است که از دیدگاه مخاطرات بهداشت عمومی و سلامتی، گردوغبار از آلاینده‌های اصلی می‌باشد (Leili et al., 2008). عفونت‌ها و واکنش‌های آلرژیک ایجادشده توسط ریزگردهای بیولوژیک بستگی به نوع میکروارگانیسم، نحوه بیماری‌زایی، حساسیت میزبان و توانایی سیستم ایمنی افراد دارد. منابع مختلفی در تولید و انتشار این ریزگردها در محیط نقش دارند. در سال‌های اخیر تعداد، تکرار و شدت وقوع ریزگردها در کشور ما آن را به یک معضل زیستی، اقتصادی اجتماعی و فرهنگی تبدیل کرده است و هم‌زمان نظرهای مختلفی توسط نهادها و سازمان‌های مسئول و غیرمسئول درباره آن اظهار و راهبردها و راهکارهای گوناگونی اعم از علمی و منطقی یا غیرعلمی برای مقابله یا تعدیل آثار زیان‌بار آن ارائه شده است (Tabatabaei et al., 2013).

آنچه در این بحث به‌طور مشخص مورد توجه قرار دارد، ریزگردهایی است که عموماً شهر مشهد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در دهه اخیر تکرار وقوع آن‌ها به شدت



شکل ۱- موقعیت شهر مشهد در ایران

Fig. 1- Location of Mashhad in Iran

می‌باشد (Mashhad Municipality Statistical Yearbook, 2013). فاصله مشهد تا پایتخت ایران (تهران) حدود ۸۹۱ کیلومتر است. بیابان قره‌قوم که یکی از منابع

بر اساس آمار استخراج‌شده از سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ جمعیت شهر مشهد بالغ بر ۳۷۲,۶۶۰,۳ نفر است که بعد از شهر تهران، پرجمعیت‌ترین شهر ایران

کشف‌رود از حاشیه شمال شرق شهر، همگی بر روی جنس رسوبات و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن تأثیرگذار هستند (Ghezi, 2014).

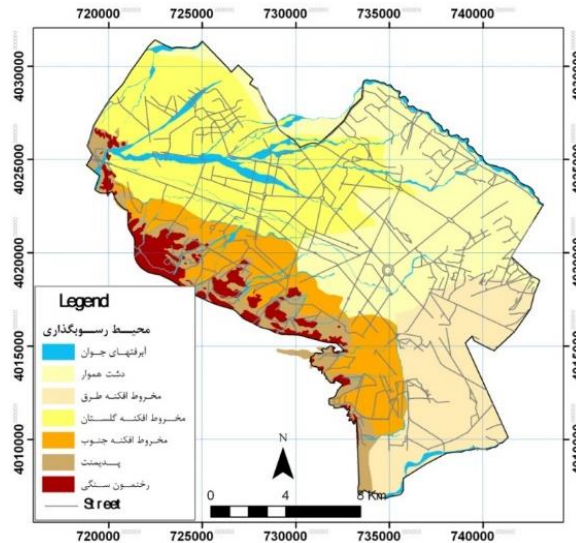
شهر مشهد از آب‌وهوای معتدل و متمایل به سرد برخوردار می‌باشد. بیشترین درجه حرارت در تابستان 42 درجه سانتی‌گراد بالای صفر و کمترین آن در زمستان 12- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. ارتفاع شهر از سطح دریا حدود 1050 متر (حداکثر 1150 متر و حداقل 950 متر) است (سایت سازمان هواشناسی کشور، 1395). دشت مشهد به صورت دره‌ای وسیع دارای ابعادی به طول بیش از 100 کیلومتر و عرض متوسط حدود 25 کیلومتر و وسعت حدود 2500 کیلومتر مربع است. این دشت با مختصات طول جغرافیایی 21°:58 تا 08°:60 درجه شرقی و عرض جغرافیایی 40°:35 تا 03°:36 درجه شمالی در حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود در خراسان رضوی قرار دارد (Lashkaripour et al., 2005).

شهر مشهد در مرکز دشتی به همین نام واقع شده و رشته‌کوه هزار مسجد در شمال شرقی و رشته‌کوه بینالود در غرب و جنوب غربی آن قرار دارد. مهم‌ترین ارتفاعی که با جهت شمال غربی - جنوب شرقی این ناحیه را در برمی‌گیرد، از دره کوه با ارتفاع تقریبی 4222 متر است (پورتال جامع شهر مشهد، 1395). از دیدگاه ژئومورفولوژی مشهد به ترتیب از جنوب به سمت شمال متشکل از کوهستان پست، پدیمنت‌ها، مخروط‌افکنه و دشت هموار است. رخنمون‌های مارنی پلیستوسن زون کپه‌داغ در بخش شمالی شهر و در 2 کیلومتری از شهر قرار دارند و احتمالاً سنگ بستر بخش شمالی شهر را تشکیل داده‌اند. بر اساس مطالعه تصاویر هوایی و گمانه‌های عمیق آب شرب موجود در شهر، پنج واحد زمین‌ریخت‌شناسی کوهستان، کوه‌پایه‌ای، مخروط-افکنه‌های آبرفتی، دشت هموار و آبرفت‌های جوان در محدوده شهر مشهد مشخص گردیده است (شکل 2). قابل ذکر است که واحد مخروط‌افکنه‌ها بر مبنای زهکش اصلی به سه پهنه تفکیک گردیدند (Ghezi, 2014).

تولید ریزگرد در ایران و به خصوص در مشهد می‌باشد، در 26 کیلومتری شمال شرقی ایران و در منطقه سرخس واقع شده و فاصله آن از مشهد، دومین شهر بزرگ ایران 210 کیلومتر می‌باشد. گستره مشهد در باختر حوضه آبریز قره‌قوم واقع شده است و وسعتی معادل 9909 کیلومترمربع را دارا می‌باشد و توسط راه‌های ارتباطی زیادی از جمله بزرگراه مشهد-قوچان، مشهد-نیشابور و مشهد - تربت‌حیدریه به سایر نقاط کشور متصل می‌شود (Arjmand, 2013).

این شهر به واسطه وجود حرم علی‌ابن‌موسی‌الرضا (ع) هشتمین امام مذهب شیعه، سالانه پذیرای بیش از 27 میلیون زائر داخلی و دو میلیون زائر از خارج از کشور است که این امر باعث اهمیت بالای سیاسی و اقتصادی این شهر شده است. مشهد از نظر لرزه‌خیزی در ناحیه با لرزه‌خیزی بالا و در موقعیت زمین‌درز پالتوتتیس واقع شده است. این شهر در بخش جنوبی توسط ارتفاعات بینالود با نرخ فرسایش 2/4 میلی‌متر در سال، محاط شده است و در مرز شمال شرقی مهم‌ترین عارضه فیزیوگرافی دشت مشهد - رودخانه کشف‌رود - در جریان است؛ از این رو، نهشته‌های پدیمنتی و به‌خصوص نهشته‌های مخروط افکنه‌ای و دشت هموار توسعه یافته‌اند و شهر با مساحتی بالغ بر 311 کیلومترمربع، بر روی این نهشته‌ها ساخته شده است. شرایط زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی منطقه با تغییر شرایط مورفولوژیکی تغییر خواهد کرد (Ghezi, 2014).

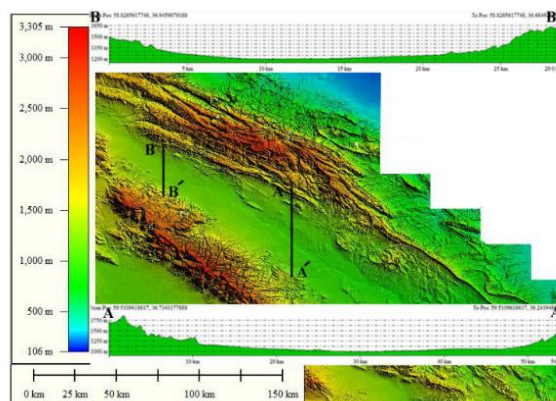
شهر مشهد توسط رسوبات کواترنری پوشانده شده است و رخنمون‌های جنوبی شهر از سنگ‌های دوره پرمین تا ژوراسیک زیرین می‌باشند. رخنمون‌های سنگی متشکل از سنگ‌های دگرگونی پرمین در نیمه غربی و سنگ‌های مافیک و الترامافیک دوره پرمین (در سرتاسر محدوده) و گرانیت‌های تریاس فوقانی - ژوراسیک زیرین در بخش کوهسنگی، است. وجود رخنمون‌های سنگی متفاوت در حاشیه جنوبی و جنوب غربی شهر، رودخانه‌های سرچشمه گرفته از ارتفاعات جنوبی و غربی و همچنین عبور رودخانه



شکل ۲- نقشه زمین‌ریخت‌شناسی شهر مشهد (غزی، ۱۳۹۳)  
 Fig. 2- Geomorphological Map of Mashhad City (Ghazi, 2014)

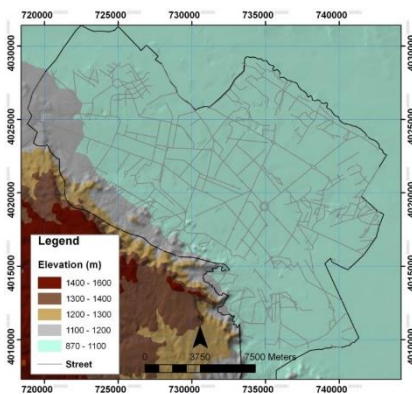
می‌شوند. این رودخانه‌ها در گذشته با سیلاب‌های متعددی مواجه بوده‌اند و بخشی از دشت را دشت سیلابی این رودخانه‌ها تشکیل می‌دهد. شهر مشهد در جنوب شرق و تقریباً بخش انتهایی این دشت و در مجاورت رشته‌کوه‌های جنوبی و تحت تأثیر رسوب‌گذاری سه رودخانه بزرگ کشف‌رود، گلستان و طرق قرار گرفته است (Ghezi, 2014). شهر مشهد دارای وسعتی برابر با ۳۱۱ کیلومترمربع است و حداکثر ارتفاع منطقه شهری در پهنه کوهستانی ۱۳۸۰ متر و حداقل ارتفاع در پهنه دشت ۹۲۰ متر است (شکل ۳).

دشت مشهد از نظر توپوگرافی به عنوان یک حوضه تیپیک از دشت و کوهستان پست شناخته می‌شود که مراکز شهری و روستایی در آن واقع شده و توسط رشته‌کوه‌های بینالود، از جنوب و رشته‌کوه‌های کپه‌داغ در شمال محاط شده‌اند. رودخانه کشف‌رود از بخش مرکزی این دشت عبور می‌کند و رودخانه‌های مهمی همچون رودخانه فریزی، رودخانه گلستان، رودخانه طرق، رودخانه تنگل‌شور، رودخانه اخلمد، رودخانه خرم‌دره، رودخانه گلمکان، رودخانه رادکان، رودخانه ارداک و رودخانه کارده از کوهستان‌های شمالی و جنوبی به این رودخانه منتهی



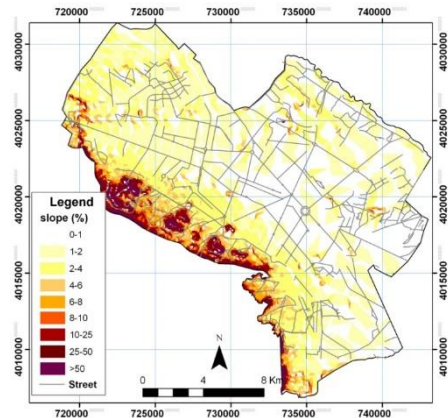
شکل ۳- تصویر SRTM تهیه‌شده از مشهد (A-A') و منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (B-B') در نرم‌افزار Global mapper و برش‌های عرضی آن  
 Fig. 3- SRTM Image Prepared from Mashhad (A-A') and the Study Area in This Research (B-B') in Global Mapper Software and Its Cross Sections

۶۵ درصد شهر دارای شیب ۰-۱ و ۱-۲ درصد می‌باشند، ۱۹ درصد در کلاس ۲-۴ درصد قرار دارند و درصد کمی از محدوده شهری در کلاس‌های شیبی بالاتر قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۴ و ۵) (Ghezi, 2014).



شکل ۴- نقشه ارتفاعی شهر مشهد  
Fig. 4- Elevation Map of Mashhad City

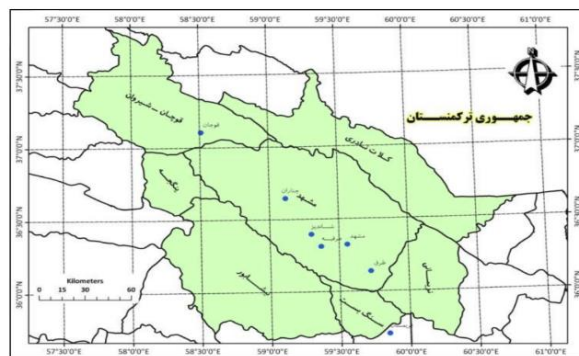
شیب عمومی منطقه شهری به سمت شمال شرق است. بیش از ۹۰ درصد شهر مشهد در کلاس ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر قرار می‌گیرند و رقوم‌های بالاتر درصد ناچیزی از شهر را به خود اختصاص داده‌اند. از نقطه نظر شیب، حدود



شکل ۵- نقشه شیب شهر مشهد  
Fig. 5- Slope Map of Mashhad City

شهرستان‌های مهم آن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود دشت مشهد از جنوب به محدوده‌های مطالعاتی نریمانی و سنگ بست، از باختر به محدوده نیشابور، از خاور به محدوده کلات نادری و از شمال و شمال خاور به محدوده قوچان-شیروان منتهی می‌گردد (Arjmand, 2013). محدوده مورد مطالعه بخشی از گستره دشت مشهد است که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد (Aghanabati, 2006) در شمال خاوری ایران زمین قرار دارد (شکل ۶).

شهر مشهد در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود، در موقعیت زمین‌درز پالئوتتیس و بر روی نهشته‌های آبرفتی قرار گرفته است (Hafezi Moghaddas et al., 2014). بررسی عوامل مختلف زمین‌شناسی و زمین‌ساختی هر منطقه به منظور آگاهی از وضعیت زمین‌شناسی و پایداری آن منطقه در برنامه‌ریزی‌های گوناگون نقش اساسی و مهمی دارد. جهت شناسایی وضعیت زمین‌شناسی هر منطقه باید چگونگی وضعیت آن منطقه را با موقعیت کلی زمین‌شناسی ناحیه در نظر گرفت. شکل ۶ محدوده دشت مشهد و موقعیت



شکل ۶- محدوده دشت مشهد و موقعیت شهرستان‌های مهم آن (شرکت مدیریت منابع آب ایران، وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۹۲)  
Fig. ۶- Mashhad Plain Boundary and the Location of Its Major Counties (Iran Water Resources Management Company, Ministry of Energy, 2013)

کارخانه‌های سیمان و کارگاه‌های آجرپزی موجود در جاده کلات نسبت داد. یکی دیگر از عوامل ایجادکننده ریزگرد در شهر مشهد و به خصوص منطقه مورد مطالعه را می‌توان مکان دفن زباله در اطراف شهر مشهد، در نظر گرفت. این منطقه علی‌رغم فاصله نسبتاً زیادی که تا شهر مشهد دارد، از عوامل آلوده‌کننده هوا در این شهر است.

گسترده‌ترین فعالیت‌های تخریبی رایج در داخل حوضه‌های آبریز، شامل استخراج سنگ و شن و ماسه جهت استفاده در ساخت‌وسازهای شهری و یا اجرای پروژه‌های زیربنایی است. در حال حاضر بیش از ۵۰ معدن متروکه و فعال سنگ لاشه در داخل حوضه‌ها وجود دارد که مجموعه یک‌صد هکتار از رخنمون‌های سنگی منطقه را متأثر ساخته و مورفولوژی حوضه‌های آبریز را کاملاً به هم ریخته است. معادن گچ موجود در شمال شهر مشهد به عنوان یکی دیگر از عوامل ریزگردساز در مشهد دارای اهمیت است. جهت برداشت گچ‌خاکی، لایه‌نازک کالیچ معدنکاری می‌شود. این لایه به صورت افقی در سطح زمین قرار دارد. پس از برداشت این لایه، خاک به صورت دست‌ریز رها شده و هیچ کوششی برای تثبیت آن صورت نمی‌گیرد. در محدوده این معادن لایه‌ای از گچ‌خاکی به صورت افقی در عمق ۱۰ سانتیمتری تا ۵۰ متری از سطح زمین تمام منطقه را پوشانده است که به نظر می‌رسد در اثر نزولات جوی و وجود خاک رسی و خاصیت اسمزی لوله‌های موئینه، گچ‌خاکی همراه با آب به سطح خاک نشت نموده و گچ را رسوب داده است. این لایه در اثر تبخیر رطوبت خاک و باقی ماندن املاح، در نزدیکی سطح ایجاد می‌شود.

منطقه پرتراکم غرب مشهد در گذشته نه‌چندان دور در حاشیه شهر قرار داشته و قبل از توسعه شهر به سمت غرب بخشی از شن و ماسه موردنیاز شهری و نیز مخلوط موردنیاز جاده‌سازی از مسیل‌های این مناطق برداشت می‌گردید و از طرف دیگر خاک و نخاله ساختمانی و کارگاهی و بعضاً زباله شهری در داخل این مسیل‌ها و نیز میل چاه‌های قنوات متروکه تخلیه شده‌اند. لذا ضخامت خاک دستی در این

رسوبات ضخیمی از ژوراسیک تا میوسن با ضخامتی حدود ۶۰۰۰ متر که فاقد حوادث عمده چینه‌شناسی و تکتونیکی می‌باشد با رخساره‌های متنوع انباشته شده است. این رسوبات به طور عمده شامل آهک، شیل، مارن، ماسه‌سنگ و گاهی کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری است که هر یک بر اساس درجه سختی و دیگر شرایط موجود، خاک‌های متفاوتی را ایجاد کرده و در نتیجه، در تنوع ترکیب و درصد پوشش گیاهی تأثیر متفاوتی را به جا گذارده‌اند. روی این رسوبات را لایه قرمز خشکی که به احتمال زیاد مربوط به دوره میوسن هستند، پوشانیده‌اند (Saghafi Khadem, 1995).

در بخش غربی که بر روی مخروط‌افکنه رود چهل‌بازه قرار دارد، پروفیل خاک درشت‌دانه با نوساناتی در میزان درصد ذرات ریزدانه می‌باشد که نشان‌دهنده محیط مخروط‌افکنه‌ای نزدیک منشأ می‌باشد (Ghezi, 2014). مسیل مزبور از ارتفاعات دگرگونی غرب و جنوب غرب مشهد سرچشمه گرفته و نهایتاً به رودخانه کشف رود می‌ریزد. بافت خاک در این محدوده تناوب شن و ماسه است که به‌صورت بین‌انگشتی به هم تبدیل می‌شوند. در زمان‌های سیلابی که قدرت رودخانه بیش‌تر بوده است، نهشته‌های درشت‌دانه تا فاصله دورتر حمل شده‌اند و در زمان‌هایی دیگر، نهشته‌های درشت‌دانه تنها محدود به کف مسیل‌های اصلی بوده است. این شرایط که در محیط‌های مخروط‌افکنه‌ای معمول است، منجر به تشکیل عدسی‌های شنی در بین نهشته‌های ماسه‌ای و بالعکس خواهد شد (Jahanzad, 2014).

### کاربری اراضی شمال و شمال غرب مشهد

در منطقه مورد مطالعه که شمال و شمال غرب مشهد را شامل می‌شود، قسمت اعظم زمین‌ها به صورت بایر و از قسمت جنوب شرقی منطقه حاشیه جنوبی تا شمال غرب منطقه دارای بافت مسکونی تقریباً متراکم است. عمده‌ترین عامل ایجادکننده آلودگی در منطقه را می‌توان به شهرک‌های صنعتی جاده قوچان و جاده کلات و همچنین

مناطق متغیر و بعضاً چشم‌گیر است. متأسفانه هیچ‌گونه کروکی و نقشه‌ای از موقعیت و حجم دپوی نخاله در غرب مشهد در دسترس نیست (Ehsani Fariemani, 2012).

**محدوده مورد مطالعه**

شهر مشهد با وسعتی بالغ بر ۳۱۱ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۱۵°۵۹' تا ۳۶°۶۰' و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۳' تا ۳۶°۲۸'۵۴.۲۴"N و در زون زمین ساختی بینالود واقع شده است (شکل ۷).

محدوده مورد مطالعه

شهر مشهد با وسعتی بالغ بر ۳۱۱ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۱۵°۵۹' تا ۳۶°۶۰' و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۳' تا ۳۶°۲۸'۵۴.۲۴"N و در زون زمین ساختی بینالود واقع شده است (شکل ۷).



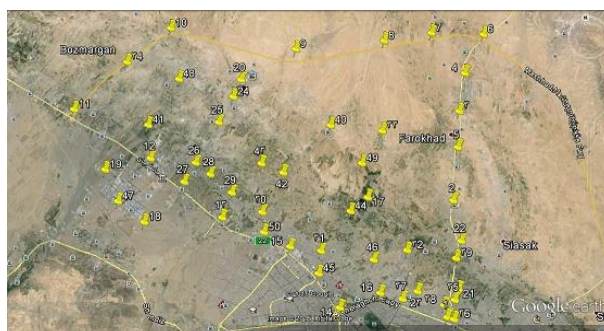
شکل ۷- محدوده مورد مطالعه (مشخص شده با خطوط سبز رنگ)

Fig. 7 - Study Area (Marked with Green Lines)

نمونه‌برداری در جدول ۱ آورده شده است. روزهای نمونه‌برداری که تقریباً یک روز مشابه در دو سال ۹۴ و ۹۵ هستند. به دلیل عدم داشتن اطلاعات آب هوایی در سال ۱۳۹۵، نمونه‌برداری‌های صورت گرفته در تاریخ ۴ مهرماه ۱۳۹۴ به عنوان مینا در نظر گرفته شده است و تمامی محاسبات نیز بر اساس نمونه‌گیری مینا است. هرچند محاسبه غلظت ریزگرد و پهنه‌بندی‌های ارائه‌شده، با توجه به اطلاعات هر دو سال تهیه شده است.

### نقاط نمونه‌برداری

در این پژوهش نمونه‌برداری در دو نوبت در تاریخ‌های ۴ مهرماه ۱۳۹۴ و ۳۱ شهریورماه ۱۳۹۵ انجام گرفت. ۵۰ نقطه برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد و سعی بر آن شد که پراکندگی آن‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شود که بتوان بیشترین و کامل‌ترین پوشش در منطقه ایجاد گردد که از بین آن‌ها ۴۰ نقطه که نمونه‌برداری دقیق‌تری داشتند انتخاب شدند (شکل ۸).



شکل ۸- نقاط نمونه‌برداری (نقاط زرد رنگ)

Fig. 8- Sampling Points (Yellow Points)

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه برداری  
Table 1- Coordinates of Sampling Points

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره نمونه
59°37'30.36"E	36°19'51.89"N	3
59°38'27.74"E	36°23'47.56"N	4
59°39'33.46"E	36°26'32.71"N	5
59°40'0.55"E	36°27'59.71"N	6
59°39'2.16"E	36°25'24.93"N	7
59°40'27.86"E	36°29'9.14"N	8
59°39'29.79"E	36°29'18.75"N	9
59°36'18.89"E	36°29'18.68"N	10
59°32'45.62"E	36°29'23.70"N	11
59°27'54.08"E	36°31'8.02"N	12
59°23'5.24"E	36°28'54.24"N	13
59°25'52.85"E	36°26'52.93"N	14
59°28'27.54"E	36°24'28.87"N	15
59°32'53.16"E	36°20'42.90"N	16
59°31'1.99"E	36°23'12.01"N	17
59°34'30.08"E	36°20'58.64"N	18
59°35'9.27"E	36°24'39.02"N	19
59°37'52.97"E	36°20'45.30"N	23
59°35'46.17"E	36°20'27.30"N	25
59°29'57.99"E	36°28'33.53"N	26
59°29'7.95"E	36°27'34.20"N	27
59°27'47.13"E	36°26'14.32"N	28
59°27'20.92"E	36°25'36.11"N	29
59°28'33.56"E	36°25'38.62"N	30
59°32'27.25"E	36°22'34.28"N	31
59°36'20.87"E	36°22'33.06"N	32
59°31'53.66"E	36°22'54.51"N	33
59°36'10.07"E	36°22'5.53"N	34
59°35'58.73"E	36°26'18.95"N	35
59°25'26.21"E	36°30'15.04"N	36
59°35'33.31"E	36°20'31.24"N	39
59°36'17.55"E	36°20'47.37"N	40
59°33'47.05"E	36°26'41.78"N	42
59°26'9.24"Es	36°27'48.53"N	43
59°30'48.63"Es	36°25'35.89"N	44
59°29'43.99"E	36°26'35.95"N	45
59°34'4.13"E	36°23'57.92"N	46
59°32'10.87"E	36°21'58.38"N	47
59°34'47.84"E	36°25'23.04"N	49
59°34'42.03"E	36°25'24.18"N	50

## بررسی توصیفی داده‌ها

است تا نحوه توزیع امتیازات حاصل از مقیاس‌سازی هریک از شاخص‌ها که منجر به حصول نمراتی برای هریک از متغیرها می‌گردد، توسط شاخص‌های مرکزی و پراکندگی، طی جداولی ارائه شود تا زمینه‌آشنایی بیشتر با هر کدام از این ابعاد و مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها فراهم گردد (جدول ۲).

در این بخش به بررسی توصیفی ابعاد و متغیرهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر پرداخته می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، در منشأ و پیامدهای زیست محیطی عوامل متفاوتی مؤثر می‌باشد که بدان اشاره خواهد شد. در بررسی توصیفی ابعاد و مؤلفه‌های تحقیق، سعی بر آن

جدول ۲- بررسی وضعیت توصیفی متغیرهای سال ۱۳۹۴

Table 2- Descriptive Statistics of Variables in 2015

نام متغیر	دما (°C)	رطوبت (mg/)	ریز گرد (ppm)	باد (km/h)	فشار (hPa)
تعداد	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
معتبر	۰	۰	۰	۰	۰
نامعتبر	۰	۰	۰	۰	۰
میانگین	۲۴	۱۲	۱۲۴	۱۷	۱۰۱۹
خطای استاندارد میانگین	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۱۳٫۰۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰
میانه	۲۵	۱۱	۱۰۶٫۰۷۵	۱۶	۱۰۱۹
انحراف استاندارد	۰٫۰۰	۳٫۰۰	۸۲٫۰۰	۶٫۰۰	۰٫۰۰
واریانس	۰٫۰۰	۱۲٫۰۰	۸۲٫۰۰	۶٫۰۰	۰٫۰۰
دامنه تغییرات	۲٫۰۰	۱۱٫۰۰	۳۰۸٫۰۰	۱۴٫۰۰	۵٫۰۰
پائین‌ترین نمره	۲۴٫۰۰	۶٫۰۰	۲۰٫۰۰	۱۱٫۰۰	۱۰۱۵٫۰۰
بالاترین نمره	۲۶٫۰۰	۱۷٫۰۰	۳۲۸٫۰۰	۲۵٫۰۰	۱۰۲۰٫۰۰

در این قسمت اطلاعات حاصل از نمودار جعبه‌ای مورد بررسی قرار گرفت:

سمت مقادیر بیشتر است که به آن چولگی مثبت می‌گویند (خط میانه به سمت پایین نمودار می‌باشد). همچنین در دمای ۲۶ درجه با توجه به خطوط ویسکر<sup>۱</sup> داده‌های پرت<sup>۲</sup> بیشتر و طول جعبه نیز نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها در دمای ۲۶ درجه است؛ ضمناً چون میانه فقط در دمای ۲۶ درجه وسط نمودار قرار دارد، داده‌ها قرینه هستند.

در این قسمت اطلاعات حاصل از نمودار جعبه‌ای مورد بررسی قرار گرفت:

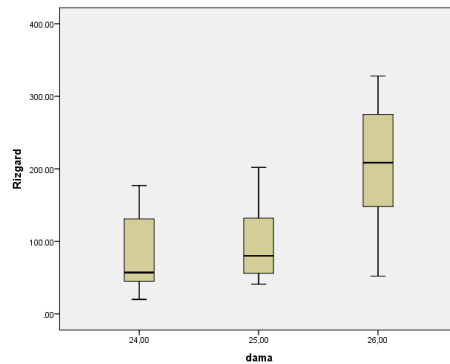
## الف) نمودار دما برحسب ریز گرد سال ۱۳۹۴

با توجه به جدول ۳ و نمودار جعبه‌ای ۱ دامنه بین چارکی در دمای ۲۶ درجه بیشتر است و همچنین، خط داخلی جعبه در دمای ۲۴ و ۲۵ نشان‌دهنده آن است که دم داده‌ها به

جدول ۳- بررسی متغیر دما برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴

Table 3- Analysis of Temperature Variable Based on Dust Particles in 2015

وضعیت	دما	
	معتبر	نامعتبر
کل	تعداد	درصد
تعداد	۱۸	۰
درصد	۱۰۰	۰
ریز گرد	۱۰	۰
تعداد	۱۲	۰
درصد	۱۰۰	۰



نمودار ۱- بررسی متغیر دما برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴

Chart 1- Analysis of Temperature Variable Based on Dust Particles in 2015

داده‌ها به سمت مقادیر کمتر است که به آن چولگی منفی می‌گویند (خط میانه به سمت بالای نمودار می‌باشد). همچنین، در سرعت باد ۱۸ با توجه به خطوط ویسکر داده‌های پرت بیشتر و طول جعبه نیز نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها در سرعت باد ۱۱ می‌باشد؛ ضمناً چون میانه فقط در سرعت باد ۲۵ وسط نمودار قرار دارد، داده‌ها در این سرعت باد قرینه هستند.

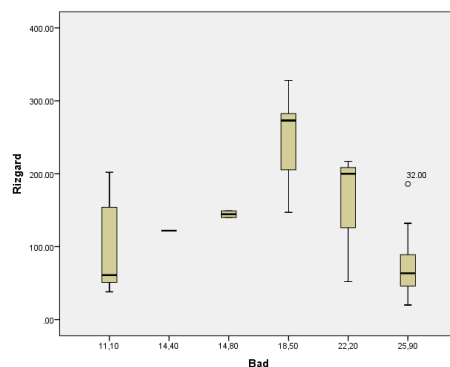
### ب) نمودار باد برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴

با توجه به جدول ۴ و نمودار جعبه‌ای ۲ دامنه بین چارکی در سرعت باد ۱۱ بیشتر می‌باشد و همچنین خط داخلی جعبه در سرعت باد ۱۱ و ۱۴ نشان‌دهنده آن است که دم داده‌ها به سمت مقادیر بیشتر است که به آن چولگی مثبت می‌گویند (خط میانه به سمت پایین نمودار می‌باشد) و در ۱۸ و ۲۲ نشان‌دهنده آن است که دم

جدول ۴- بررسی متغیر باد برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴

Table 4- Analysis of Wind Variable Based on Dust Particles in 2015

وضعیت		وضعیت		وضعیت		باد	
کل	نامعتبر	کل	نامعتبر	کل	نامعتبر		
درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	ریزگرد	
۱۰۰	۱۷	۰	۰	۱۰۰	۱۷		۱۱
۱۰۰	۱	۰	۰	۱۰۰	۱		۱۴
۱۰۰	۲	۰	۰	۱۰۰	۲		۱۴
۱۰۰	۷	۰	۰	۱۰۰	۷		۱۸
۱۰۰	۳	۰	۰	۱۰۰	۳		۲۲
۱۰۰	۱۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰		۲۵



نمودار ۲- بررسی متغیر باد برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴

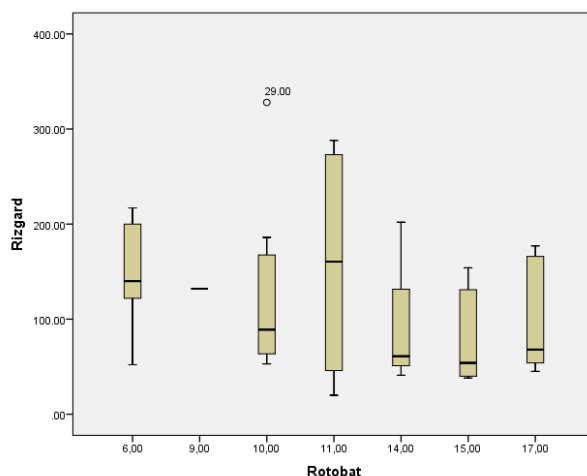
Chart 2- Analysis of Wind Variable Based on Dust Particles in 2015

(خط میانه به سمت پایین نمودار می‌باشد). همچنین، در رطوبت ۶ و ۱۴ با توجه به خطوط ویسکر داده‌های پرت بیشتر است و طول جعبه نیز در رطوبت ۱۱ نشان‌دهنده پراکندگی زیاد داده‌ها می‌باشد؛ ضمناً چون میانه فقط در رطوبت ۱۱ وسط نمودار قرار دارد، داده‌ها در این رطوبت قرینه هستند.

**ج) نمودار رطوبت برحسب ریز گرد سال ۱۳۹۴**  
با توجه به جدول ۵ و نمودار جعبه‌ای ۳ دامنه بین چارکی در رطوبت ۱۱ بیشترین و در ۹ کمترین مقدار را دارد و همچنین، خط داخلی جعبه در رطوبت ۶ و ۱۰ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۷ نشان‌دهنده آن است که دم داده‌ها به سمت مقادیر بیشتر است که به آن چولگی مثبت می‌گویند

جدول ۵- بررسی متغیر رطوبت برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴  
Table 5- Analysis of Humidity Variable Based on Dust Particles in 2015

وضعیت		رطوبت	
نامعتبر		معتبر	
کل	تعداد	تعداد	درصد
درصد	تعداد	درصد	تعداد
۱۰۰	۵	۰	۰
۱۰۰	۱	۰	۰
۱۰۰	۷	۰	۰
۱۰۰	۱۰	۰	۰
۱۰۰	۳	۰	۰
۱۰۰	۵	۰	۰
۱۰۰	۹	۰	۰



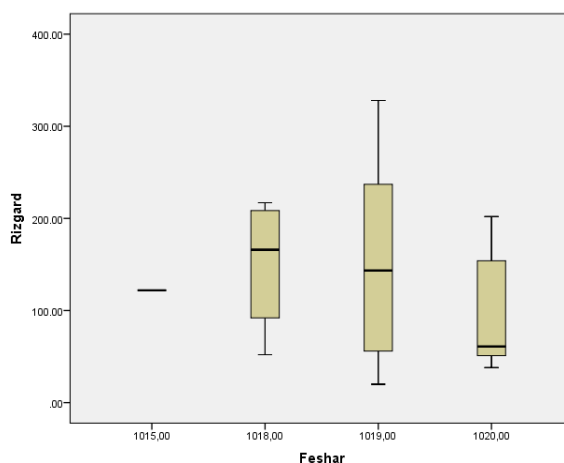
نمودار ۳- بررسی متغیر رطوبت برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴  
Chart 3- Analysis of Humidity Variable Based on Dust Particles in 2015

که دم داده‌ها به سمت مقادیر کمتر است که به آن چولگی منفی می‌گویند (خط میانه به سمت بالای نمودار می‌باشد). همچنین، در فشار ۱۰۱۹ با توجه به خطوط ویسکر داده‌های پرت بیشتر و طول جعبه نیز نشان‌دهنده پراکندگی زیاد داده‌ها در ۱۰۱۹ می‌باشد. ضمناً چون میانه فقط در ۱۰۱۹ وسط نمودار قرار دارد، داده‌ها در این فشار قرینه هستند.

**د) نمودار فشار برحسب ریز گرد سال ۱۳۹۴**  
با توجه به جدول ۶ و نمودار ۴ داریم دامنه بین چارکی در فشار ۱۰۱۹ بیشترین است و همچنین، خط داخلی جعبه در فشار ۱۰۲۰ نشان‌دهنده آن است که دم داده‌ها به سمت مقادیر بیشتر است که به آن چولگی مثبت می‌گویند (خط میانه به سمت پایین نمودار می‌باشد) و در ۱۰۱۸ نشان‌دهنده آن است

جدول ۶- بررسی متغیر فشار برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴  
Table 6- Analysis of Pressure Variable Based on Dust Particles in 2015

وضعیت		فشار	
کل	نامعتبر	معتبر	
درصد	تعداد	درصد	تعداد
۱۰۰	۱	۰	۰
۱۰۰	۴	۰	۰
۱۰۰	۱۸	۰	۰
۱۰۰	۱۷	۰	۰
		درصد	تعداد
		۱۰۰	۱
		۱۰۰	۴
		۱۰۰	۱۸
		۱۰۰	۱۷



نمودار ۴- بررسی متغیر فشار برحسب ریزگرد سال ۱۳۹۴  
Chart 4- Analysis of Pressure Variable Based on Dust Particles in 2015

به عبارت دیگر میزان تأثیر هوای آلوده بر سلامت انسان را نشان می‌دهد و درک آن را توسط عموم مردم آسان می‌سازد.

کیفیت هوا به وسیله تعیین غلظت آلاینده‌های اصلی در ایستگاه‌های سنجش اندازه‌گیری می‌شود. این ایستگاه‌ها بسته به جمعیت شهر و وسعت آن، ممکن است متعدد باشند. داده‌های خام به دست آمده از سنجش آلاینده‌ها با استفاده از رابطه زیر به AQI تبدیل می‌شوند. پارامترهای مورد استفاده در رابطه از جدول ۲ که نقاط شکست برای AQI را نشان می‌دهند، به دست می‌آید.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{LO}}{BP_{Hi} - BP_{LO}}(C_p - BP_{LO}) + I_{LO}$$

حال شاخص کیفیت هوا را برای ذرات با غلظت  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در کلیه نقاط نمونه برداری محاسبه می‌نماییم که اطلاعات در آن در جدول ۷ آورده شده است.

## محاسبه شاخص کیفیت هوا در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

کیفیت هوا بر کیفیت زندگی و تنفس انسان اثر دارد. همان‌گونه که وضعیت آب‌وهوا روز به روز و حتی ساعت به ساعت تغییر می‌کند، کیفیت هوا نیز می‌تواند متغیر باشد. مدیریت پایش و نظارت بر کیفیت هوا در شهرهای بزرگ داده‌های مربوط به کیفیت هوا را به شاخص کیفیت هوا تبدیل می‌کنند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار عموم مردم قرار می‌دهند؛ بنابراین، شاخص کیفیت هوا یک ابزار کلیدی جهت آگاهی از کیفیت هوا، نحوه اثر آلودگی هوا بر سلامت و روش‌های محافظتی در برابر آلودگی هوا است. به طور کلی شاخص کیفیت هوا (AQI) شاخصی جهت پیش‌بینی روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن آن) آگاه می‌سازد و میزان ارتباط آن با سطوح سلامت را ارائه می‌کند؛

جدول ۷- محاسبه شاخص کیفیت هوا برای کلیه نقاط نمونه‌برداری در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

Table 7- Air Quality Index Calculation for All Sampling Points in 2015 and 2016

سال دوم (۱۳۹۵)					سال اول (۱۳۹۴)				
IPM10	PM10	IPM2.5	PM2.5	نقطه	IPM10	PM10	IPM2.5	PM2.5	نقطه
0/03036	0/033	0/0324	0/01	3	0/02484	0/027	0/02592	0/008	3
0/046	0/05	0/05184	0/016	4	0/0092	0/01	0/04536	0/014	4
0/02024	0/022	0/04536	0/014	5	0/02852	0/031	0/05184	0/016	5
0/0184	0/02	0/01944	0/006	6	0/01104	0/012	0/02592	0/008	6
0/0368	0/04	0/0972	0/03	7	0/04048	0/044	0/10044	0/031	7
0/03588	0/039	0/12636	0/039	8	0/03864	0/042	0/11664	0/036	8
0/046	0/05	0/02592	0/008	9	0/0276	0/03	0/01944	0/006	9
0/01288	0/014	0/05832	0/018	10	0/01288	0/014	0/03888	0/012	10
0/368	0/4	0/10692	0/033	11	0/46	0/5	0/11016	0/034	11
0/02024	0/022	0/1296	0/04	12	0/023	0/025	0/0648	0/02	12
0/002484	0/0027	0/09396	0/029	13	0/02392	0/026	0/081	0/025	13
0/0368	0/04	0/11664	0/036	14	0/03496	0/038	0/15552	0/048	14
0/03128	0/034	8/2296	2/54	15	0/02208	0/024	8/1	2/5	15
0/0368	0/04	0/11664	0/036	16	0/0276	0/03	0/08424	0/026	16
0/02852	0/031	0/09072	0/028	17	0/02576	0/028	0/0648	0/02	17
0/01932	0/021	0/09396	0/029	18	0/023	0/025	0/07128	0/022	18
0/02484	0/027	0/10368	0/032	19	0/02024	0/022	0/09396	0/029	19
0/01656	0/018	0/0648	0/02	23	0/01932	0/021	0/05184	0/016	23
0/02576	0/028	0/0972	0/03	25	0/023	0/025	0/07776	0/024	25
0/0368	0/04	0/08748	0/027	26	0/0644	0/07	0/07128	0/022	26
0/03128	0/034	0/3564	0/11	27	0/04048	0/044	0/3402	0/105	27
0/02944	0/032	0/15552	0/048	28	0/023	0/025	0/14256	0/044	28
0/03496	0/038	0/12636	0/039	29	0/03036	0/033	0/10368	0/032	29
0/04692	0/051	0/12636	0/039	30	0/04508	0/049	0/13284	0/041	30
0/02484	0/027	0/09072	0/028	31	0/02668	0/029	0/07776	0/024	31
0/02208	0/024	0/0648	0/02	32	0/01932	0/021	0/05832	0/018	32
0/02116	0/023	0/0324	0/01	33	0/01748	0/019	0/04536	0/014	33
0/01656	0/018	0/11016	0/034	34	0/0138	0/015	0/12312	0/038	34
0/01564	0/017	0/0324	0/01	35	0/0138	0/015	0/02592	0/008	35
0/0276	0/03	0/0648	0/02	36	0/02944	0/032	0/05832	0/018	36
0/06256	0/068	0/18468	0/057	39	0/0598	0/065	0/21708	0/067	39
0/0184	0/02	0/02916	0/009	40	0/0092	0/01	0/01944	0/006	40
0/01288	0/014	0/01296	0/004	42	0/01012	0/011	0/02268	0/007	42
0/04784	0/052	0/0486	0/015	43	0/0506	0/055	0/03564	0/011	43
0/0184	0/02	0/0648	0/02	44	0/01564	0/017	0/04212	0/013	44
0/2852	0/31	0/05832	0/018	45	0/2576	0/28	0/0486	0/015	45
0/04048	0/044	0/0648	0/02	46	0/03588	0/039	0/05508	0/017	46
0/02208	0/024	0/08748	0/027	47	0/02484	0/027	0/08424	0/026	47
0/01748	0/019	0/081	0/025	49	0/02024	0/022	0/0486	0/015	49
0/046	0/05	0/19116	0/059	50	0/0276	0/03	0/17172	0/053	50

کمینه و نقطه ۱۱ بیشینه است. همچنین از بین کلیه نقاط نمونه‌برداری شده شاخص کیفیت هوا برای ذرات  $PM_{2.5}$  در سال دوم در نقاط ۴۲ و ۶ کمینه و نقطه ۱۵ بیشینه است، همچنین برای ذرات  $PM_{10}$  در نقاط ۱۳ کمینه و نقطه ۱۱ بیشینه است.

#### پهنه‌بندی

گردوغبار هوا دارای دو منشأ طبیعی و انسانی است. فعالیت انسان‌ها و نیروی باد غالباً ساعات می‌گردد که گردوغبار در اتمسفر معلق شود. فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک منبع اصلی گردوغبار اتمسفری است. در برخی از

شاخص کیفیت هوا AQI، کیفیت هوا را در شش دسته قرار می‌دهد که هر دسته را به سطوح مختلف سلامت انسان مربوط می‌سازد. میزان AQI در کلیه این نقاط بین ۰ و ۵۰ است. کیفیت هوا رضایت‌بخش است و آلودگی هوا بی‌خطر یا کم‌خطر است. این حالت را بارنگ سبز نشان می‌دهند. در کشور ما معمولاً به این حالت وضعیت «پاک» اطلاق می‌شود که سطح اهمیت بهداشتی خوبی را دارا است. از بین کلیه نقاط نمونه‌برداری شده شاخص کیفیت هوا برای ذرات  $PM_{2.5}$  در سال اول در نقاط ۹ و ۴۰ کمینه و نقطه ۱۵ بیشینه است، همچنین برای ذرات  $PM_{10}$  در نقاط ۴۰

مختصات دار گشته و در محیط ARC GIS با استفاده از روش درون‌یابی مورد پهنه‌بندی قرار گرفتند. در این پژوهش، پهنه‌بندی بر اساس شاخص کیفیت هوا و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده انجام گرفت. لازم به ذکر است که در این پژوهش پهنه‌بندی برای  $PM_{10}$ ،  $PM_5$  و  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ،  $PM_5$  و  $PM_{2.5}$  انجام شده است.

نتایج بررسی بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف، نشان‌دهنده اختلاف بین غلظت‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها است. برای سال ۱۳۹۴ داریم: بیشترین میانگین غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده برای  $PM_{0.3}$  و  $PM_{0.5}$  در نقطه ۴۳ و برای  $PM_{0.7}$ ، در نقطه ۶ و برای  $PM_1$  در نقطه ۸ و برای  $PM_2$  در نقطه ۲۸ و برای  $PM_5$  در نقطه ۴۹ و برای  $PM_{2.5}$  در نقطه ۱۵ و برای  $PM_{10}$  در نقطه ۱۱ است. همچنین برای سال ۱۳۹۵ بیشترین میانگین غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده برای  $PM_{2.5}$  در نقطه ۱۵ و برای  $PM_{10}$  در نقطه ۱۱ است. کمترین میانگین غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده برای  $PM_{0.3}$  در نقطه ۳۲ و  $PM_{0.5}$  در نقطه ۶ و برای  $PM_{0.7}$ ، در نقطه ۳۴ و برای  $PM_1$  در نقطه ۱۶ و برای  $PM_2$  در نقطه ۴۷ و برای  $PM_5$  در نقطه ۳۶ و برای  $PM_{2.5}$  در نقطه ۹ و برای  $PM_{10}$  در نقطه ۴۰ است. همچنین، برای سال ۱۳۹۵ کمترین میانگین غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده برای  $PM_{2.5}$  در نقطه ۴۲ و برای  $PM_{10}$  در نقطه ۱۳ است؛ اما بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در محیط GIS می‌توان بیان کرد که داده‌های فوق که به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر غلظت‌های ذرات معلق اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها را نمایش می‌دهند، به صورت نقطه‌ای است.

### پهنه‌بندی ریزگردها در سال ۱۳۹۴

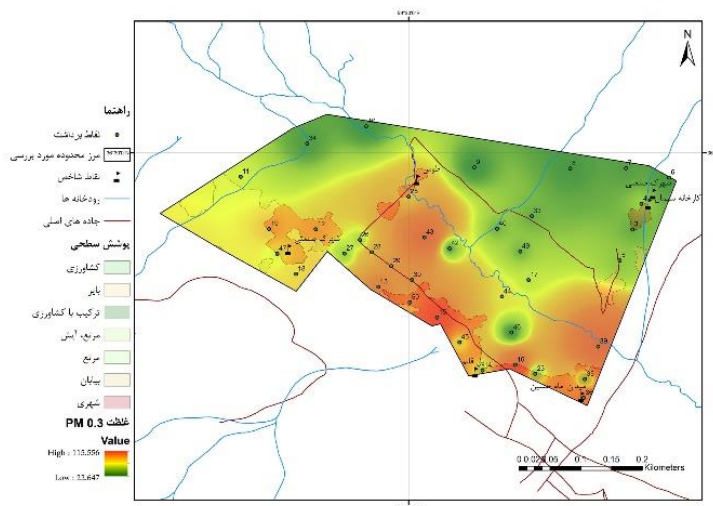
#### پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس $PM_{10}$ در سال

۱۳۹۴

همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی شکل ۹ ملاحظه می‌شود، برای  $PM_{10}$  در مناطق شمالی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه آلودگی پایین و در جنوب آلودگی بالا دیده می‌شود.

منابع سهم منابع آنتروپوژنیک از کل کانی‌های موجود در گردوغبار ۵ تا ۷ درصد تخمین زده شده و در برخی دیگر از منابع بیش از ۳۰ تا ۵۰ درصد از گردوغبار اتمسفر به فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده است ( کندلر و همکاران، ۲۰۰۷). البته سهم هر یک از منابع به وضعیت اقلیمی منطقه و میزان فعالیت‌های انسانی بستگی دارد. از عوامل انسانی تولید گردوغبار می‌توان به نیروگاه برق، کارخانه‌های تولید سیمان، کارگاه‌های تولید کاشی و سرامیک، صنایع فلزی به‌ویژه آهن، کشاورزی، معادن، فعالیت‌های ساختمانی، تخریب و حمل‌ونقل اشاره نمود (Melaku *et al.*, 2008). تشخیص منابع گردوغبار و تخمین توان انتشار آن‌ها به‌ویژه برای ارزیابی آلودگی اتمسفری ذرات گرد و غبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های شیمیایی، کانی‌شناسی و ایزوتوپی برای تعیین مناطق تولیدکننده گردوغبار اتمسفری استفاده می‌شود. همچنین اندازه ذرات گردوغبار اطلاعاتی در مورد شیوه انتقال ذرات و اطلاعات ارزشمندی راجع به منشأ گردوغبار (گردوغبار محلی یا گردوغبار منشأ یافته از مناطق دوردست) در اختیار قرار می‌دهد و برای بازسازی تغییرات در رژیم باد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kandler *et al.*, 2007). مشهد یکی از کلان‌شهرهای مهم ایران است که در بیشتر ایام سال و مخصوصاً اوایل پاییز اتمسفر آن وجود ذرات گردوغبار را تجربه می‌کند. باین‌وجود تاکنون پژوهشی جامعی در مورد منشأ و پهنه‌بندی شهر بر اساس ذرات معلق صورت نپذیرفته است. از طرفی تعیین منبع ذرات گردوغبار از نظر کنترل و کاهش میزان این ذرات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mahmoudi *et al.*, 2014).

در این پهنه‌بندی، شمال و شمال غرب شهر مشهد بر اساس غلظت ذرات گردوغبار اندازه‌گیری شده و شناسایی منبع ذرات گردوغبار اتمسفری با استفاده از اطلاعات جهت وزش باد و رطوبت و... ارائه شده است. بعد از انجام اندازه‌گیری‌ها در ۴۰ نقطه شمال و شمال غرب شهر مشهد، در دو بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۴ و شهریورماه ۱۳۹۵، اطلاعات ذخیره‌شده وارد محیط EXCEL شده و سپس در نرم‌افزار



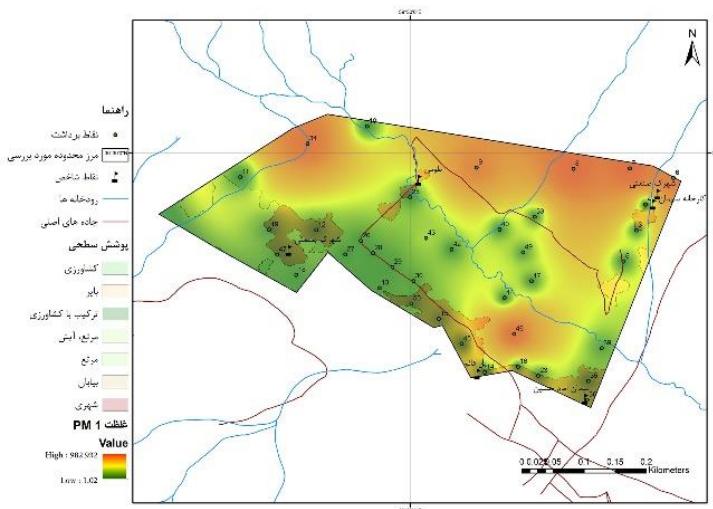
شکل ۹- پهنه‌بندی بر اساس  $PM_{0.3}$  در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 9- Zoning Based on  $PM_{0.3}$  in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۱۸ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۱۳ ر ۱ را دارا است و پس‌از آن، به ترتیب نقاط ۱۱ و ۱۹ و ۴۴ قرار می‌گیرند. نقطه ۸ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۹۸۳ را دارا است و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۷ و ۴۶ و ۳۴ قرار می‌گیرند.

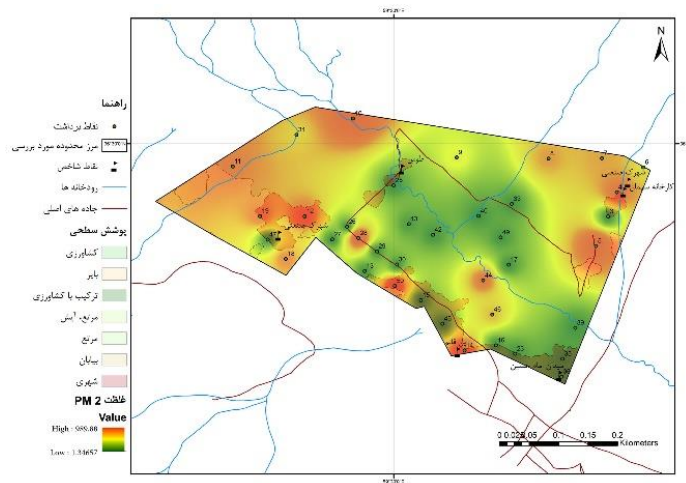
**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۴**  
 در نقشه پهنه‌بندی تهیه شده برای  $PM_{2.5}$  بالاترین غلظت ریزگردهای اندازه‌گیری شده نیز مربوط به نیمه غربی می‌باشد. مناطق میانی دارای غلظت پایین‌تری هستند (شکل ۱۱).

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۳۲ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۲۵ ر ۲۱ را دارا است و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۹ و ۱۰ و ۸ قرار می‌گیرند. نقطه ۴۳ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۵۷۲ ر ۱۱۵ را دارا است و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۳۹ و ۱۶ و ۱۵ قرار می‌گیرند.

**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس  $PM_{10}$  در سال ۱۳۹۴**  
 همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، برای  $PM_{10}$  مشاهده گردید که در جنوب و جنوب غربی آلودگی بسیار پایین‌تر از مناطق شمالی است.



شکل ۱۰- پهنه‌بندی بر اساس  $PM_{10}$  در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 10- Zoning Based on  $PM_{10}$  in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015



شکل ۱۱- پهنه‌بندی بر اساس PM2 در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 11- Zoning Based on PM2 in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015

است (شکل ۱۲).

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۶ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۸۲۶ ر ۱ را داراست و پس‌از آن، به ترتیب نقاط ۹ و ۴۶ و ۳۴ قرار می‌گیرند. نقطه ۴۳ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۱ ر ۴۵ را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۳۹ و ۳۶ و ۱۵ قرار می‌گیرند.

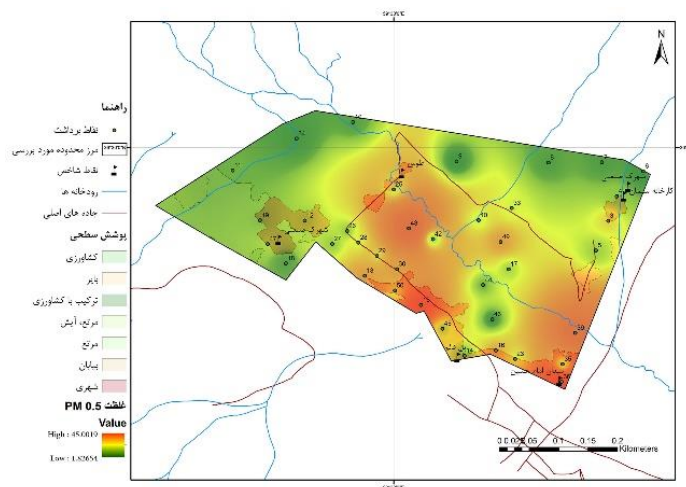
**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس PM2 در سال ۱۳۹۴**

برای PM2.5 مشاهده گردیده که آلودگی در مناطق جنوبی و میانی، بالا و در مناطق شمال و شمال شرقی آلودگی پایین می‌باشد (شکل ۱۳).

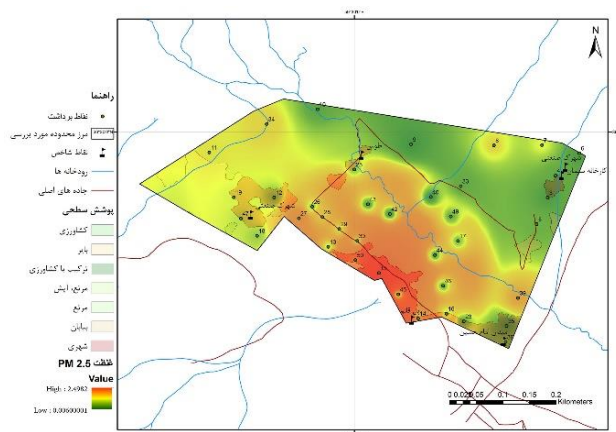
با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۴۷ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۵۸ ر ۱ را داراست و پس‌از آن، به ترتیب نقاط ۲۷ و ۱۷ و ۲۵ قرار می‌گیرند. نقطه ۲۸ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۹۹۲ را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۱۰ و ۵ و ۵۰ قرار می‌گیرند.

**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس PM0.5 در سال ۱۳۹۴**

در نقشه پهنه‌بندی تهیه شده برای PM0.5، قسمت‌های غربی و جنوب غرب و شمال شرق منطقه مورد مطالعه دارای آلودگی پایین و مناطق میانی و جنوب غربی محدوده مورد مطالعه، آلودگی بالاتری مشاهده گردیده



شکل ۱۲- پهنه‌بندی بر اساس PM0.5 در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 12- Zoning Based on PM0.5 in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015



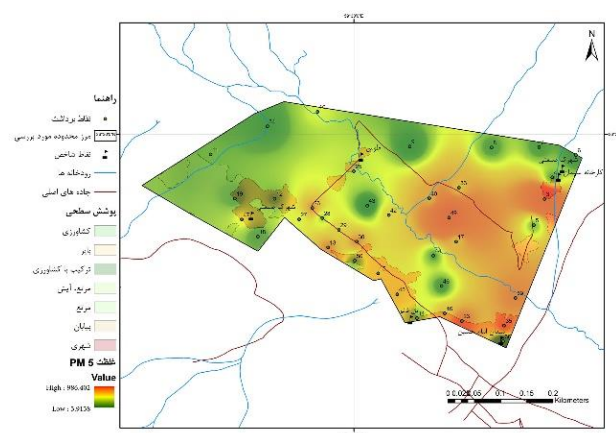
شکل ۱۳- پهنه‌بندی بر اساس  $PM_{2.5}$  در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 13- Zoning Based on  $PM_{2.5}$  in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015

آلودگی در حد متوسط نسبت به طرفین می‌باشد. با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۳۶ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۳۳۸ ر ۳ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۴۳ و ۹ و ۶ و ۳۴ قرار می‌گیرند. نقطه ۴۹ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۹۸۷ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۳ و ۲۳ و ۳۵ و ۳۹ قرار می‌گیرند.

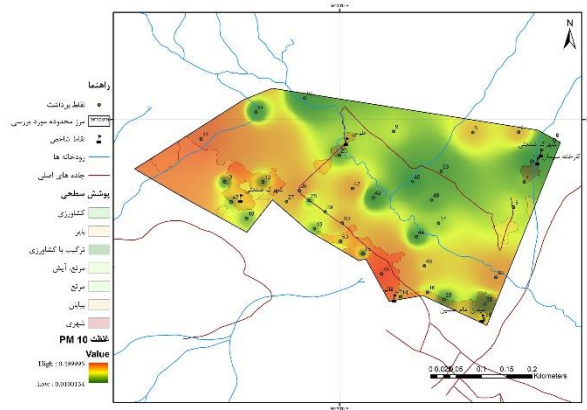
**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس  $PM_{10}$  در سال ۱۳۹۴**  
 به‌طور کلی بر اساسی نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در محیط ۱۰.۲ ARC GIS برای  $PM_{10}$  مشاهده گردیده که در مناطق غرب منطقه مورد مطالعه آلودگی بسیار بالاتر از مناطق شرق و شمال شرق منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطق میانی دارای آلودگی حد متوسط نسبت به طرفین می‌باشد (شکل ۱۵).

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۹ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰.۰۶ ر ۰ را داراست و پس‌از آن، به ترتیب نقاط ۴۰ و ۴۲ و ۶ و ۳۵ قرار می‌گیرند. نقطه ۱۵ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۲۵ را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۲۷ و ۳۹ و ۵۰ قرار می‌گیرند. نقطه ۹ کمترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۰.۱۹ ر ۰ دارا می‌باشد. نقطه ۱۵ نیز بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۰.۱ ر ۸ دارا است که نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوایی با درجه خوب می‌باشد.

**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس  $PM_{5}$  در سال ۱۳۹۴**  
 همان‌طور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود، برای  $PM_{5}$  مشاهده گردیده که در مناطق شرق منطقه مورد مطالعه آلودگی بسیار بالاتر از مناطق غربی می‌باشد و مناطق میانی دارای



شکل ۱۴- پهنه‌بندی بر اساس  $PM_{5}$  در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
 Fig. 14- Zoning Based on  $PM_{5}$  in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015



شکل ۱۵- پهنه‌بندی بر اساس PM10 در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴

Fig. 15- Zoning Based on PM10 in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015

آلودگی بیشتر است.

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۳۴ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۵۱ ر ۱ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۴۶ و ۷ و ۸ قرار می‌گیرند. نقطه ۶ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۸۶۰ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۹ و ۴۳ و ۳۶ و ۳۹ قرار می‌گیرند.

#### میانگین پهنه‌بندی ریزگرد در سال ۱۳۹۴

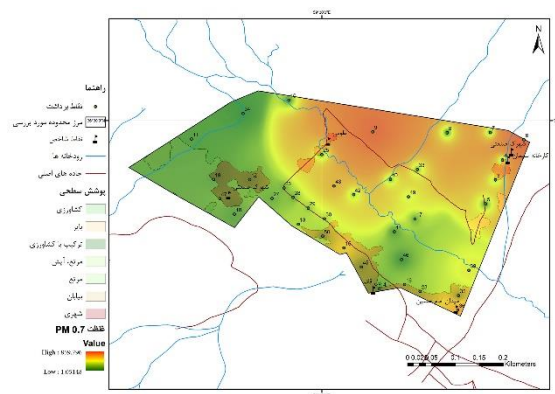
در انتها با توجه به نقشه پهنه‌بندی میانگین غلظت PMها در شمال شهر مشهد (شرق منطقه مورد مطالعه) و همچنین شمال و شمال غرب شهر مشهد (غرب منطقه مورد مطالعه) دارای آلودگی بالا و سایر نقاط با توجه به نوع کاربری و... دارای غلظت‌های متفاوتی از ریزگردهاست که در نقشه قابل مشاهده است و در مجموع، در اواسط و جنوب منطقه غلظت آلودگی پایین‌تر می‌باشد (شکل ۱۷).

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۴۰ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۱ ر ۰ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۴ و ۴۲ و ۶ قرار می‌گیرند. نقطه ۱۱ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۵ ر ۰ را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۴۵ و ۲۶ و ۳۹ و ۴۳ قرار می‌گیرند. نقطه ۴۰ کمترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۰٫۰۹۲ ر ۰ دارا می‌باشد. نقطه ۱۱ نیز بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۴۶ ر ۰ دارا است (طبق جدول ۴-۱۲) که نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوایی با درجه خوب می‌باشد.

#### پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس PM۰٫۷ در سال

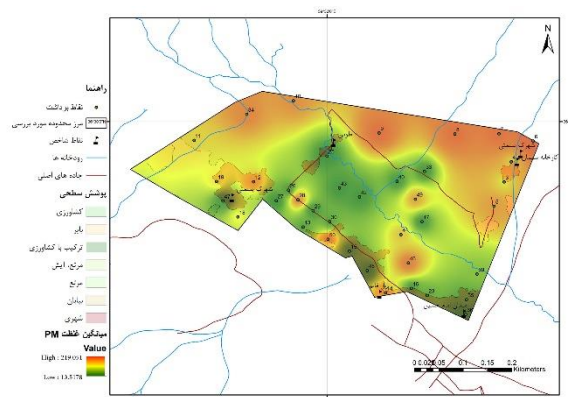
۱۳۹۴

همان‌طور که در شکل ۱۶ مشخص است برای PM۰٫۷ کمترین آلودگی مربوط به مناطق غربی، جنوب غربی می‌باشد و در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی و شمال



شکل ۱۶- پهنه‌بندی بر اساس PM۰٫۷ در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴

Fig. 16- Zoning Based on PM0.7 in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015



شکل ۱۷- پهنه‌بندی بر اساس pm میانگین  
Fig. 17- Zoning Based on Average PM

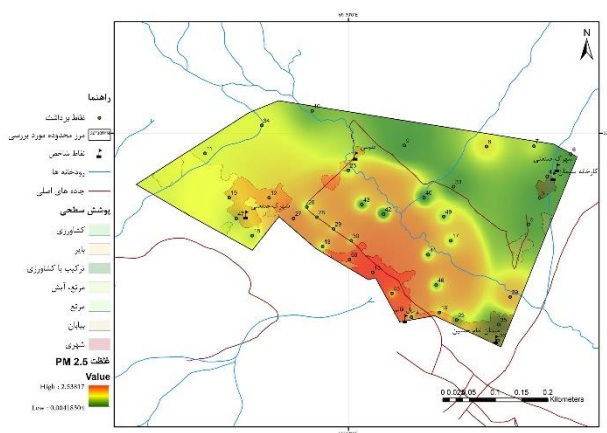
بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۵۴٫۲ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۲۷ و ۵۰ و ۳۹ قرار می‌گیرند. نقطه ۴۲ کمترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۰٫۱۲ دارا می‌باشد. نقطه ۱۵ نیز بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب ۲۲٫۸ دارا است که نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوایی با درجه خوب می‌باشد.

**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس PM<sub>10</sub> در سال ۱۳۹۵**  
به‌طورکلی بر اساسی نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در محیط ۱۰٫۲ ARC GIS برای ۱۰ PM مشاهده گردیده که در مناطق غرب منطقه مورد مطالعه و همچنین قسمتی از جنوب، آلودگی بسیار بالاتر از مناطق شرق و شمال شرق بوده و همچنین مناطق میانی دارای آلودگی حد متوسط می‌باشد (شکل ۱۹).

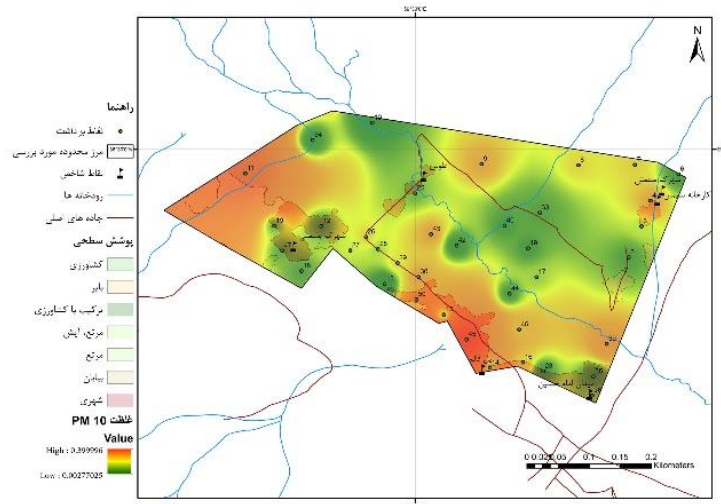
با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۳۶ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۴۵٫۱۳ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۲۵ و ۴۷ و ۲۷ قرار می‌گیرند. نقطه ۶ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۲۱۹٫۰۷ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۹ و ۸ و ۷ قرار می‌گیرند.

**پهنه‌بندی ریزگردها در سال ۱۳۹۵**  
**پهنه‌بندی ریزگرد بر اساس ۵ PM<sub>۲</sub> در سال ۱۳۹۵**

برای ۵ PM<sub>۲</sub> مشاهده گردیده که آلودگی در مناطق شرقی و همچنین شمالی، پایین و در مناطق میانی دارای آلودگی بالا و غرب دارای آلودگی متوسطی می‌باشد (شکل ۱۸).  
با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۴۲ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰٫۰۴ را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۶ و ۹ و ۴۰ قرار می‌گیرند. نقطه ۱۵ نیز



شکل ۱۸- پهنه‌بندی بر اساس ۵ PM<sub>۲</sub> در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در مهرماه ۱۳۹۴  
Fig. 18- Zoning Based on PM<sub>2.5</sub> in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in October 2015



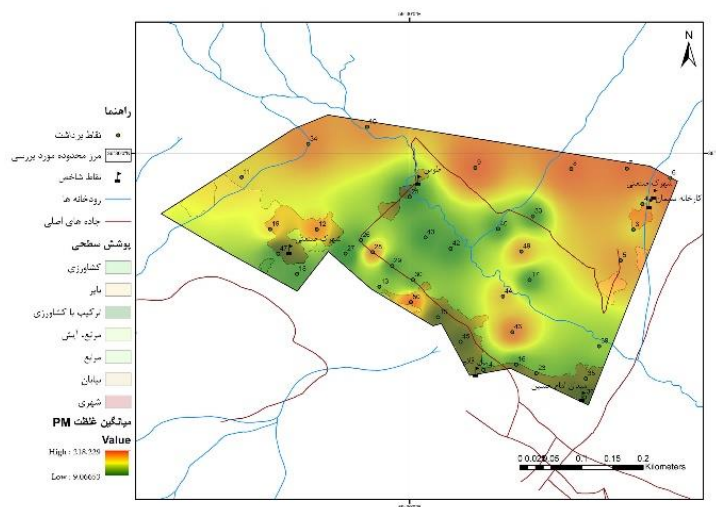
شکل ۱۹- پهنه‌بندی بر اساس  $PM_{10}$  در محدوده شمال و شمال غرب مشهد در سال ۱۳۹۵  
 Fig. 19- Zoning Based on  $PM_{10}$  in the Northern and Northwestern Areas of Mashhad in 2016

### میانگین پهنه‌بندی ریزگرد در سال ۱۳۹۵

در انتها می‌توان گفت که میانگین غلظت  $PM$  ها در شمال منطقه مورد مطالعه آلودگی بالا و همچنین در مناطق میانی و غربی آلودگی متوسط و پایین می‌باشد که در نقشه قابل مشاهده است (شکل ۲۰).

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۲۷ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت  $0.3$  را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۳۶ و ۲۵ و ۱۸ قرار می‌گیرند. نقطه ۶ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۲۵ را داراست و پس‌از آن به ترتیب نقاط ۹ و ۸ و ۷ قرار می‌گیرند.

با توجه به اطلاعات داده‌ای نقشه بالا نقطه ۱۳ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت  $0.29$  را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۴۲ و ۱۰ و ۳۵ قرار می‌گیرند. نقطه ۱۱ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت  $0.4$  را داراست و پس‌از آن به ترتیب، نقاط ۴۵ و ۳۹ و ۴۳ و ۳۰ قرار می‌گیرند. نقطه ۱۳ کمترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب  $0.02$  دارا می‌باشد. نقطه ۱۱ نیز بیشترین مقدار شاخص کیفیت هوا را با ضریب  $0.36$  دارا است که نشان‌دهنده شاخص کیفیت هوایی با درجه خوب می‌باشد.



شکل ۲۰- پهنه‌بندی بر اساس میانگین  $pm$   
 Fig. 20- Zoning Based on Average  $PM$

## مقایسه پهنه‌بندی ریزگرد در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴

۴ و نمودار ۴-۳ از ۴۰ داده ریز گرد اندازه‌گیری شده در روزهای نمونه‌برداری، ریزگرد در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مشاهده شده است. همچنین با توجه به جداول ۳-۶ و ۳-۷ می‌توان پدیده ریزگرد را در سال‌های اخیر در مشهد مشاهده نمود.

در این پژوهش، اقلیم مشهد با استفاده از روش‌های دمارتن و آمبرژه با استفاده از اطلاعات اخذشده از سازمان هواشناسی خراسان رضوی در شش ماه دوم سال ۱۳۹۳ و شش‌ماهه اول سال ۱۳۹۴، انجام گرفت. بر طبق فرمول تعیین اقلیم دمارتن آب‌وهوا به ۶ دسته طبقه‌بندی می‌شود و براین اساس، مشهد دارای آب‌وهوای خشک است (طبق ۳-۵-۱). همچنین با استفاده از روش آمبرژه اقلیم مشهد خشک و سرد به دست آمده است (طبق ۳-۵-۲) که نتایج به‌دست‌آمده که در مجموع، شهر مشهد دارای آب‌وهوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است.

با توجه به (۳-۷) که میزان بارندگی در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد، می‌توان این فرضیه را رد کرد. زیرا با توجه به نمودار ۳-۳ میانگین بارش که در ماه‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته شده، گویای این مطلب است که بیشترین نزولات جوی در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین است و براین اساس می‌توان گفت که در شهر مشهد در فصل زمستان و بهار نزولات جوی، از سایر ماه‌های سال است. هرچند در برخی سال‌ها بارش کاهش یافته است اما در مجموع نمی‌توان این فرضیه را مبنی بر کاهش نزولات جوی تأیید نمود.

گسترده‌ترین فعالیت‌های تخریبی رایج در داخل حوضه‌های آبریز شامل استخراج سنگ و شن و ماسه جهت استفاده در ساخت‌وسازهای شهری و یا اجرای پروژه‌های زیربنایی است. شرایط توپوگرافی مشهد باعث تشدید ریزگرد در شهر مشهد شده است. زیرا قرارگیری مشهد در بین دو رشته‌کوه باعث عدم خروج ریزگرد از اتمسفر و ماندگاری آن در هوا می‌گردد. همچنین وارونگی دما نیز می‌تواند باعث شود که هوا بلوکه شود و هوای آلوده‌ای که در سطح زمین ایجاد شده، نتواند

در پایان این فصل با توجه به پهنه‌بندی‌های انجام‌شده و نیز اطلاعات موجود، به این نتیجه می‌رسیم که غلظت ریزگردها در سال ۱۳۹۴ بیشتر از سال ۱۳۹۵ بوده است که دلایل متفاوتی را می‌توان برای این امر در نظر گرفت، مانند رطوبت، باد، دما و... که تمامی این عوامل، همان‌گونه که در فصول گذشته بیان شد، می‌تواند روی غلظت ریزگردها تأثیرات مثبت یا منفی بسیاری بگذارد. همچنین با مقایسه دو پهنه‌بندی میانگین می‌توان ملاحظه کرد که کانون‌های تولید ریزگرد در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ تفاوت چندانی نداشته است، گرچه در میزان غلظت ریزگردها تفاوت ملاحظه می‌شود. با توجه به نقشه پهنه‌بندی میانگین، غلظت PM<sub>۱۰</sub> در دو سال در شمال و همچنین شرق منطقه مورد مطالعه و همچنین شمال و شمال غرب شهر مشهد (غرب منطقه مورد مطالعه) دارای آلودگی بالا و سایر نقاط با توجه به نوع کاربری و... دارای غلظت‌های متفاوتی از ریزگردهاست که در نقشه قابل مشاهده است و نیز در اواسط و جنوب منطقه غلظت آلودگی پایین‌تر می‌باشد.

### تبیین نتایج

پدیده ریز گرد در جهان و خصوصاً منطقه خاورمیانه و ایران رو به افزایش است که شهر مشهد نیز از این قاعده مستثنا نیست. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده طی سالیان گذشته افزایش روزافزون ریز گرد را نشان می‌دهد که متأسفانه به دلیل عدم اتخاذ تصمیمات و راهکارهای مناسب از سوی مسئولان مربوطه و عدم رعایت و فرهنگ لازم از سوی شهروندان می‌باشد. بر طبق اطلاعات دریافتی از سازمان محیط زیست مشهد که در جدول ۳-۶ آورده شده است، ملاحظه می‌شود که میزان ریزگردهای موجود در هوای شهر مشهد طی سال‌های گذشته رو به افزایش است. این روند به حالت نرمال (صرفاً افزایشی) نیست، ولی در حالت کلی، روند رو به بالا دارد.

با توجه به پژوهش انجام‌شده و نمونه‌گیری طبق جدول ۵-

منتشر شود که نتیجه آن نیز افزایش ریز گرد خواهد بود. باد در پیدایش غبار مؤثر می‌باشد و ارتباط مستقیمی بین تعداد روزهای غباری با باد دیده می‌شود. طبق یافته‌های این پژوهش که در شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است، بادهای مشهد بیشتر در جهت جنوب شرقی به شمال غربی است. بررسی سمت و سرعت باد نشان می‌دهد که باد غالب در شهر مشهد جنوب شرقی است پس از آن باد شرقی و جنوبی بیشترین فراوانی را دارند.

شهر مشهد توسط رسوبات کواترنری پوشانده شده است و رخنمون‌های جنوبی شهر از سنگ‌های دوره پرمین تا ژوراسیک زیرین می‌باشند. رسوبات کواترنری به عنوان یکی از عوامل مهم در تولید ریزگرد در مشهد است.

بهره‌برداری از زمین جهت کشاورزی، تولید آجر، دفن نخاله‌های ساختمانی، معادن شن و ماسه و سایر فعالیت‌های عمرانی و سپس رهاسازی آن‌ها عاملی برای تولید گردوغبار شده است. گسترده‌ترین فعالیت‌های تخریبی رایج در داخل حوضه‌های آبریز شامل استخراج سنگ و شن و ماسه جهت استفاده در ساخت‌وسازهای شهری و یا اجرای پروژه‌های زیربنایی است. در حال حاضر بیش از ۵۰ معدن متروکه و فعال که سنگ لاشه در داخل حوضه‌ها وجود دارد که مجموعه یک‌صد هکتار از رخنمون‌های سنگی منطقه را متأثر ساخته و مورفولوژی حوضه‌های آبریز را کاملاً به هم ریخته است.

براین اساس، می‌توان گفت این‌گونه فعالیت‌ها می‌تواند مشکلات متعددی ایجاد کند که همگی آن‌ها به‌گونه‌ای در تولید و تشدید ریز گرد مؤثرند؛ به‌عنوان مثال، تغییرات توپوگرافی از این فعالیت‌ها (تغییرات ارتفاعی، تغییر شکل سطحی و...) است. حفاری‌های انجام‌شده باعث ورود حجم عظیم گردوغبار در اتمسفر شده، در مراحل بعدی در صورت دپوی نامناسب نخاله‌های ساختمانی و معدنی نیز باعث افزایش ورود ذرات منفصل خاک به اتمسفر می‌شود. ساخت‌وساز باعث محبوس شدن ریزگردها شده تا حدودی باعث تشدید آن‌ها در هوا می‌شود.

ذرات گردوغبار در ابعاد بسیار ریز وارد بخش‌های انتهایی دستگاه تنفسی شده و وارد جریان خون می‌شود و به ارگان‌های مختلف بدن آسیب می‌رساند و موجب بیماری‌های قلبی و بیماری‌های تنفسی می‌شوند. ورود ریزگردها به بدن می‌تواند بیماری‌های متعددی را ایجاد نماید؛ به‌عنوان مثال کلسیم، آهن، آلومینیوم منیزیم از جمله ترکیبات موجود در گردوغبار می‌باشند، غلظت بالای ذرات در طوفان‌های گردوغبار باعث سینوزیت، آسم و آلرژی، صدمه به عملکرد دفاعی ماکروفاژها که منجر به افزایش عفونت‌های بیمارستانی می‌گردد. همچنین تنفس غلظت بالای کلسیت موجود در ذرات گردوغبار منجر به عطسه و سرفه می‌شود که تنفس طولانی‌مدت آن، باعث ایجاد بیماری آلکوسیس می‌گردد. تنفس کوارتز موجود در گردوغبار نیز می‌تواند باعث ایجاد بیماری سیلیکوزیس می‌گردد. همچنین تنفس آن باعث صدمه به کلیه و کبد نیز می‌شود. آسپرژیلوس قارچی است که از طریق ذرات گردوغبار می‌تواند در بدن افراد ایجاد شود و بسیاری از بیماری‌های دیگری که در فصل دوم پایان‌نامه به تفصیل بیان شده است.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات دریافتی از سازمان حفاظت محیط زیست مشهد در خصوص تعداد روزهای همراه با گردوغبار طی سال‌های ۸۸ الی ۹۴، به‌طور میانگین بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار را به ترتیب در ماه‌های آذر، دی، بهمن و مهرماه و کمترین تعداد روزهای گردوغباری مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خردادماه گزارش شده است. همان‌گونه که در جدول ۴-۲ دیده می‌شود، میانگین غلظت موجود در منطقه مورد مطالعه حدود  $124 \text{ ppm}$  است. همچنین با توجه به رگرسیون تأثیر عوامل اقلیمی بر ریزگرد می‌توان غلظت ریزگرد را در محدوده مورد مطالعه این‌گونه پیش‌بینی نمود.

$$23311 + (\text{فشار}) - 25 + (\text{باد}) + 1 + (\text{رطوبت}) + 17 + (\text{دما}) + 98 = \text{غلظت ریز گرد}$$

مشهد، از عوامل آلوده کننده هوا در این شهر است. همچنین می توان عامل ایجاد ریزگردها در شهر مشهد را می توان به بادهای سیستان و شرایط سطحی دشت نسبت داد. وجود بیابان های اطراف به ویژه صحرای قره قوم ترکمنستان در مسیر سامانه های پرفشار خزر موجب افزایش گردوغبار در بیشتر نقاط استان و مشهد شده است.

نوع ریزگردهای موجود در منطقه متفاوت است که بسته به نوع ایستگاه (مسکونی\_آموزشی مسکونی\_ درمانی مسکونی\_تجاری مسکونی\_ترافیکی) می توان آن ها را متغیر دانست مثلاً در محدوده امام حسین با توجه به ازدیاد ریزگردهای کوچک تر از ۵ ر ۲ می توان ایستگاه را ترافیکی دانست.

تمرکز ریزگردها معمولاً در اطراف کانون آن ها (به عنوان مثال، شهرک های صنعتی، کارخانه های گچ و سیمان، مکان های با تردد خودرو بالا و ...) است. در پژوهش حاضر، نتایج به دست آمده، حاصل نمونه برداری در یک روز است؛ لذا اگر نمونه برداری به صورت مستمر انجام گیرد، نتایج بهتر و قابل استنادتری به دست می آید.

بیشترین غلظت ذرات معلق کمتر از ۵ ر ۲ در ایستگاه های محدوده میدان امام حسین مشاهده می گردد، این ایستگاه ها در مناطقی قرار گرفته اند که بیشتر در معرض گردوغبار ترافیکی هستند. همچنین ذرات با PM بزرگ تر مانند PM<sub>۱۰</sub>، در اطراف مناطقی که دارای فعالیت صنعتی و زمین های بایر هستند مانند نقاط ۱۳،۳۹ و ۹ بیشترین میزان آلودگی را دارا هستند. علاوه بر این در پدیده گردوغبار، فعالیت های منابع ساکن آلودگی هوا از جمله فعالیت های ساختمانی و پروژه های عمرانی در اطراف ایستگاه ها نیز در انتشار این آلاینده مؤثر می باشند. در نتیجه گیری کلی می توان این گونه بیان نمود که حوالی کارخانه سیمان در جاده کلات آلوده ترین نقطه از نظر میانگین PM<sub>۱۰</sub> می باشد. در حال حاضر مهم ترین آلاینده شهر مشهد ذرات معلق با قطر کمتر از ۵ ر ۲ میکرون بوده و مهم ترین منابع تولید این آلاینده در شهرهای بزرگ خودروهای دیزلی، خودروها و

میانگین غلظت PM<sub>۱۰</sub> ها در شمال شهر مشهد در سال ۱۳۹۴، شرق منطقه مورد مطالعه و همچنین شمال و شمال غرب شهر مشهد (غرب منطقه مورد مطالعه) دارای آلودگی بالا و سایر نقاط با توجه به نوع کاربری و ... دارای غلظت های متفاوتی از ریزگردهاست که در مجموع در اواسط و جنوب منطقه غلظت آلودگی پایین تر می باشد (شکل ۴-۱۲). با توجه به اطلاعات داده ای نقشه نقطه ۳۶ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۴۵ ر ۱۳ را داراست و پس از آن به ترتیب نقاط ۲۵ و ۴۷ و ۲۷ قرار می گیرند. نقطه ۶ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰۷ ر ۲۱۹ را داراست و پس از آن به ترتیب نقاط ۹ و ۸ و ۷ قرار می گیرند. همچنین برای سال ۱۳۹۵ می توان گفت که میانگین غلظت PM<sub>۱۰</sub> ها در شمال منطقه مورد مطالعه آلودگی بالا و همچنین در مناطق میانی و غربی آلودگی متوسط و پایین می باشد که در نقشه قابل مشاهده است (شکل ۴-۱۶). با توجه به اطلاعات داده ای نقطه ۲۷ کمترین مقدار ریزگرد با غلظت ۰۳ ر ۹ را داراست و پس از آن به ترتیب نقاط ۳۶ و ۲۵ و ۱۸ قرار می گیرند. نقطه ۶ نیز بیشترین مقدار ریزگرد با غلظت ۲۵ ر ۲۱۸ را داراست و پس از آن به ترتیب نقاط ۹ و ۸ و ۷ قرار می گیرند. همچنین با توجه به جدول ۳-۶، به طور میانگین بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار را به ترتیب در ماه های آذر، دی، بهمن و مهرماه و کمترین تعداد روزهای گردوغباری مربوط به ماه های اردیبهشت و خردادماه گزارش شده است. در شرق منطقه مورد مطالعه غلظت ریزگرد نسبت به کل محدوده بالاتر بوده است که آن را می توان به فعالیت های صنعتی و نیز کارخانه های سیمان و کارگاه های آجرپزی موجود در جاده کلات و نیز معادن شن و گچ شمال شهر نسبت داد. شهرک صنعتی جاده قوچان را نیز می توان به عنوان یکی دیگر از عوامل آلوده کننده در نظر گرفت. یکی دیگر از عوامل ایجادکننده ریزگرد در شهر مشهد و به خصوص منطقه مورد مطالعه را می توان مکان دفن زباله در اطراف شهر مشهد در نظر گرفت. این منطقه علی رغم فاصله نسبتاً زیادی که تا شهر مشهد دارد، به دلیل جهت باد غالب

دما و ... ممکن است در زمان نمونه برداری تأثیرات دور از انتظار داشته باشد.

### پیشنهادها

۱- از وسایل نقلیه عمومی جهت کاهش آلاینده‌گی توسط خودروها استفاده گردد.

۲- به وضعیت بهبود و استانداردسازی کارخانه‌ها و صنایع مربوطه رسیدگی و همچنین به ساخت خودروها مبنی بر کاهش دودزایی اهمیت و توجه لازم گردد.

۳- آبیاری‌های مناسبی در زمین‌های کشاورزی صورت پذیرد تا هم باعث از بین رفتن بافت خاک شده و هم آنکه باعث بهبود پوشش‌های گیاهی گردد و همچنین کاشت درختچه‌ها و پوشش‌های گیاهی متناسب با این اقلیم که بتواند در این اقلیم ماندگاری بیشتری داشته باشد.

۴- به منظور ذخیره و جمع‌آوری نزولات جوی که می‌تواند باعث افزایش رطوبت خاک گردیده و در حفظ پوشش گیاهی نیز مؤثر باشد، حوضچه‌های زیرزمینی احداث گردد.

۵- سازمان نظام‌مهندسی بر اصولی بودن ساختمان‌ها نظارت دقیق‌تری داشته باشد.

۶- در اطراف شهر درختکاری و همچنین مالچ پاشی صورت گیرد تا از حرکت و انتقال ریزگردها توسط بادهای غالب جلوگیری شود.

۷- شهرداری‌ها بر تخلیه زباله‌های ساختمانی نظارت بیشتری داشته باشد. همچنین زه کشی مناسب فاضلاب‌های معادن که خود می‌تواند باعث آلودگی خاک به فلزات سنگین گردد و در نهایت می‌تواند ریزگردهای مخرب ایجاد نماید.

۸- از ماسک‌های مخصوص ریزگرد استفاده شود.

۹- کسانی که زمینه بروز بیماری در آن بیشتر است (کودکان، کهن‌سالان و...) و نیز افرادی که سابقه بیماری دارند در روزهایی که آلودگی هوا از سطح استاندارد پایین‌تر است از منزل خارج نشوند.

۱۰- اندازه‌گیری ماهانه در ایستگاه‌های ثابت و مقایسه آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف

موتورسیکلت‌های کاربراتوری هستند و در صورتی که ناپایداری جوی نظیر باد و باران وجود نداشته باشد، موجب تجمع و انباشت این آلاینده می‌گردد. همچنین هجوم ریزگردها و وقوع پدیده گردوغبار در افزایش غلظت این آلاینده مؤثر است.

طبق نتایج به دست آمده در منطقه مورد پژوهش با توجه به نوع کاربری زمین میزان ریزگرد و تأثیر عوامل به وجود آورنده آن متفاوت است؛ به عنوان مثال، در نمونه‌هایی که در مناطق میدان امام حسین و پل قائم و به طور کلی حاشیه جنوب شرقی تا جنوب غربی مورد پژوهش، بیشترین آلودگی ناشی از آلودگی‌های ترافیکی، در شمال شرق و غرب منطقه مورد پژوهش فعالیت‌های صنعتی را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عامل در نظر گرفت. حاشیه شمالی و همچنین مرکزی به سمت شمال شرق دارای زمین‌های کشاورزی و همچنین زمین‌های بسیاری است که می‌توان منبع آلودگی باشد. شایان ذکر است در شمال شهر مشهد که دارای معادن گچ می‌باشد، می‌تواند در ورود ریزگرد به منطقه مورد مطالعه تأثیر به سزایی داشته باشد. گسترده‌ترین فعالیت‌های تخریبی رایج در داخل حوضه‌های آبریز شامل استخراج سنگ و شن و ماسه جهت استفاده در ساخت‌وسازهای شهری و یا اجرای پروژه‌های زیربنایی است که این مورد نیز می‌تواند در بروز ریزگرد در منطقه تأثیرگذار باشد. همچنین یکی از مناطق دپوی زباله شهر مشهد در شمال غربی محدوده مورد مطالعه است. این منطقه علی‌رغم فاصله نسبتاً زیادی که از شهر دارد، اما به دلیل وزش بادهای غالب در مشهد (جنوب شرقی) و انتقال ذرات توسط باد می‌تواند به عنوان یک منبع ریزگرد در منطقه مورد پژوهش و همچنین کل مشهد محسوب شود.

بر طبق استانداردهای موجود هوای محدوده مورد مطالعه در این پژوهش پاک است. شایان ذکر است که این نتیجه منحصراً نتایج به دست آمده از نمونه برداری در یک روز بوده و نمی‌توان آن را به کل سال تعمیم داد. مثلاً عوامل مختلفی که بر غلظت ریزگردها مؤثر است (ساعات اوج ترافیک، باد،

را در یک روز گرفته شود) و در نهایت دو سری نمونه برداری در دو روز تقریباً یکسان گرفته شد و مبنای این پژوهش قرار گرفت.

۲- به دلیل عدم پراکندگی مناسب نقاط نمونه برداری که سبب باطل شدن نمونه برداری و ازسرگیری آن گردید.

۳- عدم دسترسی به موقع و مستمر به دستگاه های نمونه برداری موجود با توجه به استفاده همزمان دانشجویان با موضوع بررسی ریزگرد.

### سپاسگزاری

از اساتید ارجمند و فرهیخته ام صمیمانه سپاسگزاری می کنم که با راهنمایی های علمی ارزشمند، دقت نظر و پشتیبانی بی دریغ خود، من را در تمامی مراحل تحقیق همراهی نمودند. همچنین مراتب قدردانی خود را به جناب آقای مهندس گوهری و مهندس اسکری ابراز می کنم که با ارائه نکات تخصصی و مشاوره های راهبردی، به بهبود کیفیت علمی مقاله کمک شایانی نمودند.

### پی نوشتها

<sup>1</sup> Whisker

<sup>2</sup> Outliers

### References

Alidadi, A., Jafari, M. 2014. Investigation of the Potential of TOMS, MODIS, and OMI Satellite Data in Dust Storm Zoning.

Arjmand, M. R. 2013. Grain Size Analysis of the Alluvial Aquifer Layers in the Western Mashhad Plain Based on Water Well Drilling Data. Master's Thesis, Shahrood University.

Ehsani Farimani, A. 2012. Design of a Multi-Functional Complex in Mashhad. Master's Thesis, Faculty of Art and Architecture, Shiraz University.

Ghezi, A. 2014. Development of a Dynamic Alluvial Model for Mashhad City and Evaluation of Site Effects of Earthquakes Using One-Dimensional and Two-Dimensional Methods. PhD Dissertation in Engineering Geology, Ferdowsi University of Mashhad.

Hafezi Moghaddas, N., Ghezi, A., Sadeghi, H., Ghafoori, M., Lashkaripour, G. R. 2014.

۱۱- تفکیک ریزگردهای مربوط به منابع طبیعی از انسان زاد و نقش و تأثیر هر یک بر دیگری

۱۲- برداشت کنترل شده از معادن شن و ماسه و گچ و نیز دفن کنترل شده نخاله های ساختمانی و غیره

۱۳- با توجه به این که استانداردهای مورد بررسی برای ذرات PM10 و PM2.5 آمده است، در تحقیقی به بررسی PM های مختلف پرداخته شود تا در آینده بتوان با داده های آن مورد مقایسه قرار گیرد.

۱۴- عدم دسترسی به اطلاعات هواشناسی کافی و همچنین داده های پوشش های گیاهی در سال نمونه برداری می تواند در نتایج به دست آمده تأثیرگذار باشد (لازم به ذکر است الباقی داده ها نیز با تأخیر در اختیار دانشجویان قرار می گیرد که این امر در به روز بودن نتایج مؤثر است).

### محدودیت های پژوهش

۱- نمونه برداری در روزهای متعدد صورت گرفت که متأسفانه به دلیل کامل نشدن نمونه برداری (کمبود زمان، تعدد نمونه برداری در یک مکان برای دستیابی به داده مناسب و...) در یک روز و احتمال تغییر شرایط جوی در روزهای بعد از آن منجر به باطل شدن نمونه های قبلی و ازسرگیری نمونه برداری شد (تا جایی که بتوانم کلیه نمونه ها

### منابع

Investigation of the Effect of Geomorphology on the Engineering Geological Characteristics of Alluvial Deposits in Mashhad City. Engineering Geology and Environment, 24(94), 17-28.

Hosseini, S. A. 2009. Geography of Mashhad City. Mashhad: Ferdowsi University Press.

Iran Water Resources Management Company. (2013). Studies of Mashhad Plain water resources. Tehran: Ministry of Energy.

Jahanzad, N. 2014. Development of an Optimal Land Use Allocation Model: Case Study of Mashhad Metropolitan Area. Master's Thesis in Regional Planning, Tarbiat Modares University, Tehran. Statistical Center of Iran Website. Retrieved from <http://www.amar.org.ir>

Kandler, K., Benker, N., Bundke, U., Cuevas, E., Ebert, M., Knippertz, P., ... & Schütz, L. 2007. Chemical composition and complex refractive index

of Saharan mineral dust at Izana, Tenerife (Spain) derived by electron microscopy. *Atmospheric Environment*, 41(37), 8058–8074.

Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M., Soizi, Z., Peyvandi, Z. 2005. Groundwater Level Decline and Land Subsidence in the Mashhad Plain. Presented at the 9th Geological Society of Iran Conference, Tarbiat Moallem University, Tehran.

Leili, M., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Yunesian, M., Mesdaghinia, A. 2008. The study of PM10 concentration and its health effects in Tehran, Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 5(4), 239–246.

Mahmoudi, S., Gholami, H., Khosroshahi, M. 2014. Source identification and spatial zoning of dust particles in Mashhad using environmental and climatic data. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 45–58.

Mashhad Municipality Statistical Yearbook. (2013). Revised in June 2015.

Melanku, S., Morris, V., Raghavan, D., Hosten, C.

2008. Seasonal variation of heavy metals in ambient air and precipitation at a single site in Washington, DC. *Environmental Pollution*, 155(1), 88–98.

Saghafi Khadem, F. 1995. Investigation of Vegetation Cover in the Mashhad Region. Ministry of Jihad-e Sazandegi.

Tabatabaei, A., Dastgoshadeh, F., Poursad Mehrabani, K., Sepehrnia, S. 2014. Evaluation and Analysis of Heavy Metals (Cd, Hg, Ni, Pb) in Ambient Air of Dust-Affected Provinces in Iran (Case Study: Five Provinces). *Environmental Researches*, 5(9).

Tabatabaei, A., Dastgoshadeh, F., Poursad Mehrabani, K., Sepehrnia, S. 2013. Sources of Dust Storms: Prevention and Solutions. *Ettela'at Newspaper*, November 10.

