

اندازه‌گیری میزان گردوغبار ریزشی و تحلیل فضایی آن در مناطق ۲۲گانه شهر تهران

فاطمه ارسلانی - دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوا، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
بهلول علیجانی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
مهری اکبری - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
شیرین محمدخان* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۳۱

چکیده

هدف از پژوهش حاضر اندازه‌گیری و پهنه‌بندی غبار ریزشی شهر تهران در دوره آماری یک‌ساله (۱۳۹۶/۱۰/۱-۱۳۹۷/۹/۳۰) است. بدین منظور، غبار ریزشی شهر تهران جمع‌آوری شد. وزن غبار ریزشی در زمستان معادل با ۱۸۹۴۳٫۵ تن، در بهار معادل با ۲۷۱۱۹٫۵ تن، در تابستان معادل با ۱۷۱۱۱٫۲ تن، و در پاییز معادل با ۲۳۰۰۲٫۳ تن است. نقشه تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی شهر تهران حاصل ترکیب نه لایه بر اساس وزن تعیین شده برای هر لایه ترسیم شد. بیشترین میزان گردوغبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ در غرب تهران و در بهار، تابستان، و پاییز ۱۳۹۷ در جنوب غرب تهران بوده است. بررسی‌های میدانی ثابت کرد گردوغبار ریزشی در ارتباط مستقیم با ساخت‌وساز شهری قرار دارد. این افزایش با pm_{10} تراکم کارخانه‌ها، تراکم پوشش گیاهی، رطوبت نسبی، بارش بالای ۵ میلی‌متر، دما و سرعت و جهت باد نیز در ارتباط است. باد غالب تهران جهت غرب دارد که از معادن شن و ماسه می‌گذرد. باد غالب در تابستان جنوب شرقی است. باد جنوب شرقی از معادن شن و ماسه، کارخانه‌های سیمان عبور می‌کند و در مسیر خود گردوغبار این مناطق را وارد تهران می‌کند.

واژگان کلیدی: تحلیل فضایی، تله رسوب‌گیر MDCO، شهر تهران، گردوغبار ریزشی.

مقدمه

غبارها به ترکیبات ذره‌ای معلق در هوا گفته می‌شود که از منابع مختلف زمینی و انسان‌ساز به‌وجود می‌آیند و پس از گذشت زمان با توجه به اندازه و چگالی‌شان مجدداً روی سطح زمین فرومی‌نشینند (سلمان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۹). این پدیده می‌تواند به زیرساخت‌ها، ارتباط از راه دور، و محصولات کشاورزی آسیب بزند و حمل و نقل را از طریق کاهش دید تحت تأثیر قرار بدهد و باعث آسیب‌های اقتصادی زیادی شود (کاو و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۶۸؛ سونگ و همکاران، ۲۰۰۷: ۲). ذرات گردوغبار می‌تواند با تغییر تعادل تابشی در اتمسفر نقش مهمی در اقلیم ایفا کند (تجن و همکاران، ۱۹۹۷: ۳۳۹۱۷؛ لو و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۰۲۴). همچنین، باعث تغییراتی در خواص فیزیکی و طیفی ابرها می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۰۲۵). علاوه بر این، گردوغبار می‌تواند همچون کاتالیزوری برای واکنش انواع گازها در اتمسفر باشد (دنتنر و همکاران، ۱۹۹۸: ۸۷۱) و می‌تواند به طور قابل توجهی فرایندهای فتوشیمیایی را تغییر دهد (دیکرسون و همکاران، ۱۹۹۷: ۸۲۹). طوفان‌های گردوغبار به دلیل حمل سایر ذرات از قبیل باکتری‌ها، قارچ‌ها، و آلاینده‌های شیمیایی (بنیون و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۱۰۴) می‌تواند سلامت انسان را به‌خطر بیندازد (پوول و همکاران، ۲۰۱۳: ۶). سازمان جهانی بهداشت برآورد کرده است که سالانه ۵۰۰۰۰۰ نفر در

مواجهه با این مخاطره دچار مرگ زودرس می‌شوند (گودی و میدلتون، ۲۰۰۱: ۱۸۱). همچنین، در سال‌های اخیر فراوانی طوفان گردوغبار و شدت آن به‌طور معنی‌داری در ایران افزایش یافته است (درویشی بلورانی و همکاران ۲۰۱۴: ۱). دلایل متعددی می‌توان برای پدیده ریزگرد بیان کرد، از جمله این عوامل می‌توان اشاره کرد به تغییر اقلیم، کمبود بارندگی، وقوع خشک‌سالی، و تخریب پوشش گیاهی (دینگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۳). فراوانی طوفان‌های گردوغبار ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیم محلی مثل بارندگی، دما، و همچنین ویژگی‌های سطحی زمین مثل پوشش گیاهی و بافت خاک دارد (سان و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۰۳۳۱). سرعت باد مؤلفه مهمی برای تولید و حمل گردوغبار است (کوروساکی و ماکامی، ۲۰۰۳: ۴). بالارفتن ذرات گردوغبار تابعی از سرعت باد سطحی و رطوبت است. وجود و فقدان رطوبت در کنار هوای ناپایدار از مهم‌ترین شرایط ایجاد گردوغبار است؛ به‌طوری‌که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق ایجاد می‌کند و اگر فاقد رطوبت باشد، طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند (علیجانی، ۱۳۷۶: ۹۵). بادهایی که باعث بروز طوفان‌های گردوغبار می‌شوند اغلب دارای سرعتی بین ۸ تا ۱۸ متر در ثانیه‌اند (شالو و همکاران، ۲۰۰۷: ۹۵۸). بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای ارتباط بین فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغبار داخلی در استان خوزستان را با تغییرات مکانی-زمانی پارامترهای اقلیمی، پوشش گیاهی، و نوع خاک بررسی و مدل‌سازی کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد در مناطقی که کمترین پوشش گیاهی، حداقل بارندگی، و بیشترین دما و سرعت باد وجود داشت بیشترین فراوانی ریزگردها به‌چشم می‌خورد. باآلودن درجه حرارت، به‌خصوص طی دوره وزش بادهای، قطع منابع بارش و خشکی فیزیکی محیط باعث تشدید تأثیرات محیطی وزش باد می‌شود و کاهش رطوبت خاک و رسوبات ریزدانه امکان تغذیه طوفان‌های گردوغباری را فراهم می‌کند (خسروی، ۱۳۸۷: ۱۹). مطالعات یوان و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد نوع و میزان پوشش گیاهی در شدت وقوع گردوغبار نقش مهمی برعهده دارد. به‌علت فقدان پوشش گیاهی در مناطق مستعد گردوغبار، هوای سطح زمین این مناطق گرم می‌شود، به سمت بالا حرکت می‌کند، و زمانی که به بادهایی با سرعت بالای تروپوسفری برخورد کند، یک جریان چرخشی سرد متمایل به سمت پایین ایجاد می‌کند که این بادهای با شدت بالا در برخورد با سطح زمین باعث ایجاد طوفان گردوغبار می‌شوند. مطالعات وانگ و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که همبستگی منفی بین پوشش گیاهی و وقوع ریزگرد وجود دارد. رایگانی و همکاران (۱۳۹۵)، با شبیه‌سازی عددی جریان هوا، مسیر عبور گردوغبار و کانون‌های آن را در استان البرز شبیه‌سازی کردند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد بالاترین میزان فرسایش‌پذیری خاک در مسیر جنوب شرقی-شمال غربی و مربوط به زمین‌های کشاورزی رهاشده جنوب و جنوب شرق شهر کرج یا جنوب غرب استان تهران (زمین‌های کشاورزی اطراف اسلام‌شهر و رباط‌کریم) است که در عملیات میدانی این پژوهش نیز این مناطق جزو مناطقی با پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا به‌شمار آمدند. عبدی ویشکایه و همکاران (۲۰۱۱)، با بررسی توزیع عمودی انتشار گردوغبار و منابع آن در تابستان ۲۰۰۷ در شمال غرب ایران، با استفاده از مدل HYSPLIT، نشان دادند که منابع گردوغبار ایران در ۳ و ۵ ماه اوت از سوریه، عراق، و منطقه قم (دریاچه نمک در نزدیکی دشت کویر) است. این رخداد پاسخی به وزش بادهای قوی شمال از ناحیه دشت کویر قم است. اما گردوغبار ناشی از ماه سپتامبر (۱۱ و ۱۳) در زنجان و تهران با توزیع عمودی در سطوح پایینی جوی ناشی از عراق بوده است. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران را با استفاده از مدل HYSPLIT ردیابی و سیستم‌های گردشی جو را در سطوح مختلف بررسی کردند. مطالعه مسیرهای انتقال ذرات از خروجی مدل نشان داد که به‌طور کلی منابع اصلی غبار بر روی تهران در عرض‌های ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی محدوده‌ای در حد فاصل عراق، عربستان، و سوریه است. بررسی ارتفاعی ذرات انتشاریافته نشان می‌دهد ذرات گردوغبار در لایه‌های بالایی به سمت ایران جریان پیدا کرده و در سطوح پایین‌تری به تهران رسیده است.

اندازه‌گیری غبار ریزشی به‌منظور اجرای مطالعاتی چون تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمانی و مکانی گردوغبار، بررسی ترکیب فیزیکی و تجزیه شیمیایی آن، و تعیین عناصر مضر ضروری است. هدف از تحلیل فضایی تحلیل پراکندگی‌ها یعنی توصیف ساختار فضایی و استدلال این ساختارها از طریق روابط فضایی و سرانجام برنامه‌ریزی فضایی فعالیت‌های انسان است (علیچانی، ۱۳۹۴: ۱). امروزه، برای برآورد اندازه‌گیری غبار ریزشی دو روش محاسبات تئوری و آزمایشگاهی وجود دارد. در روش آزمایشگاهی از تله رسوب‌گیر برای جمع‌آوری غبارهای افقی و عمودی استفاده می‌شود. تحقیقات گوسن و آفر (۲۰۰۰) نشان داد که از مهم‌ترین ویژگی تله رسوب‌گیر کارآمدی آن است و راندمان یک تله رسوب‌گیر به عوامل مختلفی نظیر اندازه و شکل تپله، سرعت باد، اندازه ذره، فیلتر جمع‌کننده گردوغبار در تله و زمان وابسته است. مودایش و همکاران (۲۰۱۷) در ریاض، عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در یزد، اکبری و همکاران (۱۳۹۱) در بهبهان، ترنج‌زر و همکاران (۱۳۹۶) در قم، صدریان و همکاران (۱۳۹۲) در ایلام، جعفری و خادمی (۱۳۹۳) در کرمان، و کریمیان و همکاران (۱۳۹۵) در اهواز با اندازه‌گیری کمی غبار ریزشی، با کمک تله رسوب‌گیر^۱ MDCO، توانستند میزان وزن و حجم گردوغبار را در دوره آماری مورد مطالعه خود اندازه‌گیری کنند که میزان گردوغبار به‌دست‌آمده در ایستگاه‌های مورد نظر ایشان متفاوت بود و عوامل این اختلاف را در ریاض به عوامل محلی، تردد وسایل نقلیه، و کمربند سبز اطراف شهر، در یزد به فعالیت‌های ساختمانی، کمبود فضای سبز، و وجود زمین‌های بایر، در بهبهان به تغییر پوشش شهری، نزدیکی به مناطق باز حاشیه شهر، تغییر در زبری سطح شهر، جهت خیابان‌ها نسبت به بادهای غالب، و میزان تردد وسایل نقلیه، در قم به تابع وضعیت و موقعیت محلی ایستگاه‌ها، در ایلام به فعالیت‌های انسانی، عمرانی، اراضی بدون پوشش، بایر، و حتی بادپناهی، و در اهواز به دخالت عوامل محلی مانند وجود زمین‌های بایر و عاری از پوشش و پروژه‌های عمرانی رهاشده نسبت دادند. با وجود اینکه مطالعاتی در زمینه گردوغبار در استان تهران انجام گرفته است، در مورد محاسبه میزان گردوغبار ریزشی و تحلیل فضایی آن فقر اطلاعاتی وجود دارد. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر اجرای این مهم است تا بتوان برنامه‌های دقیق، علمی، و کاربردی برای شناسایی، جلوگیری، و کاهش اثرهای مخرب این مخاطره محیطی طرح‌ریزی کرد.

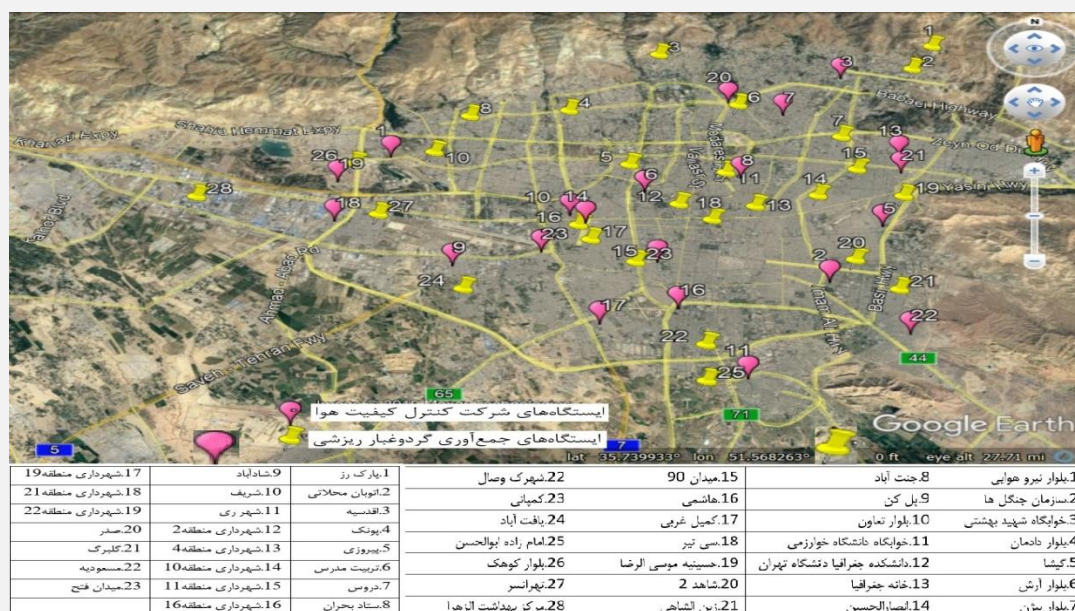
مواد و روش‌ها

کلان‌شهر تهران با وسعتی بالغ بر ۷۳۳ کیلومتر مربع در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهر در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان محصور شده و عملاً از نظر توسعه، شکل، و موقعیت تابع این استقرار است. پستی و بلندی اطراف پهنه شهر دارای اختلاف ارتفاعی حدود ۴۸۷۸ متر از قله دماوند تا نقاط پست دشت کویر با حدود ۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریاست. این اختلاف ارتفاع در خود شهر تهران نیز به چشم می‌خورد؛ به‌گونه‌ای که شمال شهر حدود ۱۷۰۰ متر و جنوب شهر حدود ۹۰۰ متر از سطح دریا بلندتر است. براساس داده‌های مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر تهران برابر با ۸۶۹۳۷۰۶ نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

در این پژوهش برای اندازه‌گیری غبار ریزشی از روش آزمایشگاهی و جمع‌آوری غبار با استفاده از تله رسوب‌گیر استفاده شد. تله مورد استفاده MDCO بوده است که به‌طور گسترده در جهان استفاده می‌شود و در تحقیقات بیابانی

۱. تله رسوب‌گیر تپله‌ای (Marble Dust Collector)

عمومیت زیادی دارد. این رسوب‌گیر را ابتدا گانر (۱۹۷۵) طراحی کرد. دستگاه مذکور شامل یک ظرف دایره‌شکل (انواع مختلف از ظروف به‌کار می‌رود، اما دایره‌ای بهتر از انواع مستطیلی است، چون تأثیرات جهت باد بر روی ظروف مستطیل‌شکل نمود بیشتری دارد) به قطر ۵۰ سانتی‌متر است که با یک ورق آلومینیوم به‌منظور جلوگیری از ایجاد الکتریسیته ساکن بین غبار و ظرف پوشیده‌شده و درون ظرف سه ردیف گوی شیشه‌ای (تبله) استاندارد شده به قطر ۱٫۶ سانتی‌متر ریخته شده است. تبله‌های موجود در این رسوب‌گیر به‌عنوان فیلتر عمل می‌کنند و موجب به‌دام‌انداختن ذرات می‌شوند و از خروج ذرات به بیرون از تله بر اثر وزش باد یا ریزش‌های رگباری جلوگیری می‌کنند که دلیل این امر را می‌توان در ایجاد زبری توسط سطوح گوی‌های شیشه‌ای دانست (جیا و هانگ، ۲۰۰۸). در این پژوهش برای توزیع مناسب تله‌های رسوب‌گیر در سطح شهر، در هر منطقه یک تله رسوب‌گیر نصب شد و در مناطقی که وسعت بیشتری را شامل می‌شدند دو یا سه تله نصب گردید (شکل ۱).

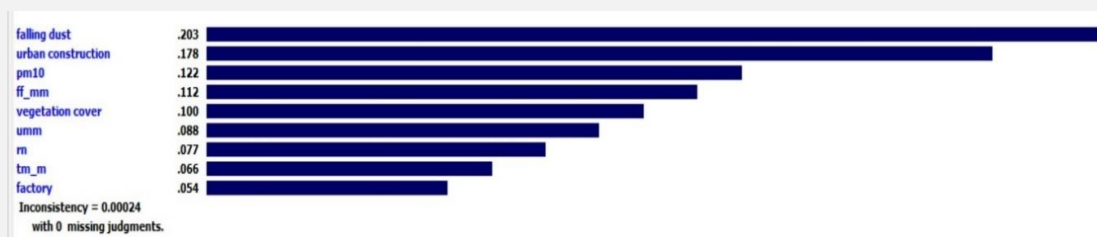


شکل ۱. موقعیت مکان‌های جمع‌آوری گردوغبار و ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوا در Google Earth

نمونه‌گیری در چهار دوره (سه‌ماهه) زمستان ۱۳۹۶، بهار ۱۳۹۷، تابستان ۱۳۹۷، و پاییز ۱۳۹۷ انجام شد و در مجموع ۱۰۴ نمونه غبار ریزشی از مناطق مختلف شهر جمع‌آوری شد. غبارهای به‌دام‌افتاده در تله‌های رسوب‌گیر با دقت تمام جمع‌آوری و با استفاده از ترازوی سه رقم اعشار توزین شد. مقدارها بر حسب گرم در متر مربع است که نهایتاً بر حسب تن محاسبه شد. در ادامه نمودار مربوطه برحسب وزن گردوغبار در مناطق مختلف و فصول مختلف رسم شد. سپس، برای تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی، نخست مقدار غبار ۲۸ ایستگاه انتخاب‌شده جمع‌آوری غبار در دوره آماری یک‌ساله (۱۳۹۶/۱۰/۱-۱۳۹۷/۹/۳۰) برای ورود به محیط Arc Map 10.5 و تهیه لایه‌های مورد نظر آماده‌سازی شد. سپس، داده‌های PM10 شهر تهران در دوره آماری یک‌ساله (۱۳۹۶/۱۰/۱-۱۳۹۷/۹/۳۰) از آرشیو غلظت آلاینده‌ها در سایت شرکت کنترل کیفیت هوا (<http://air.tehran.ir>) اخذ شد و همچنین این داده‌ها آماده ورود به محیط ArcMap 10.5 برای تهیه لایه‌های مورد نیاز شد. نقشه پراکنده‌ی موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، تعداد پروژه‌های ساختمانی در دست ساخت، به تفکیک هر منطقه از تهران در دوره آماری یک‌ساله

(۱۳۹۶/۱۰/۱-۱۳۹۷/۹/۳۰) از سازمان شهرداری شهر تهران دریافت شد. به دلیل عدم مطابقت لایه‌ها با همدیگر برای آنها سیستم مختصات با زون مشخص و یکسان تعریف شد. از میان روش‌های درون‌یابی، روش کریجینگ به این دلیل که هر دو ساختار منطقه‌ای و ساختار محلی را در نظر می‌گیرد، مناسب‌تر تشخیص داده شد. بررسی آماری داده‌ها در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که گردوغبار جمع‌آوری شده pm_{10} و تعداد پروژه‌های ساختمانی در حال اجرا دارای رفتار منطقه‌ای (روند) هستند. بنابراین، از کریجینگ رونددار^۱ استفاده شد. همچنین، پارامترهای میانگین ماکزیمم سرعت باد، میانگین رطوبت نسبی، تعداد روز بارش بالاتر از ۵ میلی‌متر، میانگین دمای شهر تهران در دوره آماری یک‌ساله (۱۳۹۶/۱۰/۱-۱۳۹۷/۹/۳۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. به سبب وجود پیش‌شرط‌های زیاد ایستایی هنگام استفاده از کریجینگ در منطقه با تعداد ایستگاه‌های کمتر هواشناسی (چیتگر، ژئوفیزیک، مهرآباد، و شمیران)، کریجینگ اجزاشدنی نیست. بنابراین، روش درون‌یابی IDW^2 برای این پارامترهای اقلیمی انتخاب شد. همچنین، لایه‌های پوشش گیاهی و کارخانه دریافت شد و با تحلیل فاصله اقلیدسی^۳ هر یک از این عوارض برای شهر تهران در GIS، تأثیر آن در گردوغبار هر منطقه لحاظ شد. سپس، همه لایه‌های ساخته‌شده برای تعیین ارزش وزنی با استفاده از ابزار Reclassify وزن‌دهی شد. لایه‌های طبقه‌بندی‌شده^۴ به صورت استاندارد با وزن و واحد یکسان‌اند تا هنگامی که لایه‌ها روی هم قرار می‌گیرند نقشه نهایی به صورت استاندارد باشد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice همه لایه‌ها دوبه‌دو با هم مقایسه شد تا ارزش هر لایه نسبت به لایه دیگر سنجیده شود (شکل ۲). بالاترین ارزش با توجه به اینکه هدف مطالعه اندازه‌گیری گردوغبار ریزشی است، به مقدار گردوغبار ریزشی تعلق گرفته است. ارزش بعدی به تعداد ساخت‌وساز مسکن در مناطق مختلف تعلق گرفته است. چون براساس مشاهدات میدانی در پروژه حاضر ثابت شد ساخت‌وساز توانسته است در مقدار گردوغبار ریزشی جمع‌آوری‌شده نقش قابل توجهی ایفا کند، ارزش بعدی به pm_{10} به عنوان یک متغیر مستقل تعلق می‌گیرد. افزایش و کاهش pm_{10} در یک منطقه می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. همچنین، ذرات کوچک‌تر به نقاط دورتر پراکنده می‌شوند. مثلاً، در نزدیکی ساخت‌وساز مقدار ذرات درشت‌تر بیشتر است و هر چه فاصله بیشتر می‌شود باد توانسته است ذرات ریزتر حاصل از منشأ را جابه‌جا کند. ارزش بعد از pm_{10} به باد تعلق می‌گیرد، چون در جابه‌جایی ذرات یا کمک به ته‌نشینی آن نقش دارد. پوشش گیاهی به‌عنوان فیلتر هوا عمل می‌کند و مقدار قابل ملاحظه‌ای از گردوغبار را دریافت می‌کند. بنابراین، ارزش بعدی به آن تعلق می‌گیرد. از مهم‌ترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار وجود یا فقدان رطوبت هواست. از این رو، رطوبت در مرتبه بعد از پوشش گیاهی قرار می‌گیرد. مسلماً بعد از هر بارش بالاتر از ۵ میلی‌متر، گردوغبار هوا شسته می‌شود و از جو خارج می‌شود. بنابراین، این لایه در مرتبه بعد از رطوبت دارای ارزش است. همچنین، دما به‌عنوان پارامتر مستقل و تأثیرگذار بعد از بارش بالاتر از ۵ میلی‌متر دارای ارزش است. زیرا افزایش دمای هوا خشکی هوا را به دنبال دارد و خشکی هوا در کنار هوای ناپایدار باعث ایجاد طوفان گردوغبار است. در مرتبه بعد فاصله از کارخانه‌ها لحاظ شده است. زیرا سوخت بیشتر کارخانه‌ها از مواد فسیلی مانند نفت و زغال سنگ است که آلودگی‌های شدیدی در اثر استفاده از این سوخت‌ها ایجاد می‌شود. گازهای آلاینده خروجی آن در جو به ذرات معلق تبدیل می‌شود.

1. Universal
2. Inverse Distance Weighted
3. Euclidean distance
4. Reclassify

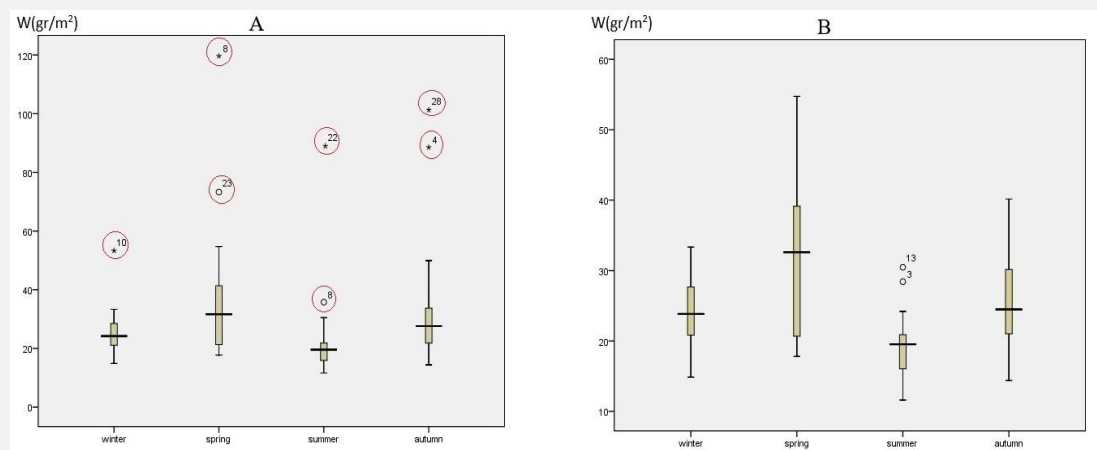


شکل ۲. مقدار پارامترهای مورد نظر در نرم افزار Expert Choice

پس از به دست آمدن ارزش‌ها، لایه‌ها به درون ابزار Raster Calculator منتقل شد. ارزش‌های به دست آمده در هر لایه ضرب شد. همه لایه‌ها به درون ابزار Fuzzy Over layer منتقل شد و نقشه نهایی تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی شهر تهران با استفاده از تابع $Gama 0.9$ ترسیم شد.

یافته‌های پژوهش

توزیع گردوغبار ریزشی شهر تهران در ایستگاه‌های مختلف و در فصول مختلف سال متفاوت است. نتایج محاسبات انجام شده روی داده‌های حاصل از جمع‌آوری گردوغبار ریزشی شهر تهران نشان داد که وزن غبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ معادل با ۱۸۹۴۳٫۵ تن، در بهار ۱۳۹۷ معادل با ۲۷۱۱۹٫۵ تن، در تابستان ۱۳۹۷ معادل با ۱۷۱۱۱٫۲ تن، و در پاییز ۱۳۹۷ معادل با ۲۳۰۰۲٫۳ تن است. به عبارتی دیگر، در فصل زمستان ۱۳۹۶ معادل ۱۸۹۴، در بهار ۱۳۹۷ معادل ۲۷۱۱، در تابستان ۱۳۹۷ معادل ۱۷۱۱، و در پاییز ۱۳۹۷ معادل ۲۳۰۰ کامیون ۱۰ تنی خاک بر سر مردم تهران ریخته شده است (شکل ۳- A). همچنین، نتایج نشان داد بیشترین گردوغبار ریزشی به ترتیب در فصول بهار، پاییز، زمستان، و تابستان بوده است.



شکل ۳. وزن گردوغبار ریزشی در ایستگاه‌های جمع‌آوری غبار شهر تهران؛ A: ایستگاه‌های درگیر ساخت‌وساز لحاظ شده است؛ B: ایستگاه‌های درگیر ساخت‌وساز حذف شده است

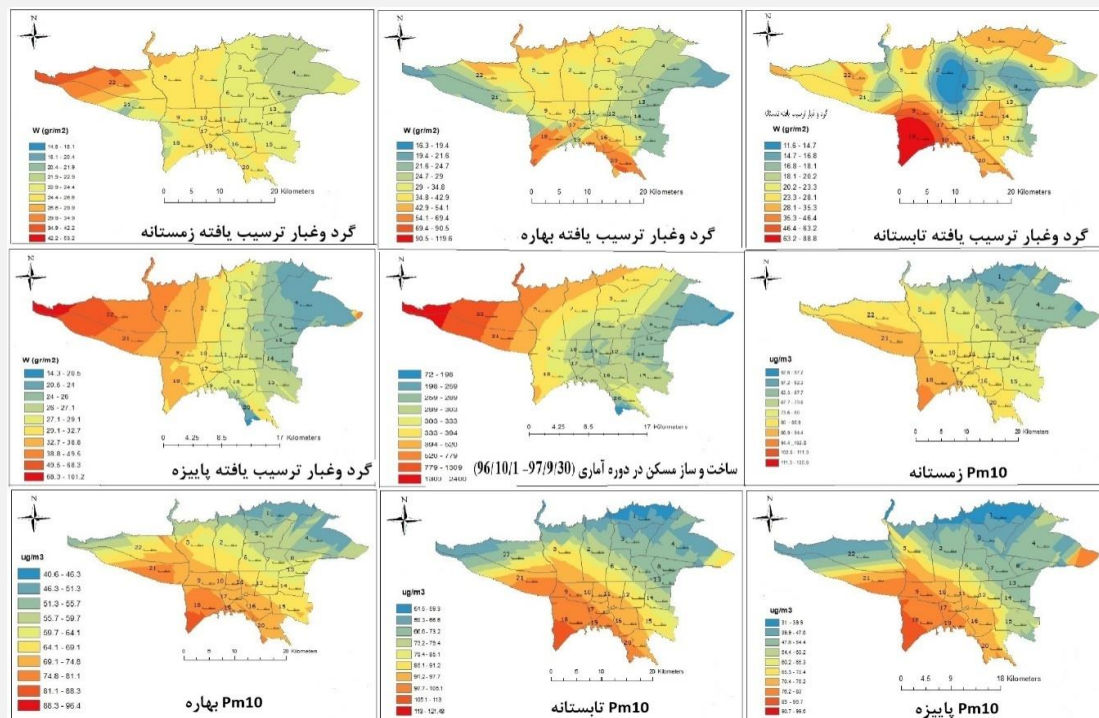
همان‌طور که در شکل ۳- A نشان داده شده است، فصل زمستان غبار ریزشی بیشتری نسبت به تابستان داشته، ولی نسبت به دو فصل بهار و پاییز غبار ریزشی کمتری داشته است. نقطه ۱۰ ایستگاه پل کن واقع در منطقه ۵ با ۵۳٫۲۹ گرم در متر مربع بیشترین وزن غبار ریزشی را در زمستان ۱۳۹۶ داشته است که فاصله‌ای حداقل به اندازه $+3$ واحد انحراف

استاندارد با میانگین داشته است. بررسی‌های میدانی نشان داد در این فصل در پنجاهمتری غرب ایستگاه مورد نظر پروژه ساختمانی در حال اجرا بوده است. فصل بهار بیشترین مقدار غبار ریزشی را در سال آماری مورد مطالعه داشته است. نقطه ۸ ایستگاه جنت‌آباد در منطقه ۵ با مقدار ۱۱۹,۶۴ گرم در متر مربع بیشترین غبار ریزشی را داشته است. بررسی‌های میدانی روشن کرد در این فصل در سی‌متری روبه‌روی ایستگاه مورد نظر پروژه ساختمانی شروع به فعالیت کرده و در مرحله اولیه گودبرداری و خاک‌برداری بوده است و توانسته مقدار گردوغبار ریزشی در این ایستگاه را به حدود ۳,۵ برابر نسبت به فصول دیگر افزایش دهد. از سوی دیگر، ایستگاه پل کن (17.73 g/m^2)، واقع در منطقه ۵، که به دلیل ساخت‌وساز در نزدیکی آن در زمستان ۱۳۹۶ بالاترین غبار ریزشی را داشت، در این فصل از ۸۰ درصد داده‌ها گردوغبار ریزشی کمتری دارد. بررسی‌های دقیق میدانی اطراف ایستگاه مورد نظر نشان‌دهنده اتمام فعالیت ساخت‌وساز در اواخر اسفند ۱۳۹۶ است؛ که در نتیجه آن مقدار غبار ریزشی جمع‌آوری شده از این ایستگاه به شکل قابل توجهی کاهش یافت. نقطه ۲۳، ایستگاه واقع در خیابان کمپانی، منطقه ۱۷ نیز به‌عنوان داده نسبتاً پرت معرفی شده است. بررسی‌های میدانی حاکی از آغاز پروژه ساختمانی و عملیات گودبرداری و خاک‌برداری در بازه زمانی مورد نظر است که باعث افزایش قابل توجه حجم غبار ریزشی در این ایستگاه نسبت به فصل گذشته شده است. فصل تابستان کمترین غبار ریزشی را داشته است. نقطه ۲۲، ایستگاه یافت‌آباد (88.51 g/m^2)، واقع در منطقه ۱۸، بیشترین گردوغبار ریزشی را داشته است. براساس بررسی‌های میدانی، زمین‌های بایر در نزدیکی ایستگاه مورد نظر وجود دارد. این مناطق، به‌خصوص در فصل تابستان، که هوا خشک‌تر است و ذرات گردوغبار چسبندگی کمتری دارند و به‌راحتی به اطراف پراکنده می‌شوند، باعث ایجاد افزایش گردوغبار ریزشی در این منطقه شده است. بررسی آماری داده‌ها نشان داد گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده از ایستگاه جنت‌آباد و کمپانی در این فصل نسبت به بهار کاهش چشم‌گیری داشته و به حدود یک‌سوم فصل بهار رسیده است. زیرا عملیات گودبرداری و خاک‌برداری در اطراف ایستگاه‌های ذکر شده پایان یافته و اطراف ساختمان مورد نظر حصار کشیده شده بود. در مرتبه بعد از فصل بهار، فصل پاییز ۱۳۹۷ بیشترین گردوغبار ریزشی را داشته است. نقطه ۲۸ ایستگاه بلوار کوهک، واقع در منطقه ۲۲، با ۱۰۱,۲۹ گرم در متر مربع، بیشترین غبار ریزشی را داشته است. در این فصل، ایستگاه مورد مطالعه درگیر مرمت و بازسازی بنا بوده است و این عملیات توانسته مقدار گردوغبار ریزشی در این ایستگاه را به حدود ۵ برابر نسبت به فصول دیگر در این ایستگاه افزایش دهد. نقطه ۴، ایستگاه بلوار دامن، واقع در منطقه ۲، با ۸۸,۵۱ گرم در متر مربع، نیز داده پرت معرفی شده است. بررسی‌های میدانی روشن کرد در این فصل در چهل‌متری غرب ایستگاه مورد نظر فعالیت پروژه ساختمانی شروع شده و موجب افزایش مقدار گردوغبار ریزشی در این ایستگاه به بیش از ۳,۵ برابر نسبت به فصول دیگر شده است.

بررسی اولیه داده‌های حاصل از جمع‌آوری غبار ریزشی همراه بررسی‌های دقیق میدانی نشان داد افزایش گردوغبار ریزشی به‌صورت موضعی در مناطق مختلف شهر تهران در ارتباط با ساخت‌وساز شهری، به‌خصوص مرحله تخریب و گودبرداری ساختمان، و همچنین در منطقه ۱۸ در ارتباط با زمین‌های بایر است و با روند منطقه‌ای گردوغبار در ارتباط نیست.

در ادامه، داده‌های پرت، که مربوط به ساخت‌وساز شهری بود، از بین داده‌ها حذف شد و نمودار جعبه‌ای آن برای مقایسه فصول مختلف در حالتی که ساخت‌وساز دخیل نباشد، با حالتی که ساخت‌وساز دخیل هست، رسم شد. با حذف ایستگاه‌های دارای مقادیر پرت تغییری در ترتیب غبار ریزشی در فصول مورد مطالعه ایجاد نشد. همچنان بیشترین غبار ریزشی به ترتیب در بهار، پاییز، زمستان، و تابستان است (شکل ۳- B).

برای سنجش نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ و آزمون شاپیرو-ویلک^۲ استفاده شد. سپس، برای بررسی معنی‌داری تفاوت میانگین‌های غبار ریزشی در فصول مختلف سال از ANOVA یک‌طرفه استفاده شد. سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده کمتر از ۰,۰۵ است ($P < 0.05$) که نشان داد بین میانگین فصول مختلف مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار وجود دارد. چون حجم گروه‌ها با همدیگر متفاوت است، برای مقایسه جفتی بین فصول از آزمون تعقیبی شفه استفاده شد. بررسی جفتی فصول نشان داد بین میانگین غبار ریزشی در زمستان-بهار، تابستان-بهار، و تابستان-پاییز تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) وجود دارد. ولی بین سایر فصول تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. از آنجا که در فصل پاییز و بهار هوا ناپایدارتر است، گردوغبار بیشتری در سطح شهر پراکنده می‌شود. فصل زمستان، پس از پاییز، بیشترین غبار ریزشی را دارد. احتمالاً ترسیب عمودی ذرات غبار ریزشی از طریق ریزش‌های جوی (برف و باران) در این افزایش مؤثر بوده است.



شکل ۴. تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی، ساخت‌وساز مسکن، و pm_{10}

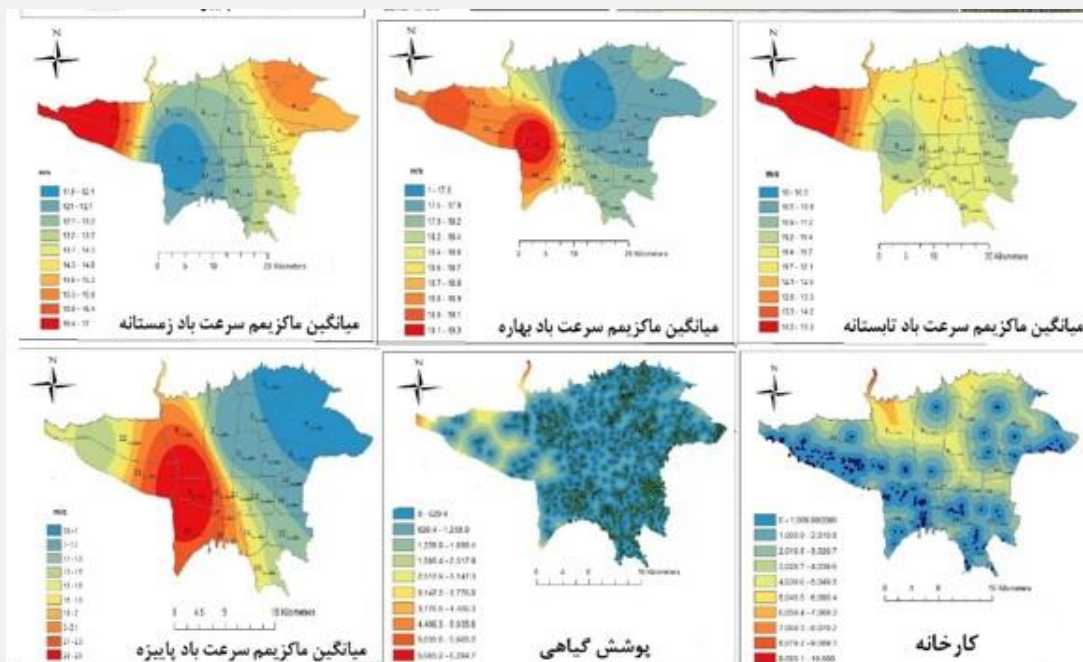
الگوی منطقه‌ای گردوغبار تهران در زمستان از تابع درجه اول تبعیت می‌کند. در این فصل هر چه از غرب به شرق حرکت کنیم روند گردوغبار ریزشی کاهش می‌یابد و در راستای شمال به جنوب با شیب بسیار ملایمی روند کاهشی دارد؛ به طوری که در نقشه پهنه‌بندی غبار ریزشی نامحسوس است (شکل ۴). الگوی منطقه‌ای بهار روند متفاوتی را نشان می‌دهد و از غرب به شرق از تابع چندجمله‌ای درجه دوم تبعیت می‌کند. در بهار، نواحی مرکزی تهران حجم گردوغبار بیشتری نسبت به نوار شرق و غربی دارد و در راستای شمال به جنوب شیب بسیار کمی دارد؛ به طوری که مساحت زیادی از مناطق مرکزی تهران در راستای شمال به جنوب الگوی یکسانی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار گردوغبار در مناطق

1. Kolmogorov-Smirnov

2. Shapiro-Wilk

۱۶ تا ۲۰، که در جنوبی‌ترین بخش تهران قرار دارد، وجود دارد. همچنین، شامل نوار بسیار باریکی از شمال مناطق ۲، ۵، و ۲۲ است (شکل ۴). این الگو در تابستان نیز ساختار منطقه‌ای متفاوتی دارد و روند آن از غرب به شرق با فراز و نشیب‌های ملایمی کاهشی است و از شمال به جنوب از تابع چندجمله‌ای درجه دوم تبعیت می‌کند و کمترین مقدار خود را در مناطق ۲ و ۶ دارد (شکل ۴). در پاییز الگوی منطقه‌ای گردوغبار ساختار خاص خود را دارد که از غرب به شرق با شیب تندی کاهشی است و از شمال به جنوب از تابع چندجمله‌ای درجه دوم تبعیت می‌کند (شکل ۴). ثابت‌نبودن روند مکانی گردوغبار ریزشی در فصول مختلف سال می‌تواند نشان‌دهنده یکسان‌نبودن منشأ گردوغبارهای ریزشی شهر تهران در طول سال باشد. الگوی منطقه‌ای ساخت‌وساز تهران از غرب به شرق افزایشی و از شمال به جنوب کاهشی است. بیشترین ساخت‌وساز در سال آماری مورد مطالعه در غرب تهران واقع در منطقه ۲۲ (تعداد ۲۴۰۰) در مرتبه بعد منطقه ۲۱ (تعداد ۱۲۰۹) بوده است و کمترین آمار ساخت‌وساز مربوط به منطقه ۴ (تعداد ۷۲)، در مرتبه بعد منطقه ۹ (تعداد ۱۶۵) بوده است (شکل ۴).

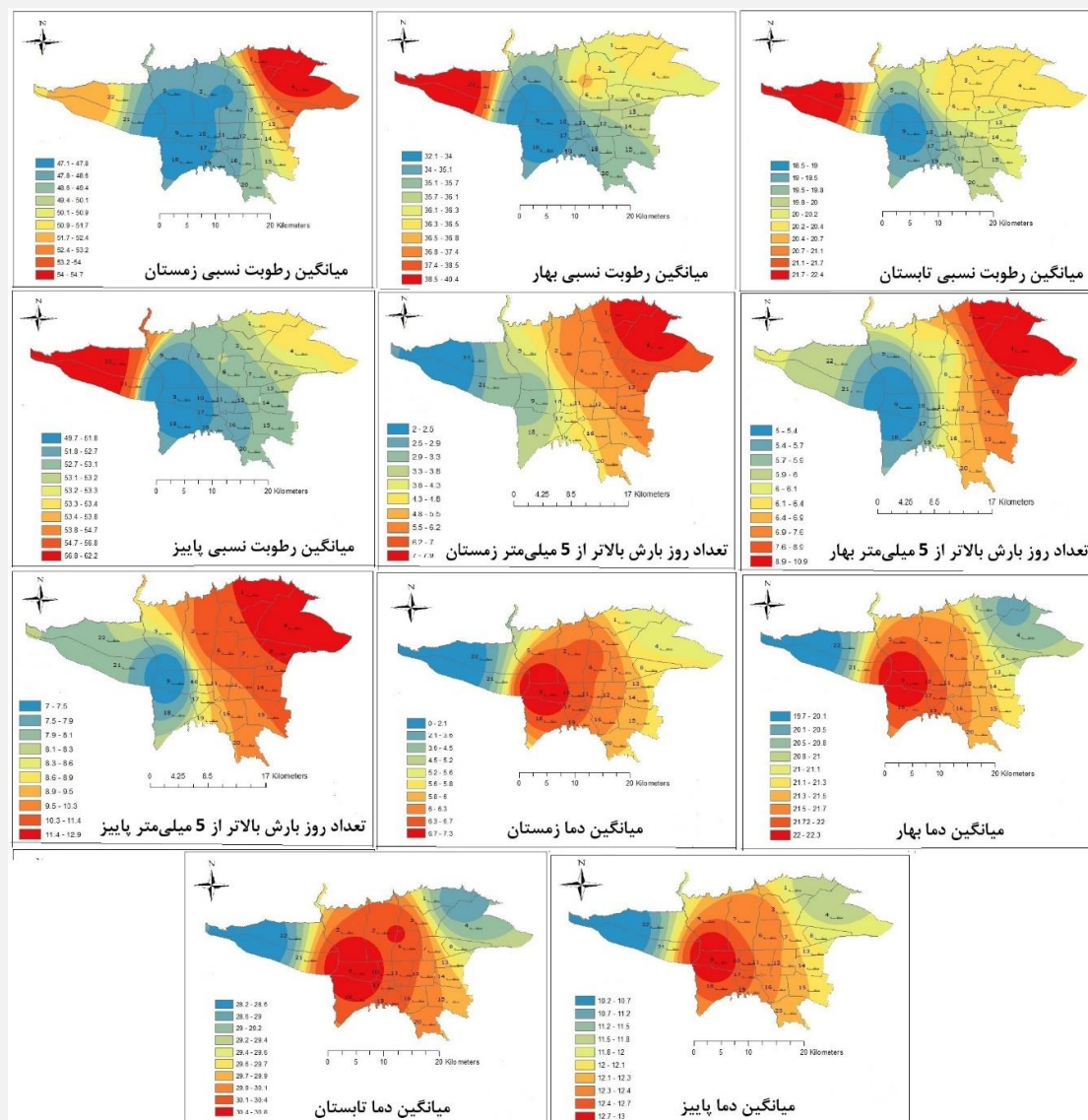
الگوی منطقه‌ای pm_{10} تهران در همه فصول سال با شدت و ضعف متفاوت شبیه به هم بوده است و از غرب به شرق روند کاهشی دارد و از شمال به جنوب از تابع درجه دوم تبعیت می‌کند. اگر تهران را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کنیم، مناطق شمالی نسبت به مناطق جنوبی از نظر pm_{10} هوای پاک‌تری دارند (شکل ۴).



شکل ۵. پهنه‌بندی میانگین ماکزیمم سرعت باد و تحلیل فاصله اقلیدسی پوشش گیاهی و کارخانه

در زمستان ۱۳۹۶ و تابستان ۱۳۹۶ بیشینه ماکزیمم سرعت باد در غرب تهران است. بیشترین ساخت‌وساز شهری هم در همین منطقه قرار داشت که باد با سرعت بالایی می‌تواند به‌طور محلی گردوغبار مربوط به ساخت‌وساز را در سطح شهر پراکنده کند. کمترین ماکزیمم سرعت باد زمستانه در جنوب غرب تهران و کمترین آن در تابستان در مناطق ۱ و ۴ است. بیشینه ماکزیمم سرعت باد در بهار و پاییز در جنوب غرب تهران (منطقه ۹) قرار دارد و کمترین آن در مناطق ۳، ۲، و ۶ قرار دارد (شکل ۵).

تاج پوشش گیاهی سایه ایجاد می‌کند و تبخیر و تعرق را در زیر این تاج افزایش می‌دهد. بنابراین، میکروکلیمایی با دمای پایین‌تر و رطوبت بیشتر نسبت به محیط پیرامون خود ایجاد می‌کند که این عوامل در کنار هم می‌توانند مقدار گردوغبار را در این مناطق نسبت به اطراف کاهش دهند. بیشترین فاصله از پوشش گیاهی در غرب تهران قرار دارد. منطقه ۵ و منطقه ۱ بیشترین فاصله را از کارخانه‌ها دارند. بنابراین، از آلودگی ایجادشده توسط این کارخانه‌ها کمتر تأثیر می‌پذیرند (شکل ۵).



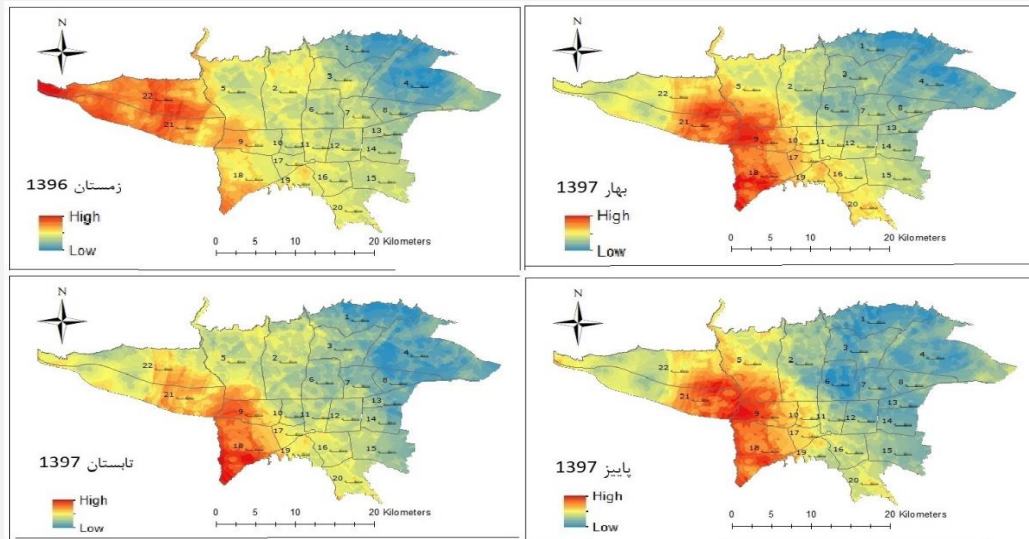
شکل ۶. پهنه‌بندی میانگین رطوبت نسبی، تعداد روز بارش بالاتر از ۵ میلی‌متر، و میانگین دما

الگوی میانگین رطوبت نسبی در بهار، تابستان، و پاییز سال مورد مطالعه یکسان است. غرب تهران حداکثر رطوبت نسبی را دارد. رطوبت بیشتر می‌تواند به گردوغبار کمتر در این منطقه کمک کند. جنوب غرب تهران حداقل رطوبت نسبی را دارد. الگوی رطوبت زمستانه متفاوت از دیگر فصول است. منطقه ۱ و ۴ در زمستان حداکثر رطوبت نسبی را دارد و جنوب غرب تهران الگویی شبیه به دیگر فصول اما با گسترش بیشتر دارد. (شکل ۶).

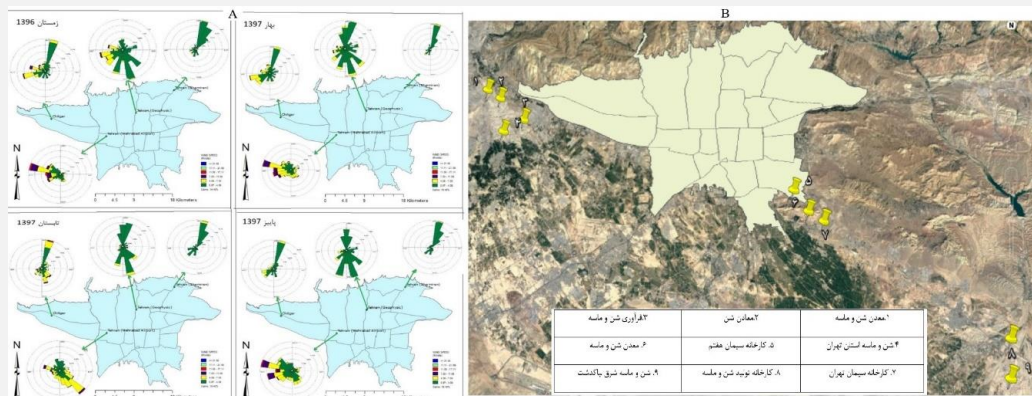
بررسی اولیه داده‌ها نشان داد که در تابستان هیچ روزی بالای ۵ میلی‌متر بارش نداشت. بنابراین، نقشه پهنه‌بندی آن تهیه نشد. در زمستان بیشترین بارش در منطقه ۱، ۳، و ۴ قرار دارد و کمترین آن در غرب تهران قرار دارد. الگوی تعداد روز بارش بالاتر از ۵ میلی‌متر در بهار و پاییز شباهت زیادی دارد و بیشینه آن در منطقه ۱، ۳، ۴، و ۸ قرار دارد و کمترین آن در جنوب غرب تهران، جنوب منطقه ۵، بخش کوچکی از غرب تهران قرار دارد (شکل ۶).

الگوی دما در فصول مختلف تقریباً یکسان است. حداقل دما در این فصول در غرب و حداکثر آن در جنوب غرب تهران قرار دارد که با مناطق حداقل رطوبت نسبی نیز یکسان است (شکل ۶).

در پایان نقشه تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی شهر تهران حاصل ترکیب نه لایه براساس وزن تعیین شده برای هر لایه (شکل ۲) ترسیم شد. نتایج نشان داد بیشترین میزان گردوغبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ در غرب تهران قرار دارد. کمترین مقدار گردوغبار ریزشی در فصل زمستان در مناطق ۱ و ۴ بود. در بهار، تابستان، و پاییز ۱۳۹۷ هاله بیشترین گردوغبار ریزشی کمی به سمت شرق جابه‌جا و در جنوب غرب ساکن شده است. کمترین مقدار گردوغبار ریزشی در این فصول در مناطق ۱ و ۴ قرار داشت. هاله کمترین مقدار گردوغبار ریزشی در پاییز نسبت به بهار و تابستان گسترش بیشتری داشت (شکل ۷).



شکل ۷. تحلیل فضایی گردوغبار ریزشی شهر تهران با استفاده از تابع Gamma 0.9



شکل ۸. A: گلباد تهران در سال آماری مورد مطالعه؛ B: مسیر باد (منشأ) تهران در سال آماری مورد مطالعه

تهیه گلباد تهران در سال آماری مورد مطالعه نشان داد که در زمستان، بهار، و پاییز جهت بادهایی با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه از غرب تهران بوده است. تهیه نقشه مسیر باد (منشأ)، که در عملیات میدانی پژوهش تهیه شده است، نشان داد معادن شن و ماسه در شهرک صنعتی قدس و شهریار در این مسیر قرار دارد. پس باد با جهت غرب حاوی گردوغبار برخاسته از این مناطق است. جهت باد تابستانه جنوب شرقی است. معادن شن و ماسه پاکدشت و کارخانه‌های سیمان تهران در این مسیر قرار دارند. پس باد با جهت جنوب شرق حاوی گردوغبار برخاسته از این مناطق است. نبود بارش و کمبود رطوبت هوا در این فصل نیز مزید بر علت شده است (شکل ۸).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیشترین غبار ریزشی جمع‌آوری شده به ترتیب در بهار، پاییز، زمستان، و تابستان بوده است. نتایج آزمون تعقیبی شفه نشان داد بین میانگین غبار ریزشی در زمستان - بهار، تابستان - بهار، و تابستان - پاییز تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) در سطح ۹۵ درصد اطمینان وجود دارد. ولی بین سایر فصول تفاوت معنی‌دار وجود ندارد.

میانگین غبار ریزشی در بهار بیشترین مقدار را دارد و تفاوت معنی‌داری با میانگین غبار ریزشی در زمستان و تابستان دارد. همچنین، نتایج مطالعات تا و همکاران (۲۰۰۴) در گوانسوی چین، صدریان و همکاران (۱۳۹۲) در ایلام، و جعفری و خادمی (۱۳۹۳) در کرمان بیشترین گردوغبار ترسیب یافته را در فصل بهار نشان دادند.

پاییز در مرتبه بعد از بهار بالاترین مقدار غبار ریزشی را دارد. ولی تفاوت معنی‌داری بین میانگین گردوغبار در فصل بهار و پاییز نشان داده نشده است. بنابراین، پاییز هم به نسبت تابستان و زمستان غبار ریزشی زیادی دارد. از آنجا که در فصل پاییز و بهار هوا ناپایدارتر است، گردوغبار بیشتری در سطح شهر پراکنده می‌شود. از طرفی دیگر، شرایط وارونگی دمایی شرایط ترسیب گردوغبار بیشتری را فراهم کرده است. کریمیان و همکاران (۱۳۹۵) در اهواز نیز به علت وارونگی دما و شرایط سکون جوی بیشترین گردوغبار را در دو ماه آبان و آذر گزارش کردند. در حالی که تا و همکاران (۲۰۰۴) در گوانسوی چین، جعفری و خادمی (۱۳۹۳) در کرمان، صدریان و همکاران (۱۳۹۲) در ایلام، و برومندی و بختیارپور (۱۳۹۵) در مسجد سلیمان کمترین مقدار غبار ریزشی را در پاییز گزارش کردند.

پژوهش حاضر نشان داد فصل زمستان، پس از پاییز، بیشترین غبار ریزشی را دارد که تفاوت معنی‌دار با بهار و پاییز هم دارد. احتمالاً ترسیب عمودی ذرات غبار ریزشی از طریق ریزش‌های جوی (برف و باران) در این افزایش مؤثر بوده است. صدریان و همکاران (۱۳۹۲) و برومندی و بختیارپور (۱۳۹۵) بیشترین غبار ریزشی را بعد از بهار و زمستان ذکر کردند.

همچنین، فصل تابستان کمترین مقدار میانگین غبار ریزشی را دارد که تفاوتی معنی‌دار با بهار و پاییز دارد. ولی با میانگین غبار ریزشی زمستان تفاوت معنی‌دار ندارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روند مکانی گردوغبار ریزشی در فصول مختلف سال متفاوت است که نشان‌دهنده یکسان نبودن منشأ گردوغبار ریزشی شهر تهران در طول سال است. بیشترین میزان گردوغبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ در غرب تهران و بیشترین گردوغبار ریزشی در جنوب غرب تهران در بهار، تابستان، و پاییز ۱۳۹۷ قرار داشت و کمترین آن در فصول مورد مطالعه در مناطق ۱ و ۴ قرار داشت (شکل ۷). این افزایش با pm_{10} نیز در ارتباط است. بیشترین مقدار pm_{10} در غرب و جنوب غرب گزارش شده است که به طور هم‌زمان بیشترین مقدار گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده است (شکل ۴). به طور هم‌زمان، بیشترین ساخت‌وساز در غرب و جنوب غرب تهران و کمترین آن در

مناطق ۱ و ۴ قرار داشت (شکل ۴). بررسی‌های دقیق میدانی نشان داد افزایش گردوغبار ریزشی به‌صورت موضعی در مناطق مختلف شهر تهران در ارتباط با ساخت‌وساز شهری، به‌خصوص مرحله تخریب و گودبرداری ساختمان، قرار دارد و با روند منطقه‌ای گردوغبار در ارتباط نیست. نتایج مطالعات عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در یزد، صدریان و همکاران (۱۳۹۲) در ایلام، و مودایش و محبوب (۲۰۱۳) در ریاض نیز نشان داد که ایستگاه‌هایی که در اطراف آنها فعالیت‌های ساختمانی، فعالیت‌های عمرانی، و ساخت‌وساز مشاهده می‌شود دارای گردوغبار ریزشی بیشتری هستند.

همچنین، بیشترین تراکم کارخانه‌ها و کمترین تراکم پوشش گیاهی در غرب و جنوب غرب تهران قرار دارد (شکل ۵). بعضی محققان از جمله وانگ و همکاران (۲۰۰۶) و یوکی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بر این عقیده‌اند که بین میزان پوشش گیاهی و وقوع گردوغبار در یک منطقه ارتباط وجود دارد. درواقع، ایجاد گردوغبار می‌تواند نوعی واکنش به تغییر پوشش گیاهی باشد. عوامل اقلیمی هم به این شرایط کمک کرده است؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد روز بارش بالای ۵ میلی‌متر از مناطق ۱ و ۴ تهران، که کمترین مقدار گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده است و بیشترین میانگین دما در فصول مختلف از جنوب غرب تهران که بیشترین مقدار گردوغبار ریزشی را در بهار، تابستان، و پاییز دارد گزارش شده است. اما در زمستان شرایط اقلیمی نسبت به سایر فصول کمی متفاوت بوده است؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار رطوبت نسبی که در سایر فصول از غرب گزارش شده در این فصل از مناطق ۱ و ۴ گزارش شده است. گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده در زمستان در غرب نسبت به جنوب غرب بیشتر است (شکل ۷) و اما میانگین ماکزیمم سرعت باد، که در غرب و جنوب قرار دارد، در زمستان، بهار، و پاییز جهت غرب دارد که از معادن شن و ماسه در شهرهای قدس و شهریار می‌گذرد و گردوغبار این مناطق را با خود وارد غرب تهران می‌کند. علاوه‌برآن، باد گردوغبار حاصل از ساخت‌وساز را در سطح شهر پراکنده می‌کند. در تابستان باد جنوب شرق فراوانی بیشتر دارد. باد جنوب شرقی از معادن شن و ماسه پاکدشت و کارخانه‌های سیمان تهران عبور می‌کند و حاوی گردوغبار است (شکل ۸). تحقیقات جلالی و همکاران (۱۳۹۱)، قادری و همکاران (۱۳۹۶)، جعفری و خادمی (۱۳۹۳)، وانگ و همکاران (۲۰۰۸)، یانگ و همکاران (۲۰۰۷)، ساوینا و همکاران (۲۰۱۴)، و البوقامی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که بین فرونشست اتمسفری با متوسط سرعت باد رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد و البته شرایط اقلیمی با کمترین میزان رطوبت نسبی، بالاترین دما، و فقدان بارش بالای ۵ میلی‌متر نیز (شکل ۶) به این مسئله کمک می‌کند که هوای جنوب غرب تهران را آلوده کند.

منابع

- اکبری، ع.؛ عظیم‌زاده، ح.ر.؛ اختصاصی، م.ر. و سلمان‌زاده، م. (۱۳۹۱). بررسی کمی غبار ریزشی (مطالعه موردی: شهر بهبهان - شهر یور و مهر ۱۳۹۰، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.
- برومندی، پ. و بختیارپور، ا. (۱۳۹۵). منشأیابی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها و مدل‌سازی عددی در شهرستان مسجد سلیمان، مجله سلامت و محیط زیست، ۴: ۵۱۷-۵۲۶.
- بهرامی، ح.ع.؛ جلالی، م.؛ درویشی بلورانی، ع. و عزیزی، ر. (۱۳۹۲). مدل‌سازی مکانی- زمانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان خوزستان، فصل‌نامه سنجش از دور و GIS/ایران، ۲: ۹۵-۱۱۴.
- ترینجزر، ح.؛ مددی، م.ح. و حیدرزاده، م. (۱۳۹۶). اندازه‌گیری ریزگردها (غبار ریزشی) با استفاده از تله رسوب‌گیر در دوره سه‌ماهه (مطالعه موردی شهر قم)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت، ۲ و ۳ خردادماه ۱۳۹۶.
- جعفری، ف. و خادمی، ح. (۱۳۹۳). ارزیابی نرخ فرونشست گردوغبار اتمسفری در نقاط مختلف شهر کرمان، فصل‌نامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷۰: ۲۰۷-۲۱۶.
- جلالی، م.؛ بهرامی، ح. و بلورانی، ع. (۱۳۹۱). بررسی ارتباط بین فاکتورهای اقلیمی و زمینی با وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (MODIS) مطالعه موردی: استان خوزستان، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.
- خسروی، م. (۱۳۸۷). تأثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۴: ۱۹-۴۸.
- رایگانی، ب.؛ خیراندیش، ز.؛ کرمانی، ف.؛ محمدی میاب، م. و ترابی‌نیا، ع. (۱۳۹۵). شناسایی کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار با استفاده از داده‌های سنجش از دور و شبیه‌سازی جریان هوا (مطالعه موردی: استان البرز)، فصل‌نامه مدیریت بیابان، ۸: ۱۶-۲۶.
- سلمان‌زاده، م.؛ سعیدی، م. و نبی بیدهندی، غ.ر. (۱۳۹۱). آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها، محیط‌شناسی، ۹-۱۸: ۶۱.
- صدریان، م.ر.؛ محمدخان، ش.؛ مشهدی، ن.؛ دشتکیان، ک. و علوی‌پناه، س.ک. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی غبار ریزشی شهر ایلام، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، ۲۵ تا ۲۶ دی‌ماه ۱۳۹۲، دانشگاه یزد.
- عظیم‌زاده، ح.ر.؛ منتظر قائم، م.؛ ترابی میرزایی، ف. و تجملیان، م. (۱۳۸۹). اندازه‌گیری غبار ریزشی سطح شهر یزد با استفاده از تله رسوب‌گیر MDCO در دوره سه‌ماهه تابستان ۱۳۸۹، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار، بهمن‌ماه ۱۳۸۹، دانشگاه یزد.
- علیجانی، ب. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی، فصل‌نامه تحلیل فضایی و مخاطرات محیطی، ۳: ۱-۱۴.
- علیجانی، ب. (۱۳۷۶). آب و هوای ایران، چ ۳، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- قادری، ف.؛ کرمی، م.؛ شکاری، پ. و جعفری، ا. (۱۳۹۶). روند فرونشست گردوخاک اتمسفری و ارتباط آن با برخی عوامل اقلیمی و مکانی در شهرستان جوانرود، نشریه حفاظت آب و خاک، ۶: ۱۲۳-۱۴۰.
- کریمیان، ب.؛ لندی، ا.؛ حجتی، س. و احدیان، ج. (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار شهر اهواز، فصل‌نامه تحقیقات آب و خاک ایران، ۱: ۱۵۹-۱۷۳.

محمدی، ف.؛ کمالی، س. و اسکندری، م. (۱۳۹۴). ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT، فصل‌نامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶: ۳۹-۵۴.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). گزیده نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن.

- Abdi Vishkaee, F.; Flamant, C.; Cuesta, J.; Flamant, P. and Khalesifard, H.R. (2011). Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime, *Geophysical Research*, No. D05206: 1-13.
- Akbari, A.; Azimzadeh, H.R.; Ekhtesasi, M.R. and Salmanzadeh, M. (2012). An investigation on Falling Dust Measurement (case study: Behbahan City August and September 2011), *The first national conference of desert*, Tehran university.
- Albugami, S.; Palmer, S.; Cinnamon, J. and Meersmans, J. (2019). Spatial and Temporal Variations in the Incidence of Dust Storms in Saudi Arabia Revealed from In Situ Observations, *Geosciences*, 9: 2-20.
- Alijani, B. (2015). Spatial Analysis, *Environmental Hazarts*, 3: 1-14.
- Alijani, B. (1997). *Iran's climate*, Publication University Payame Noor, Tehran.
- Azimi-zadeh, H.R.; MontazerGhaem, M.; TorabiMirzaei, F. and Tujmalian, M. (2011). Measurement of falling Dust in Yazd City Using MDCO during the Three Months of Summer 2010, *The second National Conference on Wind Erosion and Dust Storms. University of Yazd*, 16-17 February, 2011.
- Bahrami, H.A.; Jalali, M.; DarvishiBolorani, A. and Azizi, R. (2013). spatial- temporal modeling of occurrence of dust storm in Khuzestan Province, *Remote sensing and GIS*, 2: 95-114.
- Bennion, P.; Hubbard, R.; O'Hara, S.; Wiggs, G.; Wegerdt, J.; Lewis, S.; Small, I.; Van der Meer, J. and Upshur, R. (2007). The impact of airborne dust on respiratory health in children living in the Aral Sea region, *Epidemiology*, 36: 1103-1110.
- Bolorani, D. A.; Nabavi, S.O.; Bahrami, B.; Mirzapour, F.; Kavosi, M.; Abasi, E. and Aziz, R. (2014). Investigation of dust storms entering WesternIran using remotely sensed data and synoptic analysis, *Environmental Health Science & Engineering*, 12: 1-12.
- Broomandi, P. and Bakhtiar Pour, A. (2017). Dust Source Identification Using Physical- Chemical Characterization and Numerical Modeling in Masjed Soleyman, *Iranian Journal of Health and Environment*, 9: 517-526.
- Cao, H.; Liu, J.; Wang, G.; Yang, G. and Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran, *Arid Land*, 5: 567-578.
- Csavina, J.; Field, J.P.; Félix, O. and Avitia, A.Y. (2014). Effect of Wind Speed and Relative Humidity on Atmospheric Dust Concentrations in Semi-Arid Climates, *Science of The Total Environment*, 487C: 82-90.
- Dentener, F.; Carmichael, G.R.; Yang, Z.; Lelieveld, J. and Crutzen, P. (1998). Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere, *Geophysical Research*, No. D17: 869-889.
- Dickerson, R.C.; Kondragunta, S.; Stenchikon, G.; Civerolo, K.L.; Doddridge, B.G. and Holben, B. (1997). The impact of aerosol on solar ultraviolet radiation and photochemical smog, *Science*, 278: 827-830.
- Ding, R.; Li, J.; Wang, S. and Ren, F. (2005). Decadal Change of the Spring Dust Storm in Northwest China and the Associated Atmospheric Circulation, *Geophysical Research Letters*, No. L 2808: 1-4.
- Ganor, E. (1975). *Atmospheric dust in Israel. Sedimentological and meteorological analysis of dust deposition*, Ph.D. Thesis, Hebrew University of Jerusalem.

- Ghaderi, F.; Karami, M.; Shekaari, P. and Jafari, A. (2017). Atmospheric dust deposition trend and its relation with selected climatic and spatial factors in Javanrood township, *Water and Soil Conservation*, 24: 123-140.
- Goossen, D. and Offer, Z. (2000). Wind tunnel and field calibration of six eolian dust samplers, *Atmospheric Environment*, 34:1043-1057.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences, *Earth-Science*, 56: 179-204.
- Jafari, F. and Khademi, H. (2014). Evaluation of atmospheric dust subsidence in the city of Kerman, *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 70: 207- 2016.
- Jia, Q. and Hung, Y. (2008). *Coarse dust around mining areas-A study of available dust collectors and their efficiency*, Lulea University of Technology, department of Civil and Environmental Engineeri.
- Jalali, M.; Bahrami, H.A. and Bolorani, A. (2012). Investigating the Relationship between Climate and Ground Factors with Dust Storms Using Satellite Images MODIS (Case Study: Khuzestan Province), *First National Desert Conference*, Tehran, University of Tehran International Desert Research Center.
- Karimian, B.; Landi, A.; Hojjati, S. and Ahdiyan, J. (2016). Study of physical, chemical and mineralogical characteristics of dust in Ahvaz city, *Soil and Water Research*, 1: 159-173.
- Khosravi, M. (2008). The Environmental Impact of Hirmand River and Sistan 120 Days Winds Interactions, *Geographical Research*, 4: 19-48.
- Kurosaki, Y. and Mikami, M. (2003). Recent Frequent Dust Events and Their Relation to Surface Wind in East Asia, *Geophysical Research Letters*, 14: 1-4.
- Lau, K.M.; Kim, K.M.; Sud, Y.C. and Walker, G.K. (2009). A GCM study of the response of the atmospheric water cycle of West Africa and the Atlantic to Saharan dust radiative forcing, *Annales of Geophysics*, 27: 4023-4037.
- Modaihsh, A.S.; Ghoneim, A.; Al-Barakah, F.; Mahjoub, M. and Nadeem, M. (2017). Characterizations of Deposited Dust Fallout in Riyadh city, *Saudi Arabia Environ. Stud.*, 26: 1599-1605.
- Modaihsh, A.S. and Mahjoub, M.O. (2013). Falling Dust Characteristics in Riyadh City, Saudi Arabia During Winter Months, *APCBEE Procedia*, 5: 50-58.
- Mohammadi, F.; Kamali, S. and Eskandari, M. (2015). Tracing dust sources in different atmosphere levels of Tehran using hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model, *Geography and Environmental Hazards*, 16: 39-54.
- Powell, J.T.; Chatziefthimiou, A.D.; Banack, S.A.; Cox, P.L. and Metcalf, J.S. (2013). Desert crust microorganisms, their environment, and human health, *Arid Environments*, 112: 127-133.
- Raygani, B.; Kheyrandish, F.; Kermani, M.; Mohammadi Miyab, M. and Torabinia, A. (2016). Identification of active dust sources using remote sensing data and air flow simulation (Case study: Alborz province), *Desert Management*, 8: 15-26.
- Salman Zadeh, M.; Saeedi, M. and Nabi Bidhendi, G.H.R. (2012). Heavy metals pollution in street dusts of Tehran and their ecological risk assessment, *Environmental Studies*, 61: 9-18.
- Sadriani, M.R.; Mohammad Khan, Sh.; Mashhadi, N.; Dashtkian, K. and Alavi Panah, S.K. (2013). Spatial analysis of falling dust in the city of Ilam, *Third National Conference on Wind Erosion and Dust Storms*, University of Yazd, 15-16 Januray, 2014.
- Statistical Center of Iran. Selected results of the 2016 national population and housing census.

- Shao, L.; Li, W.; Yang, SH.; Shi, Z. and Lu, S. (2007). Mineralogical characteristics of airborne particles collected in Beijing during a severe Asian dust storm period in spring 2002, *Science in China Series D: Earth Sciences*, 6: 953-959.
- Song, Z.; Wang, J. and Wang, S. (2007). Quantitative classification of northeast Asian dust events, *Geophysical Research*, No. D04, PP. 1-8.
- Sun, J.; Zhang, M. and Liu, T. (2001). Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms in China and Its Surrounding Regions, 1960-1999: Relations to Source Area and Climate, *Geophysical Research Atmospheres*, No. D10, PP. 10325-10333.
- Ta, W.; Xiao, H.; Qu, J.; Xiao, Z.; Yang, G.; Wang, T. and Zhang, X. (2004). Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986–2000, *Geomorphology*, 57: 41-51.
- ToranjZar, H.; Madadi, M.H. and Heidarzadeh, M. (2017). Measurement of (dust falling) using sediment trap in the three month period (case study: Qom city), *The 4th international conference on planning and management*, 23-24 may 2017.
- Tegen, I.; Hollring, P.; Chin, M.; Fung, I.; Jacob, D. and Penner, J. (1997). Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness, *Geophysical Research*, 20(23): 895-915.
- Wang, X.; Zhou, Z. and Dong, Z. (2006). Control of Dust Emissions by Geomorphic Conditions, Wind Environments and Land Use in Northern China: An Examination Based on Dust Storm Frequency from 1960 to 2003, *Geomorphology*, 3: 292-308.
- Wang, X.; Zhou, Z. and Dong, Z. (2006). Control of Dust Emissions by Geomorphic Conditions, Wind Environments and Land Use in Northern China: An Examination Based on Dust Storm Frequency from 1960 to 2003, *Geomorphology*, 81: 292-308.
- Xuan, J.; Sokolik, IN.; Hao, J.; Guo, F.; Mao, H. and Yang, G. (2004). Identification and characterization of atmospheric mineral dust in East Asia, *Atmospheric Environments*, 36: 6239-6252.
- Yang, B.; Brauning, A.; Zhang, Z.; Dong, ZH. and Esper, J. (2007). Dust Storm Frequency and Its Relation to Climate Changes in Northern China during the Past 1000 Years, *Atmospheric Environment*, 41: 9288-9299.
- Yuki, S.; Buho, H.; Yuta, D.; Eunice, N. and Akihiko, K. (2017). The Interactions Between Precipitation, Vegetation and Dust Emission Over Semi-Arid Mongolia, *Atmospheric Chemistry Physics*, pp. 1-10.