

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست

پایش آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از داده های سنجش از دور و

ایستگاه های زمینی

نگارنده

امیر نیشابوریان طرقي

اساتید راهنما

دکتر رمضان واقعي

دکتر سعید قره چلو

تابستان ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً

توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تقدیم بہ

مقدس ترین واثرہ مادر لغت نامہ دلم، مادر مہربانم کہ زندگیم را دیون مہر و عطوفت آن می دانم.

پدر مہربانی شفق، برادر و حامی.

ہمسرم کہ نشانہ لطف الہی در زندگی من است.

برادر و خواہرم، ہر اہلن، ہمیشگی و پشتوانہ ہی زندگیم

شکروقدردانی

باشکراز استاید راهما؛

که در مراحل انجام این پژوهش راهنمایی آن با چراغ راه این پژوهش بود.

اینجانب **امیر نیشابوریان طرقي** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **محیط زیست** دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **پایش آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از داده های سنجش از دور و ایستگاه های زمینی** تحت راهنمایی **جناب آقای رمضان واقعی** و **جناب آقای سعید قره چلو** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

آلاینده‌های هوا شامل ازن (O_3)، نیتروژن اکسید (NO_x)، مونوکسید کربن (CO)، ذرات، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، و غیره می‌باشند که اکثر این آلاینده‌ها حاصل احتراق سوخت‌های فسیلی هستند. شهر مشهد یکی از شهرهای بزرگ و مهم ایران با توجه به رشد صنعتی و جمعیتی در سال‌های اخیر شاهد افزایش آلودگی هوا بوده است. بر همین اساس در این تحقیق اقدام به پایش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد با استفاده از داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای شده است تا نحوه پراکنش شاخص‌های آلودگی هوا مشخص گردد. به منظور انجام پژوهش حاضر داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و همچنین ماهواره سنتینل-۵ گردآوری شده‌اند به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS و SNAP، MATLAB و سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. جهت تهیه نقشه‌های آلودگی هوا با استفاده از ماهواره سنتینل از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است. بیشترین میزان غلظت منواکسید کربن برابر $1/68$ است. بیشترین مقدار غلظت دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در فصل زمستان برابر $37/84$ و ازن نیز در فصل بهار برابر $19/28$ بود. که در این فصل‌ها نیز ایستگاه‌های کریمی و خیام شمالی دارای بیشترین مقدار این آلاینده‌ها می‌باشند. ضریب شاخص موران در خصوص توزیع فضایی آلودگی برابر $0/461738$ می‌باشد که نشان دهنده خوشه‌ای بودن آلودگی می‌باشد. با توجه به این که مقدار $Z_{core} = 23/81$ و بزرگ‌تر از مقدار مورد انتظار ($E-I = 2/58$) می‌باشد همچنین مقادیر R_2 و R_2 تعدیل شده ($Adjusted R_2$) مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در این پژوهش به ترتیب $0/667852$ و $0/527772$ است که نشان دهنده دقت قابل قبول متغیرهای پژوهش حاضر در مدل سازی روابط فضایی کاربری‌های صنعتی، تراکم جمعیت و کاربری فضای سبز و باغات با آلودگی هوا است. مدل مزبور توانسته تا ۶۶ درصد رابطه موجود را ارزیابی کند.

کلمات کلیدی: پایش آلودگی هوا، سنجش از دور، ایستگاه‌های زمینی، شهر مشهد، سنتینل-۵

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و کلیات تحقیق	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ اهداف تحقیق	۴
۳-۱ ضرورت انجام تحقیق	۴
۴-۱ ساختار پایان نامه	۷
فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه تحقیق	۹
۱-۲ مقدمه	۱۰
۲-۲ آلودگی هوا	۱۱
۳-۲ انواع آلاینده های هوا و منابع انتشار آنها	۱۲
۴-۲ اهم دلایل آلودگی هوا و منابع اساسی آلودگی هوا	۱۳
۱-۴-۲ وجود کارخانه ها در شهرها و بعضاً حومه شهرها	۱۳
۲-۴-۲ وجود وسایل نقلیه دودزا در شهرها	۱۳
۲-۴-۳ وجود عوامل طبیعی و مصنوعی در بروز آلودگی هوا	۱۴
۲-۴-۴ وارونگی دما	۱۴
۲-۴-۵ ترافیک	۱۴
۵-۲ منابع اساسی آلودگی هوا	۱۴
۶-۲ روند کیفیت هوا در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته	۱۵
۷-۲ مسائل فعلی آلودگی هوا	۱۷
۱-۷-۲ تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سلامت و رفاه عمومی	۱۷

- ۲-۷-۲ گرم شدن کره زمین ۱۸
- ۲-۸ انواع آلاینده‌های هوا ۱۹
- ۲-۸-۱ منواکسید کربن ۱۹
- ۲-۸-۲ دی‌اکسید نیتروژن ۲۱
- ۲-۸-۳ ذرات معلق ۲۲
- ۲-۸-۴ دی‌اکسید گوگرد ۲۵
- ۲-۸-۵ ازن ۲۶
- ۲-۸-۶ سرب ۲۶
- ۲-۹ کاربرد سنجش از دور در آلودگی هوا ۲۷
- ۲-۹-۱ اندازه‌گیری آلاینده‌ها ۲۷
- ۲-۹-۲ برآورد ازن تروپوسفری ۲۸
- ۲-۹-۳ برآورد مونوکسید کربن تروپوسفری ۲۸
- ۲-۹-۴ سایر آلاینده‌ها ۲۹
- ۲-۱۰ پایش آلاینده‌های هوا با ماهواره سنتینل ۵ ۳۰
- ۲-۱۱ روش‌های کنترل میزان انتشار آلودگی‌ها ۳۰
- ۲-۱۲ استانداردهای تعیین آلودگی هوا ۳۱
- ۲-۱۳ اندازه‌گیری آلاینده‌های گازی ۳۳
- ۲-۱۳-۱ نمونه‌گیری از گراب ۳۳
- ۲-۱۴ تکنیک‌های تحلیلی ۳۴
- ۲-۱۵ پیشینه تحقیق ۳۶
- ۲-۱۶ پیشینه تحقیق در ایران ۳۶
- ۲-۱۷ پیشینه تحقیق در جهان ۴۳

فصل سوم: مواد و روش ها

۴۹

- ۱-۳ مقدمه ۵۰
- ۲-۳ ویژگی های منطقه مورد مطالعه ۵۰
- ۱-۲-۳ موقعیت جغرافیایی ۵۰
- ۲-۲-۳ جمعیت شهر مشهد ۵۱
- ۳-۳ اقلیم شهر مشهد ۵۳
- ۴-۳ حمل و نقل عمومی مشهد ۵۵
- ۵-۳ داده های محلی مربوط به آلاینده های شاخص آلودگی هوا ۵۷
- ۶-۳ تصاویر سنتینل-۵ ۶۰
- ۷-۳ روش تحقیق ۶۱
- ۳-۸ خودهمبستگی فضایی ۶۲
- ۹-۳ تحلیل لکه های داغ ۶۳
- ۱۰-۳ جمع بندی ۶۴

فصل چهارم: نتایج و بحث

۶۵

- ۱-۴ مقدمه ۶۶
- ۲-۴ بررسی آلاینده های آلودگی هوا با استفاده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ ۶۷
- ۱-۲-۴ توزیع مکانی و زمانی آلاینده های هوا ۶۷
- ۲-۲-۴ توزیع مکانی آلاینده های هوا با استفاده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ ۶۷
- ۳-۲-۴ توزیع زمانی غلظت آلاینده های هوای شهر مشهد ۷۷
- ۴-۲-۴ توزیع مکانی آلاینده های هوا با استفاده از ایستگاه های محلی ۸۱
- ۴-۳ خودهمبستگی فضایی شاخص های آلودگی هوا ۹۸
- ۴-۴ بررسی روابط آلودگی با شاخص های محیطی و کالبدی ۱۰۱

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۱۰۷

۱-۵ نتیجه گیری ۱۰۸

۲-۵ پیشنهادها ۱۰۹

۱-۲-۵ پیشنهاد کاربردی ۱۰۹

۲-۲-۵ پیشنهادات پژوهشی ۱۰۹

۱۱۱

منابع

فهرست جداول

جدول شماره ۳ - ۱ : اطلاعات دما و رطوبت جوی سال ۱۳۹۷ به تفکیک ماه.....	۵۳
جدول شماره ۳ - ۲ : اطلاعات ایستگاه باران سنجی سال ۱۳۹۷ به تفکیک ماه.....	۵۴
جدول شماره ۳ - ۳ : بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی طی دوره بلندمدت سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۵.....	۵۴
جدول شماره ۳ - ۴ : دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهر مشهد طی دوره بلندمدت سال‌های ۶۸-۹۵.....	۵۵
جدول شماره ۳ - ۵ : اقلام آماری اتوبوس‌رانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).....	۵۶
جدول شماره ۳ - ۶ : اقلام آماری تاکسیرانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).....	۵۷
جدول شماره ۳ - ۷ : اقلام آماری حملونقل ریلی شهری شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).....	۵۷
جدول شماره ۳ - ۸ : موقعیت محل استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد.....	۵۹
جدول شماره ۳ - ۹ : تعداد روزهای آلوده هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا به تفکیک ماه.....	۶۰
جدول شماره ۳ - ۱۰ : جدول مشخصات باندی.....	۶۱
جدول شماره ۴ - ۱ : جدول توصیفی منواکسید کربن در چهارفصل.....	۸۲
جدول شماره ۴ - ۲ : جدول رتبه بندی منواکسید کربن در چهارفصل.....	۸۲
جدول شماره ۴ - ۳ : جدول مشخصات توصیفی ازن در چهارفصل.....	۸۶
جدول شماره ۴ - ۴ : جدول رتبه بندی ازن در چهارفصل.....	۸۶
جدول شماره ۴ - ۵ : جدول مشخصات توصیفی دی‌اکسید نیتروژن در چهارفصل.....	۹۰
جدول شماره ۴ - ۶ : جدول رتبه بندی دی‌اکسید نیتروژن در چهارفصل.....	۹۰
جدول شماره ۴ - ۷ : جدول مشخصات توصیفی دی‌اکسید گوگرد در چهارفصل.....	۹۴
جدول شماره ۴ - ۸ : جدول رتبه بندی دی‌اکسید گوگرد در چهارفصل.....	۹۴
جدول شماره ۴ - ۹ : خروجی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی روابط آلودگی با شاخص‌های محیطی و کالبدی.....	۱۰۲

فهرست اشکال

- نقشه شماره ۳ - ۱ : موقعیت جغرافیایی شهر مشهد در استان ۵۱
- شکل شماره ۳ - ۱ : روند تغییرات جمعیت شهر مشهد از سال ۱۳۳۵ تا سال ۱۳۹۵. ۵۲
- نقشه شماره ۳ - ۲ : جمعیت محلات ۵۲
- نقشه شماره ۳ - ۳ : موقعیت محل استقرار ایستگاههای سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد. ۵۸
- نقشه شماره ۴ - ۱ : میانگین توزیع مکانی مونواکسید کربن در شهر مشهد در سال ۱۳۹۸. ۶۹
- نقشه شماره ۴ - ۲ : میانگین توزیع مکانی ازن در شهر مشهد در سال ۱۳۹۸. ۷۲
- نقشه شماره ۴ - ۳ : میانگین توزیع مکانی نیتروژن دی اکسید در شهر مشهد در سال ۱۳۹۸. ۷۴
- نقشه شماره ۴ - ۴ : میانگین توزیع مکانی دی اکسید گوگرد در شهر مشهد در سال ۱۳۹۸. ۷۷
- نمودار ۴ - ۱ : میانگین تغییرات مقدار مونواکسید کربن در ایستگاههای مختلف محلی در سال ۱۳۹۸. ۸۳
- نقشه شماره ۴ - ۵ : میانگین توزیع مکانی مونواکسید کربن اندازه گیری شده در ایستگاههای محلی ۱۳۹۸ ۸۵
- نمودار ۴ - ۲ : میانگین تغییرات مقدار ازن در ایستگاههای مختلف محلی در سال ۱۳۹۸. ۸۷
- نقشه شماره ۴ - ۶ : میانگین توزیع مکانی ازن اندازه گیری شده در ایستگاههای محلی شهر مشهد در سال ۱۳۹۸. ۸۹
- نقشه شماره ۴ - ۷ : میانگین توزیع مکانی دی اکسید نیتروژن اندازه گیری شده در ایستگاههای محلی ۱۳۹۸. ۹۳
- نمودار ۴ - ۴ : میانگین تغییرات مقدار دی اکسید گوگرد در ایستگاههای مختلف محلی در سال ۱۳۹۸. ۹۵
- نقشه شماره ۴ - ۸ : میانگین توزیع مکانی دی اکسید گوگرد اندازه گیری شده در ایستگاههای محلی ۱۳۹۸. ۹۷
- نمودار ۴ - ۵ : تحلیل خود همبستگی فضایی آلودگی در شهر مشهد (مآخذ: نگارنده) ۹۹
- نقشه شماره ۴ - ۹ : نقشه تحلیل لکه های داغ آلودگی هوا ۱۰۱
- نقشه شماره ۴ - ۱۰ : تعیین محلی ۱۰۳
- نقشه شماره ۴ - ۱۱ : مقادیر باقیمانده ها ۱۰۴
- نقشه شماره ۴ - ۱۲ : زیر برآزش بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده ۱۰۵
- نقشه شماره ۴ - ۱۳ : ضرایب محلی تخمین زده شده ۱۰۶

فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق

آلودگی هوا در ۵۰ سال گذشته دستخوش تغییرات شدید شده است. تا بعد از جنگ جهانی دوم مهم‌ترین ترکیب آلاینده هوای شهری SO_2 همراه با دوده ناشی از سوخت‌های فسیلی و سپس اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار بوده است (Fenger, ۲۰۰۹). آلودگی هوا باعث ناراحتی‌های تنفسی و مرگ می‌شود و اغلب به منابع ثابت ربط داده می‌شود اما بزرگ‌ترین منبع انتشار آن، منابع متحرک هستند مخصوصاً اتومبیل‌ها (Nevers, ۲۰۰۶) در اغلب کشورهای جهان بخصوص در کشورهای در حال توسعه آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از ترافیک (اتوبوس، اتومبیل و کامیون در آلودگی هوا نقش مهمی دارند) رو به افزایش است (شکوهیان و قاضی نژاد، ۱۳۸۹). بر طبق تحقیقات بانک توسعه آسیا، آلودگی هوا باعث کشته شدن بیش از نیم میلیون نفر در سال در آسیا می‌شود (زراعی محمودآبادی و همکاران، ۱۳۸۹). آلاینده‌های هوا شامل ازن (O_3)، نیتروژن اکسید (NO_x)، مونوکسید کربن (CO)، ذرات دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، و غیره می‌باشند که اکثر این آلاینده‌ها حاصل احتراق سوخت‌های فسیلی هستند. کیفیت هوای روزانه را با شاخص AQI مشخص می‌کنند، اندیس AQI یا شاخص کیفیت هوا شاخصی است جهت پیش‌بینی روزانه کیفیت هوا که این شاخص معین می‌کند که هوا پاک یا آلوده است و میزان ارتباط آن با سطوح سلامتی انسان تا چه حد است. (AQI، میزان تأثیر هوای آلوده بر سلامتی انسان را نشان می‌دهد) (Colls, ۱۹۹۷). با گسترش شهرها و افزایش جمعیت و فقدان اقدامات کافی در کنترل آلودگی هوا، به تدریج آثار زیانبار آن بر محیط زیست و انسان، هر چه بیشتر آشکار می‌شود. طی سال‌های گذشته، توسعه صنایع و تخلیه گازها و گردوغبارهای ناشی از فرایند احتراق سوخت‌های فسیلی و همچنین گردوغبارهای طبیعی بر کیفیت هوای اطراف ما آثار جدی داشته است. علاوه بر این با توسعه اقتصادی - اجتماعی، مسأله ورود فلزات سنگین به داخل جو، یکی از مشکلات اساسی محیط‌های شهری به شمار می‌رود (Ping, ۲۰۰۶). بیشترین آثار منفی و بیماری‌های ناشی از آن، ممکن است از راه ورود ذرات ریز با اندازه‌ی کمتر از ۱۰ میکرون به داخل شش‌ها انجام بگیرد. این ذرات به هنگام تنفس وارد شش‌ها شده و عملکرد آن‌ها را مختل کرده و به بیماری‌هایی چون ذات‌الریه

و حتی در مواردی به مرگ انسان منجر می‌شوند (Pope و همکاران، ۱۹۹۵). آلودگی هوا از پیامدهای فعالیت بشر، به ویژه در قرن بیستم است که آثار مستقیم و غیرمستقیمی بر انسان و محیط پیرامون آن دارد (ملاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). مسئله آلودگی هوا اگر یکی از حادث‌ترین مسائل ناشی از تمدن ماشینی نباشد بدون شک از بغرنج‌ترین آن‌ها است چرا که هوا در همه جا گسترده است و در شبانه روز مصرف می‌شود. تجمع اکثر مردم در مناطق شهری و توقع استاندارد بالای زندگی با حداقل قیمت بدون توجه به محیط زیست، باعث افزایش غلظت آلودگی هوا در حد خطرناک و قابل توجه گردیده است. در حال حاضر رشد شهرها، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه، منجر به شهرنشینی همراه با ضایعات زیست محیطی می‌شود. برای دستیابی به توسعه‌ای پایدار در شهرها، کاهش و کنترل آلودگی هوا می‌تواند از اهمیت فراوانی برخوردار باشد (زینالی و همکاران، ۱۳۹۷). در ایران میزان انتشار آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها از جمله تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز، کرج، اراک و اهواز، به سطح خطرناکی رسیده است. در بین بخش‌های مختلف آلوده‌کننده‌ی هوا در ایران، بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت به ترتیب مهم‌ترین بخش‌های آلوده‌کننده‌ی هوا هستند، به گونه‌ای که بخش حمل‌ونقل به تنهایی با تولید $64/3$ درصد از کل انتشار اکسیدهای نیتروژن، $29/3$ درصد دی‌اکسید گوگرد و $27/5$ درصد دی‌اکسید کربن $24/8$ ، درصد دی‌اکسید گوگرد $98/6$ ، درصد مونوکسید کربن $96/3$ ، درصد ئیدرید کربن و $79/2$ درصد ذرات معلق، دارای بیش‌ترین مقدار انتشار انواع گازها در میان سایر بخش‌های انرژی کشور است (موسوی، ۱۳۸۱). روزانه بیش از ۸۰۰ هزار دستگاه خودرو در شهر مشهد تردد می‌کند که این تعداد خودرو عامل حدود ۷۰ درصد آلودگی هوای شهر مشهد به حساب می‌آید. علاوه بر این سالانه در حدود ۴۰ هزار خودرو به شبکه معابر شهری مشهد اضافه می‌شود. شهر مشهد به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگیری بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد دارای ۲۷۰-۳۰۰ روز وارونگی دمایی در سال است (موسوی، ۱۳۸۱). تردد این حجم از وسایل نقلیه همراه با شرایط خاص جغرافیایی و مذهبی شهر مشهد سبب شده تا این شهر در برخی روزهای سال آلوده‌ترین شهر کشور باشد. اکنون پایش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد با استفاده از ۱۲ ایستگاه سنجش آلودگی انجام می‌پذیرد که در حدود ۸۰ پهنه شهر را پوشش می‌دهد (پایگاه

اطلاع‌رسانی سازمان محیط‌زیست مشهد، ۱۳۹۳). بر همین اساس در این تحقیق اقدام به پایش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد با استفاده از داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای شده است تا نحوه پراکنش شاخص‌های آلودگی هوا مشخص گردد.

۱-۲ اهداف تحقیق

همانطور که از عنوان تحقیق مشخص است هدف اصلی این تحقیق مانیتورینگ آلودگی هوا در شهر مشهد به صورت زمانی و مکانی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و همچنین داده‌های سنتینل-۵ است که خود به چند هدف جزئی تر قابل تقسیم است

با توجه به موارد فوق، تحقیق حاضر به‌منظور دستیابی به اهداف ذیل انجام می‌پذیرد:

- بررسی توزیع مکانی آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا استخراج‌شده از مأموریت سنتینل-۵ در شهر مشهد.
- بررسی تغییرات زمانی غلظت آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا استخراج‌شده از مأموریت سنتینل-۵ در سطح شهر مشهد.
- ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از مأموریت سنتینل-۵ با داده‌های محلی آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا در سطح شهر مشهد.
- تولید نمودار سری زمانی آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا استخراج‌شده از مأموریت سنتینل-۵ از تابستان سال ۲۰۱۸ برای شهر مشهد.

۱-۳ ضرورت انجام تحقیق

با افزایش نگران‌کننده سطح آلودگی در مناطق مختلف جهان، نظارت بر آلودگی هوای مناطق به یکی از مهمترین مسائل در عرصه ملی و بین‌المللی تبدیل شده است (Hitendra و Tilottama، ۲۰۲۰). آلودگی هوا علاوه بر تأثیرات مخرب زیست محیطی، سلامت افراد را به مخاطره انداخته و سبب بروز و تشدید بیماری

های تنفسی، قلبی و حتی مرگ زودرس می‌شود (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۵). آلاینده‌های هوا را براساس منبع انتشار آن‌ها می‌توان به آلاینده‌های با منبع طبیعی، خارج از حیطه دخالت بشر (از قبیل طوفان های گرد و غبار، خاکستر آتشفشان و یا آتش سوزی جنگل ها) و آلاینده‌های با منبع مصنوعی، مربوط به فعالیت انسان (از قبیل آلودگی‌های خانگی، صنعتی و مربوط به حمل و نقل) تقسیم کرد. وسایل نقلیه‌ای که از سوخت های فسیلی استفاده می‌کنند میان منابع مصنوعی آلاینده هوا منبع قابل توجهی در تولید آلاینده‌ها (به خصوص در مناطق شهری محسوب شده و از مهم‌ترین عوامل توزیع دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای است. مطالعات در اروپا نشان داده است که بیش از ۵۰ درصد ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرومتر (PM₁₀) و همچنین بیش از ۶۰ آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن توسط وسایل نقلیه تولید می‌شود (فیلینگر، ۱۹۹۹). بنا بر گزارش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا بیش از نیمی از آلاینده‌های هوا در این کشور توسط وسایل نقلیه موتوری (قطار، هواپیما، کامیون ها، اتوموبیل شخصی و موتورسیکلت) تولید می‌شوند.

در ایران میزان انتشار آلاینده‌های هوا در بسیاری از شهرها از جمله تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز، کرج، اراک و اهواز، به سطح خطرناکی رسیده است. در ایران در بین بخش‌های مختلف آلوده کننده هوا، بخش‌های حمل و نقل و صنعت بترتیب قسمت‌های مهم آلوده کننده هوا هستند، طوری که بخش حمل و نقل به تنهایی با تولید ۳/۶۴ درصد از کل انتشار اکسیدهای نیتروژن، ۳/۲۹ درصد دی اکسید گوگرد، ۵/۲۷ درصد دی اکسید کربن، ۶/۹۸ درصد منوکسید کربن، ۲/۷۹ درصد ذرات معلق، دارای بیشترین مقدار انتشار انواع گازها در میان سایر بخش‌های انرژی کشور است. به تبعیت از کل کشور در مشهد نیز، مهم‌ترین بخش آلوده کننده هوا بخش حمل و نقل و سپس بخش صنعت است. بنابراین چنانچه اقدامی در جهت کاهش آلودگی‌های ناشی از این دو بخش انجام شود، بی گمان گام مهمی در جهت دستیابی به محیط زیستی سالم، هوایی پاک و نیل به یک توسعه اقتصادی پایدار در این شهر برداشته خواهد شد، زیرا کاهش آلودگی علاوه بر صرفه جویی در هزینه‌ها، در کاهش هزینه‌های پاکسازی، کاهش بلند مدت از طریق پیشگیری از مواد زائد، کاهش هزینه‌های دفع و انهدام و جلوگیری از کاهش بهره‌وری نیز موثر خواهد بود (قربانی و فیروز زارع،

۱۳۸۷). مشهد پس از تهران، مهم‌ترین کلانشهر کشور است که سالانه پذیرای میلیون‌ها نفر زائر و مسافر از سراسر ایران و سایر کشورها می‌باشد. این امر آلودگی هوا را در این کلان شهر مذهبی جهان بوجود آورده است. در مشهد نیز به تبعیت از کل کشور، مهم‌ترین بخش آلوده کننده هوا، بخش حمل و نقل و سپس بخش صنعت است. روزانه بیش از ۸۰۰ هزار دستگاه خودرو در شهر مشهد تردد می‌کند که این تعداد خودرو عامل حدود ۷۰ آلودگی هوای شهر مشهد به حساب می‌آید (قربانی و فیروز زارع، ۱۳۸۷). علاوه بر این سالانه در حدود ۴۰ هزار خودرو به شبکه معابر شهری مشهد اضافه می‌شود (قربانی و فیروز زارع، ۱۳۸۷). شهر مشهد به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگیری بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد دارای ۲۷۰-۳۰۰ روز وارونگی دمایی در سال است. تردد این حجم از وسایل نقلیه همراه با شرایط خاص جغرافیایی و مذهبی شهر مشهد سبب شده تا این شهر در برخی روزهای سال آلوده ترین شهر کشور باشد. اکنون پایش آلودگی هوا در سطح شهر مشهد با استفاده از ۱۲ ایستگاه سنجش آلودگی انجام می‌پذیرد که در حدود ۸۰ از پهنه شهر را پوشش می‌دهد (پایگاه اطلاع رسانی سازمان محیط زیست مشهد، ۱۳۹۳). این ایستگاه‌ها میزان آلودگی هوا را برای آلاینده‌های مختلف به صورت نقطه ای اندازه‌گیری می‌کنند. داده‌های استخراج شده به دلیل محلی بودن برداشت مقدار آلاینده‌ها توسط این ایستگاه‌ها فقط می‌تواند به شعاع محدودی از مناطق اطراف ایستگاه بسط داده شود و در محدوده‌های وسیع تر استفاده از این داده‌ها با مشکل همراه است (Berigerz و همکاران، ۱۹۹۶). معمولاً تعداد محدودی از این ایستگاه‌ها به دلیل هزینه بر بودن و همچنین نیاز مداوم به کالیبراسیون در سطح شهر نصب شده و کار پایش آلودگی هوا را انجام می‌دهند. تعداد محدود این ایستگاه‌ها همراه با مشکل خرابی سنجنده‌ها و عدم برداشت داده، در اغلب موارد، امکان تهیه نقشه پیوسته آلودگی هوا در سطح شهرها را مشکل و گاهی ناممکن می‌سازد. سنجش از دور ماهواره‌ای (RS) به عنوان یک روش برشی برای برآورد آلودگی هوای محیط سطح زمین پدید آمد. مطالعات قبلی همبستگی بالایی را بین سطح $PM_{2.5}$ و NO_2 سطح زمین تخمین زده شده توسط RS و اندازه‌گیری‌های جمع‌آوری شده در سایت‌های نظارتی گزارش کرده‌اند (Geneviève و همکاران، ۲۰۱۳). بر همین اساس ضرورت امکان استفاده همزمان از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی جهت مانیتورینگ بهتر آلودگی هوا دارای اهمیت زیادی است.

۴-۱ ساختار پایان نامه

این تحقیق در قالب ۵ فصل تدوین شده است، در فصل اول مقدمه، اهداف و ضرورت تحقیق ارائه شده است. در فصل دوم، ابتدا کلیاتی در مورد آلودگی هوا و انواع آلاینده‌های آلودگی هوا و اثرات گوناگون و مخرب آن‌ها بیان می‌شود، سپس اثرات آلودگی هوا بر سلامت انسان‌ها، حوادث مهم و فاجعه‌آمیز آلودگی هوا، اثرات آلودگی هوا بر تغییرات اقلیمی، و تأثیر پارامترهای اقلیمی بر آلودگی هوا و در نهایت به بررسی پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تحقیق مورد نظر در کشور و جهان پرداخته شده است. در فصل سوم به روش تحقیق، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش و معرفی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج به دست آمده در این پژوهش از تجزیه و تحلیل داده‌ها در جهت تولید سری زمانی و نقشه آلودگی هوا در شهر مشهد با استفاده از داده‌های مأموریت سنتینل-۵ و مقایسه نتایج آن با داده‌های محلی آلاینده‌های آلودگی هوا پرداخته شده است. فصل پنجم نیز شامل بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادات می‌باشد.

فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه تحقیق

آلودگی هوا یکی از عمده‌ترین مشکلاتی است که بشر با آن روبه روست و در بعضی از شهرها به دلیل افزایش بی‌رویه فعالیت‌های صنعتی، مصرف سوخت‌های فسیلی و تراکم جمعیت روزه‌به‌روز شدیدتر می‌شود. آلودگی هوا اثرات سوئی بر سلامت افراد جامعه دارد و منجر به مرگ زودرس، بیماری‌های قلبی عروقی، برونشیت، اختلالات تنفسی و سرطان می‌شود. براساس گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO)، بالاتر در سراسر جهان حدود هفت میلیون نفر در اثر بیماری‌های منتسب به آلودگی هوای آزاد و داخلی، جان خود را از دست می‌دهند. (WHO، ۲۰۱۴) همچنین براساس گزارش مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان^۱ در سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۳، آلودگی هوا و ذرات معلق آن به عنوان ترکیبات سرطان‌زا برای انسان گروه یک طبقه‌بندی شده است (Loomis و همکاران، ۲۰۱۳) هوا یکی از پنج عنصر ضروری (هوا، آب، غذا، گرما و نور) برای ادامه حیات انسان است و این مسئله اهمیت وجود هوا را نشان می‌دهد. هر فرد روزانه نزدیک ۲۲۰۰۰ بار تنفس می‌کند و تقریباً به ۱۵ کیلوگرم هوا در روز نیاز دارد. انسان معمولاً می‌تواند به مدت ۵ هفته بدون غذا و مدت ۵ روز بدون آب زنده بماند، اما نمی‌تواند بدون هوا حتی ۵ دقیقه زنده بماند. آلودگی هوا عامل عمده مؤثر در سلامتی عمومی و میزان فعالیت انسان‌ها در نواحی شهری است. هر انسان در روز به‌طور متوسط ۱۶ کیلوگرم هوا مصرف می‌کند، حال آنکه روزانه به‌طور متوسط ۱/۵ کیلوگرم آب می‌نوشد و نیز به حدود یک کیلوگرم غذا نیاز دارد (Perkinz، ۱۹۹۸). مقررات مبارزه با آلودگی هوای ایالت آریزونا، آمریکا، آلودگی هوا را به‌عنوان حضور یک یا چند و یا مخلوطی از آلوده‌کننده‌های مختل در هوای آزاد به آن اندازه تداومی که برای انسان مضر بوده و یا موجب زیان رساندن به حیوانات، گیاهان و اموال شود، دانسته است. در این تعریف گرچه جنبه‌های بسیار مهم آلودگی هوا در نظر گرفته شده، لیکن به مسئله ایجاد اختلال در زندگی روزمره و همچنین افزایش غیرمتعارف بعضی از اجزاء طبیعی جو مانند گاز کربنیک اشاره نشده است. انجمن مشترک مهندسين آلودگی هوا و کنترل آن، آلودگی هوا را بدین‌صورت تعریف کرده است:

^۱ . International Agency for Research on Cancer

آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلوده کننده مانند گردوغبار، قیوم‌ها، گازها، میست، بو، دود و بخار در هوای آزاد با کمیت‌ها، ویژگی‌ها و زمان ماند خاص که برای زندگی انسان، گیاه و حیوانات، خطرناک و برای اموال مضر باشد و یا به طور غیرقابل قبولی مخل استفاده‌ی راحت از زندگی و اموال گردد (Perkinz، ۱۹۹۸). تعاریف بسیاری برای آلودگی هوا پیشنهاد شده است؛ اما به جرئت می‌توان گفت یکی از معتبرترین تعاریف اولیه توسط ابوالبراهیم اسماعیل بن الحسن بن محمد بن احمد الحسینی الجرجانی (جرجانی) ارائه شده است. جرجانی که در اواخر سده پنجم و اوایل سده ششم می زیسته در کتاب ذخیره خوارزمشاهی، کیفیت هوا را چنین تعریف کرده است: «اگرچه هوا را کیفیتی خاصه است و این هوا که گرد مردم اندر آمده است و بدو نزدیک است، هوای خالص نیست. لکن آمیخته است به بخارها و دودها و گرد‌ها و غیر آن و از کیفیت هر چیزی کیفیتی دیگر گیرد و همچنین اندر هر فصلی از فصل‌های سال از کیفیت خاص خویش بگردد و هوای نیک هوای صافی باشد که هیچ چیز غریب با وی آمیخته نبود.» (ندافی و ناطق پور، ۱۳۸۸).

براساس تعاریف دیگر «آلودگی هوا عبارت است از حضور یک یا چند آلاینده با ترکیب در هوای آزاد (outdoor air) با هوای داخل (indoor air) در مقادیر و مدت زمانی که ممکن است سبب آسیب به زندگی انسان، گیاه یا حیوان یا اموال با به طور نامعقولی سیب تداخل در برخورداری راحت از زندگی با اموال شود.» (Pandis و Seinfeld، ۲۰۱۲). از نظر سازمان حفاظت محیط زیست جمهوری اسلامی ایران، آلودگی هوا عبارت است از «وجود و بخش یک یا چند آلوده کننده اعم از جامد، مایع، گاز، تشعشع برتوزا و غیر پرتوزا در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت آن را به طوری که زیان آور برای انسان و سایر موجودات زنده یا گیاهان با آثار و ابنیه باشد تغییر دهد.» (DoE، ۲۰۱۳).

۲-۲ آلودگی هوا

منظور از آلودگی هوا، انتشار آلاینده‌هایی در هوا است که برای سلامتی انسان و کل کره زمین مضر است. اثرات آن می‌تواند از خطرات بالاتر بیماری تا افزایش دما باشد. به نظر می‌رسد که کیفیت هوای محیط در

بسیاری از شهرهای کشورهای در حال توسعه به دلیل انتشار بیش از حد ناشی از سریع شهرسازی در سطح هشداردهنده‌ای قرار دارد.

۲-۳ انواع آلاینده‌های هوا و منابع انتشار آنها

ذرات جامد، قطرات مایع یا گازهایی که از منابع طبیعی یا مصنوعی ساخته می‌شوند می‌توانند آلاینده باشند. وجود دو نوع آلاینده وجود دارد که می‌تواند اولیه یا ثانویه باشد. به طور کلی، انتشار مستقیم مواد از یک فعالیت باعث ایجاد آلاینده‌های اصلی مانند خاکستر ناشی از فوران آتشفشان، گاز مونوکسیدکربن کربن از آگروز وسیله نقلیه موتوری یا دی اکسید گوگرد آزاد شده از کارخانه ها می‌شود. واکنش یا اثر متقابل آلاینده‌های اولیه منجر به تشکیل آلاینده‌های ثانویه می‌شود که مستقیماً از منبع خارج نمی‌شوند. ازن سطح زمین نمونه‌ای از یک آلاینده ثانویه است که یکی از اجزای مهم مه دود شیمیایی است.

غلظت مجاز مواد در هوای محیط توسط معیارهای آلاینده‌ها بر اساس استانداردهای ملی کیفیت هوا (NAQS) تعریف می‌شود. مونوکسیدکربن، سرب، نیتروژنیوکسید، ازن، ذرات و سولفوریدوکسید به عنوان معیارهای آلاینده‌های هوا در نظر گرفته می‌شوند (DoE، ۲۰۱۳).

چهار منبع اصلی منابع آلودگی هوا وجود دارد:

- منابع سیار: مانند اتومبیل، اتوبوس، هواپیما، کامیون و قطار
 - منابع ساکن: مانند نیروگاه ها، پالایشگاه های نفت، تاسیسات صنعتی و کارخانه ها
 - منابع منطقه ای: مانند مناطق کشاورزی، شهرها و شومینه های چوبی
 - منابع طبیعی: مانند گرد و غبار وزش باد، آتش سوزی و آتشفشان‌ها.
- طبق آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)، منبع اصلی وسایل متحرک هستند که شامل اتومبیل است مقادیر زیادی آلودگی هوا را ایجاد می‌کند. منابع ثابت همچنین به عنوان منابع نقطه ای شناخته می‌شوند که مقادیر زیادی آلودگی را از یک سایت خاص تخلیه می‌کنند. تعداد زیادی از منابع آلودگی کوچکتر به تنهایی

چندان قابل توجه نیستند، در مجموع منابع منطقه را ایجاد می‌کنند. مشکل فعلی آلودگی هوا توسط همه این منابع آلودگی به جز منابع طبیعی ممکن است گاهی اوقات مهم باشد (Hitendra و Tilottama، ۲۰۲۰).

۲-۴-۱ اهمیت دلایل آلودگی هوا و منابع اساسی آلودگی هوا

برخی از مهم‌ترین دلایل آلودگی هوا به‌طور عام عبارت‌اند از:

۲-۴-۱-۱ وجود کارخانه‌ها در شهرها و بعضاً حومه شهرها

وجود کارخانه‌ها در نزدیکی شهرها علاوه بر آلودگی هوا، آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به همراه خواهند داشت. دفع مواد زائد کارخانه‌ها باعث آلودگی زیستی و شیمیایی می‌شود، آلوده کردن هوا توسط کارخانه‌ها سبب مسمومیت هوا و به وجود آمدن وارونگی‌های هوا، باران‌های اسیدی، مه دود فتوشیمیایی خواهد شد که در طی زنجیره آلودگی تبدیل به ابتلا به بیماری‌های گوناگون خواهد شد که بر اکوسیستم بشری بی‌تأثیر نخواهد بود، در نتیجه بیرون بردن کارخانه‌ها از شهرها قطعاً باعث کاهش چشمگیر آلودگی می‌شود. در گذشته به علت وجود کارخانه‌ها در داخل شهرها مسئله آلودگی هوا محسوس‌تر بود ولیکن در حال حاضر با رعایت مسائل ایمنی برای جلوگیری از آلودگی کارخانه‌ها به محیط، این مسئله کم‌رنگ‌تر شده است و برای جلوگیری از بروز آلودگی‌های محیطی توسط کارخانه‌ها خروج آن‌ها از داخل شهرها صورت گرفته است. برخی کارخانه‌ها نظیر کارخانه‌های تولید آجر یا به‌بیان دیگر کوره‌های آجرپزی در آلودگی‌های هوا اثرات زیادی دارند و اگر در نزدیکی شهرها باشند با وزش باد باعث انتقال آلودگی به مراکز شهرها می‌شوند (فرج زاده و باغبان، ۱۳۹۷).

۲-۴-۲ وجود وسایل نقلیه دودزا در شهرها

یکی از عوامل تشدیدکننده در بروز آلودگی هوا وجود وسایل نقلیه دودزا هست به‌طوری‌که اکسید کربن و اکسیدهای ازت بیش از هر چیزی ناشی از اتومبیل‌های بنزینی هستند که میزان آن‌ها در حدود ۸۰ درصد

هست. البته وسایل دودزا در تشدید آلودگی هوا مؤثرند به خصوص زمانی که با وارونگی دما در زمستان یکی شوند، این امر بسیار محسوس می شود (فرج زاده و باغبان، ۱۳۹۷).

۲-۴-۳ وجود عوامل طبیعی و مصنوعی در بروز آلودگی هوا

عوامل طبیعی آلوده کننده هوا آتشفشان ها، زلزله، غبار و گرد و خاک ناشی از طوفان های صحرایی که به شهر می رسد هستند که در این زمینه می توان ذکر نمود وجود هوای سرد به نگر داشتن بیشتر هوای آلوده کمک می کند و از جمله عوامل آلوده کننده مصنوعی می توان به بوی زباله بیمارستانی و خانگی، دود سیگار، دودهای ناشی از سوخت هواپیماها و موشک ها و نیروگاه های بخار با سوخت فسیلی اشاره نمود (فرج زاده و باغبان، ۱۳۹۷).

۲-۴-۴ وارونگی دما

در فصل زمستان سرمای لایه های فوقانی باعث ماندن هوای آلوده در سطح زمین شده و منجر به ایجاد پدیده وارونگی دما می گردد که این امر در سال های اخیر محسوس تر بوده است.

۲-۴-۵ ترافیک

در شهرها ترافیک به عنوان پدیده ای مشکل زا در ایجاد آلودگی هوا بی تأثیر نیست، چراکه وقتی وسایل نقلیه در ترافیک قرار می گیرند در تولید آلودگی اثر می گذارند و این امر زمانی که وسیله نقلیه فرسوده و دودزا باشد محسوس تر است.

۲-۵ منابع اساسی آلودگی هوا

منابع اساسی آلودگی هوا به دو قسمت مهم زیر تقسیم می شوند (فرج زاده و باغبان، ۱۳۹۷):

منابع طبیعی: منابع طبیعی شامل آلودگی‌هایی است که انسان در آن دخالت ندارد و در اثر فعالیت‌های مختل در طبیعت به وجود می‌آیند. مانند طوفان‌های گردوغبار، گازهای آتشفشانی و یا گازهای گوگردی و کلر، متان، منواکسید کربن و دی‌اکسید کربن که در اثر تخمیر مواد در طبیعت تولید می‌شوند و گرده گیاهان که آلرژی‌زا هستند. پراکنش این آلاینده‌ها در طبیعت دوره کوتاهی دارد و جزئی از چرخه طبیعت هستند. علاوه بر این می‌توان ذکر نمود که در طبیعت چندین مکانیسم خودپالایی وجود دارد که سطح زمین را برای حیات موجودات مناسب و قابل تحمل می‌سازد. نقش انسان در کنترل آلودگی ناشی از منابع طبیعی بسیار اندک است اما انسان با برهم زدن تعادل اکولوژیکی و طبیعی ناشی از آلودگی مصنوعی می‌تواند وضع را بدتر نموده و بر میزان آلودگی طبیعی بیفزاید.

منابع مصنوعی: که بر اثر فعالیت‌های بشر به وجود آمده و مورد استفاده روزمره هست، شامل وسایل نقلیه، مؤسسات صنعتی، کوره‌های خشت‌پزی، نانوایی‌ها، ژنراتورهای شهری و خانگی هستند.

منابع مصنوعی خود به دو زیرمجموعه منابع ساکن و متحرک تقسیم‌بندی می‌شود:

منابع ساکن: شامل واحدهای کوچک و بزرگ صنعتی، واحدهای تولیدی-توزیعی و خدماتی مانند: فرودگاه‌ها، پایانه‌ها، پمپ‌بنزین‌ها و انبارهای نگهداری سوخت، مراکز تجاری، واحدهای مسکونی هستند.

منابع متحرک: شامل خودروهای سنگین و سبک، موتورسیکلت‌ها، قطار، هواپیما و کشتی‌های مسافربری و بارکش می‌باشند. سهم هریک از منابع آلوده‌کننده هوا به ترتیب ۸۵ تا ۹۰ درصد و ۱۰ تا ۱۵ درصد برآورد شده است.

۲-۶ روند کیفیت هوا در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته

میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در کشورهایی که سطح بالاتری از آلودگی دارند بیشتر است. در تقسیم‌بندی منطقه ای، بیشتر کشورهای اروپایی، آمریکای شمالی و آمریکای لاتین در نزدیکی مبدأ در

سطوح آلودگی پایین و میزان مرگ و میر پایین جمع می‌شوند. تقریباً همه کشورهای که میزان مرگ و میر یا غلظت PM2.5 زیاد دارند (یا هر دو) در آفریقا یا آسیا هستند.

کشورهایی مانند قطر، عربستان سعودی، عمان، کویت و امارات با وجود آلودگی زیاد، خطر مرگ زودرس نسبتاً کمتری دارند. سرانه تولید ناخالص داخلی آن‌ها به طور قابل توجهی بالاتر از همسایگان است. بنابراین انتظار می‌رود که استانداردهای کلی بهداشت، رفاه و مراقبت‌های بهداشتی و پزشکی در این کشورها به طور قابل توجهی خطر مرگ و میر ناشی از بیماری‌های تنفسی را کاهش دهد. تأثیر تولید ناخالص داخلی و کیفیت زندگی همچنین احتمالاً واقعیت دیگر را توضیح می‌دهد، جایی که کشورهای مانند افغانستان و جمهوری آفریقای مرکزی، علی‌رغم داشتن سطح آلودگی میانه، میزان مرگ و میر بسیار بالایی دارند. با سطح پایین تولید ناخالص داخلی، کیفیت کلی بهداشت و سلامت ممکن است بار بیماری‌های مرتبط با آلودگی را افزایش دهد.

شرایط موجود از نظر آلاینده‌ها که از سایر نقاط ممکن است متفاوت باشد. بیشتر آلودگی هوای محلی می‌تواند از ذرات گرد و غبار و شن و ماسه ناشی از تولید منابع انسانی و صنعتی و کشاورزی باشد. اگر شن و ماسه و منابع گرد و غبار به شدت اثرات کمتری بر سلامتی داشته باشند، این ممکن است نقاط قوت این منطقه جهان را توضیح دهد. در ثروتمندترین کشورهای جهان میزان مرگ و میر در دامنه ۱۰-۲۰ در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر است. با کمترین درآمد، بسیاری از کشورها نرخ مرگ و میر نسبتاً کمی دارند.

در سال ۲۰۱۴، حدود ۹۲ درصد از جمعیت جهان در مکان‌هایی با کیفیت مطلوبی از محیط زیست که از سازمان جهانی بهداشت پیش بینی شده بود، اتفاق افتادند. علاوه، علت ۷ میلیون مرگ در جهان در سال ۲۰۱۲ به دلیل آلودگی‌های هوا توسط WHO گزارش شده است (Kuehn, ۲۰۱۴). آلودگی فزاینده هوا باعث کمرنگ شدن کیفیت هوای شهری، تبدیل شدن به یک محیط زیست سالم در سطح جهانی و مرتبط با سگته مغزی، سرطان، ناباروری، بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی، کاهش شناختی و سایر شرایط پزشکی نامطلوب است. تعداد زیادی از مرگ و میرها (تقریباً ۹۰ درصد) مربوط به آلودگی هوا در کشورهای با درآمد کم و متوسط که عمدتاً در جنوب شرقی آسیا و مناطق غربی اقیانوس آرام وجود دارد، رخ می‌دهد.

آلودگی هوا به عنوان یک مسئله جهانی بهداشت جهانی شناخته شده است. ۶/۷ میلیون مورد مرگ و میر در سال ۲۰۱۶ باعث ایجاد آلودگی در هوا شده است که بار جهانی بیماری‌ها، آسیب‌ها و عوامل خطر (GBD) را ثبت کرده است. علاوه بر این، تعداد مرگ و میرها تا سال ۲۰۵۰ و بدون هیچ اقدامی افزایش یافته است. کمیسیون لانسِت اعلام کرد که بیشترین بار بیماری در کشورهای با درآمد کم و متوسط به دلیل بیشترین مرگ و میر ناشی از آلودگی در این مناطق رخ خواهد داد.

۷-۲ مسائل فعلی آلودگی هوا

بر سلامت و رفاه عمومی

خطرات بهداشت عمومی و محیط زیست در اثر تغییرات آب و هوایی قابل توجه و گسترده است، انتظار می‌رود منجر به طوفان‌ها و طوفان‌های شدیدتر، طغیان شدیدتر و مکرر، افزایش خشکسالی و آتش‌سوزی شدیدتر شود حوادثی که می‌توانند منجر به مرگ، جراحت شوند و میلیاردها دلار خسارت به اموال و زیرساخت‌های کشور وارد کنند.

دی اکسید کربن و سایر آلودگی‌های گازهای گلخانه‌ای منجر به ایجاد امواج گرمایی مکرر و شدید می‌شود که باعث افزایش مرگ و میر، به ویژه در بین افراد فقیر و مسن می‌شود. تأثیر تغییرات آب و هوایی بر سلامت عمومی شامل افزایش قرار گرفتن در معرض شخصی در معرض آلودگی ازن سطح زمین، تنش گرمایی و پراکندگی آلودگی‌های آب، مواد حساسیت‌زای موجود در هوا و سایر بیماری‌های عفونی است.

از دیگر اثرات آلودگی گازهای گلخانه‌ای که در ادبیات علمی ذکر شده است، می‌توان به اسیدی شدن اقیانوس، افزایش سطح دریا و افزایش آشفستگی هوا، خشم جنگل‌ها و کشاورزی، ریشه‌کنی گونه‌ها و محرومیت از اکوسیستم اشاره کرد. مطالعات گذشته افزایش حوادث شدید آب و هوایی و آب و هوایی در دهه‌های اخیر را به اثبات رسانده است، باعث آسیب و اختلال قابل توجه در رفاه انسان، زیرساخت‌ها، کشاورزی، تنوع زیستی و اکوسیستم شده است. کسانی که بیشتر در معرض تأثیرات بهداشتی مرتبط با آب و هوا

هستند مانند کودکان، افراد مسن و فقیر و نسل های آینده با خطرات نامناسبی روبرو هستند. مطالعات اخیر همچنین نشان می دهد که برخی جوامع از جمله جوامع کم درآمد بطور نامتناسبی تحت تأثیر برخی تأثیرات مربوط به تغییرات آب و هوایی از جمله امواج گرما، کیفیت هوا پایین و حوادث شدید هوا قرار دارند که با افزایش مرگ و میر، بیماری ها و چالش های اقتصادی همراه است (Kuehn, ۲۰۱۴).

گرم شدن کره زمین یک پدیده زیست محیطی است که در اثر آلودگی هوا طبیعی و انسانی ایجاد می شود. این به افزایش درجه حرارت هوا و اقیانوس ها در سراسر جهان اشاره دارد. این افزایش دما حداقل تا حدی ناشی از افزایش مقدار گازهای گلخانه ای در جو است. گازهای گلخانه ای انرژی گرما را در جو به دام می اندازند. دی اکسید کربن گاز گلخانه ای است که بیشترین تأثیر را در گرم شدن کره زمین داشته است. دی اکسید کربن با سوزاندن سوخت های فسیلی (زغال سنگ، بنزین و گاز طبیعی) در جو منتشر می شود. انسان ها برای تأمین انرژی اتومبیل ها و هواپیماها، گرمایش خانه ها و راه اندازی کارخانه ها به سوخت های فسیلی اعتماد کرده اند. گازهای گلخانه ای دیگر که از منابع طبیعی و مصنوعی ساطع می شوند نیز شامل گازهای متان، اکسید نیتروژن و فلورین هستند. متان انتشار عمده ای از کارخانه های زغال سنگ و فرآیندهای کشاورزی است. اکسید نیتروژن انتشار معمول از کارخانه های صنعتی، کشاورزی و سوزاندن سوخت های فسیلی در اتومبیل است. گازهای فلئوره شده، مانند هیدروفلئورکربن ها، توسط صنعت منتشر می شوند. از گازهای فلئوره دار اغلب به جای گازهایی مانند کلروفلئوروکربن ها (CFC) استفاده می شود. CFC ها در بسیاری از جاها غیرقانونی اعلام شده اند زیرا باعث از بین رفتن لایه ازن می شوند. در سراسر جهان، بسیاری از کشورها برای مقابله یا کاهش انتشار گازهای گلخانه ای برای مقابله با گرم شدن کره زمین گام برداشته اند. پروتکل کیوتو که برای اولین بار در سال ۱۹۹۷ در کیوتو ژاپن به تصویب رسید، توافقی بین ۱۸۳ کشور است که آن ها برای کاهش انتشار دی اکسید کربن خود تلاش خواهند کرد (Kuehn, ۲۰۱۴).

۸-۲ انواع آلاینده‌های هوا

طبقه‌بندی‌های متعددی برای آلاینده‌های هوا وجود دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است (Pandis و Seinfeld, ۲۰۱۲):

- بر مبنای منبع انتشار آلاینده‌های انسان ساخت و طبیعی
 - بر مبنای محیط پذیرنده: آلاینده‌های هوای آزاد و داخل
 - بر مبنای شکل انتشار آلاینده‌های اولیه و ثانویه، آلاینده‌های اولیه آن‌هایی را شامل می‌شوند که به طور مستقیم از منابع تولید کننده آلودگی منتشر می‌شوند در حالی که آلاینده‌های ثانویه گروهی از آلاینده‌ها هستند که در اتمسفر و از طریق واکنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌های اولیه و گونه‌های شیمیایی که به طور معمول در اتمسفر یافت می‌شوند، به وجود می‌آیند
 - بر مبنای حالت آلاینده: آلاینده‌های ذره‌ای و گازی
- از دیدگاه دیگر می‌توان آلاینده‌های هوا را به ذره‌ای و گازی و همچنین به صورت زیر طبقه‌بندی کرد. این نوع دیگر طبقه‌بندی، مرتبط با آلاینده‌های هواست که تحت عنوان آلاینده‌های معیار^۱ شامل شش آلاینده ازن، ذرات معلق^۲ (PM)، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، سرب و منوکسید کربن و آلاینده‌های خطرناک هواست. در واقع این نوع طبقه‌بندی مقبولیت بیشتری دارد، هرچند محتوای دیگر طبقه‌بندی‌ها تا حدود زیادی در این نوع طبقه‌بندی آخر قرار (Pandis و Seinfeld, ۲۰۱۲).

گازی است بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه که البته از فراوان‌ترین آلاینده‌های اصلی در اتمسفر هست. عملاً CO حاصل احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی است که به جای CO₂ تشکیل می‌شود و در اثر یکی از کاستی‌های زیر است:

^۱ . Criteria

^۲ . Particulate Matter

- اکسیژن ناکافی
- دمای پایین شعله
- زمان ماند گاز محلول هوا و سوخت (جبهه‌ی شعله) در دمای بالا
- اغتشاش درون اتاقک احتراق.

موارد فوق برای منابع ساکن تحت کنترل دقیق‌تری قرار دارند تا منابع متحرک. از این‌رو نیروگاه‌ها معمولاً ۵ درصد کل CO موجود در هوا را علیرغم مصرف حدود ۳۰ درصد سوخت‌های فسیلی (در جهان) تولید می‌کنند. گاز CO توانایی خون را برای انتقال اکسیژن کاهش داده، به هموگلوبین خون می‌چسبد و تولید کربوکسی هموگلوبین (COHb) می‌نماید؛ بنابراین خون حاوی اکسیژن کمتری می‌شود و می‌تواند روی مغز و تبش قلب، اثر جدی بگذارد. میزان COHb موجود در خون بر اساس درصد نشان داده می‌شود که به عوامل غلظت CO، زمان مواجهه شدن با CO و نرخ تنفس بستگی دارد. میزان سالانه تولید جهانی منواکسید کربن حدود ۲۶۰ میلیون تن است که ۶۰ درصد آن ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌ویژه سوخت‌های ناقص فسیلی و ۴۰ درصد بر اثر فرایندهای طبیعی وارد اتمسفر می‌شود. میانگین غلظت زمینه CO در اتمسفر در محدوده ۰/۰۶ تا ۰/۷ میلی گرم بر مترمکعب هوا (۰/۱۲ تا ۰/۰۵ ppm) قرار دارد. این گاز در هوای آزاد و به مقدار کم، زندگی بیماران قلبی و ریوی را به خطر می‌اندازد، استنشاق آن در محیط‌های بسته و سقف دار باعث خفگی و مرگ می‌شود و در داخل اتومبیل غلظت آن به ۲ تا ۵ برابر بیشتر از بیرون می‌رسد. تأثیر CO بستگی به غلظت و مدت‌زمان تمام با آن دارد. بیشترین سهم تولید منواکسید کربن متعلل به تولید الکتریسیته هست. نیروگاه‌های فعال یا از گاز یا مازوت (مادهای شبیه گازوئیل) استفاده می‌کنند. این مواد آلودگی بسیار زیادی را تولید می‌کنند (Pandis و Seinfeld، ۲۰۱۲).

اکسیدهای ازت شامل NO_2 ، NO_3 ، N_2O ، N_2O_3 ، N_2O_4 ، NO و NO_x می‌باشند که معمولاً NO_2 و N_2O برای مطالعه‌ی آلودگی هوا مورد سنجش قرار می‌گیرند. در واقع غالب دستگاه‌های سنجش NO_x مجموع آلاینده‌های NO_2 و NO را می‌دهند؛ در حال یکی به‌تنهایی نیز قابل‌اندازه‌گیری هستند.

NO_2 و NO با توجه به اثرات سوء بهداشتی برای انسان‌ها بیشتر مورد توجه هستند. به‌طور کلی منابع اکسیدهای نیتروژن، دو دسته عمده را در بر می‌گیرند:

- اکسیدهای نیتروژن حرارتی: به‌واسطه وجود ازت در هوا هنگام احتراق تشکیل می‌گردند.
 - اکسیدهای نیتروژن سوختی: به‌واسطه وجود ازت در ترکیبات سوخت، هنگام احتراق شکل می‌گیرند.
- امروزه اکسیدهای نیتروژن سوختی، سهم بیشتری از اکسیدهای ازت در هوا دارند و از NO_x به عنوان آلاینده لوکس یاد می‌شود. یعنی اینکه هر چه وضعیت تولید از لحاظ فناوری و منابع مالی بهتر شود، آنگاه راندمان بالا رفته و در نتیجه بیشترین کارایی و انرژی را می‌گیریم. پخ کمترین آلودگی CO و هیدروکربن سوخته را در دمای سوخت بالاتر داریم و در نهایت NO_x بیشتری تولید می‌شود. در مواقع احتراق کامل‌تر، افزایش غلظت شکل‌گیری NO_x تابعی از دما است. از میان هفت اکسید شناخته‌شده نیتروژن موجود در هوای محیط، اکسید نیتریک (NO) و دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) بر روی سلامتی انسان مؤثر هستند که هر دو از ترکیبات عادی هوا بوده و به علت پدیده‌های مختل جوی مانند فوران آتشفشان‌ها به وجود می‌آیند. با وجود این در شهرها به علت فعالیت‌های انسانی، از غلظت بالاتری برخوردار هستند. احتراق سوخت‌ها در دمای بالا موجب تولید این آلاینده‌ها می‌گردد. بر اساس تخمین سازمان بهداشت جهانی، کل اکسیدهای نیتروژن تولیدی در سطح جهان، سالانه ۱۵۰ میلیون تن اعلام گردیده که حدود نیمی از آن ناشی از فعالیت‌های طبیعی و نیم دیگر ناشی از فعالیت‌های انسانی است. این گاز باعث تحریک چشم‌ها و قسمت‌های عمقی ریه‌ها شده و موجب بروز خستگی مفرط و افزایش موارد بیماری می‌گردد. این گاز می‌تواند باعث ایجاد سوزش در ریه‌ها و همچنین باعث کاهش میزان مقاومت سیستم تنفسی در مقابل بیماری‌هایی مانند آنفلوآنزا شود. هر دو اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن اگر از مرزهای خونی ریه عبور کنند می‌توانند فرم‌های غیرفعال هموگلوبین که

مهم‌ترین آن‌ها متهموگلوبین است را به وجود آورند. در گزارشی از سازمان بهداشت جهانی، غلظت 0.5 ppm اکسیدهای نیتروژن را کمترین مقداری می‌داند که در کوتاه مدت مخرب است. به نظر می‌رسد حداکثر یک‌ساعته $0.1-0.17 \text{ ppm}$ (یک‌بار در ماه) حفاظت‌های عمومی را در بر دارد (Pandis و Seinfeld, ۲۰۱۲).

به هر ماده‌ای به‌جز آب خالص که به‌صورت مایع یا جامد در اتمسفر تحت شرایط نرمال در اندازه میکروسکوپی یا زیر میکروسکوپی اما بزرگ‌تر از ابعاد مولکولی، حدود ۲ آنگستریم موجود باشد، ذره معلق می‌گویند. یک توصیف کامل از ذرات موجود در جو نیازمند تعیین موارد زیر هست:

- غلظت
- اندازه
- ترکیب شیمیایی و
- فاز (مایع یا جامد).

روش‌های بسیاری برای بیان اندازه‌ی ذرات وجود دارد ولی اغلب برحسب قطرهای واقعی یا معاد بیان می‌شوند.

ذرات معلق جوی در اندازه‌ها و غلظت‌های مختلفی از $2/5$ تا 10 میکرون وجود دارند اما به‌طور کلی بیشتر به بررسی ذرات $2/5$ تا 10 میکرونی به علت اهمیت آن‌ها پرداخته می‌شود.

- آئروسول: ذره‌های ریز جامد یا مایع پراکنده در جو را گویند.
- گردوغبار: ذرات جامد در اثر سایش موجود در جو هست.
- ذرات جامد که در اثر سرد شدن بخار آب حاصل می‌گردد.
- ذرات مایع
- ذرات حاوی کربن ناشی از احتراق ناقص
- هیدروکربن‌های حلقوی معطر

- PM10 ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی از ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر

- PM2.5: ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی از ۰/۱ تا ۲/۵ میکرومتر

ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر به دلیل راه‌یابی به سیستم تنفسی تحتانی به‌عنوان شاخص اصلی مواد معلق در هوا معرفی می‌شوند. بر اساس مطالعات اپیدمیولوژیکی، ذرات معلق در مقایسه با اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای ازت برای سلامتی انسان مخاطره‌آمیزتر است و مقدار PM10 در تشدید بیماری‌های قلبی-ریوی، کاهش مقاومت سیستم ایمنی بدن در مقابل بیماری‌ها، از بین رفتن بافت ریه، آسم کودکان، مرگ‌ومیر زودرس و سرطان نقش عمده‌ای دارد. هوای محیط با مقدار زیاد PM10 ممکن است تعداد مرگ‌ومیر روزانه در ساکنین شهرها به‌ویژه افراد مسن که دارای بیماری ریوی هستند را افزایش دهد. مقدار ذرات معلق بیش از 380 mg/m^3 به‌طور مشخصی ظرفیت حیاتی ریه را کاهش داده و گزارش‌های متعددی اثر آن را بر روی عملکرد سیستم قلبی-ریوی حتی در مواقعی که غلظت آن پایین‌تر از استاندارد محیطی بوده، نشان داده است.

منابع تولیدکننده این آلاینده شامل همه انواع فرآیندهای احتراقی (احتراق در موتور خودرو، نیروگاه‌های برق و سوختن چوب) و فعالیت صنایع، عملیات راه‌سازی و گرد و غبار ناشی از تردد در جاده‌ها و منابع طبیعی انتشار آن در طبیعت شامل فعالیت آتشفشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، باد، طوفان و گردباد می‌باشند.

ذرات معلق هوا بیش از هر نوع دیگر از آلاینده‌ها هوا مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اجزای اصلی تشکیل دهنده ذرات معلق هوا عبارت‌اند از سولفات‌ها، نیترات‌ها، آمونیوم، سدیم کلرید، کربن سیاه ذرات معدنی و آب. به عبارت دیگر ذرات معلق هوا مخلوط پیچیده‌ای از ذرات جامد و مایع مشکل از مواد آلی و معدنی معلق در هوا هستند که مواجهه مزمن با این ذرات معلق در هوا سبب بیماری‌های قلبی عروقی، ریوی و همچنین سرطان ریه می‌شود (WHO, 2015).

ذرات معلق هوا اصطلاحی است که برای توصیف ذرات جامد و مایع پراکنده شده در هوا به کار می‌رود که بزرگ‌تر از مولکول‌هایی با قطر تقریباً (1 nm) و کوچکتر از 500 pm هستند. ذراتی در این گستره، دارای زمان ماندگاری به حالت تعلیق متغیری از چند ثانیه تا چندین ماه هستند. ذرات بزرگتر از 1 nm و کوچکتر

از ۲۰ تمایل به پیروی از حرکت سیالی دارند که آن‌ها را حمل می‌کنند. ذراتی که قطر آن‌ها تقریباً بیشتر از ۲۰ است، سرعت‌های ته نشینی بیشتری دارند و توسط نیروی ثقل و دیگر فرایندهای اینترسی از هوا حذف می‌شوند (EPA، ۲۰۱۲).

ذرات معلق هوا با توجه به اندازه آن‌ها به انواع زیر تقسیم می‌شوند (Hassanvand، ۲۰۱۴).

- ذرات درشت (coarse particles) یا PM10

- ذرات ریز (fine particles) یا PM2.5

- ذرات بسیار ریز (ultra fine particles) یا PM0.1

بیشترین تعداد ذرات، در گروه ذرات بسیار ریز قرار می‌گیرند که شامل ذرات معلق با قطر ۰/۱ میکرون و کمتر هستند. این ذرات از نظر مساحت سطح، غالب ترین ذرات معلق هوا هستند، ولی سهم اندکی در میزان جرم کلی ذرات معلق هوا دارند. این بخش از ذرات معلق به طور عمده از احتراق ناشی شده و در مرحله دوم به عنوان ذرات ثانویه از تبدیل گاز به ذره ایجاد می‌شوند. این ذرات به خودی خود ناپایدار هستند و از طریق انعقاد و فشردگی به ذرات بزرگ تر تبدیل می‌شوند. سولفات‌ها، نیترات‌ها، OC و EC از جمله ترکیبات غالب در این ذرات هستند. به دلیل اندازه بسیار کوچک این ذرات معلق بسیار ریز و نفوذ آن‌ها از دیواره هوا - خون در کیسه‌های هوایی، این ذرات اثرات بهداشتی متعددی دارند. ذرات ریز شامل ذراتی هستند که اندازه آن‌ها بین ۰/۱ تا ۲/۵ میکرون است و به همراه ذرات بسیار ریز تحت عنوان PM2.5 شناخته می‌شوند. ذرات ریز اساساً حاوی ذراتی هستند که در اثر احتراق ایجاد شده‌اند یا ناشی از انعقاد و فشردگی ذرات ثانویه به وجود می‌آیند. ذرات PM10 شامل تمام ذرات (ذرات بسیار ریز، ذرات ریز و ذرات درشت) دارای قطر ۱۰ میکرومتر و کمتر می‌شوند و قادرند از نخستین سد دفاعی بدن (بینی و گلو) عبور کنند، به ریه‌ها برسند و در آنجا رسوب کنند (Kelly و Fussell، ۲۰۱۲).

برخی از سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ و مواد نفتی سنگین (نفت کوره و گازوئیل) حاوی مقادیر زیادی گوگرد هستند که این گوگرد در اثر احتراق به شکل گاز دی‌اکسید گوگرد یا ذرات معلق در فضا پخش می‌شود (Smith, ۱۹۸۴). نیروگاه‌ها، کارخانه‌ها، خودروهای دیزلی و برخی مناطق مسکونی که اغلب از سوخت‌های فوق ذکر استفاده می‌کنند، از منابع انتشار اصلی این آلاینده محسوب می‌شوند. دی‌اکسید گوگرد که بیشتر از دیگر اکسیدهای گوگرد در هوا منتشر می‌شود، گازی استیرنگ و بدبو که باعث تحریک مجاری تنفسی به‌خصوص حلق، بینی و حنجره شده و ایجاد برونشیت‌های مزمن، آسم و آمفیزم می‌کند. SO_2 به مقدار زیاد در آب محلول بوده و در نتیجه به‌وسیله رطوبت در سیستم تنفس فوقانی جذب می‌شود. مهم‌ترین اثرات تنفسی غلظت‌های بالای SO_2 عبارت از: نارسایی‌های تنفسی، کاهش سیستم دفاعی ریه‌ها و تشدید بیماری قلبی و ریوی هست و افراد دارای بیماری‌های آسم، برونشیت یا آمفیزم و بیماران قلبی و همچنین بچه‌ها و افراد مسن به این گاز حساس می‌باشند. SO_2 به‌طور عمده موجب برونشیت و تنگی نفخ در غلظت‌های نسبتاً پایین ۰/۲۵-۰/۵ ppm می‌شود. تأثیر این آلاینده در سیستم تنفسی در حضور ذرات معلق تشدید می‌شود. دی‌اکسید گوگرد و تری‌اکسید گوگرد، اکسیدهای گازی غالب گوگرد موجود در اتمسفر هستند، دی‌اکسید گوگرد گازی غیرقابل اشتعال، غیرقابل انفجار و بی‌رنگ است که در غلظت‌های ۰/۳ تا ۱ ppm در هوا ایجاد مزه می‌کند. در غلظت‌های بیشتر از ۳ ppm این گاز بوی تند و محرکی دارد. بیش از ۸۰ درصد اکسیدهای گوگرد به دست بشر در جریان احتراق سوخت‌های فسیلی از منابع ثابت آلوده‌کننده تولید می‌شود (Colls و Tiwary, ۲۰۱۵). اکسیدهای گوگرد در ترکیب با مواد معلق و رطوبت زیانبارترین اثرات مرتبط با آلودگی هوای اتمسفری را ایجاد می‌کنند و متأسفانه به اثبات رسیده است که مجزا کردن اثرات ناشی از دی‌اکسید گوگرد به تنهایی مشکل است (WHO, ۲۰۰۶).

ازن در نتیجه واکنش‌های فتوشیمیایی بین هیدروکربن‌های خروجی از آگزوز اتومبیل‌ها و اکسیدهای نیتروژن در اتمسفر به وجود می‌آید و محرک چشم، گلو و ریه است. این آلاینده اساس توسط منبعی به محیط منتشر نمی‌شود بلکه به وسیله واکنش‌های موجود بین آلاینده‌های اتمسفر تولید می‌شود و به همین علت، این آلاینده را از نوع ثانویه می‌نامند. آلاینده‌های اولیه‌ای که در شکل‌گیری ازن شرکت دارند، اکسیدهای نیتروژن (Nox) و مجموع هیدروکربن‌ها (THC) می‌باشند.

ازن یک ماده اکسیدکننده قوی باقابلیت واکنشی زیاد بوده و فعالیت شیمیایی بالای ازن باعث بروز مشکلاتی از قبیل از بین رفتن بافت ریه‌ها و کاهش عملکرد آن می‌شود. از جمله اثرات مضر این آلاینده بر سلامتی انسان، سوزش چشم و ریه‌ها هست. آمارها نشان می‌دهد که حملات آسم در روزهایی که غلظت بالایی از این آلاینده مشاهده شده به‌طور مشخصی افزایش یافته است. ازن موجود در هوا آسیب‌های شدیدی به کودکان، افراد سالخورده و افراد دارای ناراحتی تنفسی وارد می‌کند. قرار گرفتن در معرض غلظت پایین ازن به مدت ۶-۷ ساعت متوالی باعث کاهش توان ریه‌ها توأم با عوارضی مانند درد قفسه سینه و سرفه می‌شود. ازن همچنین موجب کاهش بازدهی محصولات کشاورزی و از بین رفتن جنگل‌ها و اکوسیستم گیاهی می‌شود (who, ۲۰۱۵).

به‌طور کلی انتشار سرب و مواد حاوی ترکیبات سربدار عمدتاً به دلیل استفاده از ترکیبات سرب (که توان ضد کوبش را در هنگام احتراق بنزین افزایش می‌دهد) در بنزین هست که امروزه از ETBE و MTBE به‌جای ترکیبات سرب در بنزین استفاده می‌کنند. عمدتاً سرب به‌صورت ذرات به هوا منتشر می‌شود و جذب آن از طریق تنفس و انتقال به خون باعث مسمومیت‌های زمانی و اثرات طولانی‌مدت روی کودکان، کهن‌سالان، زنان باردار و دیگر طبقات آسیب‌پذیر جامعه می‌گردد (who, ۲۰۱۵).

۹-۲ کاربرد سنجش از دور در آلودگی هوا

کاربرد سنجش از دور در آلودگی هوا بیش از سه دهه است که مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و از قدمت بالایی برخوردار است. بر همین اساس در این بخش از این مطالعه به مواردی از کاربرد آن پرداخته شده است.

نخستین ماهواره سنجش از دوری که برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها طراحی شد MAPS نام دارد که بین سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۹ میلادی با استفاده از باندهای مادون قرمز برای شناسایی و پایش تغییرات مونوکسید کربن در مقیاس جهانی استفاده شده است. با استفاده از این ماهواره تغییرات تمرکز مونوکسید کربن ناشی از آتش‌سوزی‌های پوشش‌های گیاهی با فاصله زمانی ۸ تا ۱۰ روز شناسایی و پایش می‌شد. از آن زمان تا کنون، ماهواره‌ها و سنجنده‌های متفاوتی با طول موج‌ها و مقیاس مشابه برای پایش آلودگی استفاده شده است. از جمله این پروژه‌ها می‌توان به سنجنده IMG اشاره کرد که برای بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۷ در مقیاس جهانی بکاربرده شد. سنجنده MOPITT ماهواره ترا در سال ۱۹۹۹ میلادی مأموریت خود را آغاز کرد و هم‌اکنون برای بیش از ۱۰ سال داده‌های مونوکسید کربن جهانی را تولید و عرضه کرده است. از سوی دیگر، سنجنده‌های AIRS در ماهواره آکوا، TES در ماهواره ائورا و IASI همگی برای پایش مونوکسید کربن جو با استفاده از مادون قرمز طراحی شده و برای سال‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. برداشت ماهواره‌ای داده‌های مربوط به آلاینده‌ها فقط به مونوکسید کربن ختم نمی‌شود. سنجنده‌ها و ماهواره‌های متعددی نیز برای پایش ازن طراحی شده و اطلاعات با ارزشی را در مقیاس جهانی تولید کردند. به عنوان مثال سنجنده TOMS در سال ۱۹۷۸ میلادی، برای پایش ازن جو طراحی شد و اطلاعات با ارزشی را در ارتباط با تغییرات لایه ازن تولید نمود. امروزه تکنیک‌های موثری برای برآورد ازن استراتوسفری با استفاده از داده‌های TOMS طراحی شده است که با استفاده از آن امکان برآورد ازن در لایه تروپوسفر نیز فراهم است. از این تکنیک برای

سنجنده OMI نیز استفاده شده است. با این حال این روش یکی از ابتدایی‌ترین تکنیک‌ها برای آشکارسازی ازن در اتمسفر است که خصوصاً برای لایه‌های پایینی جو دقت مناسبی دارد (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۷).

یکی از جدیدترین روش‌ها برای اندازه‌گیری ازن در اتمسفر با استفاده از داده‌های سنجنده TES صورت گرفته است. روش بکار برده شده در این سنجنده، امکان محاسبه دقیق‌تر ازن جوی با استفاده از باندهای مادون قرمز در لایه‌های استراتوسفر و تروپوسفر و نسبت تفاوت آن‌ها را فراهم می‌کند. در شرایطی که زمین سطح نسبتاً گرمی دارد محاسبه اختلاف ازن در لایه‌های پایین و بالای تروپوسفر فراهم می‌شود. امروزه با استفاده از داده‌های TES امکان شناسایی و پایش تغییرات مونوکسید کربن ناشی از آتش‌سوزی‌های پوشش گیاهی در مقیاس جهانی فراهم شده است. برآورد ازن با استفاده از داده‌های مادون قرمز با استفاده از سنجنده‌هایی با توان تفکیک طیفی کمتر (مانند AIRS) در شناسایی مولکول‌های ازن با غلظت کمتر از ۳۰۰ هکتوپاسکال با مشکل مواجه است. همین عامل باعث کاهش دقت جزییات مکانی الگوی تغییرات ازن در قسمت‌های مختلف جو می‌گردد. مطالعات صورت گرفته در سنجش از دور نشان داده که در کنار باندهای مادون قرمز، باندهای مرئی و ماوراء بنفش نیز برای این هدف بسیار مناسب و کاربردی است. بررسی‌های صورت گرفته با استفاده از داده‌های ماهواره GOME که توسط سازمان فضایی اتحادیه اروپا طراحی شده، این موضوع را اثبات کرده است. با این حال استفاده از این باندها برای برآورد ازن جوی، نیازمند اطلاعات دقیق از ارتفاع تروپوپاز است. با این حال مهم‌ترین محدودیت در استفاده از این محدوده طیفی حساسیت اندک آن نسبت به لایه‌های پایینی تروپوسفر است (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۷).

تروپوسفری

در سنجنده MOPITT از باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی استفاده شده که نسبت به مونوکسید کربن حساسیت داشته و توسط آن جذب می‌شوند. از لحاظ اصول سنجش از دور، استفاده همزمان

از دو باند همراه با یکدیگر نتایج بهتری را در استخراج اطلاعات ایجاد می‌کند. به عنوان مثال استفاده ترکیبی باندهای مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی امکان شناسایی و تفکیک مرز مونوکسید کربن در مناطق مختلف لایه تروپوسفر را به خوبی فراهم می‌آورد.

با این حال لازم بذکر است که استفاده از محدوده مادون قرمز نزدیک از محدودیت های مهمی برای برآورد مونوکسید کربن برخوردار است و حتما باید بصورت ترکیبی در این گونه از اندازه گیری ها استفاده شود. از سوی دیگر مطالعات اخیر نشان داده است که استفاده ترکیبی این دو باند، میزان حساسیت الگوریتم های بکاربرده شده در برآورد مقادیر مونوکسید کربن سطحی را افزایش داده است (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۷).

دی اکسید نیتروژن در استراتوسفر و تروپوسفر وجود دارد. با این حال بدلیل منابع تولید کننده این آلاینده در تروپوسفر و مدت زمان حضور یک تا دو روز آن، همواره تغییر پذیری این آلاینده متناسب با تغییرات تروپوسفر مطالعه و اندازه گیری می‌شود. این شرایط امکانی را برای ماهواره های سنجش از دور فراهم کرده که بتوانند نسبت تغییرات آن در لایه های تروپوسفر و استراتوسفر را بصورت ستونی اندازه گیری و ثبت کنند. البته لازم بذکر است که این تکنیکی است که برای سایر آلاینده ها مانند ازن نیز بکار برده می‌شود. دی اکسید سولفور عموما با استفاده از باندهای ماوراءبنفش در سنجنده ها مانند TOMS اندازه گیری می‌شود. دی اکسید سولفور برای نخستین بار در فوران های آتش فشانی و به همراه گازهای خارج شده از دهانه آتش فشان ها مورد توجه قرار گرفت. امروزه با استفاده از ماهواره های مختلف سنجش از دور امکان ثبت و پایش تغییرات این گازها در مناطق آتش فشانی به شکل مطلوبی فراهم است. این گونه از گازها (دی اکسید سولفور) عموما در لایه تروپوسفر و بخش های پایینی لایه استراتوسفر شناسایی می‌شوند (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۷)..

۲-۱۰ پایش آلاینده‌های هوا با ماهواره سنتینل ۵

ماهواره سنتینل-۵ که در ۱۷ اکتبر سال ۲۰۱۷ پرتاب شد، بخشی از مأموریت ناوگان سنتینل است که سازمان فضایی اروپا جهت برنامه نظارت بر محیط زیست اروپا و پایش آلاینده‌های هوا در سراسر زمین، توسعه داده است. از وظایف این ماهواره، پایش آلاینده‌هایی مانند کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن است و از ماه ژوئیه تا کنون داده‌های سایر آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسید سولفور و فرمالدئید را به لیست موجود برای پایش هوایی که ما تنفس می‌کنیم اضافه کرده است. این ماهواره حامل یک طیف سنج چند طیفی پیشرفته بنام Tropomi است. آنچه که Tropomi را متمایز می‌کند، ردیابی اثرات منحصر به فردی از گازهای جوی در بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی است تا بتواند طیف وسیعی از آلاینده‌ها را با دقت بیشتر و با توان تفکیک بالاتر نسبت به قبل، نشان بدهد (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۷).

۲-۱۱ روش‌های کنترل میزان انتشار آلودگی‌ها

امروزه وسایل نقلیه موتوری مسئول تقریباً نیمی از ترکیبات آلی فرار (VOC) تشکیل دهنده دود در هوا، بیش از نیمی از انتشارات اکسیدهای نیتروژن (NOx) و حدود نیمی از تولیدات آلاینده‌های سمی در ایالات متحده هستند. وسایل نقلیه موتوری، شامل وسایل نقلیه غیر جاده‌ای، اکنون به عنوان تولید کننده ۷۰ درصد از انتشارات مونواکسید کربن در سراسر کشور شناخته می‌شوند.

مؤثرترین روش برای کاهش آلاینده‌های هوا پایه گذاری کترلهای شدید بر میزان انتشارات در منشاء انتشار آن‌هاست. جنبش هوای پاک در سال ۱۹۹۰ با مستلزم کردن تولید کنندگان به ساخت موتورهای پاکتر، پالایشگاه‌ها برای تولید سوخت‌های پاک نرو مناطق خاصی با مشکلات عمده آلودگی هوا برای انتخاب و استفاده از روش‌های حمل و نقل عمومی برای جابجایی مسافرین و برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، رویکردی جامع برای کاهش آلاینده‌ها از این منابع ارائه کرد. EPA، مقرراتی را برای خودروهای سواری، کامیون‌ها و اتوبوس‌های دیزلی و تجهیزات غیر جاده‌ای وسایل نقلیه تفریحی، تجهیزات چمن و باغچه و غیره) تنظیم کرده است که با خرید وسایل نقلیه و تجهیزات جدید توسط مردم، کاهش چشمگیری در میزان

نشر گازهای مضر به وجود خواهد آمد. در این قسمت چند نمونه از روش های کنترل برای کاهش نشر آلودگی های تولید شده توسط وسایل نقلیه ذکر شده است:

- خودروهای پاکتر بنزین تصفیه شده
 - سوخت های حاوی میزان کمتری گوگرد
 - سوخت های جایگزین
 - کامیون ها، اتوبوس ها و تجهیزات غیر جاده ای پاکتر
 - سیاست های حمل و نقل . برنامه های بازرسی و تعمیر
- سیاست های حمل و نقل با هدف کاهش انتشار آلاینده های هوا شامل روش هایی از جمله پروسه انطباق و برنامه های معاینه فنی و تعمیر می شود. برای درک پروسه انطباق، ابتدا باید مفهوم و هدف استانداردهای ملی کیفیت هوای محیط (NAAQS) و معیارهای تعیین کیفیت هوا درک شود (Mayer, 2011)

۱۲-۲ استانداردهای تعیین آلودگی هوا

شاخص کیفیت هوا (AQI) شاخصی جهت پیش بینی روزانه کیفیت هوا است. این شاخص مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن آن) آگاه می سازد و میزان ارتباط آن با سطوح سلامت را ارائه می کند. به عبارت دیگر میزان تأثیر هوای آلوده بر سلامت انسان را نشان می دهد و درک آن را توسط عموم مردم آسان می سازد. شاخص کیفیت هوا AQI، کیفیت هوا را در شش دسته قرار می دهد که هر دسته را به سطوح مختل سلامت انسان مربوط می سازد. این شش دسته همان طور که در جدول ۱-۲ آمده به شرح زیر است:

جدول ۱-۲: ارزیابی وضعیت کیفی هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا (Griffin, ۲۰۰۷)

مرحله کیفی	شاخص کیفیت هوا	شاخص بهداشتی	رنگ ویژه
۱	0-50	خوب	سبز
۲	51-100	متوسط	زرد
۳	101-150	غیربهداشتی برای افراد حساس	نارنجی
۴	151-200	غیربهداشتی برای کل افراد	قرمز

بنفش	کاملاً غیربهداشتی	201-300	۵
ارغوانی	مخاطره‌آمیز	300-500	۶

خوب: میزان AQI در این حالت بین 0 و 50 است. کیفیت هوا رضایت‌بخش است و آلودگی هوا بی‌خطر یا کم‌خطر است. این حالت را با رنگ سبز نشان می‌دهند.

متوسط: میزان AQI در این حالت بین ۵۱ تا ۱۰۰ است. کیفیت هوا قابل‌قبول است اگرچه بعضی از آلاینده‌ها ممکن است برای تعداد بسیار کمی از افراد با ملاحظات بهداشتی خاص همراه باشد؛ به‌عنوان مثال کسانی که نسبت به ازن حساسیت ویژه‌ای دارند ممکن است علائم تنفسی از خود بروز دهند؛ این حالت را با رنگ زرد نشان می‌دهند.

ناسالم برای گروه‌های حساس: میزان AQI در این حالت بین ۱۰۱ و ۱۵۰ است. بعضی از افراد گروه‌های حساس ممکن است اثرات بهداشتی خاصی را تجربه کنند. برای مثال مردمی که دارای بیماری ریه هستند نسبت به عموم مردم خطرات بیشتری را از مواجهه با ازن محتمل می‌شوند اما مردمی که بیماری ریوی یا قلبی دارند خطر بیشتری را از مواجهه با ذرات معلق متحمل می‌شوند. و وقتی آلودگی هوا در این سطح قرار دارد عموم مردم تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند؛ این حالت را به رنگ نارنجی نشان می‌دهند.

ناسالم: هر فردی ممکن است اثرات بهداشتی AQI بالا را زمانی که مقدار آن بین ۱۵۱ و ۲۰۰ است، تجربه کند. اعضای گروه‌های حساس بیش از سایرین اثرات جدی را بر سلامت خود تجربه می‌کنند؛ این حالت را با رنگ قرمز نشان می‌دهند.

خیلی ناسالم: در این حالت AQI بین ۲۰۱ تا ۳۰۰ قرار دارد و هشدار برای سلامتی به‌حساب می‌آید و بدین معنی است که هرکسی ممکن است اثرات جدی‌تری را بر سلامت خود تجربه کند؛ این حالت را به رنگ بنفش نشان می‌دهند.

خطرناک: AQI در این وضعیت از ۳۰۰ بالاتر است و اخطاری جدی برای سلامت انسان و اعلام وضع اضطراری است. در این وضعیت احتمالاً تمام افراد جامعه تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این حالت را با رنگ ارغوانی نشان می‌دهند.

۲-۱۳ اندازه‌گیری آلاینده‌های گازی

گازهای خاصی در محیط در سطوح غلظت وجود دارند که بالاتر از حد تشخیص ابزار تحلیلی هستند. در چنین مواردی، نمونه‌های گرب را می‌توان جمع‌آوری کرد و در یک ابزار تحلیلی مناسب به طور مستقیم و بدون پردازش زیاد معرفی کرد. همان طور که از نامش پیدا است، نمونه‌برداری شامل گرفتن حجم مشخصی از هوای محیط است. حجم کم نمونه‌های هوا با استفاده از ساده‌ترین راه و با کمک کانتینرهای ویژه در عرض یک ثانیه یا دقیقه جمع‌آوری می‌شود. تکنیک‌های کروماتوگرافی گازی (GC) می‌تواند برای تجزیه و تحلیل نمونه‌های هوا استفاده شود. کیسه‌های پلاستیکی و ظروف فولادی ضد زنگ یا شیشه‌ای عمدتاً برای نمونه‌برداری استفاده می‌شوند. استفاده از کیسه‌های ساخته‌شده از پلیمر ساده است. سران، میلار، اسکاچ پک (فویل آلومینیومی، لمینیت پلی‌اتیلن و تفلون) و تدلار برخی از موادی هستند که برای نمونه‌برداری مناسب هستند. مقدار هوا برای نمونه‌برداری از ۱۰ تا ۱۰۰ لیتر متغیر است. ظروف شیشه‌ای (یا فولاد ضد زنگ) نیز می‌توانند یک روش ساده برای نمونه‌برداری از هوا باشند. آلودگی و یا از دست دادن سطح را می‌توان با پیش درمان دقیق و شرطی کردن قوطی‌ها قبل از استفاده از آن‌ها اجتناب کرد. حجم نمونه‌های بزرگتر می‌تواند از طریق فشار دادن نمونه‌های اتاق جمع شود به دلیل حجم ظرف بسیار کم است. آنالیت‌ها (به شکل یک درصد یا یک سطح ppm در ماتریس هوا) موجود در ترکیبات را می‌توان با استفاده از نمونه‌برداری کل هوا تعیین کرد.

یک فشارسنج/خلا نصب‌شده در مخزن می‌تواند حضور یک نمونه گاز را نشان دهد. توی یه کیف دستی. شکل کیسه برای نشان دادن حضور یک نمونه هوا کافی است. غلظت پایین آنالیت‌ها آن‌ها را نزدیک یا کمتر از حد تشخیص ابزار تحلیلی می‌سازد. در چنین مواردی آنالیت در محیط در یک محیط جمع می‌شود و پس از برخی پردازش‌ها به ابزار تحلیلی منتقل می‌شود. رایج‌ترین روش برای غلظت آنالیت استفاده از لوله جاذب است. پمپ (که به عنوان نمونه گیر با حجم کم نیز شناخته می‌شود چون سرعت جریان تا ۱۰ لیتر بر دقیقه

است) برای پردازش حجم معینی از هوای محیط از طریق یک لوله پر شده با مقدار مشخصی از جاذب استفاده می‌شود. آنالیت جذب‌شده بر روی جاذب را می‌توان با استفاده از یک حلال و معرفی حلال به ابزار تحلیلی مناسب، از بین برد. عصاره حلال می‌تواند بیشتر با غلظت پردازش شود و به یک ابزار تحلیلی تزریق شود. در عوض، لوله جاذب را می‌توان به سرعت گرم کرد و بخارهایی که دارای تخلیه فلاش هستند را می‌توان با یک گاز بی‌اثر به ابزار تحلیلی از طریق یک شیر نمونه‌برداری گاز پاک کرد.

۲-۱۴ تکنیک‌های تحلیلی

این بخش روش‌های تحلیلی برای برخی از اجزای فاز گازی و بخار در هوای محیط را توصیف می‌کند. سولفور دی‌اکسید تکنیکی که برای تجزیه و تحلیل SO_2 در هوای محیط بسیار ارزان است، روش اصلاح‌شده وست گایک است (EPA, ۲۰۱۲). این شامل استفاده از یک ضربه زننده با یک محلول جاذب است که در هوای محیط کشیده می‌شود و SO_2 را جذب می‌کند. نرخ نمونه‌برداری معمولاً حدود ۱ لیتر بر دقیقه است، و فاصله نمونه‌گیری پیشنهادی ۴ ساعت است. پس از نمونه‌برداری، محلول جاذب به دقت به یک ظرف دیگر منتقل می‌شود و به آزمایشگاه منتقل می‌شود و با ۱ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک ۰٫۶ درصد، ۲ میلی‌لیتر محلول فرمالدئید ۰٫۲ درصد و ۲ میلی‌لیتر محلول پارا‌وسیلین تیمار می‌شود و با آب مقطر رقیق می‌شود. افزودن پارا‌انیلین به تشکیل یک مجموعه که دارای رنگ متمایز است. شدت رنگ با استفاده از یک اسپکتروفتومتر UV-vis اندازه‌گیری می‌شود و جذب طول‌موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. جذب با مقدار سولفور در محلول کالیبره می‌شود. کالیبراسیون خارجی با استفاده از سولفیت سدیم انجام می‌شود. جایگزین این روش، یک تکنیک نظارت مستمر است که از تکنیک فلورسانس UV استفاده می‌کند. این به انتشار فلورسنت SO_2 در ۲۲۰-۲۴۰ نانومتر متکی است. این یک ابزار بسیار گران‌تر است، اما می‌تواند به طور مداوم SO_2 محیط را نظارت کند. این روش در همه ایستگاه‌های نظارت مستمر که توسط هیات کنترل آلودگی مرکزی اداره می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکسید نیتروژن یک تکنیک اتصال مشابه روش

استفاده شده در روش اصلاح شده وست گاکه برای تجزیه و تحلیل اکسیده‌ای نیتروژن استفاده می‌شود (روش مرجع دستی EPA ایالات متحده: - ۱۲۷۷EQN - ۲۶).

محلول جاذب برای NO، محلول آبی ۳۵ میلی‌لیتر آب مقطر حاوی ۴ گرم سدیم هیدروکسید و ۱ گرم سدیم آرسنیت است. پس از نمونه‌برداری، محلول جاذب به دقت به ظرف دیگری منتقل می‌شود و به آزمایشگاه منتقل می‌شود و با ۱ میلی‌لیتر محلول هیدروژن پراکساید، ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفانامید و ۱،۴ میلی‌لیتر محلول N (۱- نفتیل) اتیلن دی آمین دی هیدروکلرید (NEDA) تیمار می‌شود. شدت رنگی که در مخلوط معرف شکل می‌گیرد با استفاده از یک اسپکتروفوتومتر UV-vis اندازه‌گیری می‌شود و جذب طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. کالیبراسیون خارجی با استفاده از سدیم نیتريت انجام می‌شود.

جایگزین این روش، یک تکنیک نظارت مستمر است که از یک تکنیک شیمیایی روشنایی استفاده می‌کند. تکنیک تشخیص شیمی-لومینسانس براساس اصل واکنش اوزون (O_3) با اکسید نیتريك (NO) است که منجر به تشکیل الکترونیکی دی‌اکسید نیتروژن تحریک شده (NO_2^*) و اکسیژن می‌شود. مولکول‌های برانگیخته NO_2 تشکیل شده بلافاصله به NO_2 بر می‌گردند و منجر به انتشار نور می‌شوند که به طور مستقیم با غلظت NO در نمونه متناسب است. لوله فوتووالتیپلایر برای اندازه‌گیری شدت انتشار نور استفاده می‌شود. تحلیل NO_x ($NO_2 + NO$) توسط مبدل NO_2 به NO انجام می‌شود. این امر همچنین در تمامی ایستگاه‌های نظارتی پیوسته که توسط هیات‌مدیره کنترل آلودگی مرکزی (CPCB) اداره می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مونواکسید کربن مونوکسید کربن (CO) در هوای محیط با استفاده از یک آنالایزر مادون قرمز غیر پراکنده نظارت می‌شود. چندین گزینه برای نمونه‌گیری دستی یا استاتیک وجود دارد. همچنین این بخشی از ابزار دقیق مورد استفاده در برنامه نظارت مستمر CPCB است.

ازون با استفاده از جذب UV در طول موج ۲۵۴ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. این یک ابزار نظارت مستمر است.

۱۵-۲ پیشینه تحقیق

بررسی آلودگی هوا با توجه به شرایط اتمسفری و نقش آن در محیط زیست همواره مورد توجه بسیاری از متخصصین بوده است. در این قسمت به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

۱۶-۲ پیشینه تحقیق در ایران

قربانی و زارع؛ (۱۳۸۸) در مقاله‌ای به ارزش گذاری ویژگی‌های مختلف آلودگی هوای مشهد پرداخته‌اند که هدف مطالعه حاضر تعیین ارزش اقتصادی آلودگی هوا و اثرات زیست محیطی آلودگی هوای شهر مشهد است. اطلاعات مورد نیاز این مطالعه از طریق تکمیل پرسش نامه به صورت پیمایش میدانی و با روش نمونه گیری تصادفی طبقه بندی شده، از ۲۸۶ خانوار شهری مشهد در سال ۱۳۸۴ جمع آوری شده است. به منظور ارزش گذاری اثرات زیست محیطی آلودگی هوا، از رهیافت الگوسازی انتخاب، که جامع ترین میزان ارزش اقتصادی کل زیست محیطی را ارائه می‌دهد و هم چنین الگوهای اقتصادسنجی لاجیت شرطی و لاجیت متداخل استفاده شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، افراد منطقه با آلودگی زیاد، به طور متوسط تمایل دارند برای ۳۰ درصد بهبود در بوی نامطبوع ناشی از آلودگی هوا، ریزش گرد و غبار سیاه، دید ضعیف و اثرات سلامتی ناشی از آلودگی هوا، به ترتیب ۷۵۱، ۹۱۲، ۱۵۲۶ و ۱۶۰۷ ریال در ماه پرداخت کنند، در حالی که افراد منطقه با آلودگی متوسط، تمایل دارند برای بهبود ۳۰ درصدی هر یک از ویژگی‌های فوق، ماهانه ۱۴۵۳، ۱۲۶۳، ۸۰۲ و ۵۹۵ ریال در ماه بپردازند. بر اساس نتایج این پژوهش، در مجموع ۳۰ درصد بهبود وضعیت آلودگی هوای مشهد، از ارزشی معادل ۱۱۳۰۳۴۷۲۶۵۰ ریال در ماه برخوردار است.

ملاشاهی و همکاران؛ (۱۳۹۱) مقاله‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش نوین مگنتومتری برگ‌های درختی گستره شهر تهران انجام داده‌اند در این پژوهش با استفاده از روش نوین پذیرفتاری مغناطیسی و جمع آوری نمونه از سه گونه درختی موجود در خیابان‌های شهر تهران، به پهنه‌بندی میزان آلودگی هوا در مناطق بیست و دو گانه شهر تهران اقدام شد. نمونه‌های برگ‌ی سه گونه توت (*Morus alba*)، زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و کاج تهران (*Pinus eldarica*)، از ۱۰۰ نقطه واقع در

مناطق بیست و دوگانه شهر تهران جمع آوری شد و پس از خشک کردن برگ ها، میزان پذیرفتاری مغناطیسی در آن ها اندازه گیری شد و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده، به پهنه بندی آلودگی هوا در کل شهر تهران پرداخته شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می دهد که مناطق واقع در جنوب شرق تهران، از آلوده ترین مناطق به شمار می آیند. در بین مناطق بیست و دوگانه، منطقه های ۱۴ و ۱۵ آلوده ترین مناطق تشخیص داده شدند. همچنین با توجه به نتایج پژوهش، گونه توت بیشترین جذب آلودگی را در بین گونه های بررسی شده داشته است. گفتنی است که نتایج به دست آمده از پهنه بندی مگنتومتری گستره شهر تهران با نتایج مطالعات پیشین در مورد پهنه بندی گاز مونواکسید کربن و همچنین جهت بادهای غالب در فصل پاییز همخوانی کامل دارند. به طوری که متوسط بالاترین میزان پذیرفتاری در سامانه بین المللی در گونه توت بوده و مقدار آن برابر ۴۹۸ است.

اکبری و همکاران؛ (۱۳۹۴) مقاله ای تحت عنوان پهنه بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی (مطالعه موردی: شهر مشهد) کار کرده اند در این پژوهش میزان آلودگی هوا از نظر PM_{10} با استفاده از شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI) و روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) در شهر مشهد پهنه بندی شده است. از طرفی پارامترهای اقلیمی نظیر سرعت باد، جهت باد و میزان بارش نیز تحلیل شده است. با مقایسه و همپوشانی آن ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نیز بررسی میزان ارتباط بین عوامل اقلیمی و شاخص PSI از طریق همبستگی پیرسون، تاثیر عوامل اقلیمی بر کاهش آلودگی هوا تا حدی مشهود است به طوری که در ماه فروردین به دلیل وجود بارش های بهاره از میزان آلودگی هوا کاسته شده و در ماه های دی و بهمن به دلیل وارونگی هوا و برخورداری از بارش کمتر، میزان آلودگی هوا نسبت به ماه های گرم سال افزایش یافته است. علاوه بر این، عامل جهت باد بیشترین تاثیر را در کاهش آلودگی هوا داشته و در ماه های فروردین و آذر، بیشترین ارتباط بین آن ها (به ترتیب $r = -0.902$ ، $r = 0.14$) و p و $r = -0.817$ ، $p = 0.04$) به چشم می خورد. در بیشتر ماه ها، بیشترین آلودگی هوا در اطراف ایستگاه های صدف، لشگر و نخ ریسی در مرکز شهر با داشتن ترافیک بیشتر و نیز میزان بارش و سرعت باد کمتر و جهت باد موافق مشهود است.

سلیقه و کاخکی مهنه؛ (۱۳۹۴) مقاله‌ای تحت عنوان بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا در مشهد کار کرده‌اند هدف اصلی تحقیق استفاده از مدلی است که بتواند بین عناصر اقلیمی و آلودگی هوا ارتباط برقرار کند. بدین منظور از سه مدل متفاوت شبکه عصبی احتمالی، مدل رگرسیون خطی و مدل پرسپترون چندلایه استفاده شد. برای این تحقیق از آمار یک ساله اداره حفاظت محیط زیست مشهد استفاده شد. این آمار مربوط به آلاینده‌های هوا شامل (SO_2 -CO-NO-O₃) و آمار هواشناسی شامل پارامترهای اقلیمی (رطوبت نسبی، درجه حرارت، جهت باد و سرعت باد) می باشد. داده‌های آلودگی هوا از تعداد ۱۱ ایستگاه آلوده سنجی جمع آوری شده است. این داده‌ها به صورت ساعتی بوده و سپس از آن‌ها میانگین گرفته شد. پس از درون یابی فاصله معکوس وزندار و تحلیل داده‌ها به منظور پیش بینی روابط داده‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی داده‌ها به دسته های آموزشی (۷۰٪)، ارزیابی (۱۵٪) و تست (۱۵٪) طبقه بندی شدند. در این تحقیق برای تحلیل، از دسته داده‌های آموزشی استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) در مدل شبکه عصبی احتمالی پایین تر بوده و نتایج نشان داده است که مدل شبکه عصبی احتمالی، توانسته است رابطه منطقی بین آلودگی هوا و پارامترهای هواشناسی برقرار کند. از بین عناصر اقلیمی تاثیرگذار بر منواکسید کربن، رطوبت نسبی در ساعت ۱۲:۳۰ و جهت باد بیشترین اثر را داشته اند، همچنین عواملی اقلیمی تاثیرگذار بر غلظت دی اکسید گوگرد رطوبت نسبی در ساعت ۶:۳۰ و درجه حرارت مطلق بوده است.

فردی و زنگونی؛ (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به پیش بینی آلودگی ۱۰PM هوای شهر مشهد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی MLP و مدل زنجیره مارکف پرداخته‌اند در این تحقیق سعی شده با استفاده از مدل‌های پرسپترون شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل زنجیره مارکوف غلظت ۱۰PM پیش-بینی و تحلیل گردد. برای این منظور از داده‌های ساعتی CO_2 ، SO_2 ، PM_{10} و دما برای دو ماه فروردین و اردیبهشت در سال ۱۳۹۴ استفاده شد. از مجموع ۱۴۸۸ سری داده، ۱۳۰۰ داده برای آموزش شبکه و ۱۸۸ داده جهت صحت-سنجی استفاده گردید. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مطلوب این روش‌ها در پیش‌بینی میزان آلاینده و همچنین احتمال وقوع ساعات با کیفیت‌های مختلف آلودگی بود. بهترین مدل پرسپترون میزان آلاینده ذرات معلق را با ضریب

همبستگی ۰/۸۸، شاخص تطابق ۰/۹۱، میانگین بایاس خطای ۰/۰۸۷۴ و جذر میانگین مربعات خطای ۲/۲۶ پیش‌بینی نمود، همچنین مدل مارکوف با خطای مطلق متوسط حدود ۰/۱ درصد احتمالات انتقال وضعیت و تداوم وضعیت‌های مختلف آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق را پیش‌بینی نمود.

اتابکی و همکاران؛ (۱۳۹۶) مقاله‌ای تحت عنوان بررسی تغییرات غلظت ذرات ۱۰PM و تاثیر پارامترهای هواشناسی بر آن در سال ۱۳۹۲ (مطالعه موردی: شهر زاهدان) کار کرده‌اند این تحقیق با هدف بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی غلظت ۱۰PM در فصول بهار، تابستان و پاییز و بررسی تاثیر پارامترهای هواشناسی بر میزان غلظت ۱۰PM در فصول بهار، تابستان و پاییز انجام شد. در این تحقیق، ابتدا تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی غلظت ۱۰PM در سال ۱۳۹۲ بررسی شد. سپس درجه ارتباط بین ۱۰PM با پارامترهای هواشناسی توسط همبستگی پیرسون (Pearson correlation) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به منظور پیش‌بینی غلظت ۱۰PM از مدل رگرسیون استفاده شد. بر اساس نتایج مطالعه در بررسی میانگین روزانه غلظت ۱۰PM در طول دوره مورد مطالعه، بیشترین غلظت ۱۰PM در ۲۲ مرداد ۱۳۹۲ (۳mg/m ۱۰۷۷) و کمترین غلظت آن در ۸ فروردین ۱۳۹۲ (۳mg/m ۴۲) بوده است. همچنین میانگین ماهانه نشان می‌دهد بیشترین غلظت در ماه مرداد (۳mg/m ۳۰۱,۰۶) و کمترین غلظت در آبان ماه (۳mg/m ۱۵۲,۱۶) بوده است. از نظر غلظت فصلی، بیشترین غلظت ذرات معلق (۳mg/m ۲۷۲,۷۶) در فصل تابستان مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج، ذرات معلق با دما و سرعت باد همبستگی مستقیم، و با بارش و رطوبت نسبی همبستگی معکوس دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بارش و رطوبت نسبی تاثیر معکوس، ولی دما و سرعت باد تاثیر مستقیم بر روی میزان غلظت ذرات ۱۰PM دارند. همچنین میزان ضریب تشخیص در مدل رگرسیون، حاکی از آن است که ۱۳، ۲۵ و ۶ درصد از تغییرات ۱۰PM به ترتیب در فصول بهار، تابستان و پاییز، به وسیله پارامترهای هواشناسی استفاده شده در این مدل تشریح می‌شوند. با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت که شرایط هواشناسی نامطلوب ممکن است به افزایش غلظت ۱۰PM منجر شود.

خورشید دوست و همکاران؛ (۱۳۹۶) مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل زمانی- مکانی آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر (۱۰PM) کار کرده‌اند در این مطالعه، روز خطرناک روزی تلقی می‌شود که مقدار ۱۰PM آن

بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب باشد. روش کار بدین شرح است: پس از تنظیم ماتریس داده‌ها، روزهای حدی با آلودگی خطرناک ۱۰PM بیشتر از ۴۲۰ میکروگرم بر متر مکعب در طی دوره آماری هشت ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲) تفکیک و پس از فیلتر گذاری از نظر زمانی- مکانی تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاصل از تحلیل فراوانی ۱۰PM نشان می‌دهد که در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین رخداد فراوانی ۱۰PM در تابستان (ماه اوت) بوده است و بی شک سیطره پُرفشار جنب حاره، به دلیل تشکیل لایه های حرارتی بر روی ایران، در افزایش آلودگی‌های خطرناک تابستانه تبریز نقش مؤثری دارد. در فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها رخداد آلودگی‌های خطرناک ۱۰PM به کمترین مقدار خود رسیده است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه باغشمال و آبرسان دارای بیشترین آلودگی خطرناک ۱۰PM هستند.

زینالی و همکاران؛ (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR در شهر تبریز پرداخته‌اند در این تحقیق از هشت عامل: ازدحام جمعیت، بارش، طبقات ارتفاعی، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از فضای سبز، فاصله از مراکز تجاری، فاصله از مراکز صنعتی، کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر در ایجاد آلودگی هوا استفاده شده است. سپس لایه های اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. ارزش گذاری و استاندارد سازی نقشه‌های معیار به صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام شد. جهت وزن دهی عوامل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. نقشه پهنه‌بندی آلودگی هوا در محیط Idrisi و با استفاده از روش Vikor تهیه شد. طبق نتایج به دست آمده از مدل، جهت غرب، شمال غرب و مرکز شهر پهنه های آلودگی بیش تری دارد. بنابراین ضریب سازگاری در این مطالعه کم تر از ۰/۱ بوده، هم چنین با توجه به نتایج مطالعه، کارایی استفاده از تابع عضویت در مجموعه های فازی و مدل ویکور در پهنه‌بندی آلودگی هوا در شهر تبریز مورد تأیید قرار گرفت که با توجه به آن، استفاده از فنون تحلیل چند معیاری علاوه بر افزایش دقت، افزایش سرعت انجام کار، تنوع و کیفیت بهتر ارائه نتایج می گردد.

محبوب فر و همکاران؛ (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان پرداخته‌اند که مسئله اصلی در این تحقیق این است که چگونه با تمسک به اقدامات مدیریت هوا می توان شرایطی فراهم کرد که آلودگی هوا به مرز بحران نرسد؟ براساس نتایج این

پژوهش، اصفهان به طور متوسط در سال ۱۲ روز دارای آلودگی بحرانی جوی است که از حد آستانه می گذرد. از این ۱۲ روز، ۴ روز در آبان، ۶ روز در آذر و ۲ روز در دی ماه گزارش گردیده است. روند افزایشی آلودگی هوا نیز از غرب به هسته مرکزی شهر و سپس به سوی شرق اصفهان است. در ماه آبان و آذر با کنترل ترافیک و در دی ماه با کنترل آلوده کننده های صنعتی میتوان از عبور شاخص کیفیت از حد مجاز جلوگیری کرد.

اسماعیلی؛ (۱۳۹۷) در مقاله ای نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد را مطالعه کرده است در این مقاله توزیع فضایی غلظت ذرات معلق کوچکتر از 2.5 میکرون به عنوان آلاینده اصلی شهر مشهد با استفاده از روش تحلیل خوشه ای مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ۲۴ نقشه ماهانه مربوط به سال های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ برای سطح شهر مشهد تهیه گردید. نقاط گره گاهی این نقشه ها با استفاده از قابلیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استخراج و در ماتریسی با آرایش T تنظیم گردید. سپس جهت تعیین نواحی همگن یک تحلیل خوشه ای به روش ادغام وارد (WARD) بر روی ماتریس داده ها صورت گرفت. نتایج بدست آمده سه ناحیه مجزا از یکدیگر را برای سطح مشهد نشان می دهد. ناحیه اول که نواحی شمالغرب شهر مشهد را در بر گرفته است کمترین بار آلودگی هوا را داراست. این ناحیه $18/2$ درصد مساحت شهر مشهد را شامل می شود. ناحیه دوم که $56/5$ درصد مساحت شهر را در بر گرفته است نواحی مرکزی شهر را شامل می شود. و سومین ناحیه تعیین شده که آلودترین منطقه شهر مشهد می باشد مناطق شرقی شهر مشهد را در بر گرفته است این ناحیه $25/3$ درصد از مساحت شهر مشهد را شامل می شود. متوسط غلظت ذرات معلق کوچکتر از 2.5 میکرون در این ناحیه $32/4$ میکروگرم بر متر مکعب می باشد که در بین نواحی تعیین شده بالاترین است.

محمودی سراب و همکاران؛ (۱۳۹۷) مقاله ای تحت عنوان برآورد میزان آلودگی هوا (۱۰PM) با استفاده از داده های آب و هوایی (مطالعه موردی: شهرستان اهواز) کار کرده اند که هدف این تحقیق بررسی رابطه بین متغیرهای آب و هوایی شامل دمای هوا (حداکثر، متوسط و حداقل)، رطوبت نسبی (حداکثر، متوسط و حداقل)، بارندگی روزانه، دید افقی، جهت و سرعت باد با داده های متغیر آلودگی هوا (۱۰PM) طی دوره آماری ۴ ساله

(۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰) با استفاده از روابط همبستگی و برآورد PM_{۱۰} با استفاده از مدل آماری جنگل تصادفی بود. برای انجام این تحقیق داده‌های هواشناسی و داده‌های PM_{۱۰} به ترتیب از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و ایستگاه پایش آلودگی هوای شهر اهواز اخذ شد. برای رسیدن به اهداف تحقیق آنالیزهای مختلفی نیز انجام شد. ابتدا باتوجه به نرمال نبودن داده‌ها، برای بررسی همبستگی بین داده‌های PM_{۱۰} و داده‌های آب و هوایی و تعیین متغیرهای مستقل موثر در برآورد میزان غلظت آن از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای دید افقی و حداقل دما به ترتیب با $-۰/۳۷۶$ و $+۰/۳۴۹$ بیشترین و بارندگی با $-۰/۰۷۷$ کمترین همبستگی را با متغیر PM_{۱۰} از خود نشان دادند. نتایج رگرسیون جنگل تصادفی نیز نشان داد که مهمترین متغیر تاثیرگذار در برآورد میزان PM_{۱۰}، متغیر دید افقی و سپس متغیر دمای حداقل می باشد. ضریب تبیین بدست آمده با استفاده از داده‌های مشاهده شده و برآورد شده در سطح معنی داری ۹۹ درصد بدست آمد. آنالیز درخت سلسله مراتبی نشان داد که از کل داده‌های متغیرهای رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و دمای حداقل به ترتیب، ۳۹۶ داده ($<۰/۲۰۵$ درصد)، ۳۸۹ داده ($<۰/۳۰۵$ درصد) و ۳۸۷ داده ($<۵/۵$ درجه سلسیوس)، قابلیت تفکیک شدن را نشان دادند و متغیر رطوبت نسبی حداکثر در سطح اول قرار گرفت. بطور کلی این تحقیق نشان داد که در پیش بینی میزان PM_{۱۰} می توان از داده‌های دید افقی و حداقل دمای محیط استفاده و با بکارگیری مدل رگرسیون جنگل تصادفی به نتیجه مناسب رسید.

سبحانی و همکاران؛ (۱۳۹۸) مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش‌های ANP و AHP (مطالعه موردی: شهر تبریز) کار کرده‌اند در این تحقیق از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی، عوامل مؤثر در افزایش آلودگی در شهر تبریز شناسایی شد و سپس لایه‌های اطلاعاتی شامل بارش، ارتفاع، فاصله از فضای سبز، فاصله از مراکز صنعتی، فاصله از مراکز تجاری، فاصله از راه‌های ارتباطی، ازدحام جمعیت، کاربری اراضی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. هم چنین ارزش گذاری و استانداردسازی در محیط ادریسی با استفاده از مجموعه‌های فازی انجام شد، در نهایت با توجه به عوامل مؤثر در آلودگی هوای شهر تبریز و انجام مراحل مدل ANP و AHP، با استفاده از نرم افزارهای Expert choices و Super Decision به تعیین اهمیت معیارها پرداخته شد و نقشه نهایی پهنه‌بندی آلودگی هوا تهیه

شد. با توجه به نقشه نهایی مدل ANP مناطق با آلودگی بسیار زیاد شامل مناطق شمالی و شمال غربی است و نتایج مدل AHP نشان می‌دهد، مناطق با خطر بسیار زیاد شامل کل مناطق مرکزی و مناطق شمالی غربی است. نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از پتانسیل بالای آلودگی در منطقه مورد مطالعه است؛ از این رو مناطق با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، مناطقی هستند که باید تدابیر خاص و اقدامات مناسبی برای کاهش آلودگی آن به صورت جدی صورت بگیرد.

صرافیان زنگیر و همکاران؛ (۲۰۲۰) در مقاله‌ای به نمایش، تحلیل و منطقه‌بندی مکانی و زمانی آلودگی هوا (مونوکسیدکربن) با استفاده از داده‌های ماهواره سنتیل-۵ برای مدیریت بهداشت در ایران پرداخته‌اند. هدف از مطالعه حاضر، بررسی پایش مکانی و زمانی و تحلیل آلودگی هوا (مونوکسیدکربن، CO) با استفاده از داده‌های سنجش از دور در ایران است. برای انجام این کار، داده‌های ماهواره Sentinel-۵ برای نظارت بر آلودگی هوا (CO) در یک دوره ۱۴ ماهه (نوامبر ۲۰۱۸ تا دسامبر ۲۰۱۹) و داده‌های ماهواره Terra و MODIS با شاخص LST برای نظارت بر تغییرات دمای روزانه و شبانه (واحد کلوین) در طی یک دوره ۲۴ ماهه (ژانویه ۲۰۱۸ تا دسامبر ۲۰۱۹) استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان آلودگی هوا (CO) در آوریل ۲۰۱۹ با 0.39 mol/m بوده است. با این حال، بیشترین میزان آلودگی هوا در پایش مکانی CO برای استان‌های تهران و گیلان با مقادیر 0.51 mol/m و 0.49 mol/m به دست آمد، در حالی که کمترین میزان CO، 0.19 mol/m برای دسامبر ۲۰۱۹ بود. شمال غربی ایران، مناطق جنوبی و غربی قسمت مرکزی استان اردبیل، نیمه جنوبی و شرقی استان آذربایجان شرقی، رشته کوه سهند و قسمت غربی بخش مرزی استان آذربایجان غربی با مقادیر متوسط در معرض مقدار ۰ تا 0.21 mol/m آلودگی هوا قرار دارند. بیشترین میزان آلودگی هوا (CO) در ماه‌های سرد سال رخ می‌دهد.

۲-۱۷ پیشینه تحقیق در جهان

Geneviève و همکاران؛ (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به مقایسه داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای جهت مانیتورینگ آلودگی هوا پرداخته‌اند. مطالعه حاضر ارتباط بین آلودگی هوا و پیامدهای بهداشتی تنفسی

و آلرژیک را با استفاده از میانگین‌های چند ساله NO_2 و $\text{PM}_{2.5}$ از RS و نظارت نظارتی بررسی کرد. تخمین‌های RS با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای از ابزارهای OMI، MODIS و MISR استخراج شده است. داده‌های نظارتی از شبکه ملی نظارت بر آلودگی هوا در کانادا به دست آمده است. شیوع خودآزمایی آسم با تشخیص پزشک، آسم فعلی، آلرژی و برونشیت مزمن از نظرسنجی سلامت جامعه کانادا (یک نمونه ملی از افراد ۱۲ سال به بالا) بدست آمده است که میانگین‌های آلاینده‌های محیطی چند ساله بر اساس کد پستی شش رقمی خود در زمان بررسی سلامت، به هر یک از شرکت کنندگان در مطالعه اختصاص داده شد و به عنوان علامت گذاری برای قرار گرفتن در معرض طولانی مدت در معرض آلودگی هوا استفاده شد. در جامعه مورد مطالعه برآورد RS مشتق شده از NO_2 و $\text{PM}_{2.5}$ با ۶-۱۰ درصد افزایش در نتایج بهداشت تنفسی و آلرژیک در هر محدوده بین چهار رگ (۳/۹۷ میکروگرم متر مکعب برای $\text{PM}_{2.5}$ و ۱/۰۳ ppb برای NO_2) در میان بزرگسالان (۲۰-۶۴ ساله) همراه بود. برآورد خطر برای آلودگی هوا و نتایج بهداشت تنفسی/آلرژیک بر اساس RS مشابه برآورد خطر مبتنی بر نظارت نظارتی برای مناطقی است که داده‌های نظارت نظارتی در دسترس بود (در ۴۰ کیلومتری یک ایستگاه نظارت نظارتی). برآورد RS ناشی از آلودگی هوا نیز با نتایج سوژه‌های بهداشتی در میان شرکت کنندگان ساکن خارج از حوضه آبریز شبکه نظارتی همراه بوده است ($p < 0.05$). سازگاری بین برآورد خطر مبتنی بر RS و نظارت نظارتی و همچنین ارتباط بین آلودگی هوا و سلامت در بین شرکت کنندگان ساکن خارج از حوضه آبریز برای نظارت نظارتی نشان می‌دهد که RS می‌تواند تخمین‌های مفیدی از آلودگی طولانی مدت هوا در محیط را در مطالعات اپیدمیولوژی ارائه دهد. این امر به ویژه در جوامع روستایی و مناطقی که نظارت و مدل سازی داده‌های آلودگی هوا محدود یا در دسترس نیست بسیار حائز اهمیت است.

Salahuddin و Ash'aari؛ (۲۰۱۷) مقاله‌ای تحت عنوان کاربرد ابزارهای سنجش از دور در مانیتورینگ کیفیت هوا در مالزی کار کرده‌اند؛ استفاده از سنجش از دور در تشخیص آئروسول یا آلودگی هوا به طور گسترده‌ای در مالزی اعمال نمی‌شود. سطح وسیعی از پوشش ارائه شده توسط ماهواره سنجش از دور می‌تواند راه حلی برای عدم پوشش فضایی توسط ایستگاه‌های محلی کنترل کیفیت هوای زمینی باشد. این

مقاله کاربرد ابزارهای سنجش از دور در پایش کیفیت هوا در مالزی را مورد بحث قرار می‌دهد. داده‌های سنجش از دور با استفاده از حقایق زمینی یا از ایستگاه‌های محلی نظارت بر هوای زمینی یا شبکه رباتیک آئروسول^۱ تأیید می‌شود. همبستگی بین سنجش از دور با R از ۰/۵ تا ۰/۹ بسته به ماهواره مورد استفاده نسبتاً خوب است که این همبستگی با استفاده از الگوریتم اثرات مخلوط اعمال شده در داده‌های عمق نوری آئروسول (MODIS (AOD بسیار بهبود یافته است. دقت داده‌های کیفیت هوا پیش بینی شده توسط سنجش از دور به طور کلی با استفاده از (RMSE^۲) در برابر داده‌های حقیقت زمین آزمایش می‌شود. علاوه بر این از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در دستکاری داده‌ها از هر دو ایستگاه سنجش از دور و زمین استفاده می‌شود تا نتایج معنی داری مانند نقشه برداری الگوی مکانی-زمانی آلودگی هوا ایجاد شود. به طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از ابزار سنجش از دور در نظارت بر کیفیت هوا در مالزی بسیار مفید است و می‌تواند بیشتر بهبود یابد.

Nicks و همکاران؛ (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به نقش ماهواره های فرایطی GEMS و TEMPO جهت مانیتورینگ آلودگی هوا پرداخته‌اند. طیف سنج نظارت بر محیط زیست و آلاینده‌های تروپوسفر: نظارت بر آلاینده‌گی (TEMPO) یک قابلیت جدید برای درک کیفیت هوا و آلودگی فراهم می‌کند. هوافضای تویی توسعه دهنده این حسگرهای فرایطی UV است. ابزار GEMS و TEMPO از تکنیک های اثبات شده سنجش از دور استفاده می‌کنند و از مدار زمین ثابت برای اندازه‌گیری ساعتی مناطق جغرافیایی مربوطه استفاده می‌کنند. وضوح مکانی و زمانی بالای این ابزارها امکان اندازه‌گیری چرخه پیچیده روزانه آلودگی ناشی از ترکیب شیمیایی و طبیعت پویای جو زمین را فراهم می‌کند. ابزار GEMS برای موسسه تحقیقات هوافضای کره و مشتری توسط انستیتوی ملی تحقیقات محیطی (NIER) و محقق اصلی (JHoon Kim) از دانشگاه یونسی ساخته شده است. ابزار TEMPO برای ناسا تحت برنامه (EVI^۳) ساخته شده است. ناسا مرکز تحقیقات لانگلی (LaRC) مرکز مدیریت و PI کلی شانس از رصدخانه نجومی اسمیتسونیان (SAO) می‌باشد.

^۱ . AERONET

^۲ . Root Mean Squared Error

^۳ . Earth Venture Instrument

عمرانی و همکاران؛ (۲۰۱۹) در مقاله‌ای به تحلیل مکانی-زمانی داده‌های آلودگی هوا از جمله دی اکسید نیتروژن با استفاده از سنتینل-۵ در فرانسه کار کرده‌اند در این تحقیق مجموعه‌ای از داده‌های جدید مکانی-زمانی ارائه شده که استفاده نموده و با استفاده از سیستم عامل سنجش از دور Sentinel 5P جمع‌آوری و پردازش شده است. به عنوان یک برنامه کاربردی، ما گردش کامل کار را برای پردازش اندازه‌گیری دی اکسید نیتروژن (NO_2) جمع‌آوری شده در سرزمین اصلی فرانسه از مه ۲۰۱۸ تا ژوئن ۲۰۱۹ اعمال شده است. مجموعه داده تولید شده اندازه‌گیری‌های روزانه با وضوح مکانی 4×7 کیلومتر است. بسته تکمیلی کد پایتون که برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها استفاده می‌شود، در دسترس عموم قرار گرفته است. مجموعه داده ارائه شده در این مقاله برای سیاست‌گذاران و ارزیابی سلامت دارای ارزش است.

Avdan.Kaplan (۲۰۲۰) در مقاله‌ای به پایش آلودگی هوا با استفاده از داده‌های سنتینل پرداخته و رابطه آن را با داده‌های جمعیتی و جغرافیایی سنجیده است همچنین در این مطالعه تجزیه و تحلیل میانگین ستون اتمسفر دی اکسید نیتروژن (NO_2) و مونوکسیدکربن (CO) را در جمهوری مقدونیه شمالی طی یک دوره شش ماهه که از اندازه‌گیری NO_2 و CO به دست آمده از سفینه فضایی Sentinel-5 Precursor که اخیراً با ابزار نظارت بر TROPOspheric (Sentinel-5P TROPOMI) به فضا پرتاب شده است، ارائه می‌دهد. هدف از این مطالعه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالا برای نظارت بر کیفیت هوا / آلودگی هوا محلی و بررسی رابطه آلاینده‌ها با داده‌های جغرافیایی و جمعیتی منطقه مورد مطالعه بود. بدین منظور، همراه با داده‌های CO و NO_2 از TROPOMI، از آمار جمعیت، مدل ارتفاعی دیجیتال و پوشش گیاهی برای تجزیه و تحلیل‌های مکانی و آماری استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که مقدار قابل توجهی CO و NO_2 در چندین قسمت منطقه مورد مطالعه، به ویژه مقادیر بالای CO در دره‌های Vardar و Polog، و مقدار NO_2 زیاد در حوزة شهرهای پرجمعیت وجود داشته که با توجه به تجزیه و تحلیل‌ها، بین NO_2 و آمار جمعیت ($r = 0.71$ ، $p = 0.061$) و همبستگی منفی زیاد ($r = 0.09$ ؛ $R^2 = 0.008$) همبستگی مثبت زیادی بین ارتفاع و مقادیر CO مطالعه موجود می‌باشد. نتایج کلی این مطالعه قابلیت استفاده از Sentinel-5P TROPOMI را برای نظارت بر کیفیت هوا و آلودگی هوا در مناطق محلی تأیید کرده است.

Marina و همکاران؛ (۲۰۲۰) مقاله‌ای تحت عنوان مانیتورینگ بر آلودگی دی اکسید نیتروژن (NO_2) با تصاویر ماهواره P5Sentinel روی اروپا در مدت زمان شیوع ویروس کرونا و ویروس کار کرده‌اند. در این مطالعه، ما تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای از پیکربندی فضایی ستون NO_2 tropospheric بین دوره‌های مشابه در ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ را بر اساس محصولات ESA Copernicus Sentinel-5P پیشنهاد کردند. نتایج برجسته پویایی آلودگی NO_2 بیش از انتقال ناگهانی از یک وضعیت طبیعی به COVID-19 زمینه شیوع، مشخص شد توسط کاهش کوتاه مدت شدت ترافیک و فعالیت‌های صنعتی، نشان می‌دهد که ستون NO_2 tropospheric به صورت قابل توجهی حتی ۸۵ درصد کاهش یافته است. رویکرد اعتبارسنجی داده‌های مشتق شده از ماهواره، براساس تجزیه و تحلیل همبستگی متقابل با داده‌های مستقل از مشاهدات زمینی، مقادیر دلگرم کننده ضرایب همبستگی را ارائه می‌دهد که بین ۰/۵ و ۰/۷۵ در مکان‌های مختلف است. در اروپا در زمان COVID-19 کاهش چشمگیر آلودگی NO_2 توسط محصولات S-5P روشن گردیده و توسط شاخص تولید صنعتی و حجم ترافیک هوایی تأیید می‌شود.

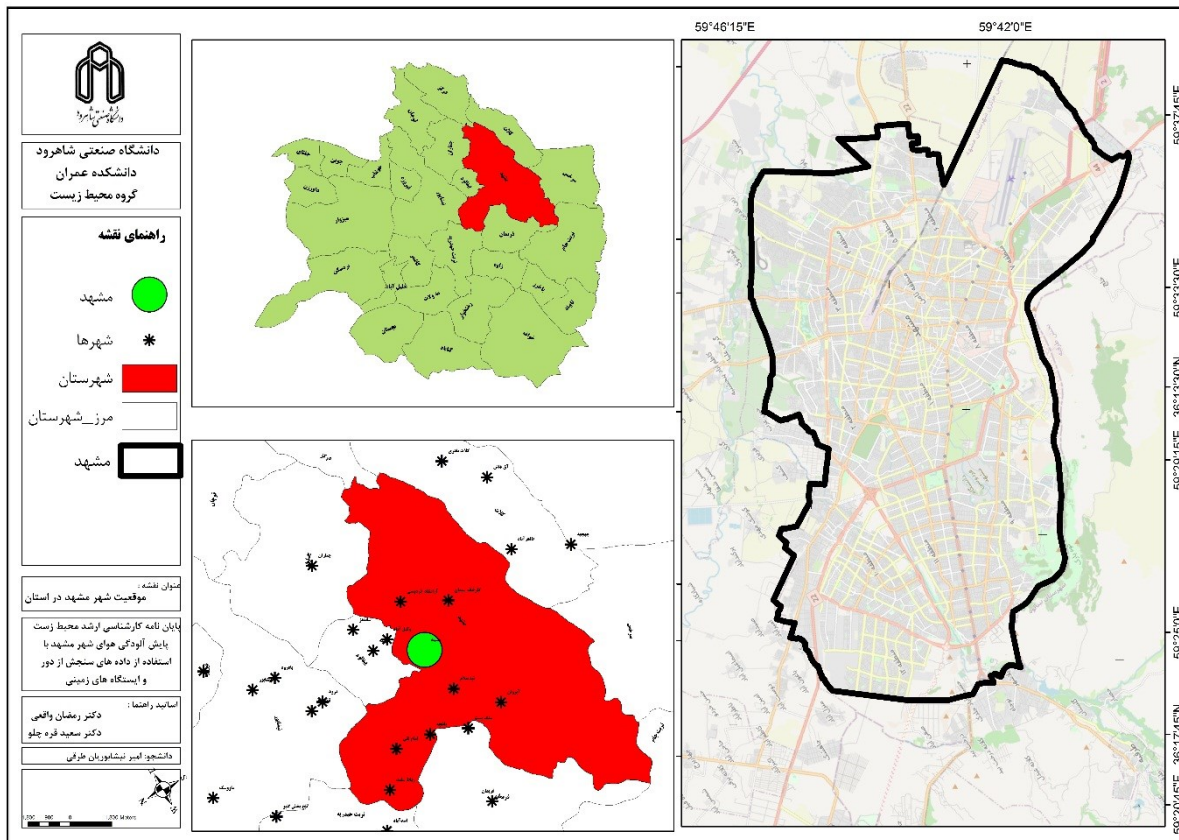
Tilottama و Hitendra (۲۰۲۰) مقاله‌ای تحت عنوان محاسبات هوشمند برای پایش آلودگی هوا با استفاده از GIS، سنجش از دور و یادگیری ماشین کار کرده‌اند آن‌ها سعی کرده‌اند تا به عنوان یک راهنمای مختصر در ارائه درک اساسی از انواع سنجش از دور، منابع داده‌های ماهواره‌ای، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی، عمق نوری آئروسول برای نظارت بر آلودگی هوا باشد. در این مقاله منابع مهم در مورد مجموعه داده‌ها و قالب‌های موجود، ابزارهای پیش نیاز مورد نیاز برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها آورده شده است. بینش آینده نگرانه سرانجام در مورد نقش یادگیری ماشین در اصلاح مقادیر AOD و همچنین پر کردن شکاف برای از بین رفتن مقادیر آئروسول در مقایسه با سنسورهای زمینی بحث می‌کند.

فصل سوم: مواد و روش‌ها

در فصل پیش رو منطقه مطالعاتی در این پژوهش معرفی می‌گردد. از طرفی مأموریت سنتینل-۵ مورد استفاده جهت پایش آلودگی منطقه مطالعاتی و همچنین داده‌های ارزیابی نتایج پژوهش نیز معرفی می‌شوند.

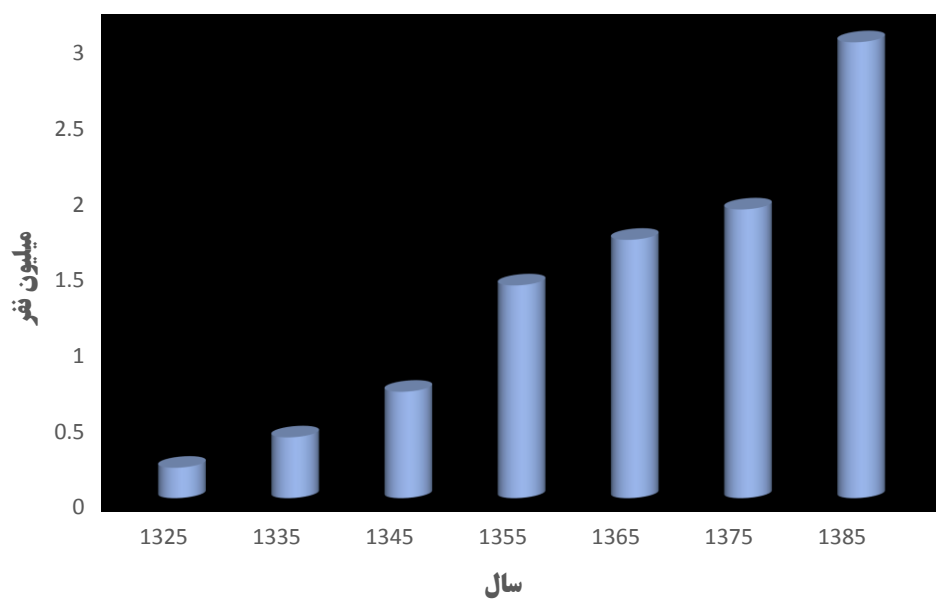
۲-۳ ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد در شمال شرقی ایران واقع است و مرکز استان خراسان رضوی است. ارتفاع میانگین این شهر از سطح متوسط دریا ۹۸۰ متر و مساحت تقریبی آن ۲۰۴ کیلومتر مربع گزارش شده است. شهرستان مشهد از نظر جغرافیایی در محدوده ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۰۸ دقیقه شمالی و در ۹۴۵ کیلومتری شرق تهران قرار گرفته است. شهر مشهد بخشی از دشت مشهد و حوضه آبریز کشف رود بوده و از شمال و جنوب در میان رشته‌کوه‌های هزار مسجد و بینالود محصور شده است (مومنی و همکاران، ۱۳۸۷). وجود زیارتگاه ملکوتی امام هشتم شیعیان، علی ابن موسی الرضا (علیه‌السلام)، جایگاه و موقعیت ویژه‌ای به شهر مشهد داده و آن را به‌صورت یک کلان‌شهر مذهبی درآورده است. در شکل (۱-۳)، موقعیت شهر مشهد در تقسیمات سیاسی استان خراسان رضوی نشان داده شده است.

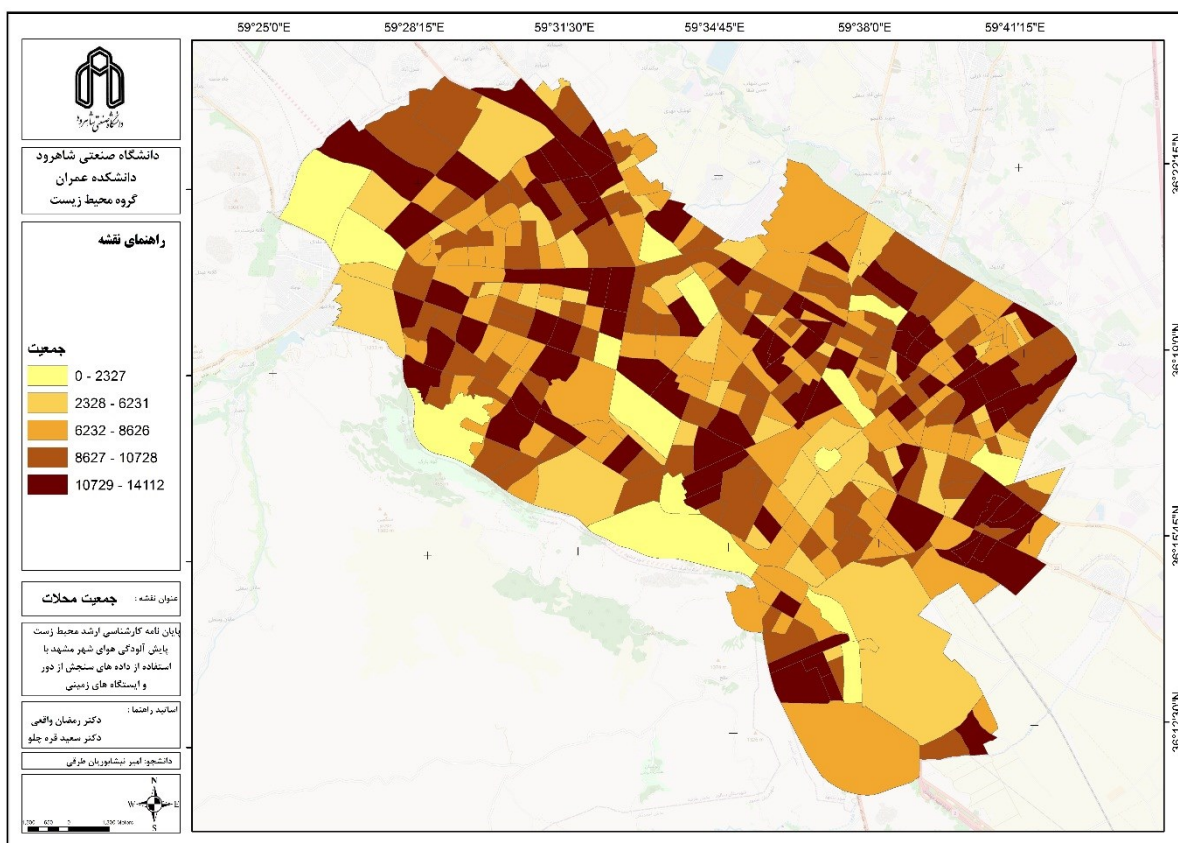


شکل ۳ - ۱: موقعیت جغرافیایی شهر مشهد در استان خراسان رضوی

جمعیت شهر مشهد در اولین سرشماری رسمی در سال ۱۳۱۹ هجری شمسی، معادل ۱۷۶۴۷۱ نفر اعلام شد. اما به دلیل مهاجرت روستائیان به شهر، عدم اجرای سیاست‌های کنترل جمعیت و نیز موقعیت فرهنگی و جغرافیایی خاص، جمعیت آن به سرعت در طول زمان افزایش یافته است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ این شهر با حدود سه میلیون نفر جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است. در شکل (۲-۳)، روند افزایش جمعیت شهر مشهد در نیم قرن اخیر تا سال ۱۳۹۵ نشان داده شده است.



شکل شماره ۳ - ۲: روند تغییرات جمعیت شهر مشهد از سال ۱۳۳۵ تا سال ۱۳۹۵.



شکل شماره ۳ - ۳: نقشه پراکنش جمعیت در مناطق مختلف شهر مشهد

این شهر به واسطه وجود حرم علی بن موسی الرضا (ع)، هشتمین امام مذهب شیعه، سالانه پذیرای بیش از ۲۷ میلیون زائر از داخل و دو میلیون زائر از خارج از کشور است. بدیهی است این جمعیت انبوه ساکن و مسافر، نقش عمده ای در تولید آلودگی هوا در شهر مشهد را دارند.

۳-۳ اقلیم شهر مشهد

دشت مشهد بین دو رشته ارتفاعات هزارمسجد-کپه داغ در شمال و محور بینالود شاه جهان در جنوب واقع شده است. این محدوده از لحاظ موقعیت جغرافیایی، در گذرگاه عبور هوای خزری به شمال شرق کشور قرار دارد. حضور ارتفاعات مختلف و تنوع توپوگرافی و تغییرات ارتفاع در سطح منطقه از عوامل اصلی تغییرات اقلیمی آن محسوب می گردد. اقلیم منطقه مشهد عمدتاً متأثر از ارتفاع البرز شرقی است که ضمناً در کنار اراضی پست کشف رود، بسیار متغیر شده است. یکی از مهم ترین مشخصه های اقلیمی این منطقه تابستان های گرم و زمستان های سرد و مرطوب است. شهر مشهد تحت تأثیر جریان های مرطوب دریای مدیترانه از غرب و جریان های هوای سرد از شمال شرقی نیز قرار می گیرد (مومنی و همکاران، ۱۳۸۷). در جداول زیر اطلاعات تکمیلی در خصوص وضعیت اقلیمی شهر مشهد ارائه شده است.

جدول شماره ۳ - ۱: اطلاعات دما و رطوبت جوی سال ۱۳۹۷ به تفکیک ماه

ماه	درجه حرارت مطلق (درجه سانتی گراد)		درجه حرارت (درجه سانتی گراد)			رطوبت نسبی (%)			رطوبت مطلق (%)		
	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل
	مطلق	مطلق		۱۸:۳۰	۱۲:۳۰	۶:۳۰					
فروردین	1/7	29/1	13/6	7/8	19/5	77/5	49/2	58/5	65/5	41/0	90/1
اردیبهشت	7/4	34/8	21/2	14/6	27/9	63/6	37/7	46/8	55/4	31/8	79/1
خرداد	13/4	40/4	25/6	18	33/0	43/5	21/7	26/4	38/0	17/7	58/4
تیر	16/8	40/7	28/1	20/9	35/4	29/4	14/3	18/8	27/8	13/3	42/4
مرداد	16/0	39/1	27/0	19/5	34/5	28/6	13/5	18/3	26/3	11/9	40/6
شهریور	15/0	36/6	25/0	17/5	32/5	35/0	15/6	22/4	28/5	13/3	43/7
مهر	3/2	37/2	17/6	10/3	24/9	53/2	26/3	34/0	41/6	23/1	60/1
آبان	-2/3	29/7	12/0	5/0	18/9	60/2	30/9	41/5	46/7	26/7	66/7

76/2	34/8	55/5	51/9	41/6	71/2	11/1	-1/9	4/6	25/1	-11/7	آذر
87/4	36/3	61/8	55/9	43/2	77/6	10/8	-1/1	4/9	17/8	-5/1	دی
96/7	63/8	80/3	82/0	70/6	92/5	6/4	-2/2	2/1	19/6	-12/8	بهمن
87/8	33/2	60/5	55/2	42	78	13/9	1/0	7/4	25/0	-13/0	اسفند
69/1	28/9	49/0	42/6	33/9	59/2	22/4	9/1	16	40/7	-13/0	سالانه

جدول شماره ۳ - ۲: اطلاعات ایستگاه باران سنجی سال ۱۳۹۷ به تفکیک ماه

ماه	میزان بارندگی (میلی متر)		تعداد روزهای همراه با بارندگی در ماه (روز)	تعداد روزهای یخبندان در ماه (روز)	ارتفاع برف (cm)	ساعت آفتابی (ساعت)	جمع تبخیر (میلی متر)	حداکثر باد m.s	
	حداکثر بارندگی در یک روز	بارندگی ماهانه						سرعت (m/s)	جهت (درجه)
فروردین	28/1	94/6	2323/0	00/0	0/0	200/1	65/4	11	300
اردیبهشت	13/5	41/3	111/0	00/0	0/0	272/4	179/0	14	300
خرداد	2/9	6/6	77/0	00/0	0/0	303/4	311/4	21	350
تیر	00/0	00/0	00/0	00/0	0/0	388/4	358/1	12	70
مرداد	2/8	5/4	44/0	00/0	0/0	377/2	334/6	12	110
شهریور	2/6	3/2	33/0	00/0	0/0	338/7	282/8	11	130
مهر	00/0	00/0	00/0	00/0	0/0	255/6	163	12	300
آبان	1/7	2/0	88/0	11/0	0/0	206/8	-	15	300
آذر	12/6	14/2	1212/0	1919/0	28/0	179/4	-	9	260
دی	2/1	2/3	77/0	1919/0	0/0	161/1	-	16	300
بهمن	35/9	126/3	1919/0	2222/0	54/0	102/6	-	13	310
اسفند	10/1	12/2	33/0	1010/0	0/0	228/4	-	14	90
سالانه	35/9	308/1	97	71	82	014/1 3	694/4 1	21	350

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی

جدول شماره ۳ - ۳: بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی طی دوره بلندمدت سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۹۵

شرح	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
حداکثر بارش 24 ساعته	42/8	31/6	26/5	14/3	7/2	20/7	11	24/2	34/1	22/1	36/5	33/4
جمع متوسط بارش	40/9	31/0	10/2	1/4	1/2	2/4	4/2	16/0	22/7	23/1	38/0	46/2

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی

جدول شماره ۳ - ۴: دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهر مشهد طی دوره بلندمدت سال‌های ۶۸-۹۵

شرح	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
حداکثر	19/8	26	31/7	35	34/6	31/2	25/2	18/1	11/5	8/7	9/2	13/2
حداقل	7/5	12/8	17/3	20/5	19/5	15/5	10	5/2	0/5	-1/7	-1/3	2/2
متوسط	13/7	19/4	24/5	27/8	27/1	23/4	17/6	11/7	6/0	3/5	4/0	7/7

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی

۴-۳ حمل و نقل عمومی مشهد

مشهد یکی از اصلی‌ترین مقاصد سفر در ایران محسوب می‌شود. مشهد، مرکز استان خراسان رضوی و یکی از کلان‌شهرهای ایران، در شمال شرق کشور است. این شهر به واسطه‌ی برخورداری از حرم امام هشتم شیعیان، پایتخت معنوی ایران لقب گرفته است و سالانه نزدیک به ۳۰ میلیون زائر را به خود می‌بیند. برای این میزان بازدیدکننده و جمعیت ۳ میلیون نفری مشهد، راه‌های گوناگونی جهت تردد در سطح شهر وجود دارد که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

تاکسی: از آنجایی که مشهد یکی از پرطرفدارترین مقاصد کشور به‌خصوص در سفرهای زیارتی است، جای تعجب ندارد اگر دسترسی مطلوب و راحتی به تاکسی‌های شهر وجود داشته باشد. قدم به قدم مشهد با توجه به تاکسی‌های سطح شهر پوشش داده می‌شود، در نتیجه به راحتی می‌توان این وسیله را جایگزین خودروهای شخصی کرد.

اتوبوس: سازمان اتوبوس‌رانی مشهد با توسعه‌ی خطوط خود، بسیاری از مکان‌های شهر را پوشش داده است. این سازمان وسایل نقلیه‌ی عمومی خود را در خطوط BRT، اتوبوس‌های تندرو، اتوبوس‌های درون‌شهری، اتوبوس‌های حومه و مینی‌بوس‌رانی پخش کرده است. این میزان از سرویس‌های اتوبوس‌رانی، مشهد را به شهری مطلوب جهت حمل و نقل توسط این وسیله تبدیل کرده است.

مترو: یکی دیگر از روش‌های جابه‌جایی در سطح شهر، متروی مشهد است. خطوط مترویی که برای این شهر در نظر گرفته‌اند، به مرور در حال بهره‌برداری هستند. با این وجود قطارهای شهری فعلی این منطقه، در بسیاری از مقاصد مهم مشهد در حال سرویس‌دهی به مسافران هستند.

جدول (۳-۵)، آمار حمل و نقل اتوبوس رانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵، جدول (۳-۶)، آمار حمل و نقل تاکسی رانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵، و جدول (۳-۷) آمار حمل و نقل ریلی شهری شهر مشهد را تا سال ۱۳۹۵ نشان می دهد.

جدول شماره ۳ - ۵ : اقلام آماری اتوبوس رانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).

ردیف	عنوان	واحد	۱۳۹۴	۱۳۹۵	درصد تغییرات
۱	تعداد اتوبوس های فعال	دستگاه	۱,۸۸۲	۱,۷۱۸	-۹٪
۲	تعداد کل اتوبوس های موجود	دستگاه	۲,۵۴۶	۲,۴۶۹	-۳٪
۳	تعداد اتوبوس فرسوده ناوگان اتوبوس رانی	دستگاه	۲۹۳	۱۸۴	-۳۷٪
۴	مجموع عمر اتوبوس های ناوگان اتوبوس رانی	سال	۲۰,۷۱۷	۲۰,۵۷۱	-۱٪
۵	سطح پایانه های اتوبوس درون شهری موجود	مترمربع	۹۰,۰۸۹	۹۱,۶۸۹	۳٪
۶	سطح توقفگاه های اتوبوس موجود	مترمربع	۲۶۰,۰۰۰	۲۶۰,۰۰۰	۰٪
۷	تعداد کل ایستگاه های اتوبوس شهری موجود	ایستگاه	۳,۳۲۵	۳,۳۵۵	۱٪
۸	متوسط زمان انتظار در ایستگاه های اتوبوس و مینی بوس	دقیقه	۴,۷	۴,۴	-۶٪
۹	تعداد مسافر جابجا شده	کل	۳۹۷,۸۵۲,۶۲۸	۳۶۴,۳۱۰,۲۶۶	-۸٪
۱۰		بخش خصوصی	۲۷۹,۴۶۹,۹۱۴	۲۶۹,۴۹۷,۹۸۳	-۴٪
۱۱		بخش سازمانی	۱۱۸,۳۸۲,۷۱۴	۹۴,۸۱۲,۲۸۳	-۲۰٪
۱۲	تعداد مسافر جابجا شده	خطوط عادی	۳۱۴,۵۵۶,۱۸۱	۲۷۹,۹۵۱,۸۰۲	-۱۱٪
۱۳		خطوط تندرو	۲۹,۹۵۲,۶۹۱	۲۲,۸۶۸,۳۲۰	-۲۴٪
۱۴		خطوط BRT	۵۳,۳۴۳,۷۵۹	۶۱,۴۹۰,۱۴۱	۱۵٪
۱۵	تعداد مراکز شارژ من کارت	باجه	۶۶	۷۴	۱۳٪
۱۶		فروشگاه	۸۵۰	۹۲۶	۹٪
۱۷		TVM	۱۸	۱۸	۰٪

جدول شماره ۳ - ۶: اقلام آماری تاکسی‌رانی شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).

ردیف	عنوان	واحد	۱۳۹۴	۱۳۹۵	درصد تغییرات
۱	تعداد کل تاکسی‌های رسمی و مسافربرهای شخصی و ساماندهی شده	دستگاه	۱۳,۲۷۴	۱۲,۹۱۲	-۳٪
۲	تعداد تاکسی‌های استفاده کننده از سوخت پاک	دستگاه	۱۲,۹۵۱	۱۲,۵۵۸	-۳٪
۳	تعداد تاکسی‌های خطی شهری	دستگاه	۵,۶۳۵	۵,۱۹۹	-۸٪
۴	تعداد تاکسی‌های گردشی	دستگاه	۴,۹۷۰	۴,۹۹۹	۱٪
۵	تعداد تاکسی‌های گاز سوز	دستگاه	۱۲,۹۵۱	۱۲,۵۵۸	-۳٪
۶	تعداد تاکسی‌های افزایشی	دستگاه	۰	۱	xx
۷	تعداد تاکسی‌های اسقاط شده	دستگاه	۱,۲۱۴	۱,۸۹۳	۵۶٪
۸	تعداد کل مسافربرهای شخصی ساماندهی شده	دستگاه	۵۰,۳۹	۵۰,۳۹	۰٪
۹	متوسط تعداد مسافر جابجا شده در طول یک روز عادی توسط ناوگان تاکسیرانی	نفر	۱,۳۰۷,۱۰۴	۱,۳۱۸,۷۷۸	۱٪
۱۰	مجموع عمر تاکسی‌های ناوگان تاکسیرانی	سال	۱۰۰,۷۵۱	۸۲,۴۵۶	-۱۸٪
۱۱	متوسط عمر تاکسی‌ها	سال	۷,۶	۶,۴	-۱۶٪
۱۲	تعداد جایگاه سوخت رسانی اختصاصی	جایگاه	۹	۹	۰٪
۱۳	تعداد ترمینال ویژه تاکسی	عدد	۴	۴	۰٪
۱۴	تعداد تعمیرگاه‌های اختصاصی ویژه تاکسی	عدد	۱	۱	۰٪
۱۵	تعداد کل ایستگاه‌های تاکسی	ایستگاه	۲۹۸	۳۰۳	۲٪
۱۶	تعداد ایستگاه‌های تاکسی ساماندهی شده (دارای کیوسک یا نیمکت)	ایستگاه	۳۰	۲۶	-۱۳٪
۱۷	تعداد کل خطوط تاکسیرانی (خطوط تاکسی‌های رسمی و خطوط شهری)	خط	۱۳۴	۱۳۱	-۲٪

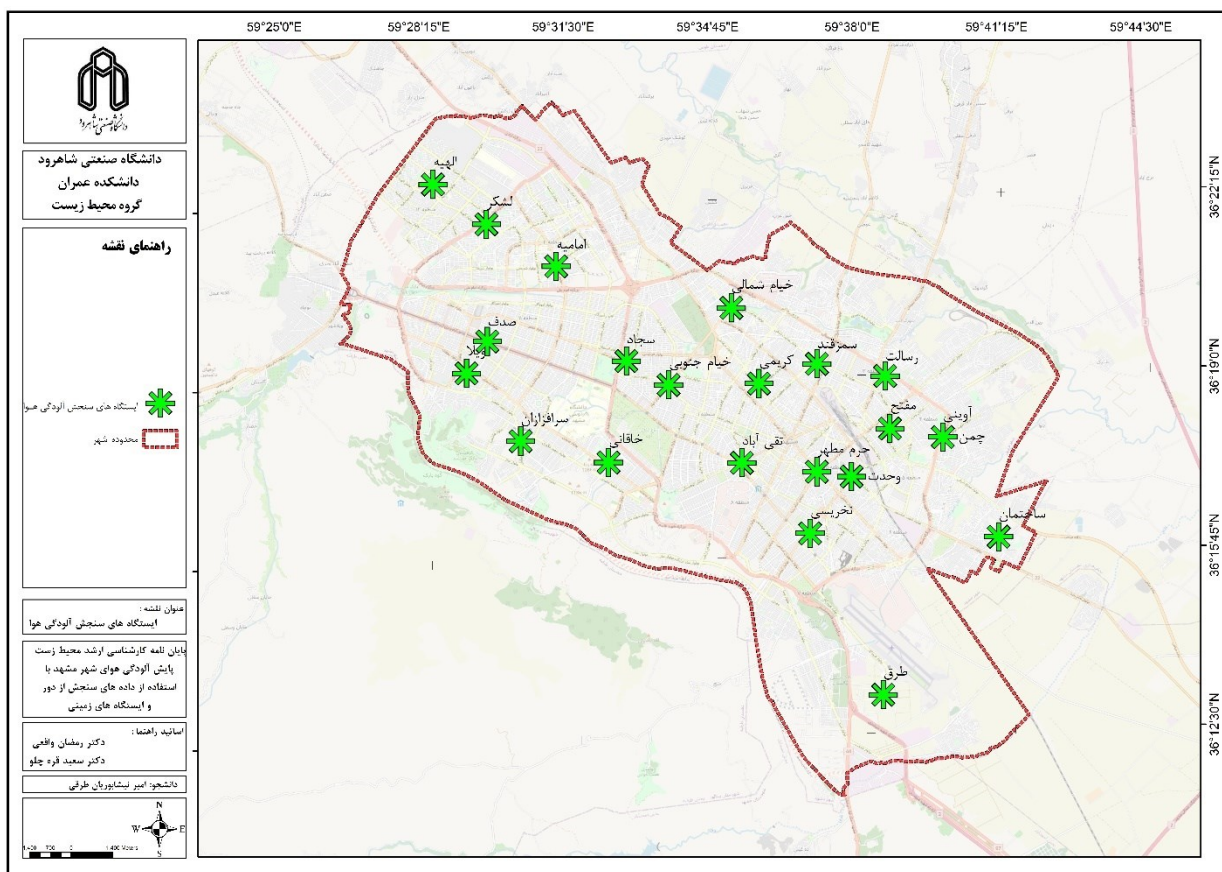
جدول شماره ۳ - ۷: اقلام آماری حمل‌ونقل ریلی شهری شهر مشهد تا سال ۱۳۹۵ (سالنامه آماری شهرداری شهر مشهد ۱۳۹۵).

ردیف	عنوان	واحد	۱۳۹۴	۱۳۹۵	درصد تغییرات
۱	کل مسافر جابجا شده توسط ناوگان قطار شهری	نفر/سفر	۳۸,۲۶۸,۸۶۵	۳۹,۱۳۲,۴۹۱	۲٪
۲	تعداد کل سفرهای درون شهری روزانه انجام شده توسط ناوگان قطار شهری	نفر/سفر	۱۰۴,۸۴۶	۱۰۶,۹۱۹	۲٪
۳	متوسط زمان انتظار مسافر جهت رسیدن قطار	دقیقه	۷	۶,۳۸	-۹٪
۴	تعداد کل ایستگاههای خط شماره یک	عدد	۲۴	۲۴	۰٪
۵	تعداد ایستگاههای فعال خط شماره یک	عدد	۲۳	۲۴	۴٪
۶	متوسط فاصله ایستگاهها	متر	۹۰۰	۹۰۰	۰٪
۷	طول خط شماره یک	کیلومتر	۲۳,۶	۲۳,۶	۰٪
۸	طول مسیر در عمق خط شماره یک	کیلومتر	۱۵,۱	۱۵,۱	۰٪
۹	طول مسیر همسطح خط شماره یک	کیلومتر	۸,۵	۸,۵	۰٪
۱۰	تعداد کل واگن‌های فعال موجود	واگن	۶۰	۸۰	۳۳٪
۱۱	بهای تمام شده هر سفر	ریال	۱۴,۰۶۶	۱۵,۰۵۵	۷٪
۱۲	بهای بلیط دریافتی	ریال	۵,۰۰۰	۵,۵۰۰	۱۰٪
۱۳	تعداد واقعی سفر در ناوگان ریلی	تعداد سفر	۱۱۸,۰۰۳	۱۱۹,۶۵۳	۱٪
۱۴	تعداد لغو سفر در ناوگان ریلی	تعداد سفر	۸۳	۵۴	-۳۵٪
۱۵	تعداد ظرفیت ناوگان قطار شهری	عدد	۱۴۸,۷۱۶	۱۵۰,۷۹۵	۱٪

۳-۵ داده‌های محلی مربوط به آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا

داده‌های مربوط به کیفیت هوا از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خراسان رضوی تهیه شد. این داده‌ها شامل اطلاعات ثبت‌شده توسط ۱۶ دستگاه سنجش آلودگی هوا است که در سطح شهر در ایستگاه‌های

مشخصی قرار گرفته‌اند. از این ۱۶ ایستگاه ۱ ایستگاه به‌طور ثابت و ۱۱ ایستگاه دیگر به‌صورت سیار هستند. در این تحقیق، برای سهولت در نام‌گذاری ایستگاه‌ها، هر ایستگاه بر اساس محل استقرار آن نام‌گذاری شده است. پارامترهای مربوط به کیفیت هوا توسط این دستگاه‌ها اندازه‌گیری شده و به‌صورت ساعتی ثبت می‌شود و سپس موارد به سیستم مرکزی که در محل اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خراسان رضوی مستقر است ارسال شده و در آنجا ذخیره و نگهداری می‌گردد. موارد اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های سنجش شامل برخی پارامترهای اقلیمی از جمله دما، رطوبت، سرعت باد و نیز غلظت آلاینده‌های شاخص هوا مانند منواکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ذرات و ازن می‌باشند. شکل (۳-۴)، موقعیت این ایستگاه‌ها را در شهر مشهد نشان می‌دهد.



نقشه شماره ۳ - ۴ : موقعیت محل استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد

جدول شماره ۳ - ۸ : موقعیت محل استقرار ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد.

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
1	نخریسی	734682	4016991
2	ساختمان	741027	4016880
3	سجاد	728498	4022777
4	صدف	723820	4023433
5	تقی آباد	732384	4019364
7	طرق	737146	4011577
8	خیام جنوبی	729921	4021975
9	رسالت	737210	4022276
10	لشکر	723788	4027366
11	ویلا	723118	4022361
12	الهیه	721991	4028707
13	آوینی	739149	4020228
14	چمن	739149	4020228
15	امامیه	726135	4025956
16	خیام شمالی	732029	4024561
17	خاقانی	727897	4019371
18	مفتح	737368	4020512
19	سمزقند	734912	4022685
20	سرافرازان	724940	4020085
21	کریمی	732960	4022022
22	حرم مطهر	734909	4019061
23	وحدت	736075	4018900

به علت عدم کارکرد برخی از این دستگاه‌ها در برخی از روزها و حتی ماه‌هایی از سال، اطلاعات ثبت‌شده فاقد آمار مربوط به این دوره‌هاست. در بین ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا کامل‌ترین آمار مربوط به ایستگاه وحدت می‌باشد که در واقع اولین ایستگاه نصب‌شده در شهر مشهد برای سنجش آلودگی هوا است. این ایستگاه در سال ۱۳۸۴ نصب گردیده و اطلاعات ارسالی توسط آن به‌صورت ساعتی در سیستم مرکزی ثبت می‌شود. سایر ایستگاه‌ها از سال ۱۳۸۷ راه‌اندازی شده‌اند ولی به علت عدم کارکرد صحیح آن‌ها در دوره‌های مختلف زمانی، فاقد آمار کامل هستند.

جدول شماره ۳ - ۹: تعداد روزهای آلوده هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا به تفکیک ماه

ماه	PM2.5						CO
	پاک	سالم	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	مجاز	غیرمجاز
سالانه	25	249	91	1	0	366	0
فروردین	8	23	0	0	0	31	0
اردیبهشت	0	27	4	0	0	31	0
خرداد	5	21	5	0	0	31	0
تیر	1	28	2	0	0	31	0
مرداد	0	31	0	0	0	31	0
شهریور	0	18	13	0	0	31	0
مهر	3	17	9	1	0	30	0
آبان	0	17	13	0	0	30	0
آذر	3	16	11	0	0	30	0
دی	0	17	13	0	0	30	0
بهمن	4	17	9	0	0	30	0
اسفند	1	17	12	0	0	30	0

مأخذ: ستاد محیط‌زیست و توسعه پایدار معاونت خدمات و محیط‌زیست شهری - شهرداری مشهد

۳-۶ تصاویر سنتینل-۵

ماهواره سنتینل-۵ که در ۱۷ اکتبر سال ۲۰۱۷ پرتاب شد، بخشی از مأموریت ناوگان سنتینل است که سازمان فضایی اروپا جهت برنامه نظارت بر محیط‌زیست اروپا و پایش آلاینده‌های هوا در سراسر زمین، توسعه داده است. از وظایف این ماهواره، پایش آلاینده‌هایی مانند کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن است و از ماه ژوئیه تاکنون داده‌های سایر آلاینده‌ها از جمله دی‌اکسید سولفور و فرمالدئید را به لیست موجود برای پایش هوایی که ما تنفس می‌کنیم اضافه کرده است. این ماهواره حامل یک طیف سنج چند طیفی پیشرفته بنام Tropomi است. آنچه Tropomi را متمایز می‌کند، ردیابی اثرات منحصر به فردی از گازهای جوی در بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی است تا بتواند طیف وسیعی از آلاینده‌ها را با دقت بیشتر و با توان تفکیک بالاتر نسبت به قبل، نشان بدهد.

هدف از پرتاب این ماهواره، اندازه‌گیری لایه‌های اتمسفر با توان تفکیک مکانی و زمانی بسیار بالا می‌باشد که کیفیت هوا، فشار، آب موجود در اتمسفر، ازن و اشعه‌ی ماوراءبنفش را می‌تواند اندازه‌گیری کند. همچنین در

برآورد گازهایی مثل دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونواکسید کربن، فرمالدئید و متان می‌تواند مفید باشد. این ماهواره در ارتفاع ۸۲۴ کیلومتری قرار دارد و به نحو قابل قبولی در شناسایی گازهای ازن، متان، فرمالدئید، آئروسول، مونوکسید کربن، NO_2 ، SO_2 می‌تواند مفید واقع شود. مشخصات باندهای Sentinel-5 در جدول ۳-۱۰ ارائه شده است.

جدول شماره ۳-۱۰: جدول مشخصات باندی

نام باند	محدوده طیفی (نانومتر)
ماوراءبنفش	۲۷۰-۳۲۰
محدوده مرئی	۳۱۰-۵۰۰
مادون قرمز نزدیک	۶۷۵-۷۷۵
مادون قرمز طول موج کوتاه	۲۳۰۵-۲۳۸۵

اهداف علمی TROPOMI (ون ویل و همکاران، ۲۰۰۸) عبارت‌اند از:

- ۱- برای مهار بهتر استحکام، تکامل و تغییرپذیری فضایی از منابع گازهای کمیاب و ذرات معلق در هوا و کیفیت هوا و اقلیم.
- ۲- با توجه به درک بهتر فرایندهای کنترل طول عمر و توزیع متان، ازن تروپوسفری، و آئروسول‌ها، باعث افزایش ویژگی‌های اقلیم می‌شود.
- ۳- برآورد بهتر روند طولانی‌مدت در مناطق تروپوسفری مربوط به کیفیت هوا و اقلیم از مقیاس منطقه‌ای تا جهانی.
- ۴- توسعه و بهبود فرایندهای مدل کیفیت هوا و جذب داده‌ها در پشتیبانی از خدمات عملیاتی از جمله پیش‌بینی کیفیت هوا و نظارت بر پروتکل.

۳-۷ روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف کاربردی است، زیرا سعی در شناسایی پهنه‌های آلودگی شهر مشهد دارد و از نظر داده‌ای نیز از نوع میدانی و مکانی است. در این پایان‌نامه، ابتدا تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۹ سنیتل-۵ برای

شهر مشهد داندود شده و سپس مقادیر هر آلاینده موجود در تصاویر به صورت روزانه از تصاویر استخراج می شود. پس از آن، میانگین هر ایستگاه برای آلاینده های متناظر با داده های ماهواره به صورت زمانی یکسان گرفته شده است. همچنین، توزیع مکانی آلاینده های شاخص آلودگی هوا استخراج شده از مأموریت سنتینل-۵ برای سال ۲۰۱۹ در سطح شهر مشهد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است برای پیش پردازش و پس پردازش تصاویر و نتایج از نرم افزارهای متلب، SNAP و Arc GIS استفاده شده است.

۳-۸ خودهمبستگی فضایی

مسئله اساسی در تحلیل فضایی، کمی سازی میزان درجه ارتباطات مکانی است. یکی از ابزارهای بسیار مفید در زمینه توصیف ارتباط واحدهای فضایی که بسیار مورد استفاده قرار گرفته، شاخص مجاورت فضایی موران است. i یک مقدار استاندارد در ارتباط بین مشاهدات و نواحی همسایه است که در تجزیه و تحلیل داده ها در آماره یا شاخص موران مورد استفاده قرار می گیرد (Ashton, ۲۰۰۷). تجزیه و تحلیل خودهمبستگی فضایی تا مدت طولانی از نگرانی عمده پژوهش های جغرافیایی بوده است. در یک مفهوم عام تر خودهمبستگی فضایی (وابستگی فضایی) عبارت است از ارزش یک متغیر در یک محل (ناحیه) در ارتباط با ارزش متغیر در محل (ناحیه) مجاور (Malczewski, ۲۰۱۰). خودهمبستگی فضایی جهانی میانگین وابستگی فضایی را در ناحیه مورد مطالعه اندازه گیری می کند. این نوع خودهمبستگی تنها زمانی مفید است که وابستگی فضایی در سرتاسر ناحیه مورد مطالعه یکنواخت باشد در غیر این صورت نمی تواند معرف واقعیت باشد. در این نوع آمار فضایی تنها میانگینی از وابستگی های فضایی به دست می آید و ممکن است اختلافات محلی مهم و اساسی در ناحیه مورد مطالعه نادیده انگاشته شوند. بنابراین برآوردهای جهانی می توانند همراه کننده باشند. برای غلبه بر این محدودیت ها خودهمبستگی فضایی محلی توسعه داده شده است که وابستگی و ارتباطات محلی را در ناحیه مورد مطالعه اندازه گیری می کند. خودهمبستگی فضایی محلی در مقابل روش خودهمبستگی فضایی جهانی قرار دارد و بر روی وابستگی فضایی و اختلافات محلی تأکید دارد (Zheng, ۲۰۱۲).

شاخص موران برای خودهمبستگی فضایی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

در اینجا Z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن می‌باشد. w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j هست. n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده بوده و S_0 جمع کل وزن‌های فضایی هست.

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

امتیاز Z_i استاندارد برای آماره موران از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{v[I]}}$$

که در آن :

$$E[I] = -1/(n-1)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2$$

n تعداد واحدهای ناحیه‌ای، EI ضریب مورد انتظار وقتی که شاخص موران مورد محاسبه بزرگ‌تر از مقدار مورد انتظار باشد الگوی پراکنش فضایی تأیید می‌شود و برعکس.

۹-۳ تحلیل لکه‌های داغ

تحلیل لکه‌های داغ^۱ آماره گتیس-ارد جی^۲ را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌نماید. آماره گتیس-ارد جی به صورت زیر محاسبه می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰).

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{n[\sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}}$$

^۱ . Hot Spot Analysis

^۲ . Getis-Ord Gi

در این فرمول x_j مقدار خصیصه برای عارضه j ، وزن فضایی بین عارضه I و j و n برابر با تعداد کل عارضه‌ها هستند .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

از آنجا که G_i خودش نوعی امتیاز z است دیگر نیاز به محاسبه دیگری نیست. با توجه به مواردی که گفته شد هر چه امتیاز z بزرگ‌تر باشد. مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه‌های داغ تشکیل می‌دهند. هرچه که امتیاز z کوچک‌تر باشد به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و این‌ها در حقیقت لکه‌های سرد را نشان می‌دهند.

۳-۱۰ جمع‌بندی

این پژوهش با هدف بررسی سری زمانی آلاینده‌های آلودگی به‌دست‌آمده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ برای سال ۲۰۱۹ با سری زمانی آلاینده‌های به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های زمینی و مقایسه آن‌ها برنامه‌ریزی شد. همچنین، جهت بررسی دقیق‌تر توزیع و پخش هر آلاینده آلودگی هوا در سطح شهر مشهد میانگین آلاینده‌های آلودگی هوا از تصاویر گرفته‌شده و نقشه آن تولید می‌شود. درنهایت، حداکثر، حداقل و میانگین هر آلاینده آلودگی هوا مستخرج از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ به‌دست‌آمده و با نتایج میدانی مقایسه شد.

فصل چہارم: نتیجہ و بحث

در سال‌های اخیر، آلاینده‌های موجود در محیط زیست از مهمترین مشکلات شهرهای بزرگ دنیا بوده‌اند که مسئله آلودگی هوا یکی از بحرانی‌ترین این موارد می‌باشد. افزایش میزان آلاینده‌های موجود در هوا علل گوناگونی دارد که از آن جمله می‌توان به افزایش جمعیت، پیشرفت صنعت و فناوری، توسعه شهرها و افزایش وسایط نقلیه اشاره کرد. تهیه داده‌های آلودگی هوا از ایستگاه‌های پایش آلاینده‌ها، جهت مطالعه و بررسی راهکارهای مناسب برای کاهش و کنترل آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ایستگاه‌های متعددی برای سنجش آلاینده‌ها در مناطق مختلف کلانشهرها واقع شده‌اند و به جمع‌آوری داده می‌پردازند. اخذ دقیق، آنی و پیوسته این داده‌ها برای مطالعات و کاربردهای گوناگون نظیر طراحی سیستم‌های پایش آنی آلودگی هوا، پایش بیماران مبتلا به آسم و تنگی نفس، در بستر سامانه‌های اطلاعات مکانی، ضروری می‌باشد. لیکن متأسفانه در موارد زیادی جداول به دست آمده از این ایستگاه‌ها، فاقد مشاهدات آلاینده‌های مختلف در ساعات گوناگون می‌باشد. عدم ثبت مقادیر مشاهدات علل گوناگونی دارد که از آن جمله می‌توان به خراب یا غیرفعال بودن حسگر و قطع ارتباط حسگر با مرکز پایش اشاره کرد. بر همین اساس استفاده همزمان از داده‌های سنجش از دور و ایستگاه‌های زمینی می‌تواند خلا موجود در زمینه نقصان داده را جبران کند. در ادامه این فصل در ابتدا نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مأموریت سنتینل-۵ برای آلاینده‌های مختلف به‌صورت سری زمانی و همچنین توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌های مختلف آلودگی هوای شهر مشهد به‌دست‌آمده از مأموریت سنتینل-۵ به تفصیل مورد بحث قرار گرفته و ارائه می‌گردد، سپس توزیع زمانی و مکانی آلاینده‌های مختلف آلودگی هوای شهر مشهد به‌دست آمده از داده‌های ایستگاه‌های محلی نیز ارائه می‌شود و سرانجام به بحث پیرامون نتایج به‌دست آمده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ و ایستگاه‌های محلی بر آلاینده‌های آلودگی هوای شهر مشهد و میزان همبستگی آن‌ها با یکدیگر پرداخته شده است.

۴-۲ بررسی آلاینده‌های آلودگی هوا با استفاده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵

آلاینده‌های هوا

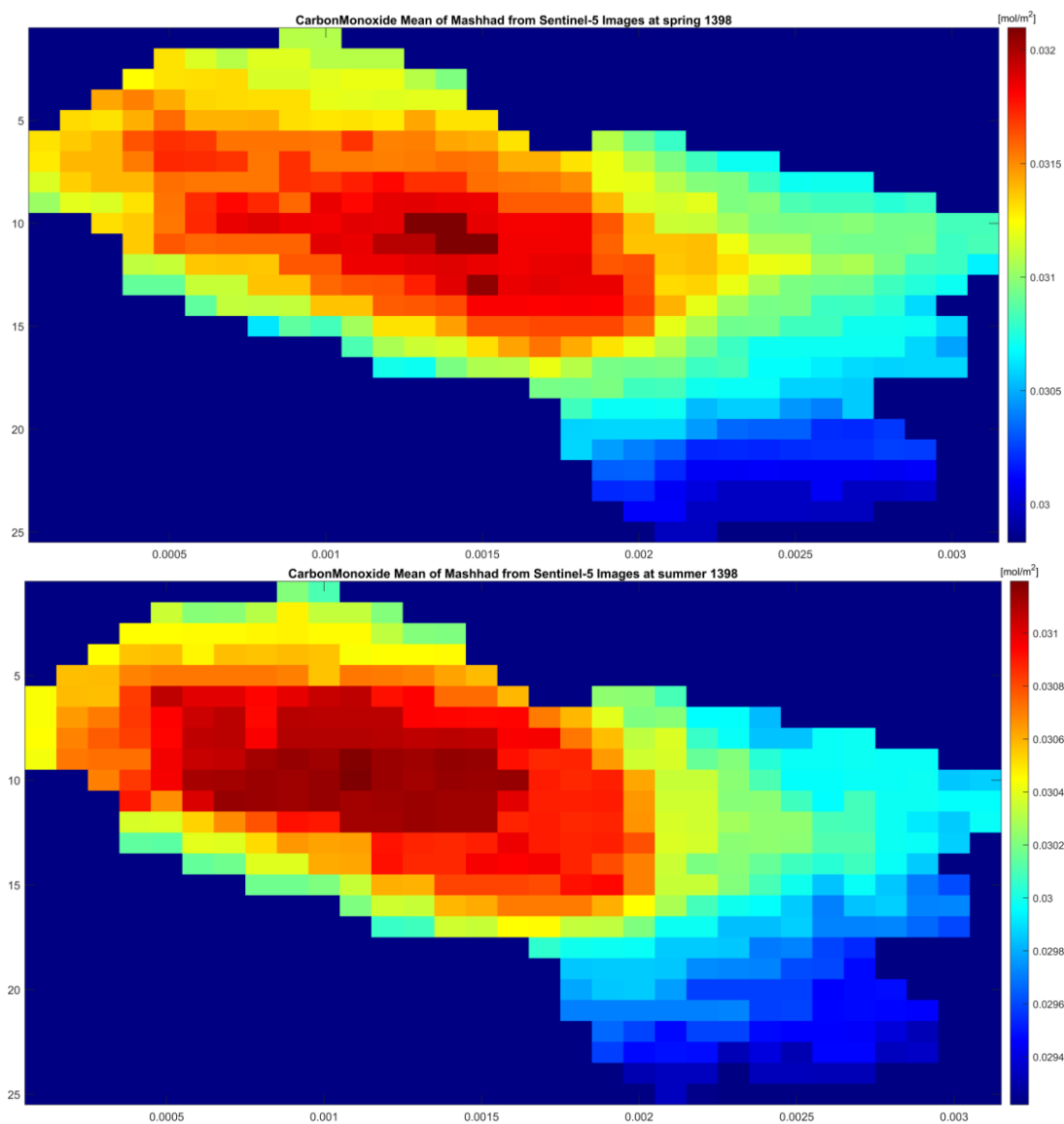
به‌منظور بررسی کلی توزیع مکانی این آلاینده‌ها در هوای شهر مشهد، بر اساس تصاویر و داده‌های موجود، میانگین غلظت سالیانه و ماهیانه آلاینده‌ها هم از تصاویر و هم از ایستگاه‌های محلی محاسبه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب نقشه‌های ارائه‌دهنده توزیع مکانی برخی از آلاینده‌ها که اطلاعات کامل تری از آن‌ها موجود بود، تهیه شد. با استفاده از تصاویر و داده‌های میدانی چهار آلاینده کربن مونوکسید، ازن، دی‌اکسید نیتروژن و گوگرد دی‌اکسید پایش شده‌اند.

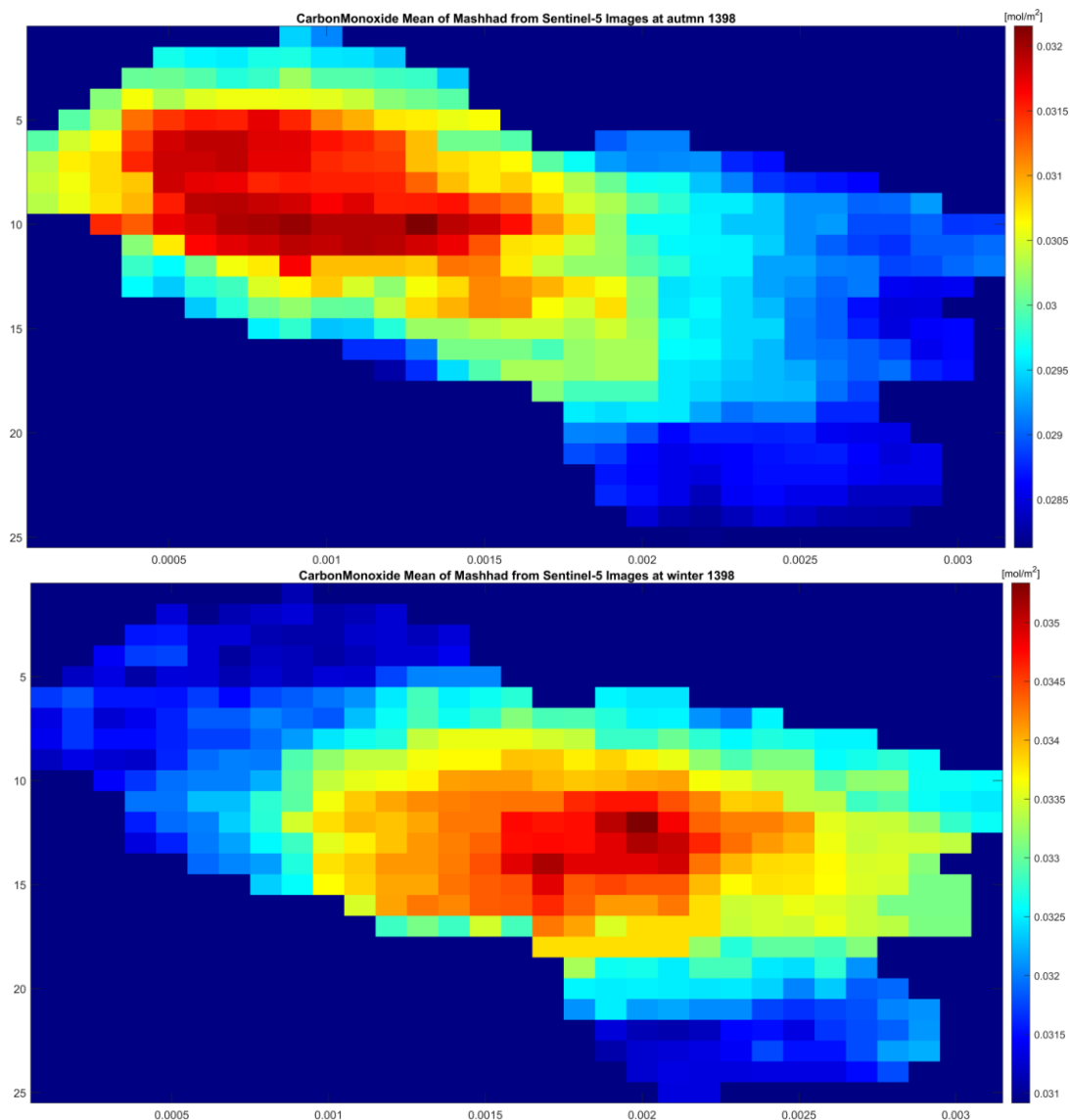
۵-۱ هوا با استفاده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵

نتایج بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌های شاخص آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از تصاویر مأموریت سنتینل-۵ در شکل‌های (۴-۱ تا ۴-۴) خلاصه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از میانگین تغییرات فصلی غلظت آلاینده‌ها، بیانگر این واقعیت می‌باشند که نقاط مختلف شهر مشهد دارای آلودگی نسبی یکنواختی نبوده و برحسب نوع آلاینده، درجات متفاوتی از آلودگی هوا را نشان می‌دهند.

همان‌طور که در شکل (۴-۱) نشان داده‌شده است در فصل‌های مختلف سال منواکسید کربن در مناطق مرکزی شهر مشهد دارای بیشترین غلظت بوده است. حداکثر میزان این آلاینده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب 0.00323 ، 0.00315 ، 0.00323 و 0.00353 mol/m^2 در سال ۱۳۹۸ بوده است همچنین حداقل میزان منواکسید کربن در مناطق حاشیه‌ای شهر در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب 0.0030 ، 0.0029 ، 0.00285 و 0.0031 mol/m^2 ، اتفاق افتاده است. طبق نتایج بالا بودن میزان آلاینده در مرکز شهر می‌تواند به دلیل بالا بودن ترافیک شهر در این مناطق در تمام طول سال محسوب باشد. با توجه به اینکه مهم‌ترین منبع تولید منواکسید کربن وسایل نقلیه هستند، توزیع مکانی این آلاینده در

فصل‌های بهار و تابستان تقریباً مشابه یکدیگر است. این آلاینده در فصل زمستان به دلیل برودت هوا و افزایش فشار هوای سنگین و سرد، که سبب وارونگی دما و افزایش آلودگی دارای بیشترین مقدار می باشد.

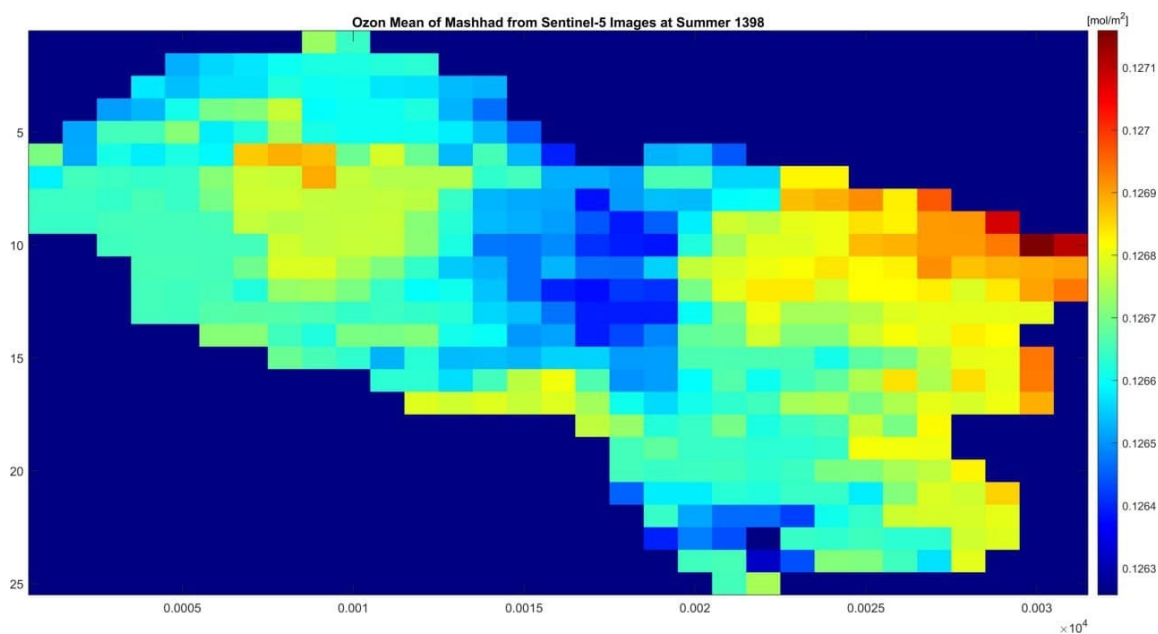
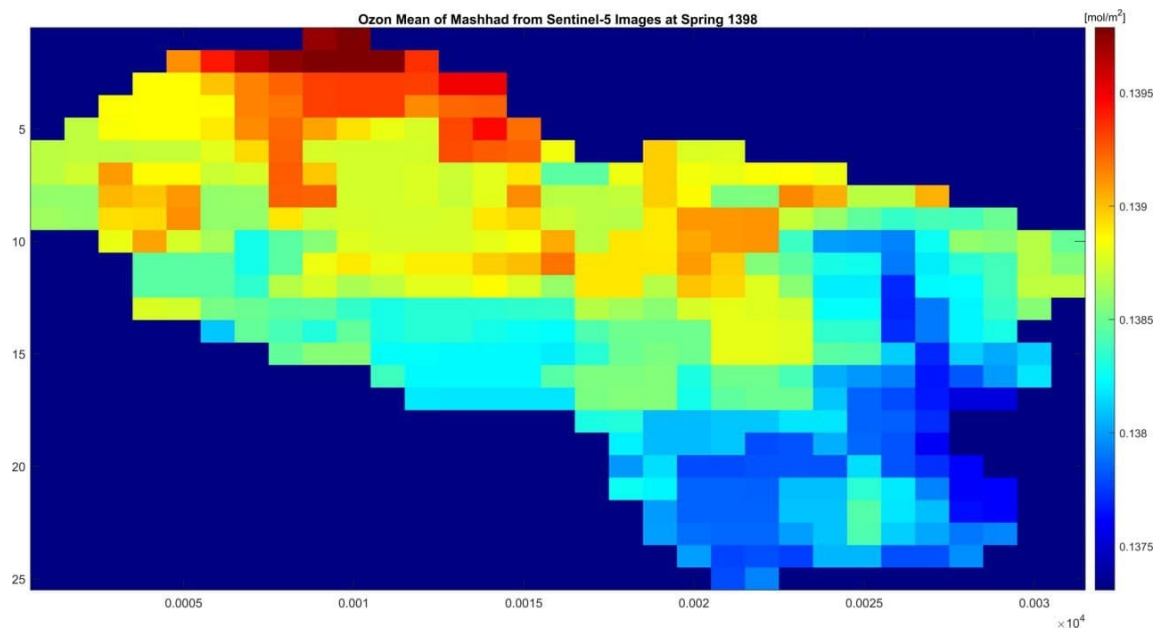


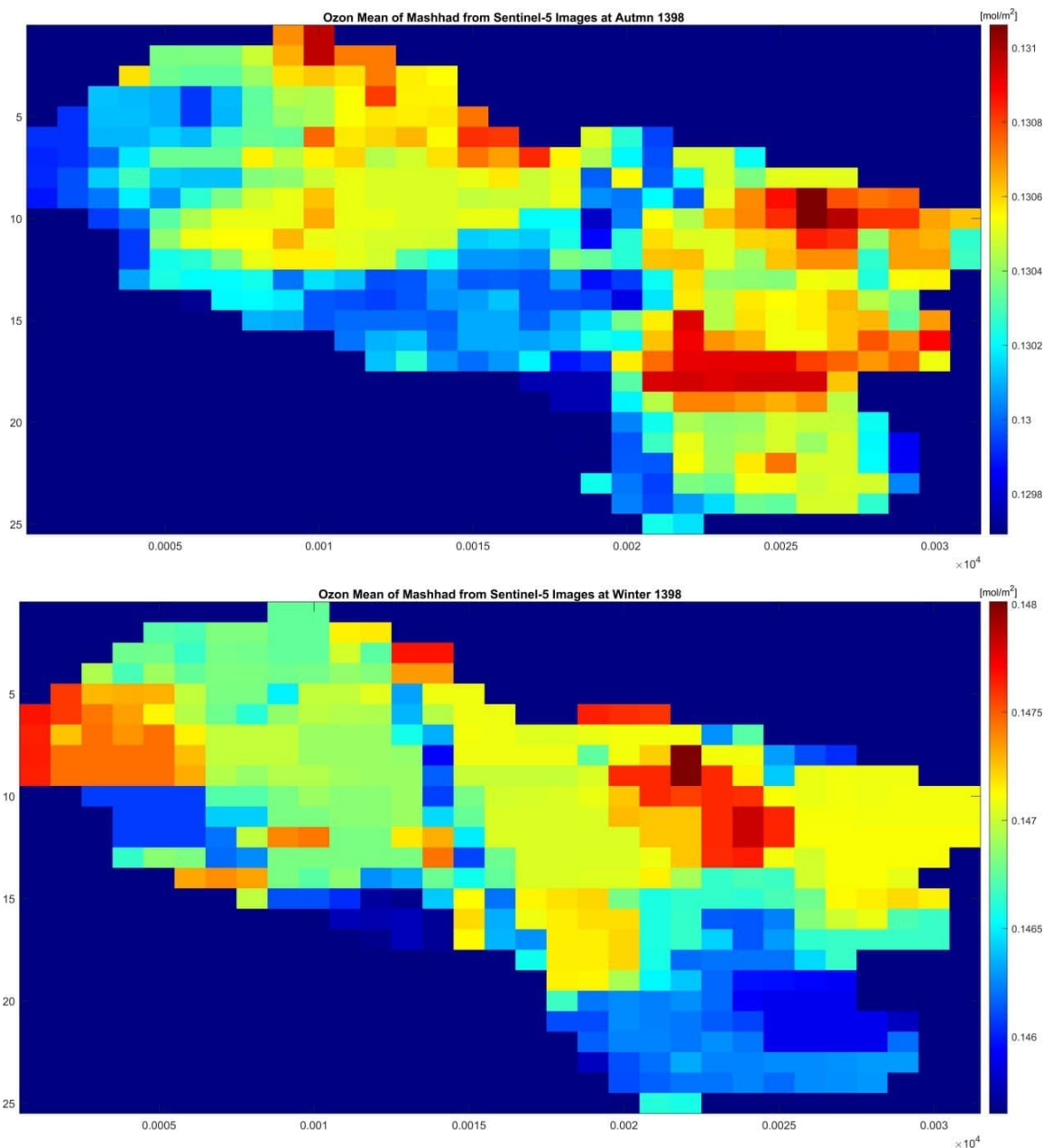


شکل ۴ - ۱: میانگین توزیع مکانی مونواکسید کربن در فصول مختلف سال ۱۳۹۸، شهر مشهد.

توزیع مکانی غلظت ازن در چهار فصل سال ۱۳۹۸ در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۲-۴) بیشترین غلظت ازن در فصل‌های پاییز و زمستان رخ داده که سبب آن می‌تواند ناشی از افزایش جریان استراتوسفر به تروپوسفر باشد. همچنین کم‌ترین غلظت آن در فصل تابستان اتفاق افتاده است. علت این رخداد نیز با توجه به رابطه مستقیم آلاینده ازن با خورشید به دلیل تابش بیشتر خورشید در فصل تابستان می‌باشد. حداکثر میزان این آلاینده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۱۲۸، ۰/۱۳۲ و ۰/۱۴۸ mol/m^2 در سال ۱۳۹۸ بوده است همچنین حداقل میزان ازن در مناطق حاشیه‌ای شهر در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۲۵، ۰/۱۲۹ و ۰/۱۴ mol/m^2 اتفاق

افتاده است. طبق نتایج بالا بودن میزان آلاینده در مرکز شهر می‌تواند به دلیل بالا بودن ترافیک شهر در این مناطق در تمام طول سال محسوب باشد. با توجه به اینکه مهم‌ترین منبع تولید منواکسید کربن وسایل نقلیه هستند، توزیع مکانی این آلاینده در فصل‌های بهار و تابستان تقریباً مشابه یکدیگر است. این آلاینده در فصل زمستان به دلیل برودت هوا و افزایش فشار هوای سنگین و سرد، که سبب وارونگی دما می‌شود سبب افزایش آلودگی به بیشترین مقدار خود شده است.

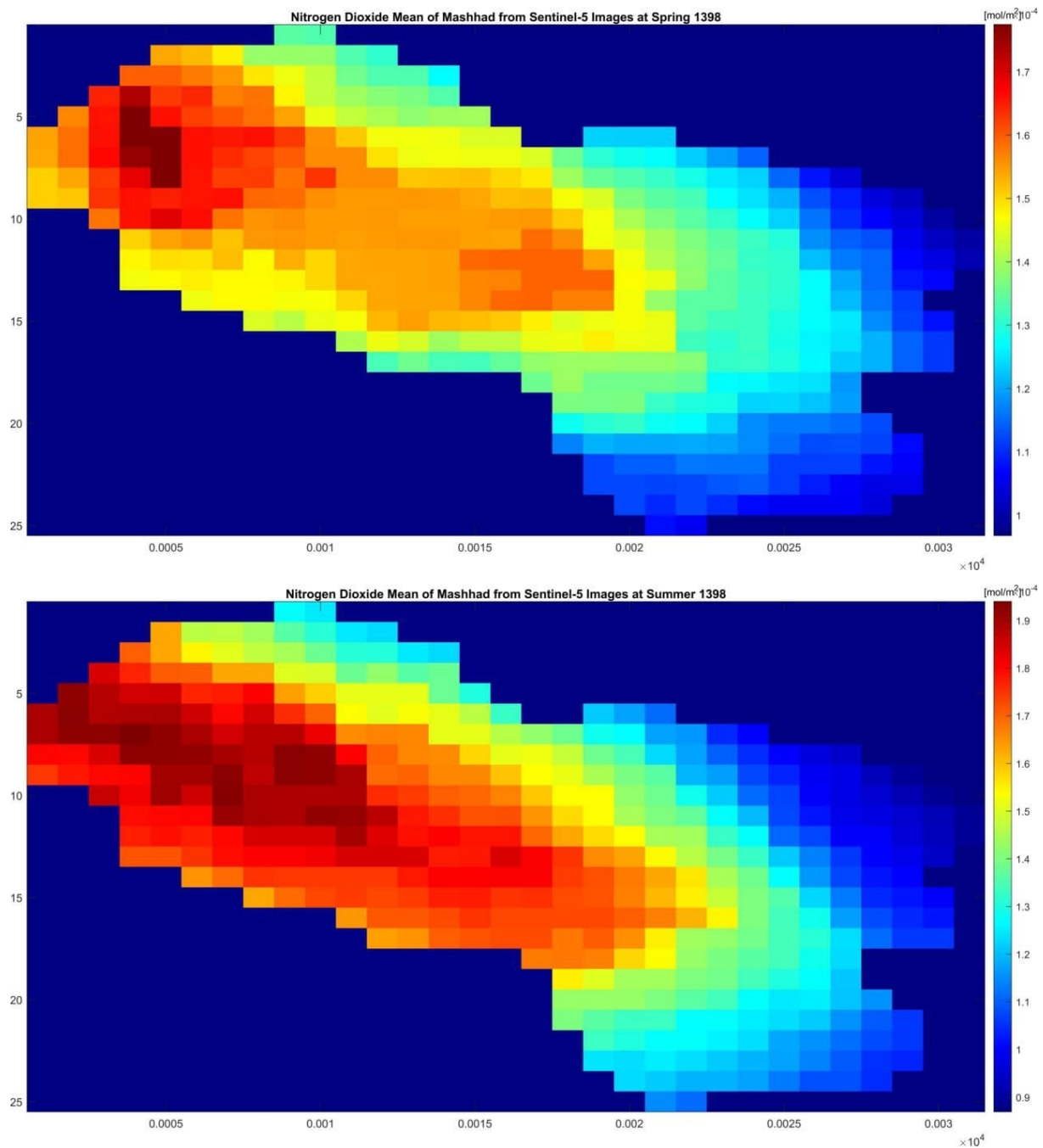


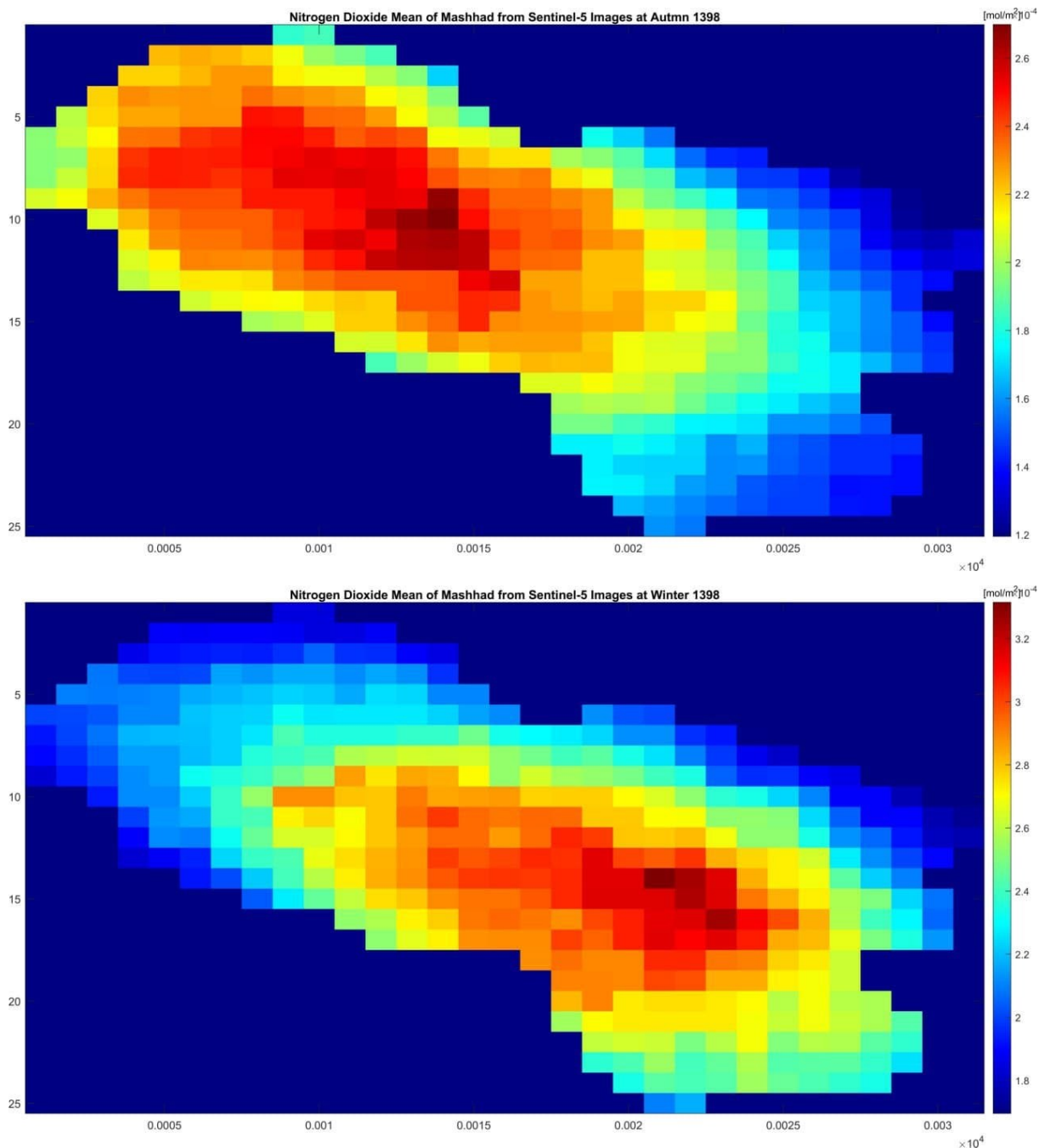


نقشه شماره ۴ - ۲: میانگین توزیع مکانی ازن در فصول مختلف سال ۱۳۹۸، شهر مشهد.

بر اساس شکل (۴-۳)، که غلظت دی‌اکسید نیتروژن در چهار فصل سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد، حداکثر میزان این آلاینده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱/۸، ۱/۹۵، ۲/۷ و ۳/۲۵ $\times 10^{-4}$ [mol/m²] بوده است همچنین حداقل میزان دی‌اکسید نیتروژن در مناطق حاشیه‌ای شهر در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۸ $\times 10^{-4}$ [mol/m²]، اتفاق افتاده است. اما همانطور که در نقشه نیز مشخص است بر حسب بعد مکانی این آلاینده در ماه تابستان دارای

بیشترین میزان پراکنش مکانی بوده است که می توان اظهار داشت با توجه به گرم بودن هوا در این فصل، میزان جابجایی هوا در سطح مناطق بیشتر بوده و سبب افزایش پراکنش مکانی در سطح منطقه مورد مطالعه شده است.



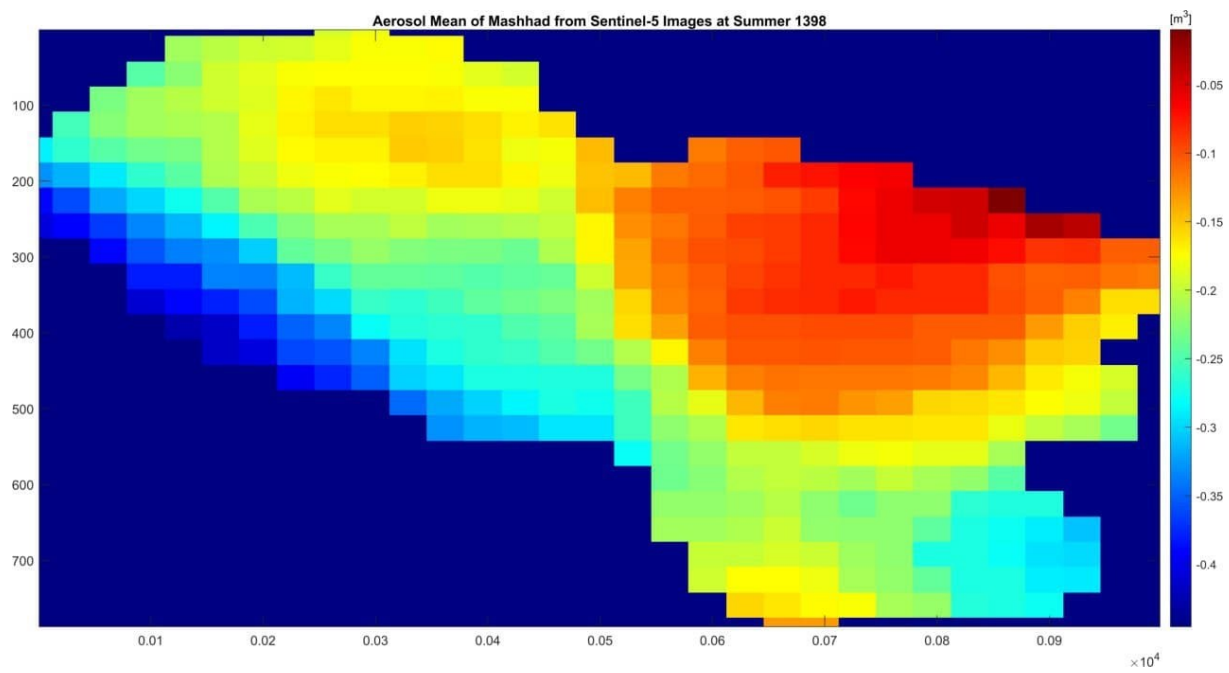
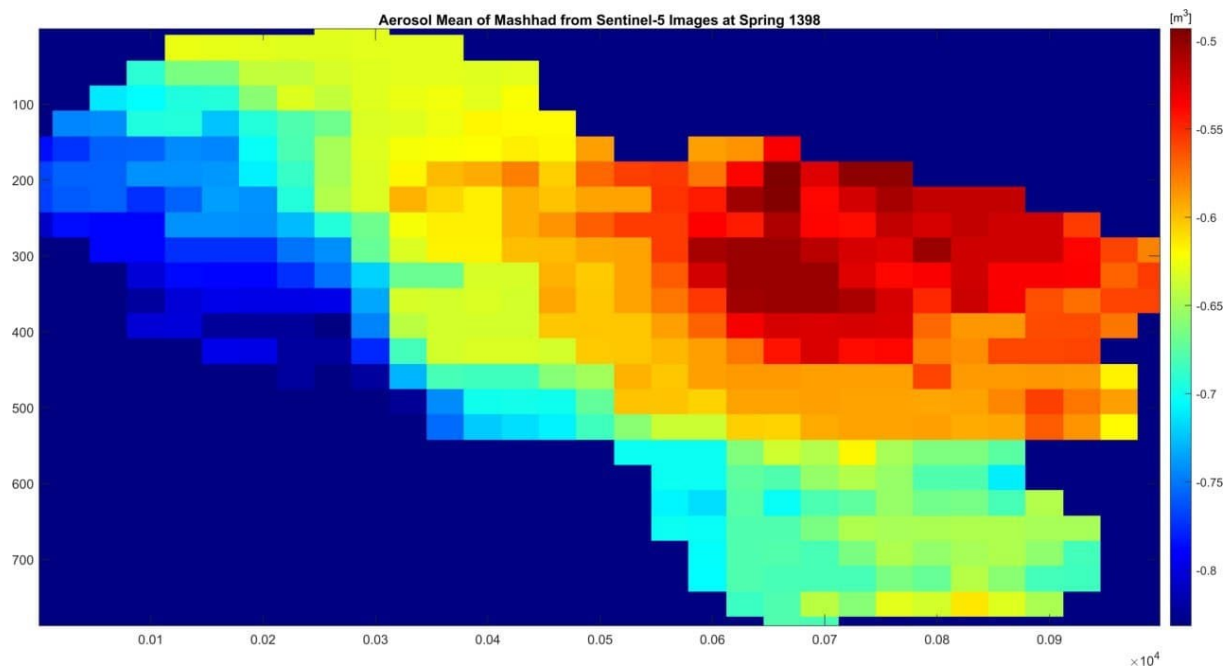


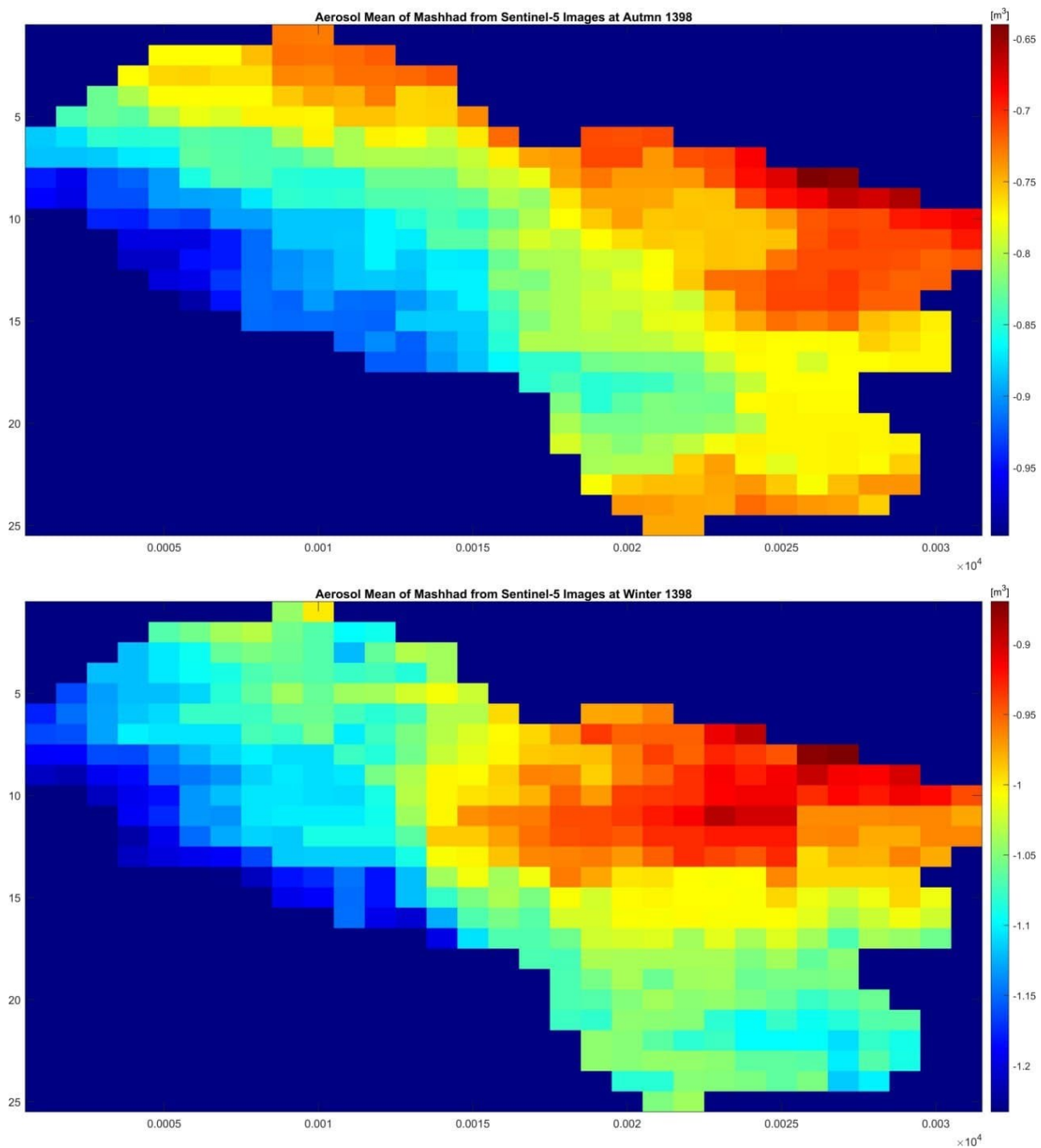
نقشه شماره ۴ - ۳: میانگین توزیع مکانی دی‌اکسید نیتروژن در فصول مختلف سال ۱۳۹۸، شهر مشهد.

توزیع مکانی غلظت دی‌اکسید گوگرد در فصل‌های مختلف سال ۱۳۹۸ در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است. مطابق با شکل حداکثر میزان این آلاینده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۵، ۰/۶۵، ۰/۸ و ۰/۵ m^3 بوده است. همچنین از لحاظ پراکنش مکانی بیش‌ترین غلظت دی‌اکسید گوگرد در فصل تابستان و بخش مرکزی شهر مشهد اتفاق افتاده است. علت این رخداد می‌تواند

بحث مرکزیت و ترافیک زیاد در فصل تابستان و صناعی باشد که در این بخش از شهر مشهد قرار دارند. همچنین با توجه به جهت غالب باد در این فصل که از شرق و شمال شرق به جنوب غرب است، می توان حمل دی اکسید گوگرد از صنایع واقع در نواحی شرق و شمال شرق محدوده شهر، توسط بادهای را دلیلی دیگر بر توزیع مکانی این آلاینده در فصل تابستان دانست.

در فصل زمستان همان گونه که مشاهده می شود در تمام سطح شهر غلظت دی اکسید گوگرد نسبت به فصل پاییز افزایش پیدا کرده است، علت این امر کاهش دما در این فصل می باشد که با وقوع آن میزان مصرف سوخت های فسیلی و همچنین احتراق ناقص سوخت ها افزایش یافته و در نتیجه غلظت این آلاینده در سطح شهر زیاد می شود.



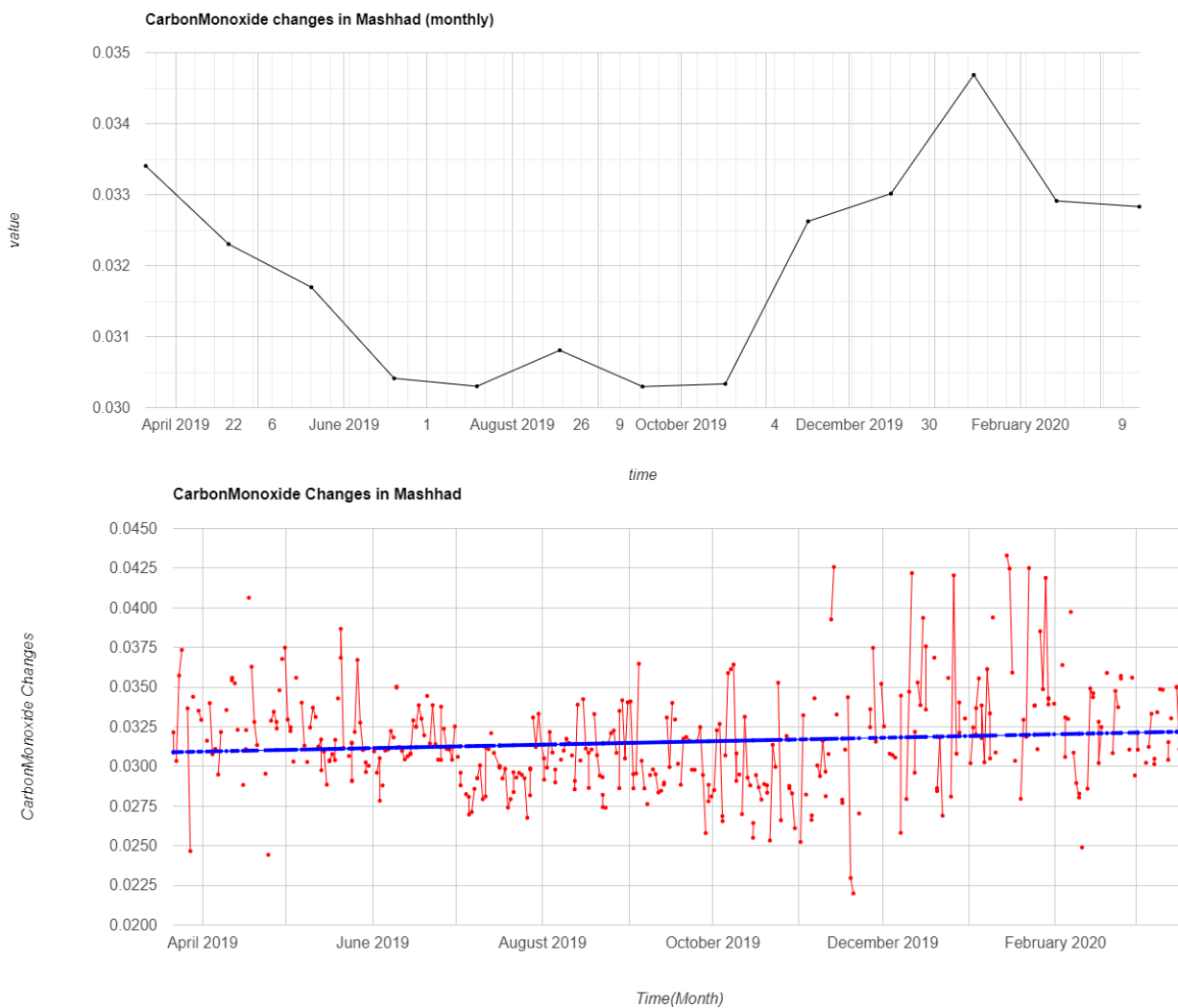


نقشه شماره ۴ - ۴ : میانگین توزیع مکانی دی اکسید گوگرد در فصول مختلف سال ۱۳۹۸، شهر مشهد.

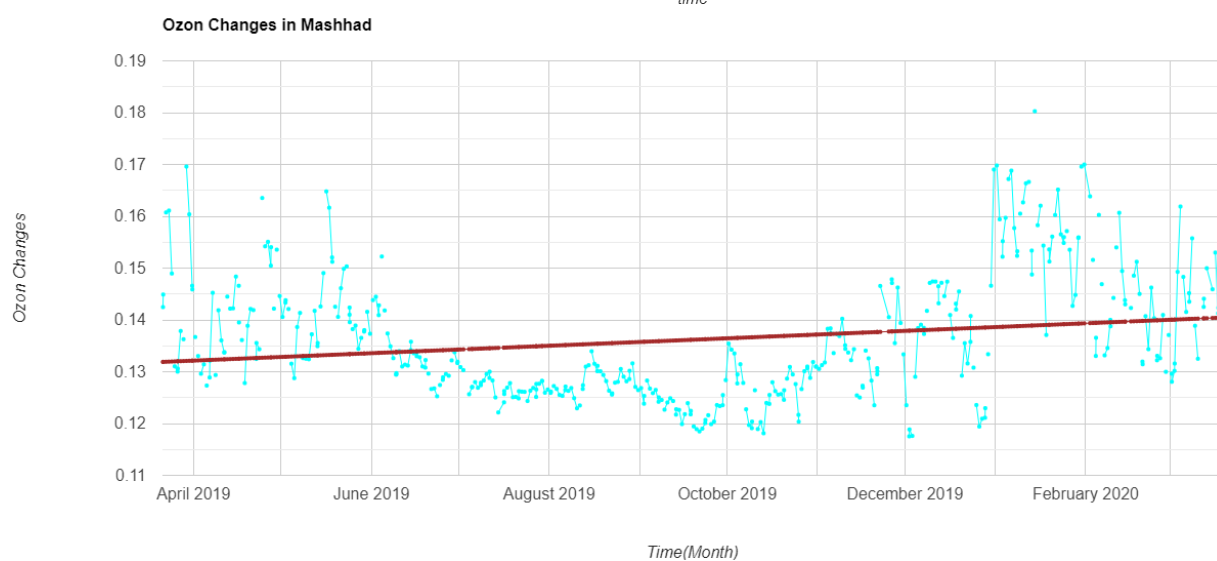
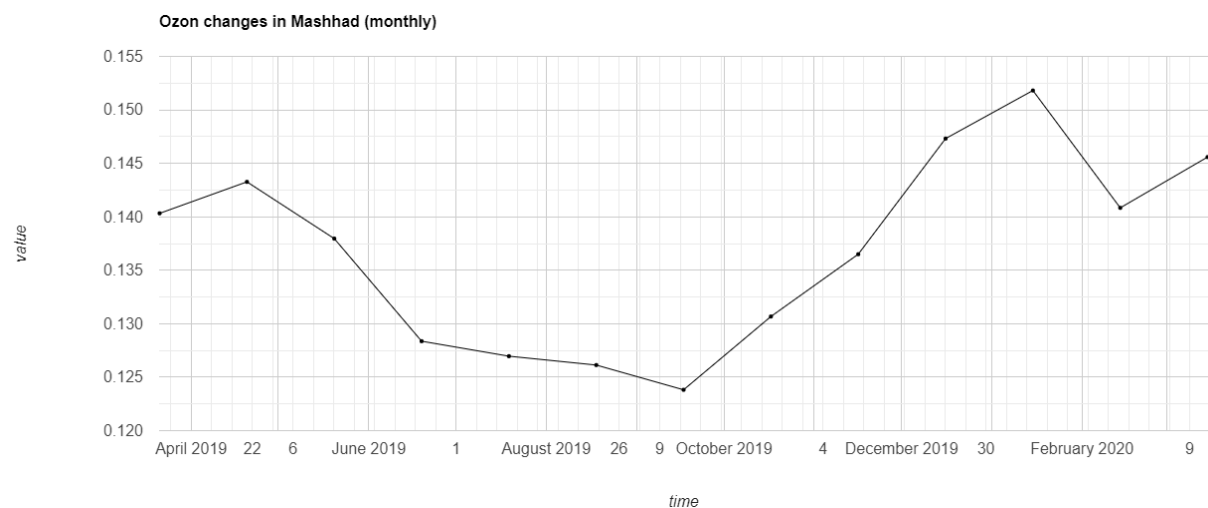
نده‌های هوای شهر مشهد

جهت بررسی چگونگی توزیع زمانی غلظت آلاینده‌ها در طول سال، تصاویر اخذ شده توسط مأموریت سنیتل-۵ در شهر مشهد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تغییرات میانگین غلظت آلاینده‌ها در فصول

مختلف، ماه‌ها و نیز به صورت روزانه محاسبه شد. از آنجا که کامل‌ترین آمار موجود از ایستگاه‌های مختلف سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد مربوط به سال ۱۳۹۸ بود، تصاویر و آمار مربوط به این سال مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت که نتایج مربوطه و بحث پیرامون آن‌ها به تفصیل در ادامه آمده است.



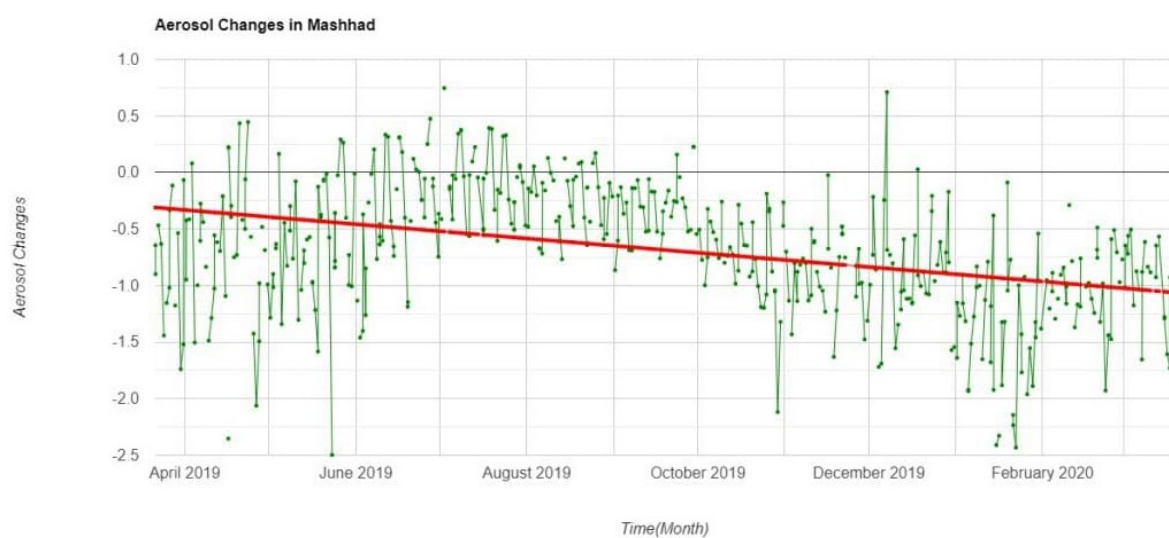
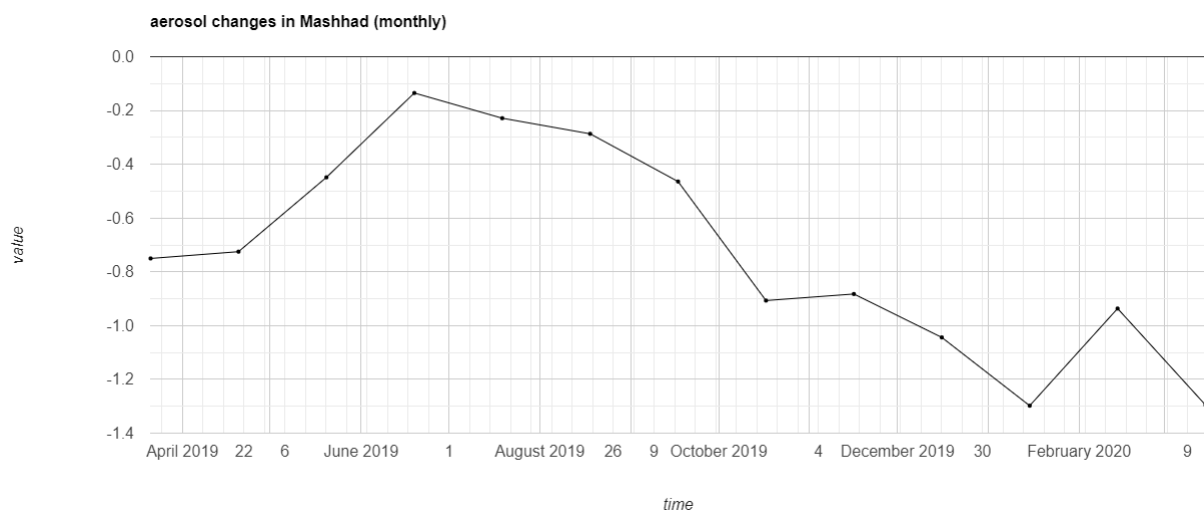
نمودار ۴ - ۱: سری زمانی منواکسید کربن



نمودار ۴ - ۲ : سری زمانی ازن



نمودار ۴ - ۳ : سری زمانی دی اکسید نیتروژن



نمودار ۴ - ۴ : سری زمانی دی اکسید گوگرد

ی هوا با استفاده از ایستگاه‌های محلی

۱-۴-۲-۴ منواکسید کربن

طبق نتایج ایستگاه‌های محلی و مقایسه آن‌ها با آزمون فریدمن می‌توان گفت که کمترین میزان غلظت منواکسید کربن در فصل بهار با مقدار $1/40$ اتفاق افتاده است و در فصل تابستان این مقدار به $1/42$ رسیده است همچنین در فصول پاییز و زمستان با بیشترین میزان به حدود $1/68$ رسیده است.

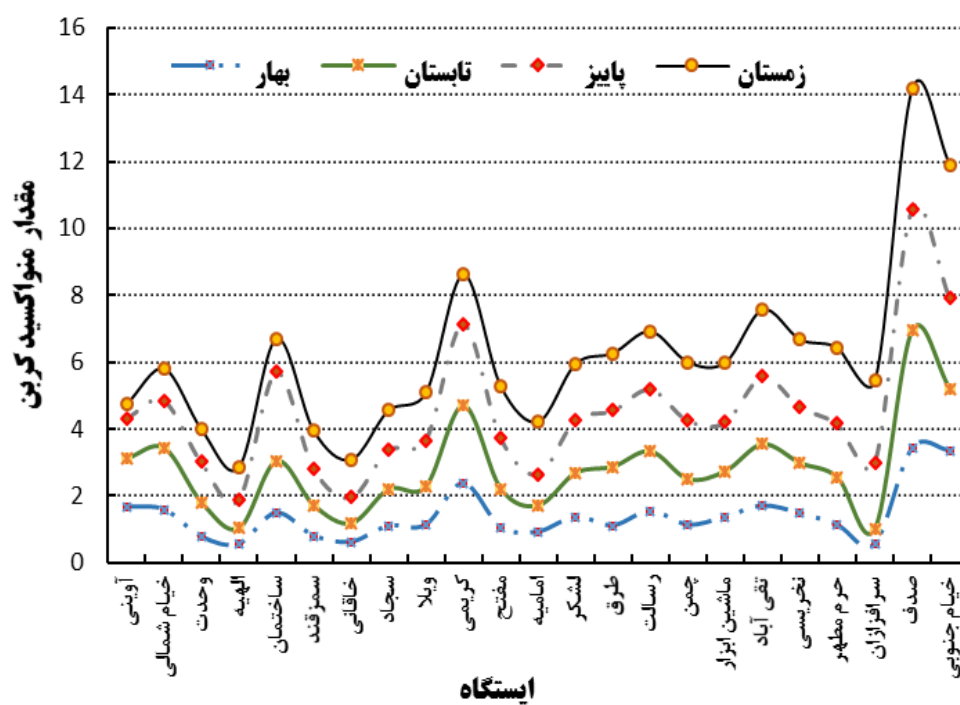
همچنین همان‌طور که در شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود از ۲۳ ایستگاه مورد استفاده مربوط به سال ۱۳۹۸، ایستگاه‌های صدف و خیام دارای بیشترین میزان آلاینده منواکسید کربن در فصل بهار هستند، الهیه و سرافراز نیز دارای کمترین میزان آلودگی هستند. در فصل تابستان سرافراز و الهیه کمترین میزان آلاینده را دارند و ایستگاه‌های صدف و کریمی نیز بیشترین میزان آلاینده را دارند. در فصل پاییز خاقانی و الهیه کمترین میزان آلاینده را دارند و ایستگاه‌های صدف و خیام جنوبی نیز بیشترین آلاینده؛ در فصل زمستان نیز آوینی و خیام شمالی کمترین میزان آلودگی و خیام جنوبی و صدف هم کمترین میزان آلودگی را دارند.

جدول شماره ۴ - ۱: جدول توصیفی منواکسید کربن در چهار فصل

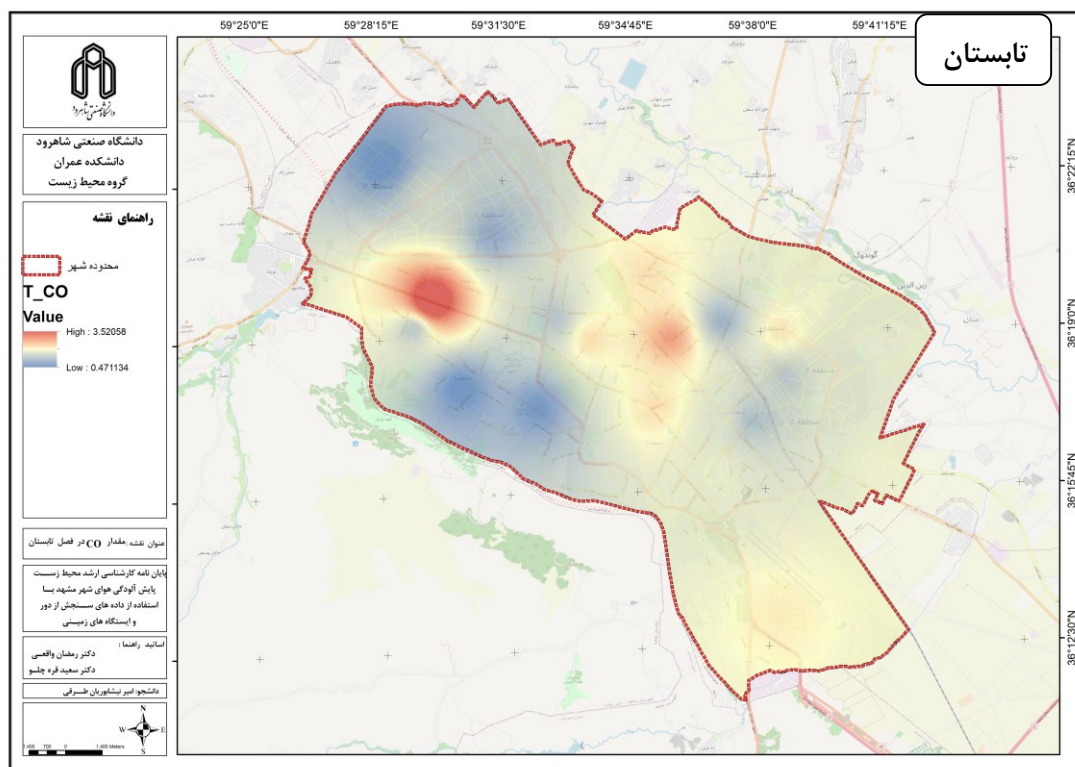
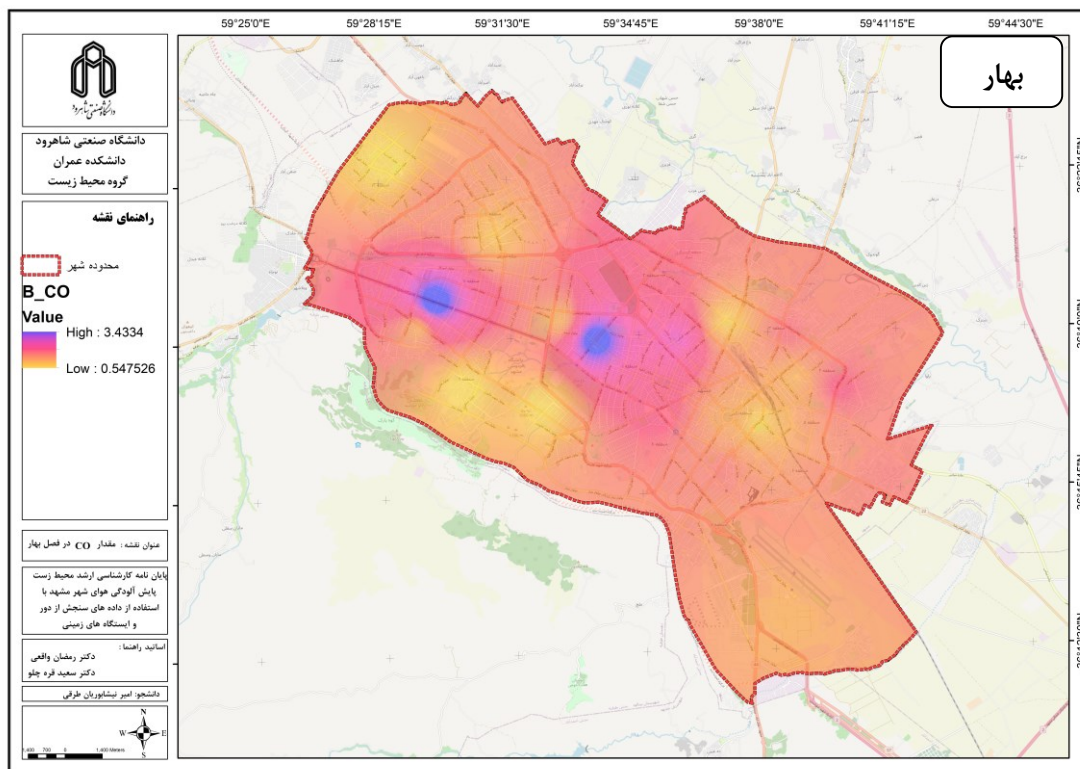
Descriptive Statistics								
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
بهار	23	1.40	0.76	0.55	3.43	0.91	1.12	1.59
تابستان	23	1.42	0.66	0.47	3.52	1.03	1.38	1.79
پاییز	23	1.68	0.67	0.77	3.63	1.20	1.59	1.98
زمستان	23	1.68	0.82	0.43	3.99	1.11	1.57	1.99

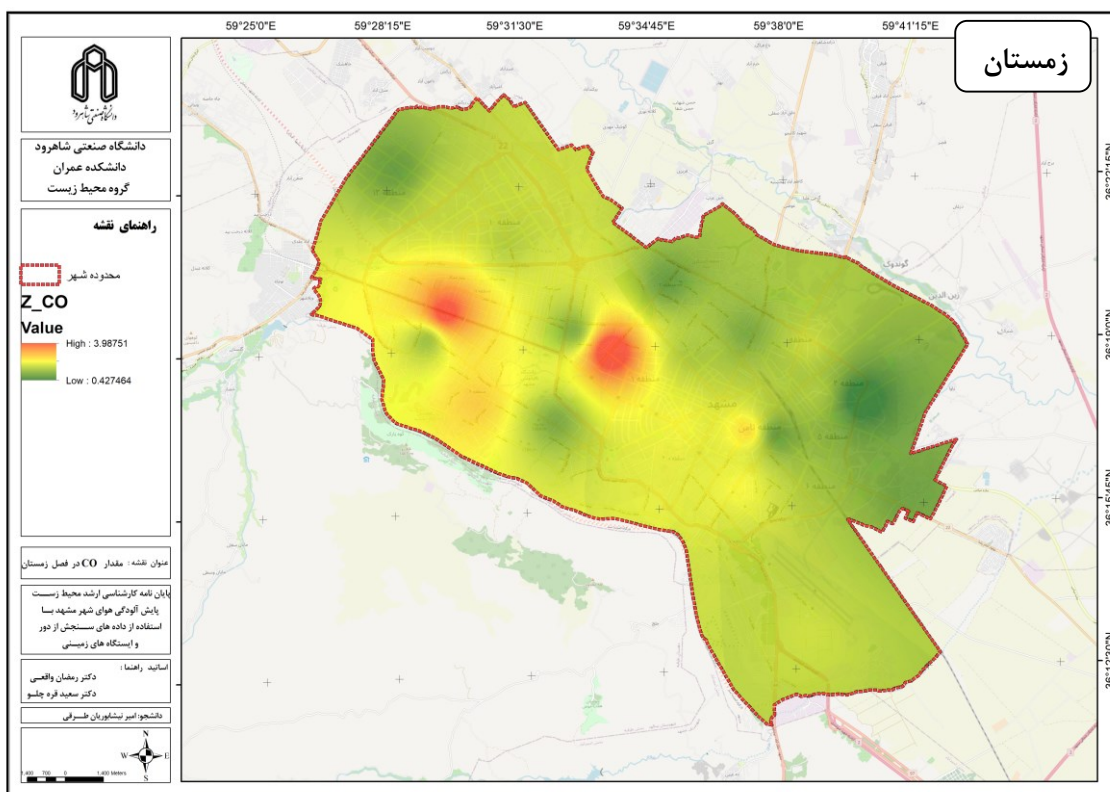
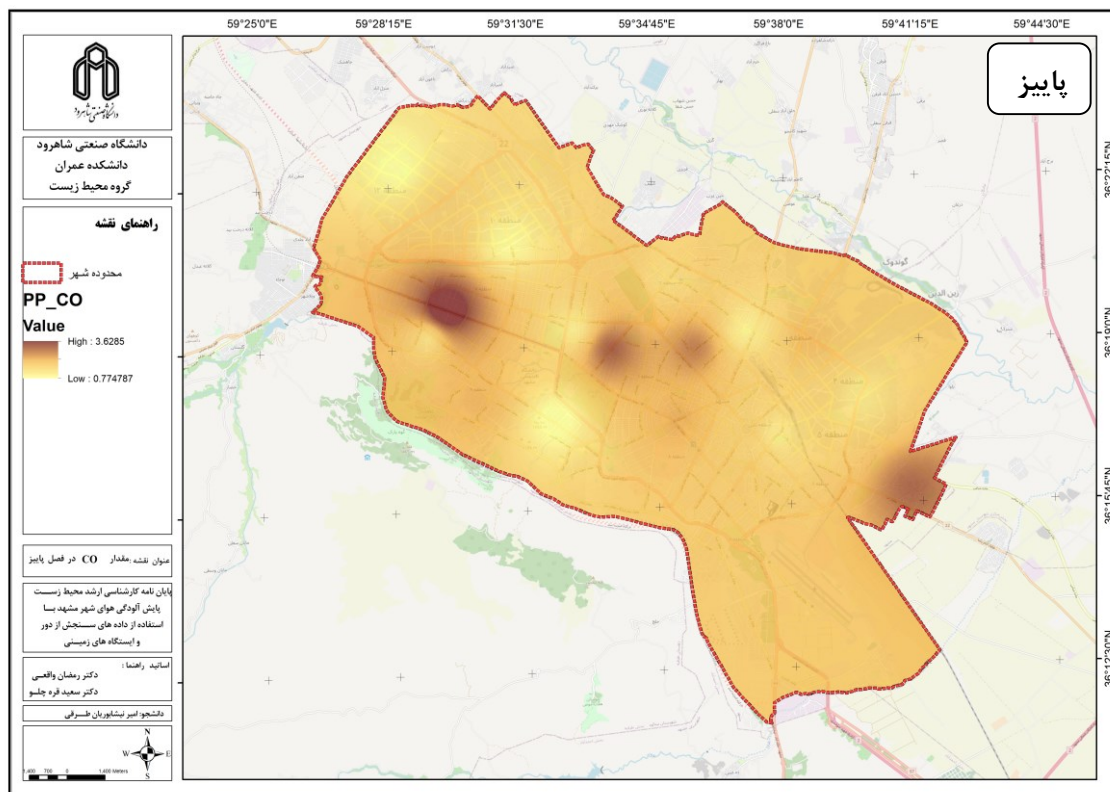
جدول شماره ۴ - ۲: جدول رتبه بندی منواکسید کربن در چهار فصل

Mean Rank	
بهار	1.65
تابستان	2.09
پاییز	3.22
زمستان	3.04



نمودار ۴ - ۵ : میانگین تغییرات مقدار منواکسید کربن در ایستگاه‌های مختلف محلی در سال ۱۳۹۸.





نقشه شماره ۴ - ۵ : میانگین توزیع مکانی منواکسید کربن اندازه گیری شده در ایستگاه های محلی شهر مشهد در سال ۱۳۹۸.

۴-۲-۴-۲ ازن

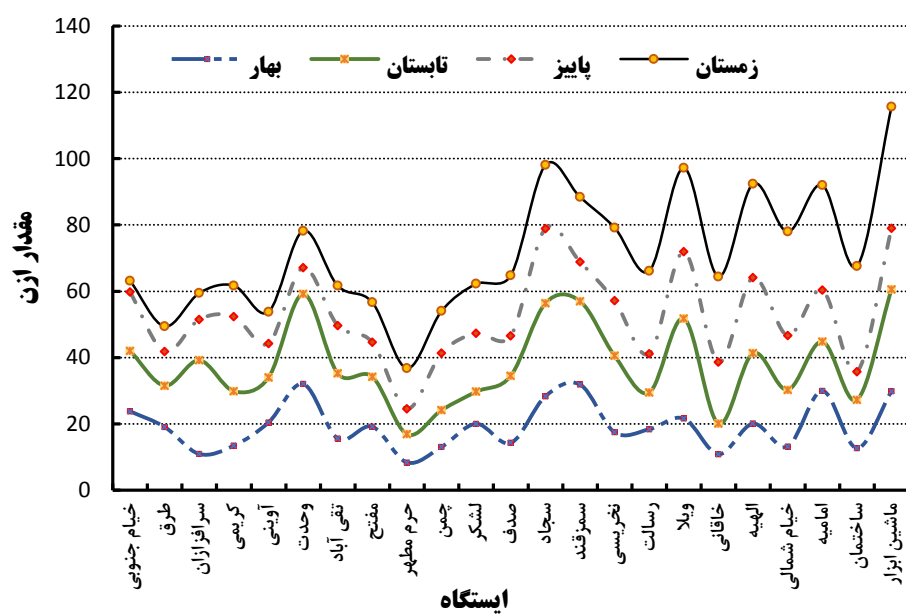
با توجه به جداول (۴-۳ و ۴-۴) بیشترین میزان ازن در فصل بهار و کمترین آن نیز در فصل پاییز است. همچنین از نظر مکانی در فصل بهار ایستگاه خاقانی و حرم مطهر کمترین میزان آلاینده ازن را دارد و بیشترین آن نیز وحدت و سمرقند است. در فصل تابستان کمترین میزان آلاینده ازن مربوط به ایستگاه‌های خاقانی و حرم مطهر و بیشترین آن سرافرازان، ویلا و ماشین ابزار است. همچنین پاییز نیز ایستگاه حرم مطهر کمترین میزان ازن را دارد.

جدول شماره ۴ - ۳: جدول مشخصات توصیفی ازن در چهار فصل

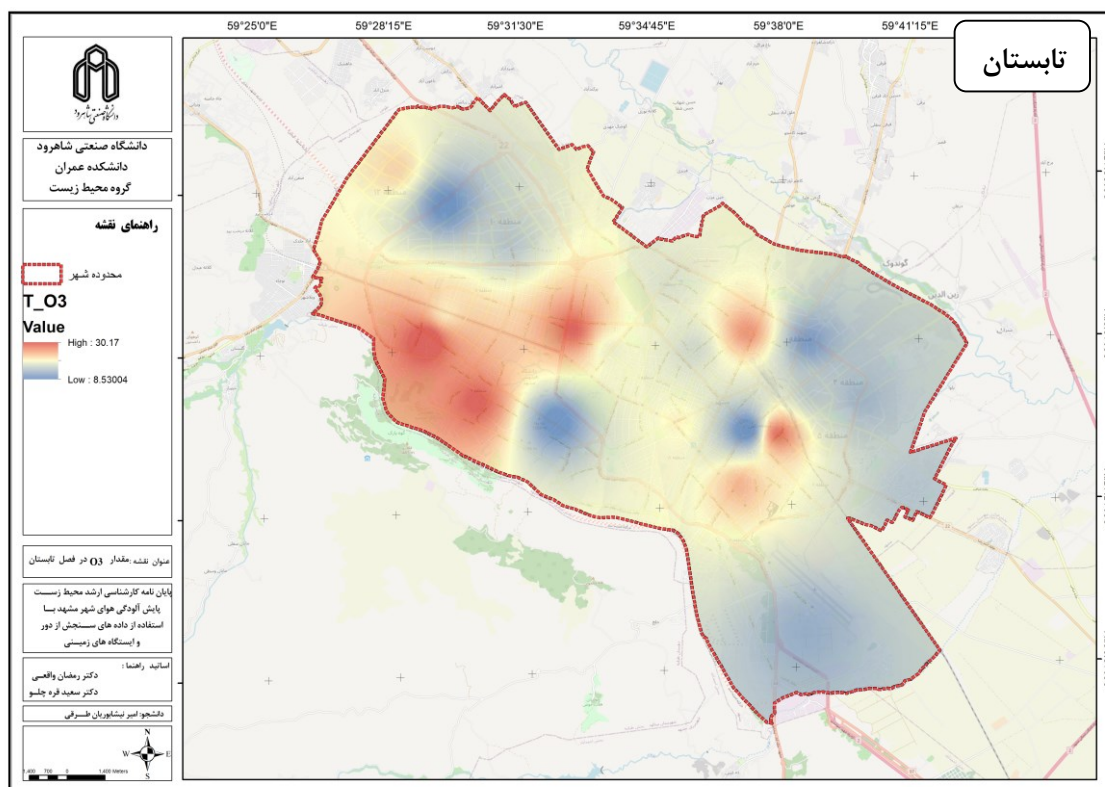
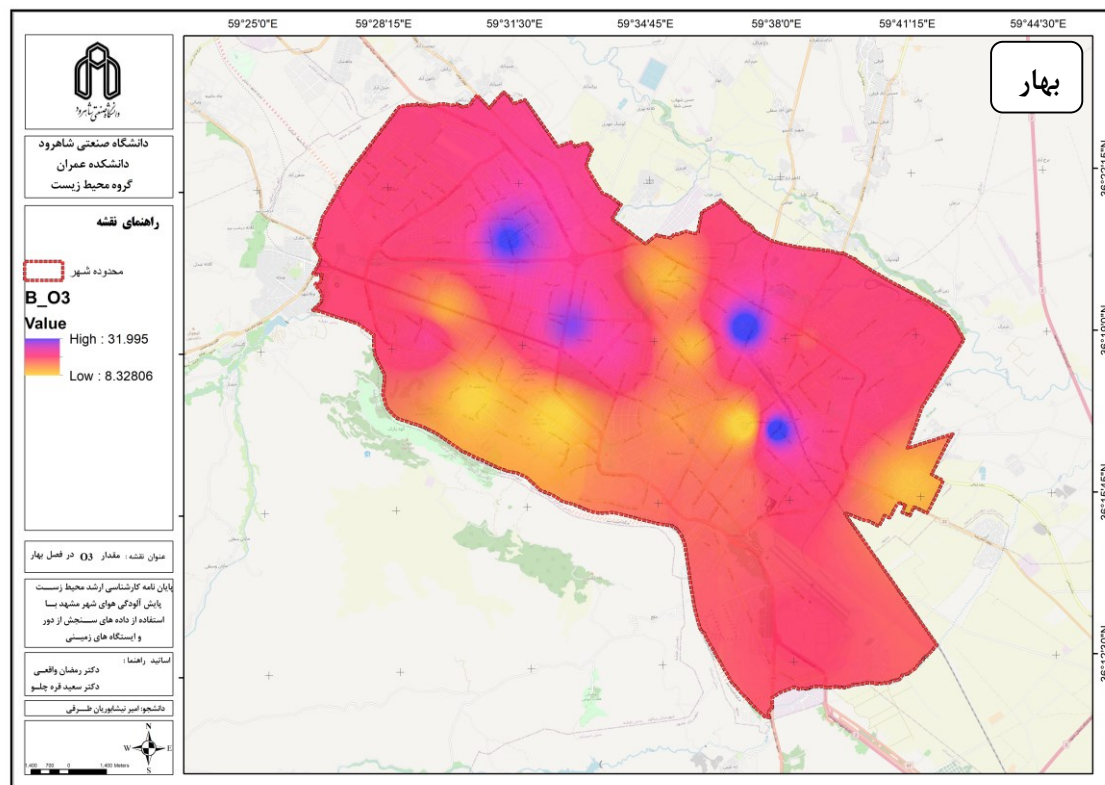
Descriptive Statistics								
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
بهار	23	19.28	7.12	8.32	32.00	13.11	19.03	23.76
تابستان	23	18.51	7.09	8.53	30.74	12.47	17.13	25.15
پاییز	23	14.93	4.76	7.70	22.81	10.37	15.50	18.43
زمستان	23	18.62	9.40	3.45	36.70	11.18	18.28	25.77

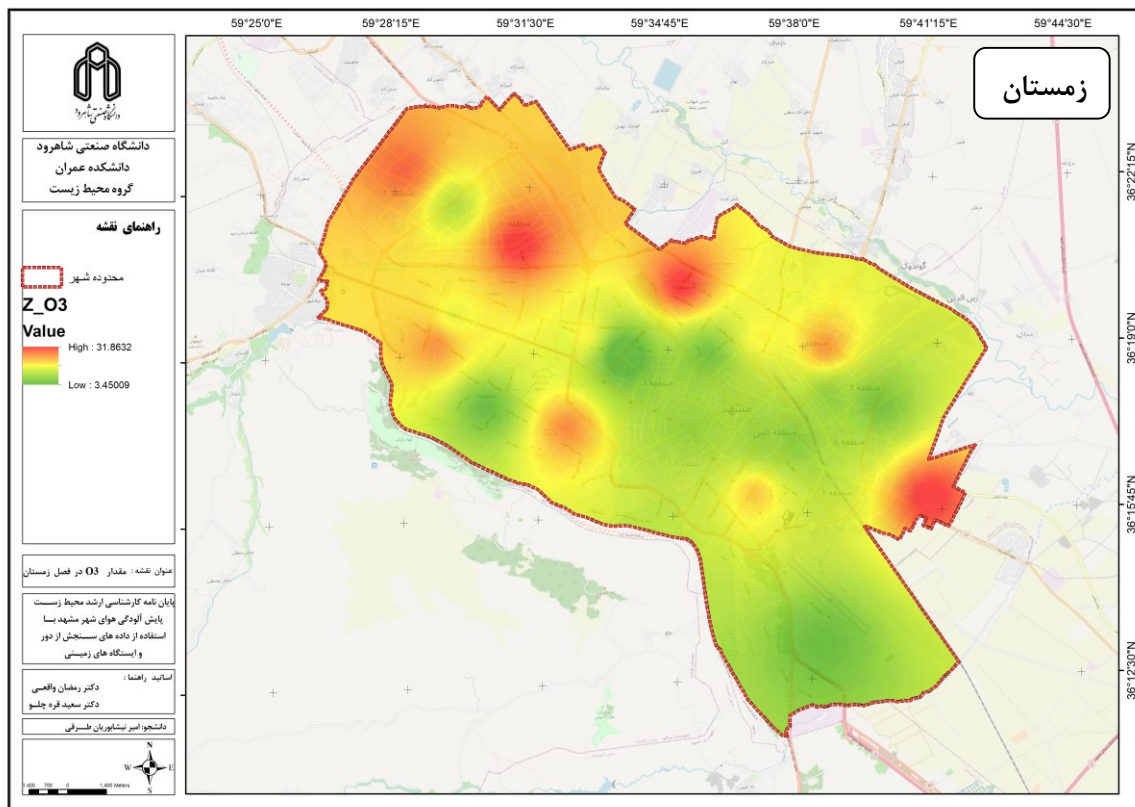
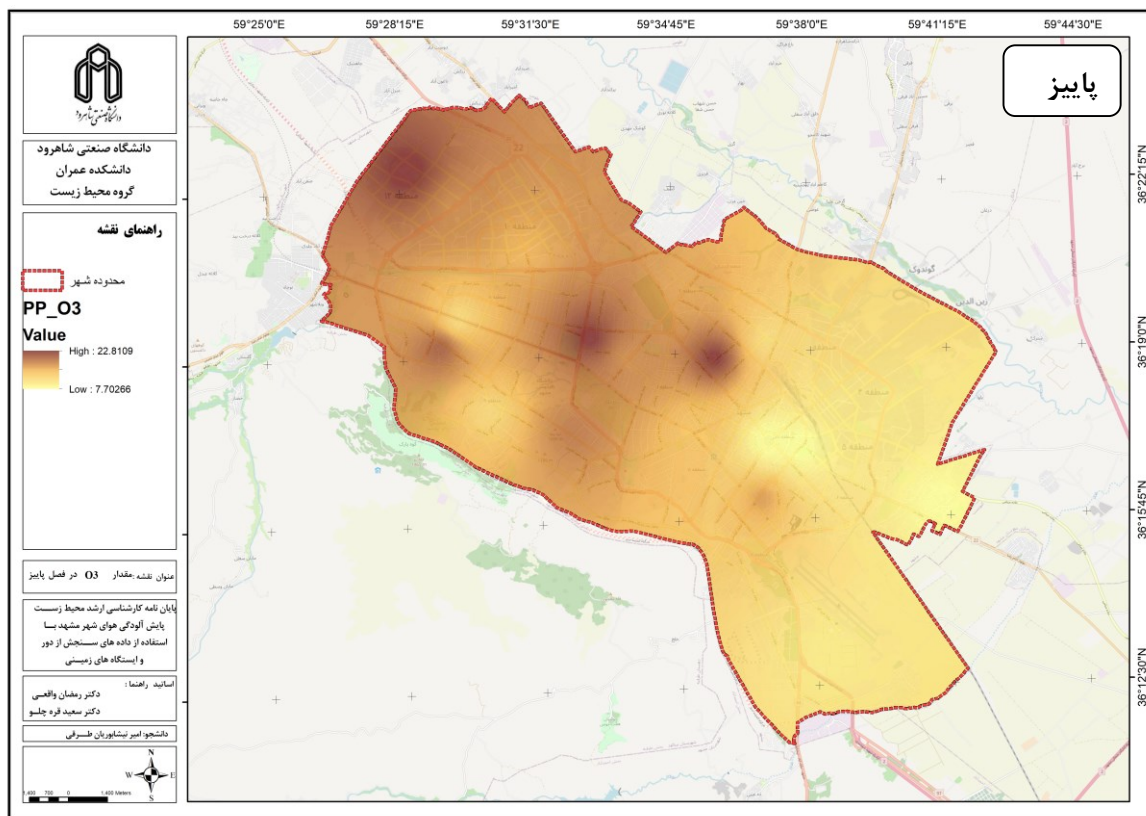
جدول شماره ۴ - ۴: جدول رتبه بندی ازن در چهار فصل

Mean Rank	
بهار	2.78
تابستان	2.74
پاییز	1.96
زمستان	2.52



نمودار ۴ - ۶: میانگین تغییرات مقدار ازن در ایستگاه‌های مختلف محلی در سال ۱۳۹۸.





نقشه شماره ۴ - ۶: میانگین توزیع مکانی ازن اندازه گیری شده در ایستگاه های محلی شهر مشهد در سال ۱۳۹۸

۴-۲-۳-۳ دی اکسید نیتروژن

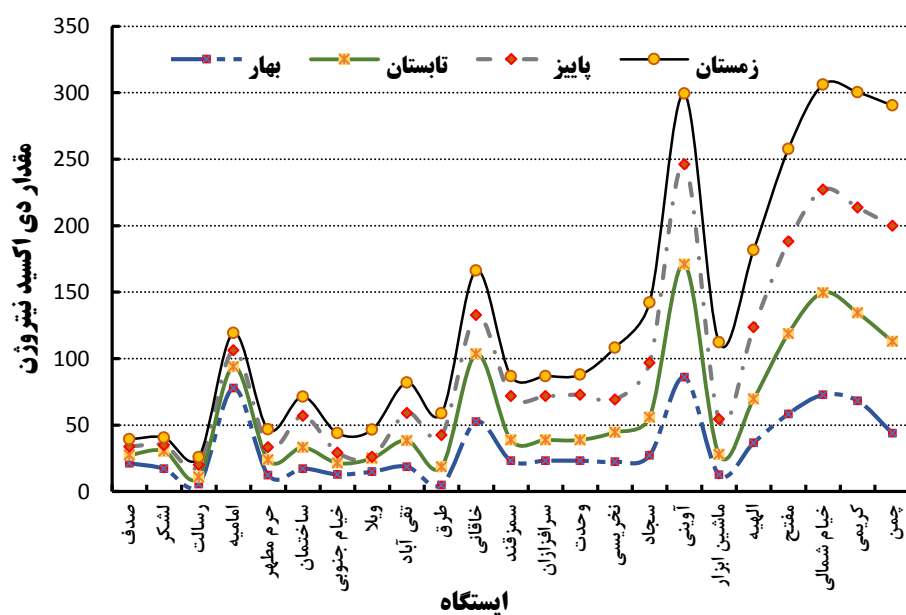
با مشاهده جداول (۴-۵ و ۴-۶) می بینیم در طول سال این آلاینده رفتار غیر یکنواختی داشته و در فصل تابستان مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن کم تر از بقیه فصول بوده و همچنین در این فصل طرق و رسالت کم ترین مقدار و آوینی، امامیه و کریمی بیشترین مقدار دی اکسید کربن را دارا می باشند. همچنین مقدار این آلاینده در فصل زمستان بیشتر از فصل های دیگر می باشد که در این فصل نیز ایستگاه های کریمی و خیام شمالی دارای بیشترین مقدار این آلاینده می باشند.

جدول شماره ۴ - ۵: جدول مشخصات توصیفی دی اکسید نیتروژن در چهار فصل

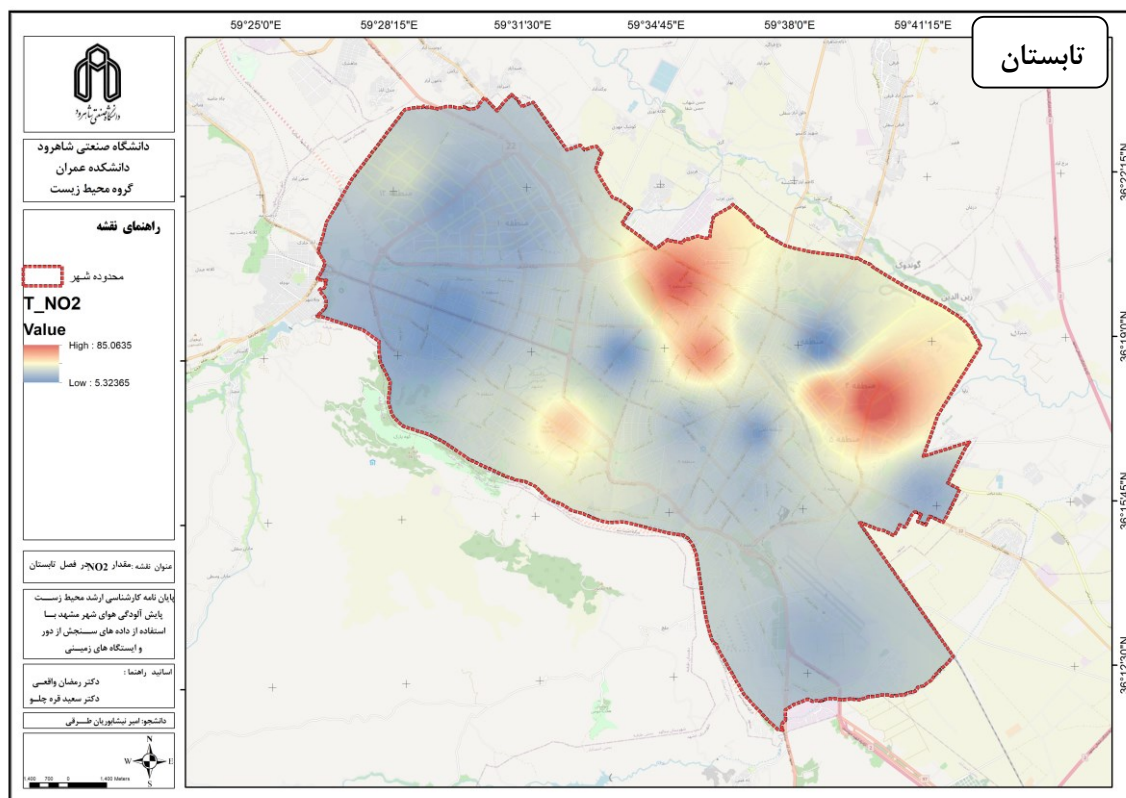
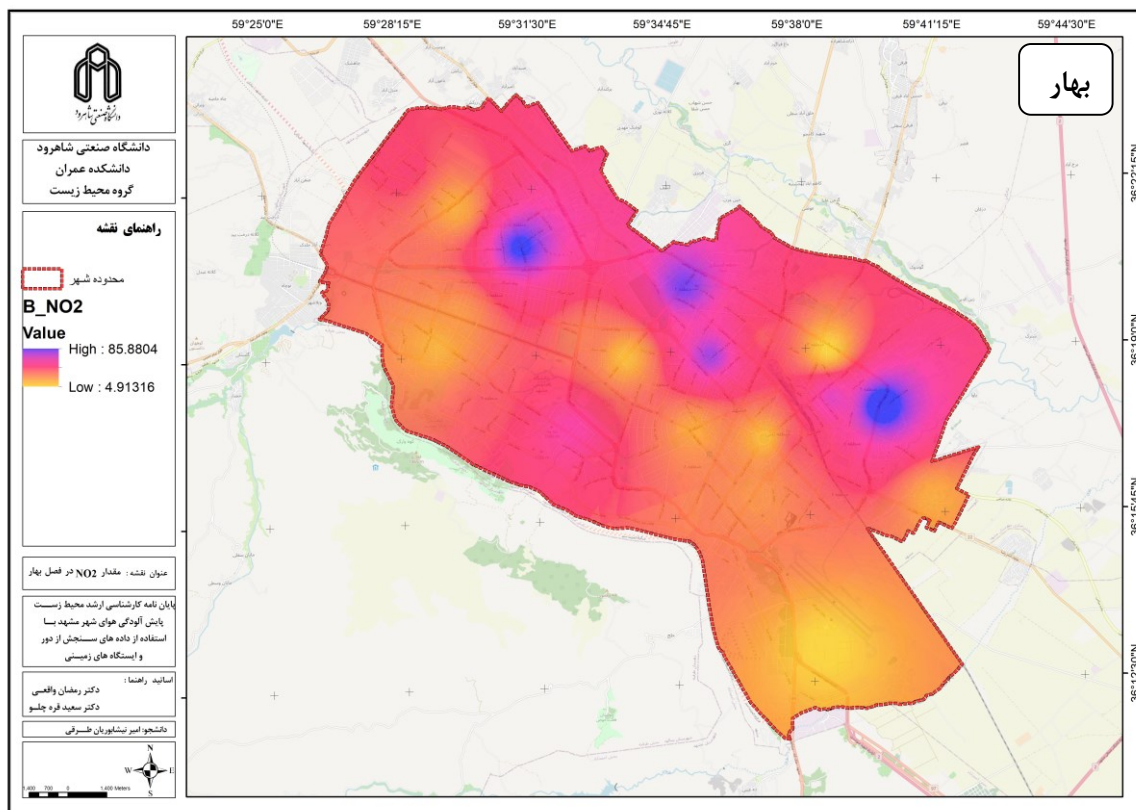
Descriptive Statistics								
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
بهار	23	34.08	24.18	4.91	85.89	14.90	27.19	52.49
تابستان	23	31.57	24.28	5.32	85.07	13.24	22.25	50.97
پاییز	23	33.99	26.79	1.02	86.93	9.42	26.50	53.89
زمستان	23	37.84	26.07	5.50	90.52	14.52	36.62	57.85

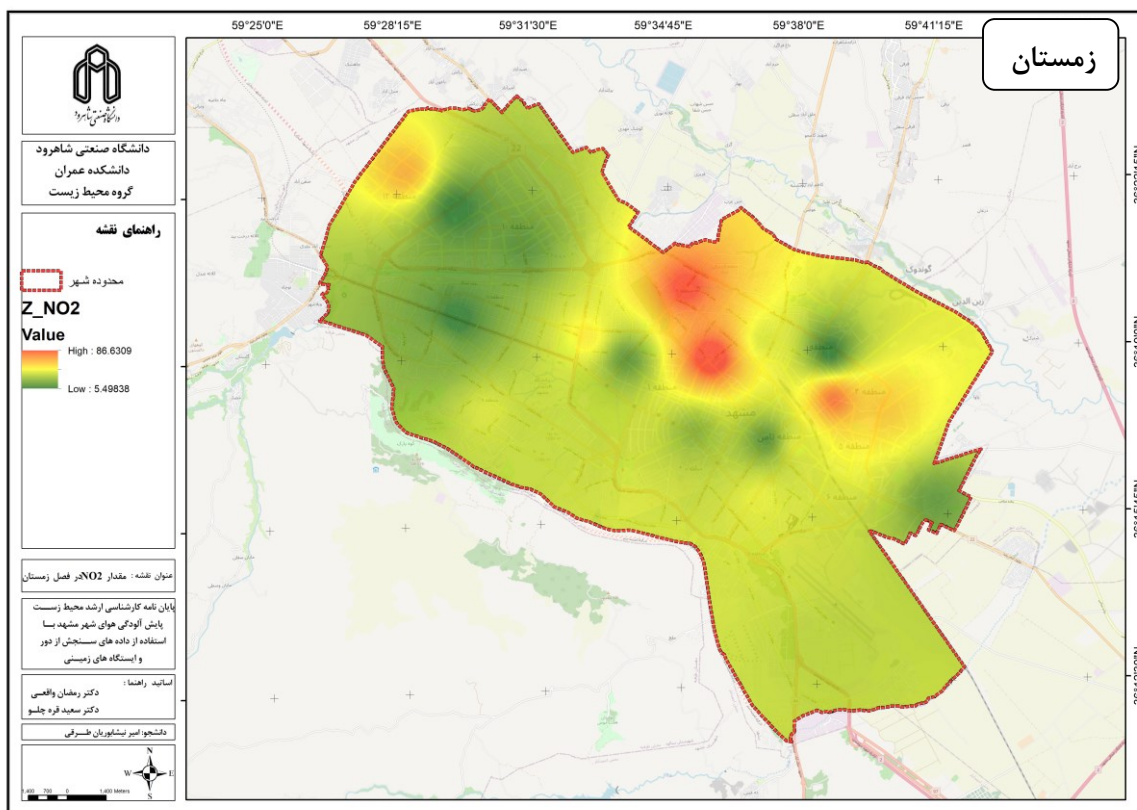
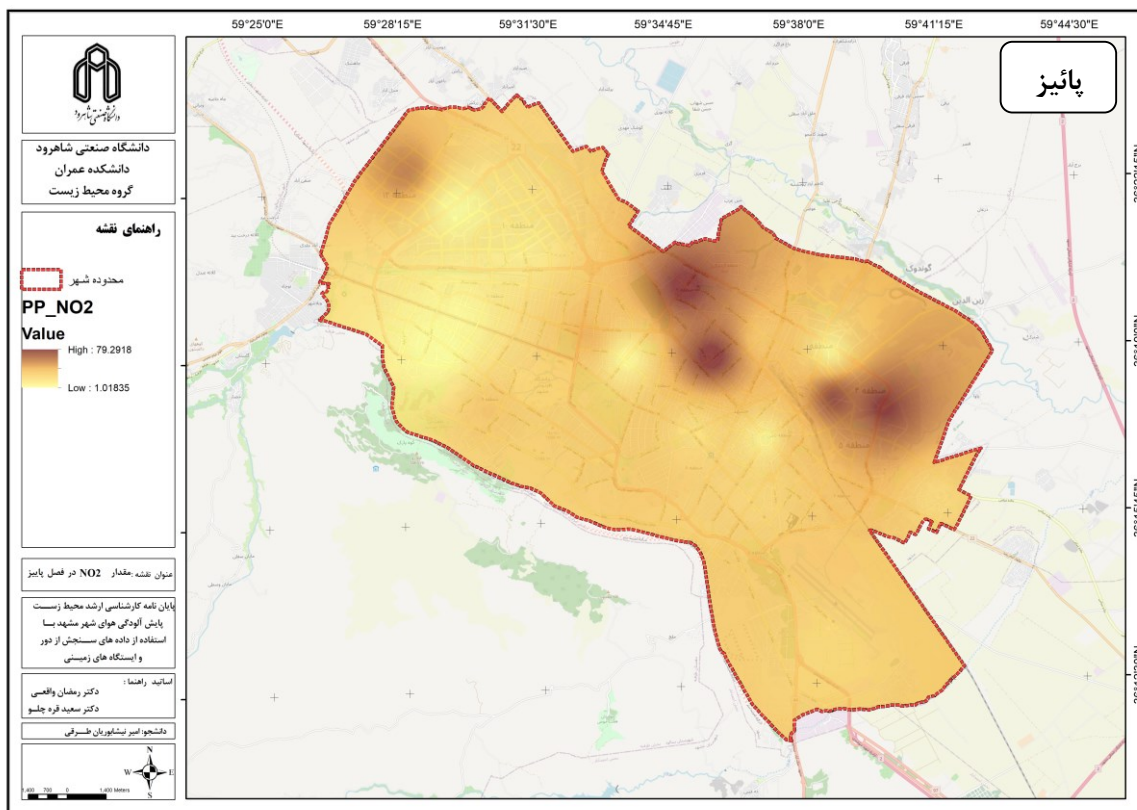
جدول شماره ۴ - ۶: جدول رتبه بندی دی اکسید نیتروژن در چهار فصل

Mean Rank	
بهار	2.43
تابستان	1.87
پاییز	2.39
زمستان	3.30



نمودار ۴ - ۷: میانگین تغییرات مقدار دی اکسید نیتروژن در ایستگاه‌های مختلف محلی در سال ۱۳۹۸.





نقشه شماره ۴ - ۷: میانگین توزیع مکانی دی اکسید نیتروژن اندازه گیری شده در ایستگاه های محلی شهر مشهد در سال

۱۳۹۸.

۴-۲-۴ دی اکسید گوگرد

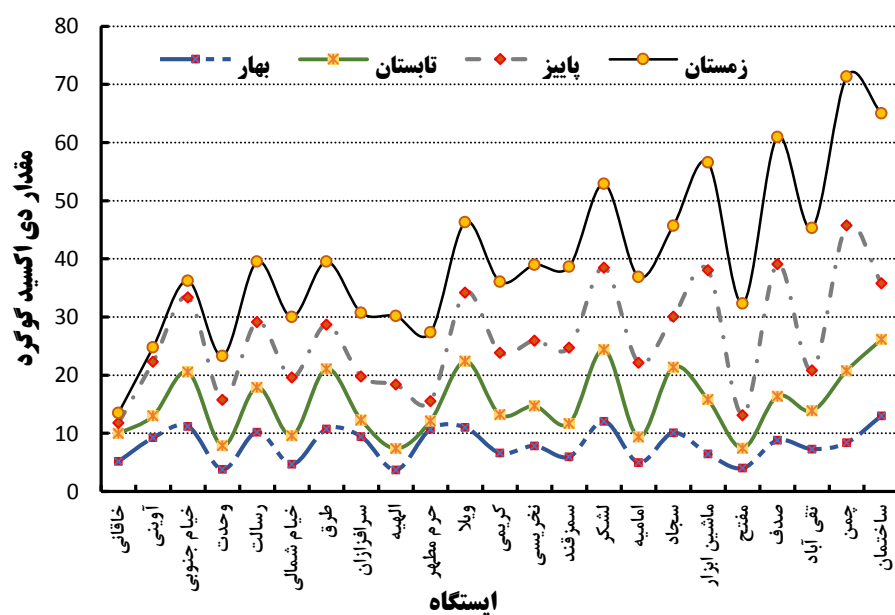
با توجه به جداول ۷-۴ و ۸-۴ بیشترین غلظت دی اکسید گوگرد در فصل زمستان و پاییز اتفاق افتاده است. بیشترین غلظت این آلاینده در هر دو فصل نیز در ایستگاههای ساختمان، چمن و هدف رخ داده است. علت این رخداد در این ایستگاهها می تواند بحث مرکزیت و ترافیک زیاد در این ایستگاهها و در ایستگاه ساختمان، صناعی باشد که در این قسمت از شهر مشهد قرار دارند.

جدول شماره ۴ - ۷: جدول مشخصات توصیفی دی اکسید گوگرد در چهار فصل

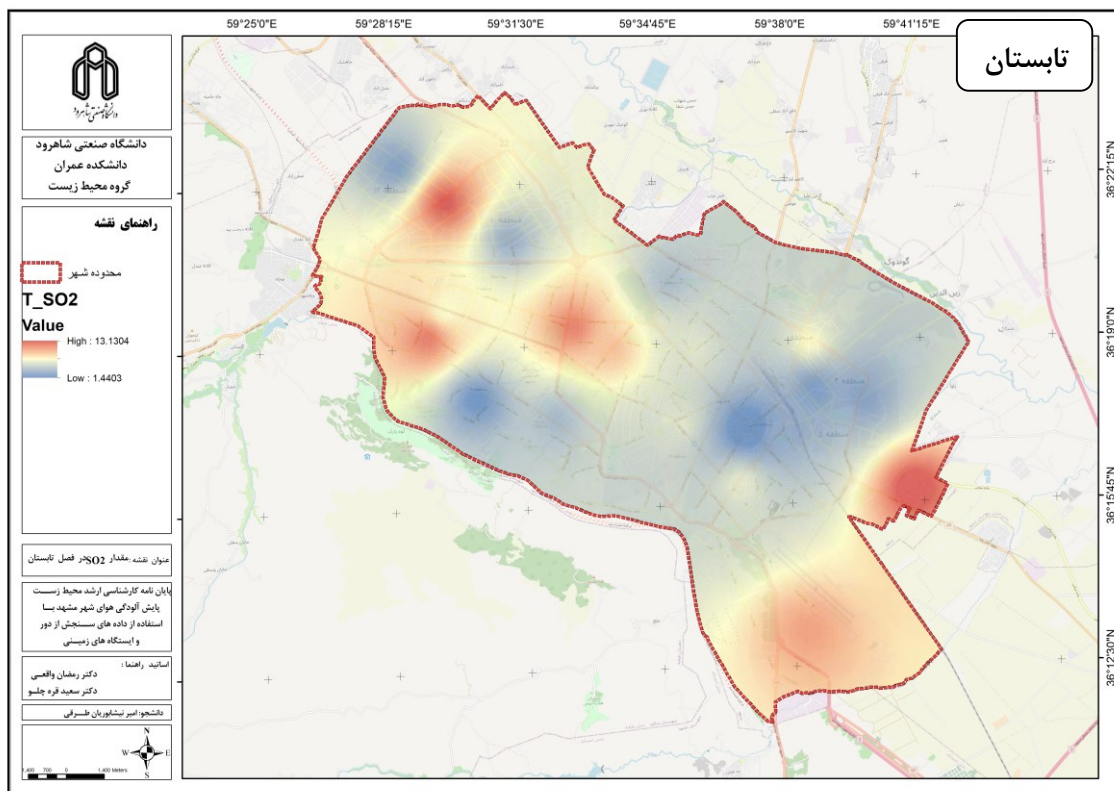
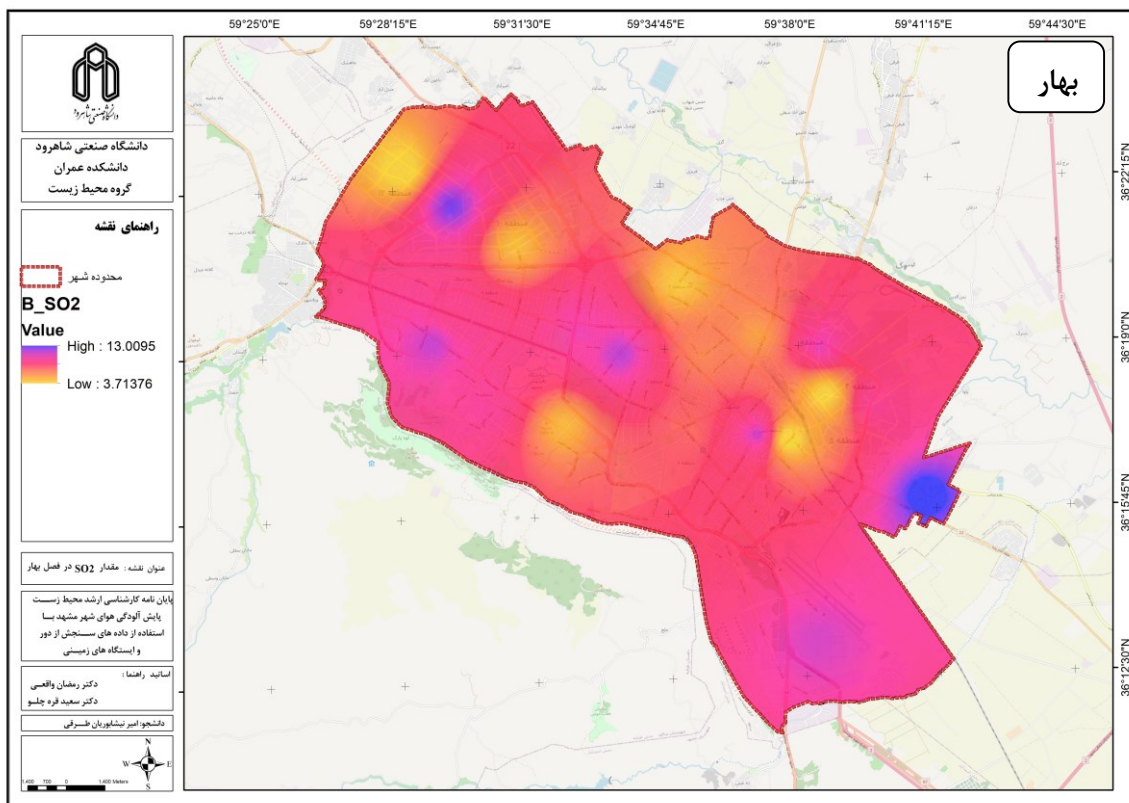
Descriptive Statistics								
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
بهار	23	34.08	24.18	4.91	85.89	14.90	27.19	52.49
تابستان	23	31.57	24.28	5.32	85.07	13.24	22.25	50.97
پاییز	23	33.99	26.79	1.02	86.93	9.42	26.50	53.89
زمستان	23	37.84	26.07	5.50	90.52	14.52	36.62	57.85

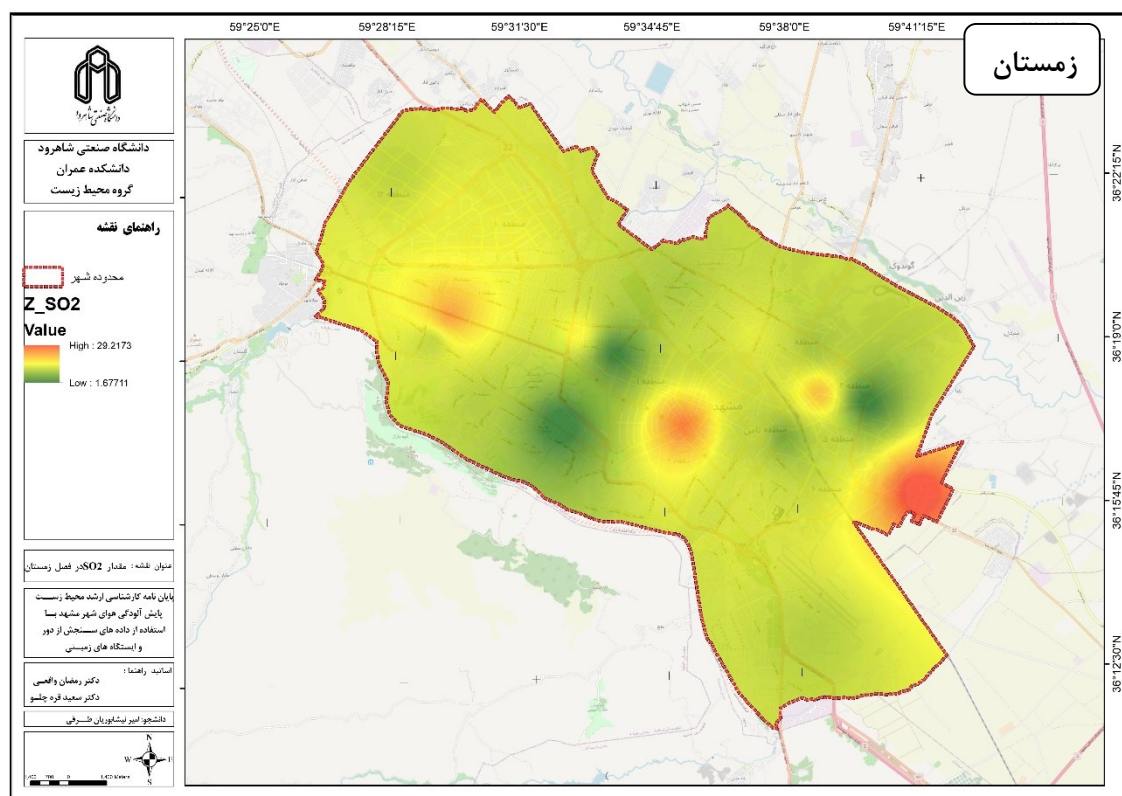
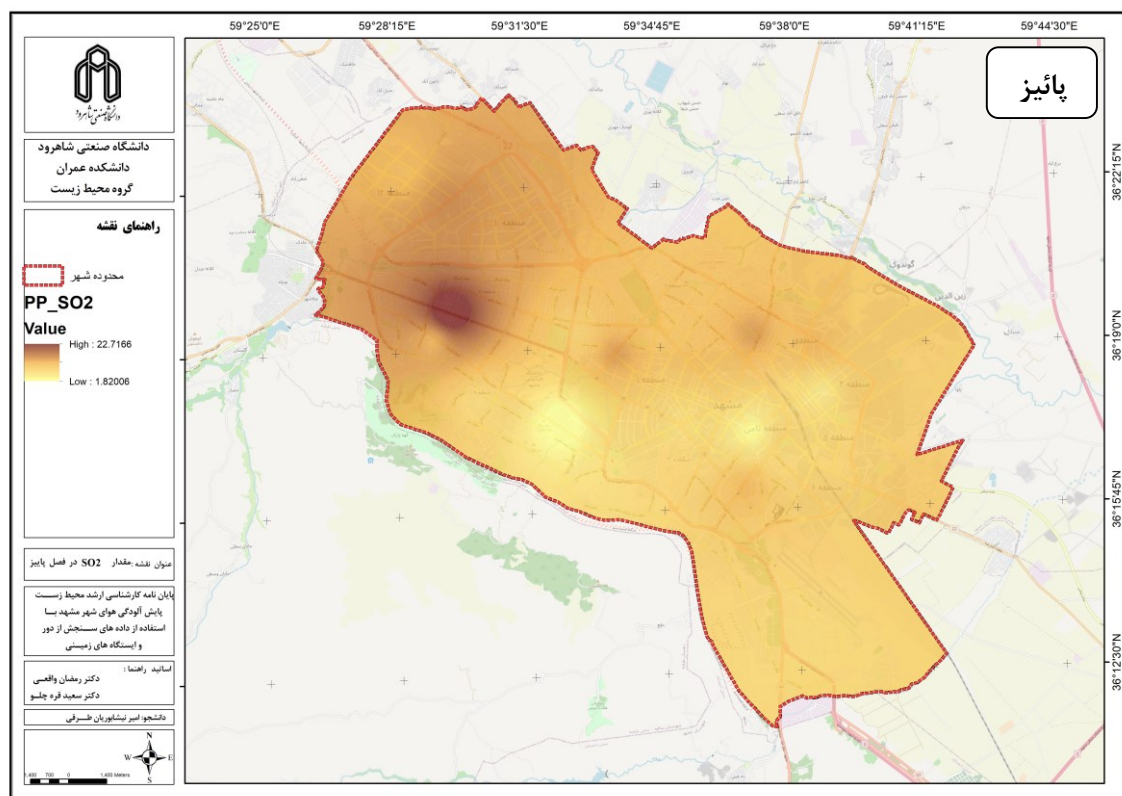
جدول شماره ۴ - ۸: جدول رتبه بندی دی اکسید گوگرد در چهار فصل

Mean Rank	
بهار	2.04
تابستان	1.70
پاییز	2.83
زمستان	3.43



نمودار ۴ - ۸ : میانگین تغییرات مقدار دی اکسید گوگرد در ایستگاه‌های مختلف محلی در سال ۱۳۹۸.





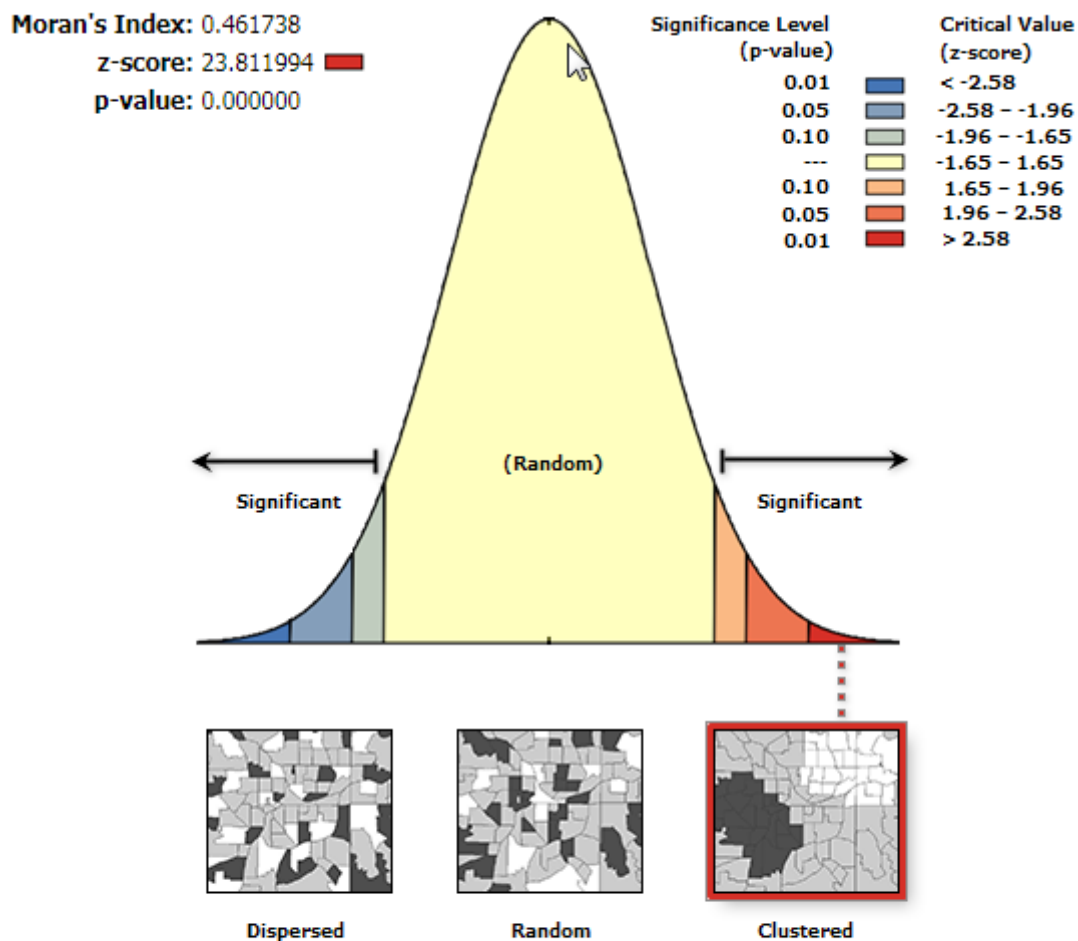
نقشه شماره ۴ - ۸: میانگین توزیع مکانی دی اکسید گوگرد اندازه گیری شده در ایستگاه های محلی شهر مشهد در سال ۱۳۹۸.

۳-۴ خودهمبستگی فضایی شاخص‌های آلودگی هوا

به منظور تحلیل الگوهای پراکنش آلودگی هوا در شهر مشهد از تحلیل خود همبستگی فضایی که به آماره موران نیز معروف است استفاده شده است. با به کارگیری این ابزار می توان در محیط نرم افزاری GIS به الگوی خوشه‌ای یا پراکنده بودن آلودگی هوا در شهر مشهد دست یافت.

به طور کلی هرچه مقدار شاخص موران به عدد مثبت یک (+۱) نزدیک تر باشد داده‌ها دارای خود همبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و هر چه مقدار شاخص موران به عدد منفی یک (-۱) نزدیک باشد، آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده می‌باشند.

نتایج به دست آمده از کاربرد شاخص موران در خصوص توزیع فضایی آلودگی در شکل زیر نمایش داده شده است به طوری که که ضریب آن مثبت و برابر $Moran's I = 0.461738$ می‌باشد که نشان دهنده‌ی خوشه‌ای بودن آلودگی می‌باشد. البته این مقدار از نظر معناداری آماری سنجیده می‌شود. با توجه به این که مقدار: $Z_{core}=23.81$ و بزرگ‌تر از مقدار مورد انتظار ($E_I = 2.58$) می‌باشد بنابراین با استناد به بالا بودن امتیاز استاندارد Z ، میتوان به وجود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها پی برد در نتیجه خوشه‌ای بودن آلودگی بر اساس ضریب موران تایید می‌شود. این بدان معنی می‌باشد که محلات دارای تمرکز آلودگی در کنار هم قرار گرفته و بالعکس. جهت نمایش توزیع فضایی پدیده مورد نظر که به صورت بصری امکان پذیر نمی‌باشد از مدل تحلیل لکه‌های داغ برای بررسی توزیع و نقاط تمرکز جغرافیایی آلودگی در شهر مشهد استفاده شده است.



Given the z-score of 23.8119941814, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

نمودار ۴ - ۹ : تحلیل خود همبستگی فضایی آلودگی در شهر مشهد (مآخذ: نگارنده)

تحلیل لکه‌های داغ^۱ آماره گتیس-ارد جی^۲ را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌نماید. آماره

گتیس-ارد جی به صورت زیر محاسبه می‌شود (عسگر، ۱۳۹۰).

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{n [\sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}}$$

^۱ . Hot Spot Analysis

^۲ . Getis-Ord Gi

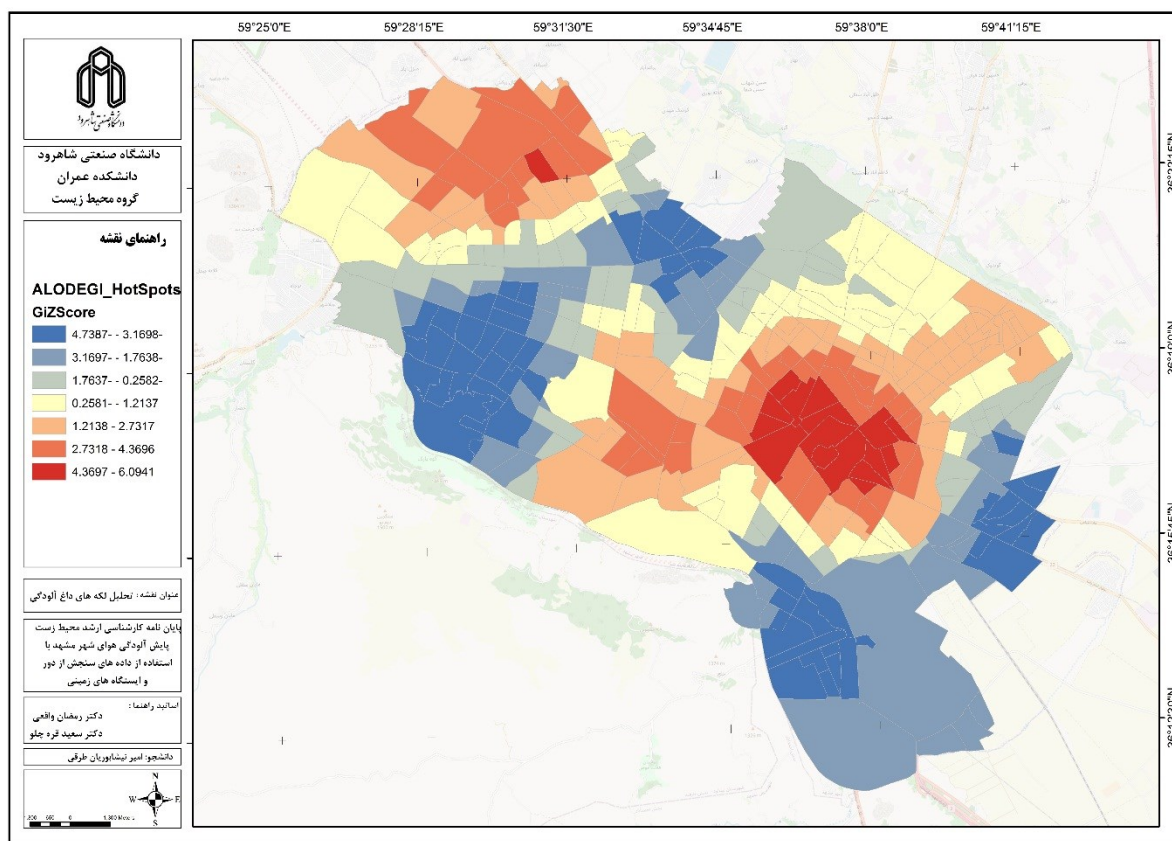
در این فرمول x_j مقدار خصیصه برای عارضه j (مقدار خصیصه همان شاخص خدمات یعنی شاخص مرکزیت وزنی می باشد). w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j و n برابر با تعداد کل عارضه ها می باشد. که در این جا غلظت شاخص آلودگی در محلات شهر مشهد مدنظر می باشد.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2}$$

از آن جا که G_i خودش نوعی امتیاز z است دیگر نیاز به محاسبه دیگری نیست. با توجه به مواردی که گفته شد هر چه امتیاز z بزرگ تر باشد. مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه بندی شده و لکه های داغ تشکیل می دهند. هر چه که امتیاز z کوچکتر باشد به معنای خوشه بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و اینها در حقیقت لکه های سرد را نشان می دهند.

همان طور که در نقشه ذیل مشاهده می شود محدوده های آبی پر رنگ محدوده ای است که در آن مقادیر کم آلودگی تجمع دارند و نواحی قرمز پررنگ محدوده هایی هستند که در آن ها مقادیر بالای آلودگی متمرکز شده اند. که منطقه ثامن آلوده ترین منطقه شهر مشهد است.



نقشه شماره ۴ - ۹ : نقشه تحلیل لکه‌های داغ آلودگی هوا

۴-۴ بررسی روابط آلودگی با شاخص‌های محیطی و کالبدی

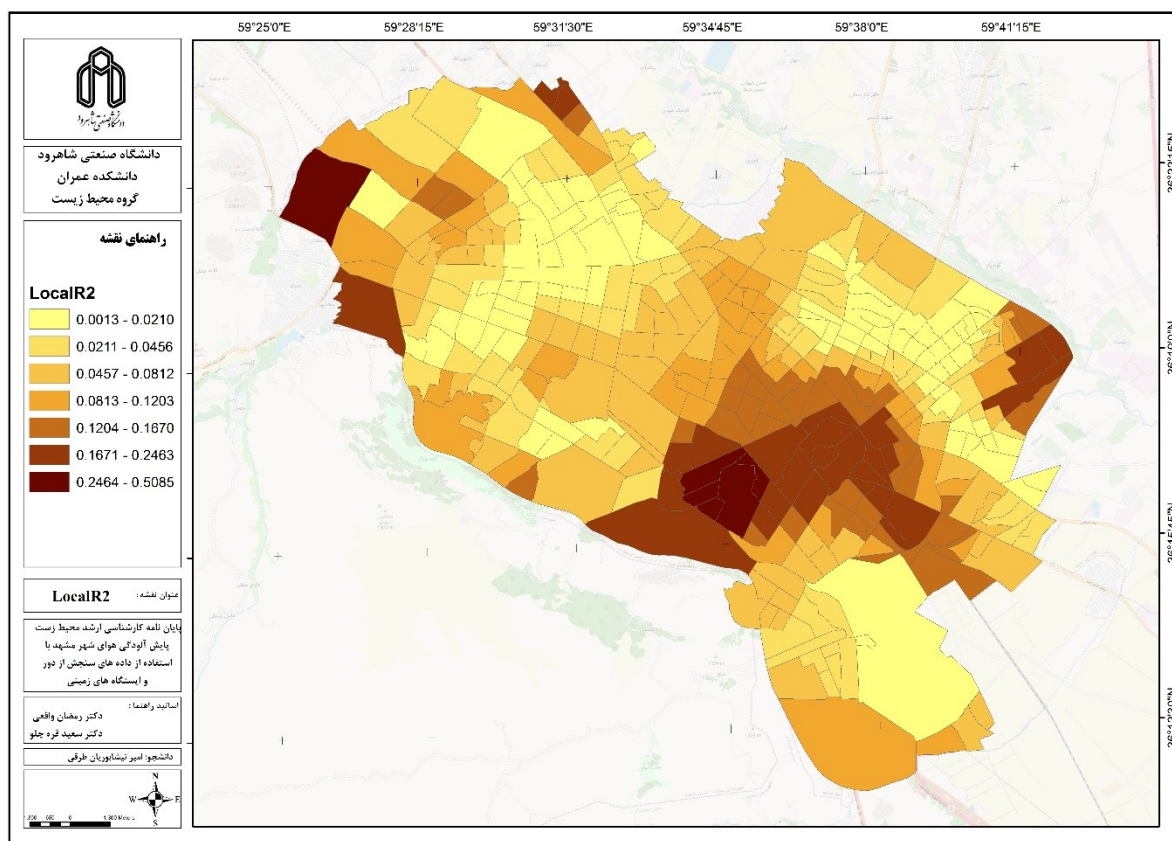
اولین خروجی حاصل اجرای مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی بر روی متغیر وابسته و متغیرهای مستقل، اطلاعات عمومی مربوط به مدل است. مهم‌ترین مقادیر در این خروجی، مقادیر R_2 و R_2 تعدیل شده (Adjusted R_2) است که نشان دهنده مطلوبیت و دقت مدل مورد استفاده است. هر چقدر این مقادیر به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، به معنای آن است که متغیرهای مستقل مورد استفاده توانسته‌اند به خوبی تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند. مقدار R_2 و R_2 تعدیل شده به دست آمده در این پژوهش به ترتیب ۰/۶۶۷ و ۰/۵۷۲ است که نشان دهنده دقت قابل قبول متغیرهای پژوهش حاضر در مدل سازی روابط فضایی کاربری‌های صنعتی، تراکم جمعیت و کاربری فضای سبز و باغات با آلودگی هوا است. همچنین هرچقدر R_2 تعدیل شده (به عنوان شاخص خوبی انطباق) افزایش یابد و به دنبال آن مقدار مجموع مربعات باقی مانده

کاهش یابد، این امر نشان دهنده کاهش خطا و افزایش دقت در برآورد متغیر وابسته در مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی است. سایر خروجی‌ها به صورت فیلدهایی در جدول ویژگی‌های خروجی ظاهر می‌شود که می‌توان برای اغلب آن‌ها نقشه‌های موردنظر را نیز تهیه کرد.

جدول شماره ۴ - ۹: خروجی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی روابط آلودگی با شاخص‌های محیطی و کالبدی

ردیف	پارامترها	VARIABLE	DEFINITION
1	طول باند	2036.34	-
2	ResidualSquares (مجموع مربعات باقی مانده)	0.000001	مجموع مربعات باقی مانده
3	EffectiveNumber (تعداد متغیرهای تأثیرگذار)	79.561	تعداد متغیرهای تأثیرگذار
4	Sigma	0.000043	-
5	AICc	6053.687-	-
6	R ²	0.667	ضریب تبیین
7	R ² تعدیل شده R ² Adjusted	0.572	R ² تعدیل شده
8	Dependent Field	۰	آلودگی
9	Explanatory Field	۱	کاربری‌های صنعتی
۱۰	Explanatory Field	۲	تراکم_جمعیت
۱۱	Explanatory Field	۳	کاربری فضای سبز و باغات

در تحلیل نتایج روش رگرسیون وزنی جغرافیایی، مفهوم تعیین محلی یا همان ضریب Local R² اهمیت بسیاری دارد. مقدار R² وزن دهی شده محلی، بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برازش شده است. این آماره نشان می‌دهد تا چه اندازه مدل قادر به برآورد دقیق بوده است و تا چه اندازه مقادیر مشاهده شده از برآوردها فاصله دارند. این مقادیر بین صفر تا یک متغیر است و مقادیر بسیار کم از عدم پیش‌بینی قوی رگرسیون وزنی جغرافیایی حکایت می‌کند و ممکن است نشانه‌ای در مورد متغیرهای مهمی ارائه کند که در مدل رگرسیون از دست رفته باشد. نقشه زیر مربوط به مقادیر R² مدل رگرسیون می‌باشد.

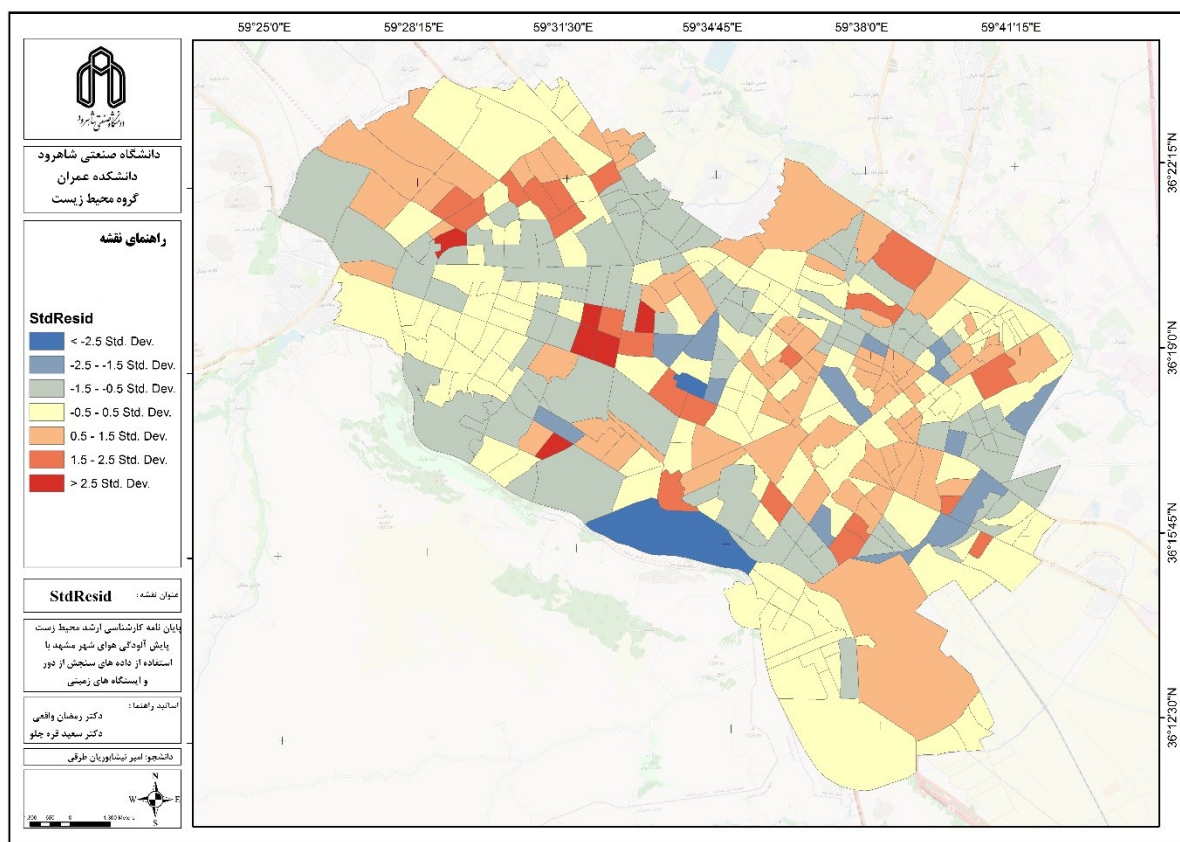


نقشه شماره ۴ - ۱۰: ضریب تعیین محلی

همانطور که در نقشه ۴-۱۰ مشاهده می‌شود مقادیر بالای R_2 در محلات با رنگ قهوه ای سوخته؛ نقشه با ضرایب بالای مدل حادث شده است و نشان از یک تخمین خوب مدل در برآورد متغیر وابسته و متغیر توضیحی پیش‌بینی کننده است. همچنین مقادیر نسبتاً پایین‌تر نیز در برخی از محلات واقع شده است. به‌طور کلی آنچه قصد برآورد متغیر برای پیش‌بینی متغیر آلودگی رخ داده با تخمین مدل و ضرایب R_2 مناسب بوده و در تمامی محلات مربوط بر روی عارضه مورد نظر با خصیصه عددی موجود به‌خوبی برآورد شده است.

از نکات قابل استنباط برای فهم و مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی این است که الف: در کجاها مقادیر باقیمانده مدل به‌طور غیر معمول زیاد و یا کم هستند؟ ب: آیا مقادیر باقیمانده ها دارای خودهمبستگی فضایی می‌باشند و یا خیر؟ در این مثال مناطقی که دارای تعداد بیشتری مقادیر باقیمانده استاندارد بالای $(sidRe\ Std > 2/5)$

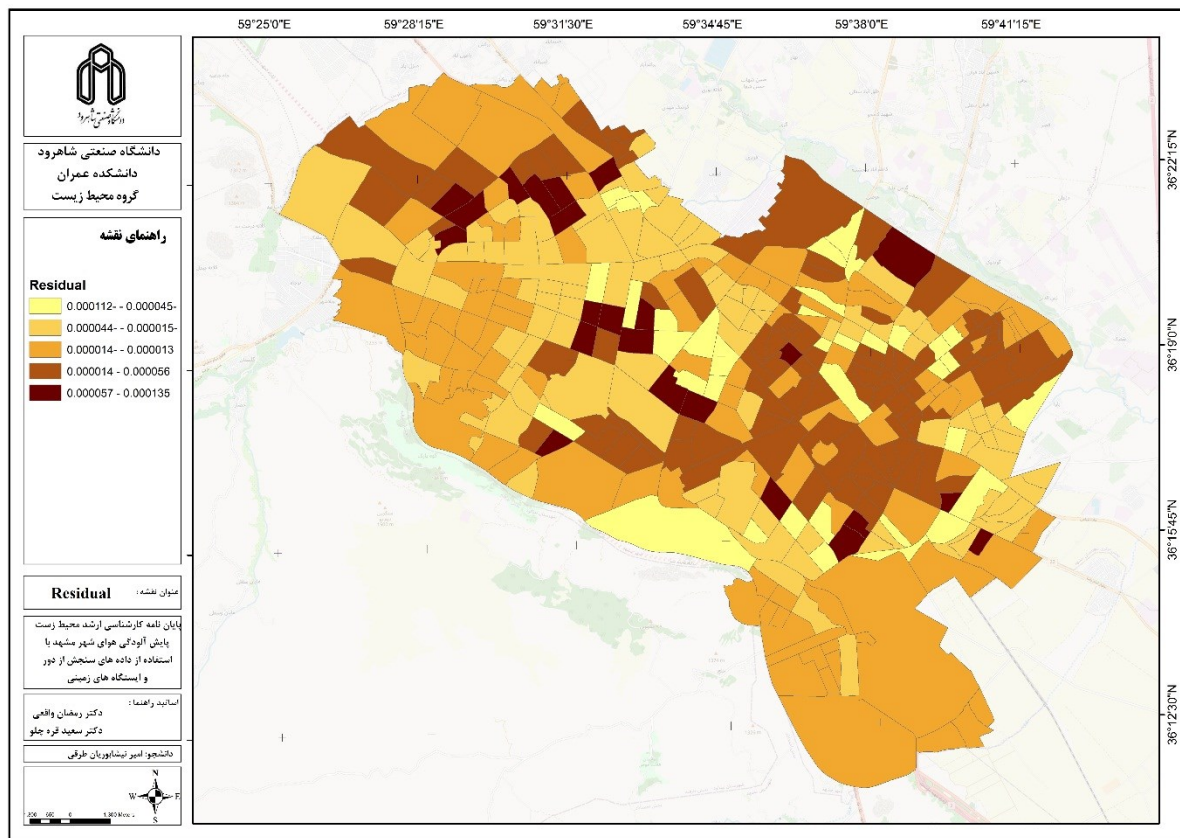
می‌باشند امکان وجود هم خطی را نشان خواهند داد. بنابراین با توجه به شکل مدل رگرسیون موزون میزان آلودگی هوا را در بسیاری از محلات نزدیک به واقعیت پیش‌بینی نموده است. چنانچه مقادیر باقیمانده‌ها در بسیاری از محلات کمتر از حد واقعی یا بیشتر از حد واقعی پیش‌بینی نموده باشد وجود رخداد خودهمبستگی فضایی در آن‌ها دور از تصور نخواهد بود. تنها در ۶ محله (سرافرازان، پارک ملت، محله آزاد شهر ۲ و ۳، محله فرامرزی عباسی شرقی ۲ و محله فلاحی) مقدار $sidRe$ بالاتر از $2/5$ بوده است که می‌توان گفت نشان از اطمینان بالای مدل است.



نقشه شماره ۴ - ۱۱ : مقادیر باقیمانده‌ها

با توجه به وجود خودهمبستگی فضایی در داده‌ها برای شناخت میزان برآورد مناسب مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی و عدم وجود خودهمبستگی فضایی در مقادیر باقیمانده مدل پیش‌بینی، اقدام به تهیه نقشه مقادیر باقیمانده که از تفاضل مقادیر مشاهده‌شده و تخمین زده، توسط مدل شده است. شکل زیر برازش بین مقادیر

مشاهده‌شده و تخمین زده شده در حد $R_2 = 66/78$ درصد برآورد را نشان می‌دهد، یعنی اینکه مدل مزبور توانسته تا ۶۶ درصد رابطه موجود را ارزیابی کند و نسبت بالای این ضریب از کفایت و مناسب بودن مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در پیش‌بینی آلودگی هوا را دارد. این میزان رابطه و نزدیک بودن میزان مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی نشان از عدم وجود خودهمبستگی فضایی نه چندان بالایی در مقادیر باقی مانده دارد.

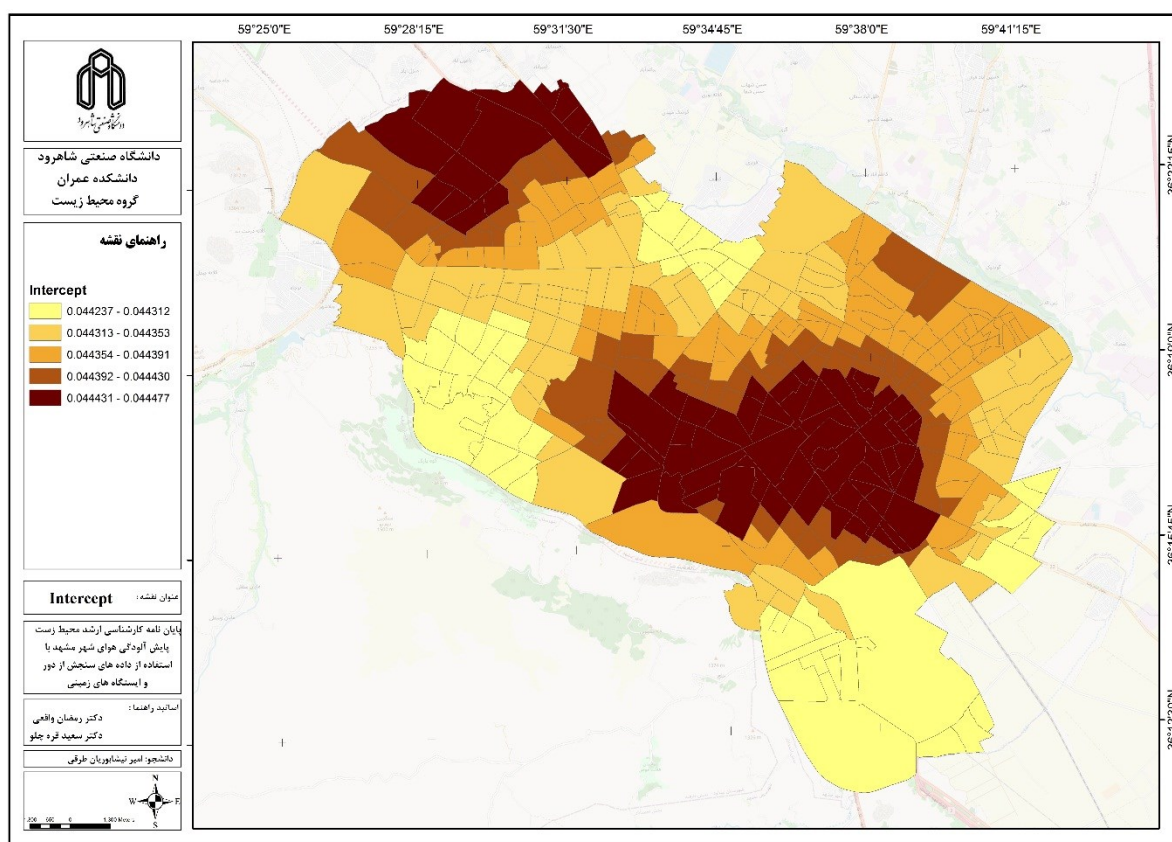


نقشه شماره ۴ - ۱۲: زیر برازش بین مقادیر مشاهده‌شده و تخمین زده شده

نقشه‌های ضرایب محلی تخمین زده شده^۱ نشان می‌دهد که تأثیر متغیرهای مستقل در مدل به میزان قابل توجهی در محدوده مورد مطالعه تغییر می‌کند و دارای جهت خاصی است. اگر ضرایب رگرسیون محلی تخمین زده شده برای متغیر مستقل مثبت باشد، حاکی از آن است که با افزایش سهم متغیر مستقل در

^۱ . Intercept

محدوده مورد نظر، بر سهم متغیر وابسته افزوده می‌شود و اگر ضرایب رگرسیون محلی تخمین زده شده منفی باشد، حاکی از آن است که با افزایش سهم متغیر مستقل، از سهم متغیر وابسته در محدوده مورد مطالعه کاسته خواهد شد. همچنین در برخی از موارد، ضرایب محلی نزدیک به صفر هستند که نشان دهنده عدم تأثیر متغیرهای مورد مطالعه بر نوسانات محلی موجود در مدل است. همان‌طور که در نقشه زیر نشان داده شده است بر اساس پیش‌بینی مدل در محلات شمالی شهر کمترین میزان آلودگی را پیش‌بینی کرده است و در محلات جنوبی بیشترین میزان آلودگی را پیش‌بینی نموده است.



نقشه شماره ۴ - ۱۳: ضرایب محلی تخمین زده شده

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۱-۵ نتیجه‌گیری

بعد از تجزیه و تحلیل انجام شده به صورت سری زمانی و مکانی در رابطه با توزیع آلاینده‌ها در شهر مشهد با استفاده از داده‌های ماهواره سنجش از دور (سنتینل-۵) و داده‌های ایستگاه‌های زمینی نتایجی حاصل شده است که می‌توان به شکل زیر توصیف نمود:

۱- با توجه به بررسی‌های انجام شده روی غلظت آلاینده‌های هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ بیانگر این نکته است که به غیر از ازن که بیشترین میزان آن رد فصل بهار است آلاینده‌های دیگر بیشترین میزان غلظت آن‌ها رد فصل‌های زمستان و پاییز رخ داده است و آذرماه نیز آلوده‌ترین ماه در سال بوده بیشترین میزان غلظت هم مربوط به آلاینده دی‌اکسید گوگرد است که در فصل زمستان اتفاق افتاده است

۲- با بررسی تغییرات فصلی آلاینده‌ها در چهارفصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان، تغییراتی در میانگین غلظت آلاینده‌ها مشاهده شده است که علل اصلی این تغییرات، را می‌توان متغیر بودن فصلی وضعیت هواشناسی بیان کرد.

۳- بیش‌ترین غلظت ازن در فصل‌های پاییز و زمستان رخ داده است. همچنین کم‌ترین غلظت آن در فصل تابستان اتفاق افتاده است. علت این رخداد نیز با توجه به رابطه مستقیم آلاینده ازن با خورشید به دلیل تابش بیشتر خورشید در فصل تابستان می‌باشد.

۴- آلوده‌ترین فصل از نظر غلظت دی‌اکسید نیتروژن فصل تابستان می‌باشد که یکی از دلایل آن فعالیت‌های انسانی و تأثیرات آن و به‌طور عمده سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت و گاز و بارش کم در فصل تابستان می‌باشد.

۵- بیش‌ترین غلظت دی‌اکسید گوگرد در فصل زمستان و بخش مرکزی شهر حوالی منطقه ثامن تمرکز پیدا کرده است که بررسی مدل لکه‌های داغ نیز تایید بر این ادعا است. که می‌توان علت این تمرکز را بر این اساس بیان کرد که منطقه ثامن هسته تجاری و مرکزی شهر مشهد است و جاذب بیشترین سفر

در شهر مشهد است که باعث ایجاد ترافیک و در نتیجه آلودگی هوای بیشتر می‌گردد همچنین نایبی که در شرق و شمال شرقی شهر استقرار پیدا کرده‌اند دی اکسید گوگرد آنها توسط باد وادار شهر شده و باعث تشدید فزاینده آلاینده می‌گردد

۶- با توجه به اینکه در فصل زمستان دما کاهش پیدا کرده و پدیده وارنگی دما نیز اتفاق می‌افتد باعث می‌شود که آلاینده‌ها در تمام سطح شهر نسبت به فصول دیگر غلظت بیشتری داشته باشند همچنین چون دما کاهش پیدا کرده قاعدتا میزان مصرف سوخت گرمایشی نیز افزایش پیدا می‌کند که می‌تواند در چگالی غلظت آلاینده‌ها موثر واقع شود

۵-۲ پیشنهادها

۱- نقص در داده‌های محلی مهم‌ترین مشکل در تجزیه و تحلیل پارامترها می‌باشد. برای جبران این نقص می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای مأموریت سنتینل-۵ که با توجه به نتایج به دست آمده از دقت بالایی نیز برخوردار هستند، استفاده کرد.

۲- ضرورت احداث ایستگاه‌های جدید در مناطق با آلودگی بیشتر جهت افزایش دقت زمانی-مکانی در سنجش آلودگی هوا

۳- تهیه شناسنامه برای کلیه صنایع موجود در شهر و حریم شهر مشهد و تدوین استانداردهای زیست محیطی روز آمد و جامع در زمینه آلودگی هوای ناشی از منابع ثابت پیشنهاد می‌شود.

۱- ترکیب یادگیری ماشین و سنجش از دور جهت برآورد آلودگی هوا در شهر مشهد

۲- ترکیب نتایج ماهواره‌های مختلف سنجش از دور در زمینه آلودگی هوا جهت پایش دقیق‌تر آلودگی

هوا

۳- بررسی رابطه شاخص‌های کالبدی (بلند مرتبه سازی، تراکم شبکه شریانی و ...) با آلودگی هوا

۴- بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر اندازه‌گیری‌های زمینی به منظور اعتبارسنجی هر چه بیشتر

داده‌های

۵- ماهواره‌ای.

۱. اتابکی، محمد رضا، سخایی، محمد، هویدی، حسن، پونه ریگی، محمد، کریمی منش، احسان. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات غلظت ذرات PM_{۱۰} و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر آن در سال ۱۳۹۲ (مطالعه موردی: شهر زاهدان). مجله پژوهش در بهداشت محیط، ۳(۳)، ۱۹۸-۲۰۷.
۲. اسدالله فردی، غلامرضا، زنگونی حسین. (۱۳۹۶). پیش بینی آلودگی PM_{۱۰} هوای شهر مشهد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی MLP و مدل زنجیره مارکف. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۷ (۴۷): ۳۹-۵۹.
۳. اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۷). نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد. مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۶)، ۲۲۷-۲۴۰.
۴. اکبری، الهه، فاخری، معصومه، پورغلامحسین، عفت، اکبری، زهرا. (۱۳۹۴). پهنه بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی (مطالعه موردی: شهر مشهد). نشریه محیط زیست طبیعی، ۶۸(۴)، ۵۳۳-۵۴۷.
۵. آمار پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشهد. (۱۳۹۰). اداره کل هواشناسی خراسان رضوی.
۶. خورشیددوست، علی محمد، ولی زاده، کامران خلیل، قاسمی، بگتاش علی. (۱۳۹۶). تحلیل زمانی - مکانی آلودگی های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر PM_{۱۰}، نشریه: پژوهش های جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی)، ۴۹ (۴): ۵۸۵-۶۰۲.
۷. زراعی محمودآبادی، هادی، ویسه، سمانه، دهقان طرزجانی، فریده. (۱۳۸۹). برآورد آلودگی هوای ناشی از مینی بوس و تاکسی های حمل مسافر در مسیر یزد - اردکان، مجله علمی و پژوهشی طلوع بهداشت، ۹(۴): ۳۶-۴۴.
۸. زینالی، بتول، شکرزاده فرد، الهام، پیروزی، الناز. (۱۳۹۷). ارزیابی و پهنه بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: شهر تبریز). مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۵)، ۶۷-۸۸.
۹. سبحانی، بهروز، شکرزاده فرد، الهام، پیروزی، الناز. (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه بندی آلودگی هوا با استفاده از روش های AHP و ANP (مطالعه موردی: شهر تبریز). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸(۱)، ۱۵۳-۱۶۹.
۱۰. سلیقه، محمد، کاخکی مهنه، حمید. (۱۳۹۴). بررسی روابط بین عناصر آب و هوایی و نوسانات آلودگی هوا (مورد: شهر مشهد)، نشریه: جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴(۴): ۷۷-۹۴.
۱۱. شکوهیان، محمد و قاضی نژاد، محمد (۱۳۸۹). ترافیک و نقش آن در آلودگی محیط زیست، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد.
۱۲. عالی محمودی سراب، سجاد، معیری، محمد هادی، شتایی جویباری، شعبان، راشکی، علیرضا. (۱۳۹۷). برآورد غلظت ریزگردها با استفاده از متغیرهای آب و هوایی (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۱(۳)، ۳۸۵-۳۹۷.
۱۳. قربانی، محمد، فیروز زارع، علی. (۱۳۸۸). ارزش گذاری ویژگی های مختلف آلودگی هوا در مشهد. تحقیقات اقتصادی، ۴۴(۴): ۵۰-۶۱.
۱۴. محبوب فر، محمدرضا، رامشت، محمدحسین، یزدان پناه، حجت اله، اذانی، مهری. (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا در راستای مدیریت بحران آلودگی هوای شهر اصفهان، ۱۷(۵۰): ۳۲۳-۳۳۶.

۱۵. ملاشاهی، مریم، علی محمدیان، حبیب، حسینی، سیدمحسن، ریاحی، علیرضا، فیضی، وحید، ستاریان، علی. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش نوین مگنتومتری برگ های درختی گستره شهر تهران، نشریه: پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۴۴(۸۱): ۹۳-۱۰۸.
۱۶. موسوی، محمد. (۱۳۸۱). طرح تهیه و تدوین برنامه جامع آلودگی هوای مشهد. سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست خراسان.
17. Agranovski V, Ristovski Z, Hargreaves M, Blackall PJ, Morawska L (2003a) Real-time measurement of bacterial aerosols with the UVAPS: performance evaluation. *J Aerosol Sci.* 34(3):301–317.
18. Agranovski V, Ristovski Z, Hargreaves M, Blackall PJ, Morawska L (2003b) Performance evaluation of the UVAPS: influence of physiological age of airborne bacteria and bacterial stress. *J Aerosol Sci* 34(12):1711–1727.
19. Agranovski V, Ristovski Z, Ayoko GA, Morawska L. (2004). Performance evaluation of the UVAPS in measuring biological aerosols: fluorescence spectra from NAD (P) Hcoenzym esandrib of lavin.
20. Anderson HR, Atkinson RW, Peacock J, Marston L, Konstantinou K, World Health Organization (2004) Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O₃): report of a WHO task group (No. EUR/04/5046026). WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
21. Badarinath KVS, Kharol SK, Kaskaoutis DG, Sharma AR, Ramaswamy V, Kambezidis HD (2010). Long-range transport of dust aerosols over the Arabian Sea and Indian region—a case study using satellite data and ground-based measurements. *Glob Planet Change.* 72:164
22. Begum A, Biswas K, Pandit G et al (2011) Long range transport of soil dust and smoke pollution in the South Asian region. *Atmos Pollut Res* 2:151–157
23. Briggs, D. J., Collins, S., Elliott, P., Fischer, P., Kingham, S., Lebret, E., Pryl, K., Van (2011). Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon. *Science.* 337(6098):1075–1078.
24. Reeuwij k, H., Smallbone, K., & Van Der Veen, A. (1997). “Mapping urban air pollution using GIS: a regressionbased approach”. *International Journal of Geographical Information Science*, No. 11(7): 699-718.
25. Chandrappa R, Kulshrestha UC (2015). Sustainable air pollution management: theory and practice. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21596-9>.
26. Chowdhury Z, Campanella L, Gray C, Al Masud A, Marter-Kenyon J, Pennise D, Charron D, Zuzhang X (2013). Measurement and modeling of indoor air pollution in rural households with multiple stove interventions in Yunnan, China. *Atmos Environ* 67:161–169.
27. Costa MAM, Carvalho JA, Neto TGS, Anselmo E, Lima BA, Kura LTU, Santos JC (2012). Real-time sampling of particulate matter smaller than 2.5 μm from Amazon forest biomass combustion. *Atmos Environ.* 54, 480–489
28. CPCB (Central Pollution Control Board) (2014). <http://cpcb.nic.in/air.php>. Accessed Jan 2014
29. Fenger J, (2009) Air pollution in the last 50 years – From local to global, *Atmospheric Environment*; 43

30. Goswami, T., & Sarma, H. (2020). Intelligent Computing for Air Pollution Monitoring Using GIS, Remote Sensing and Machine Learning.
31. Gupta GP, Singh S, Kumar B, Kulshrestha UC (2015). Industrial dust sulphate and its effects on biochemical and morphological characteristics of Morus (Morus Alba) plant in NCR Delhi. *Environ Monit Assess.* <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4301-4>
32. Hairston PP, Ho J, Quant FR (1997). Design of an instrument for real-time detection of bioaerosols using simultaneous measurement of particle aerodynamic size and intrinsic fluorescence. *J Aerosol Sci* 28(3):471–482
33. Hinds WC (1999). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 2nd edn. Wiley, Hoboken
34. Huffman JA, Treutlein B, Pöschl U (2010). Fluorescent biological aerosol particle concentration and size distributions measured with an ultraviolet aerodynamic particle sizer (UV-APS) in Central Europe. *Atmos Chem Phys.* 10(7):3215–3233.
35. IITM (Indian Institute of Tropical Meteorology) (2014). <http://safar.tropmet.res.in>. Accessed Jan 2014
36. Jiang R, Bell ML (2008). A comparison of particulate matter from biomass-burning rural and nonbiomass-burning urban households in north-eastern China. *Environ Health Perspect.* 116:907–914.
37. Kanani HH, Klapa MI (2007). Data correction strategy for metabolomics analysis using gas chromatography–mass spectrometry. *Metab Eng.* 9(1):39–51.
38. Kaplan, G., & Avdan, Z. (2020). SPACE-BORNE AIR POLLUTION OBSERVATION FROM SENTINEL-5P TROPOMI: RELATIONSHIP BETWEEN POLLUTANTS, GEOGRAPHICAL AND DEMOGRAPHIC DATA. *International Journal of Engineering.* 5, 130-137.
39. Krecl P, Ström J, Johansson C (2007). Carbon content of atmospheric aerosols in a residential area during the wood combustion season in Sweden. *Atmos Environ.* 41:6974–6985.
40. Kuehn BM (2014). WHO: more than 7 million air pollution deaths each year. *JAMA.* 311:1486
41. Kulshrestha UC, Kumar B (2014). Air mass trajectories and long-range transport of pollutants: review of wet deposition scenario in South Asia. *Adv Meteorol* 2014 :596041. <https://doi.org/10.1155/2014/596041>.
42. Lack DA, Lovejoy ER, Baynard T, Pettersson A, Ravishankara AR (2006). Aerosol absorption measurement using photoacoustic spectroscopy: sensitivity, calibration, and uncertainty developments. *Aerosol Sci Technol.* 40:697–708.
43. Leskinen J, Tissari J, Uski O, Virén A, Torvela T, Kaivosoja T, Lamberg H, Nuutinen I, Kettunen T, Joutsensaari J et al (2014). Fine particle emissions in three different combustion conditions of a wood chip-fired appliance—particulate physico-chemical properties and induced cell death. *Atmos Environ.* 86:129–139.
44. Majumdar D, Mukherjee AK, Sen S (2011). BTEX in ambient air of a Metropolitan City. *J Environ Prot.* 2(01):11.
45. Mellon D, King SJ, Kim J, Reid JP, Orr-Ewing AJ (2011). Measurements of extinction by aerosol particles in the near-infrared using continuous wave cavity ring-down spectroscopy. *J Phys Chem.* 115:774–783.
46. Nevers ND, (2006), *Air Pollution Control Engineering*: McGraw-Hill Education.

47. Nicks, D., Baker, B., Lasnik, J., Delker, T., Howell, J., Chance, K., Liu, X., Flittner, D., & Kim, J. (2018). Hyperspectral remote sensing of air pollution from geosynchronous orbit with GEMS and TEMPO. *Asia-Pacific Remote Sensing*.
48. Nussbaumer T, Czasch C, Klippel N, Johansson L, Tullin C (2008) Particulate emissions from biomass combustion in IEA countries. In: Proceeding of the 16th European Biomass Conference and Exhibition, Zurich, 2–6 June 2008, p 40
49. Omrani, H., Omrani, B., Parmentier, B., & Helbich, M. (2020). Spatio-temporal data on the air pollutant nitrogen dioxide derived from Sentinel satellite for France. *Data in Brief*, 28.
50. Pettersson A, Lovejoy ER, Brock CA, Brown SS, Ravishankara AR (2004). Measurement of aerosol optical extinction at with pulsed cavity ring down spectroscopy. *J Aerosol Sci.* 35:995–1011
51. Ping, C., (2006). Status and Comprehensive Control Countermeasures of Urban Air Pollution in China, *Environmental Science and Management* (in Chinese). 31,18-21.
52. Pope, C. A., Thun, M. J., Namboodiri M. M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E., Heath, C.W., (1995). Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*.151, 669-674.
53. Prado GF, Zanetta DMT, Arbex MA, Braga AL, Pereira LAA, de Marchi MRR, de Melo Loureiro AP, Marcourakis T, Sugauara LE, Gattás GJF et al (2012). Burnt sugarcane harvesting: particulate matter exposure and the effects on lung function, oxidative stress, and urinary 1-hydroxypyrene. *Sci Total Environ.* 437, 200–208.
54. Prud'homme, G., Dobbin, N.A., Sun, L., Burnett, R., Martin, R., Davidson, A., Cakmak, S., Villeneuve, P., Lamsal, L., Donkelaar, A., Peters, P.A., & Johnson, M. (2013). Comparison of Remote Sensing and Fixed-Site Monitoring Approaches for Examining Air Pollution and Health in a National Study Population. *Atmospheric Environment*, 80, 161-171.
55. Ramanathan V, Feng Y (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives. *Atmos Environ.* 43(2009): 37–50.
56. Rodhe H, Persson C, Åkesson O (1972). An investigation into regional transport of soot and sulfate aerosols. *Atmos.* 6(9): 675–693.
57. Safarianzengir, V., Sobhani, B., Yazdani, M. H., & Kianian, M. (2020). Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East. *Air Quality, Atmosphere & Health*. doi:10.1007/s11869-020-00827-5.
58. Salahuddin, M.M., & Ash'aari, Z.H. (2017). Application of Remote Sensing Instruments in Air Quality Monitoring in Malaysia.
59. Santoro RJ, Shaddix CR (2002) Laser-induced incandescence. In: *Applied combustion diagnostics*, 252–286
60. Simões Amaral S, Carvalho J, Martins Costa M, Pinheiro C (2015). An overview of particulate matter measurement instruments. *Atmosphere.* 6:1327–1345
61. [Sivertsen, B \(2008\). Monitoring air quality, objectives and design. Chem Ind Chem Eng Q 14. https:// doi.org/10.2298/ciceq0803167s.](https://doi.org/10.2298/ciceq0803167s)
62. Torvela T, Tissari J, Sippula O, Kaivosoja T, Leskinen J, Virén A, Lähde A, Jokiniemi J (2014). Effect of wood combustion conditions on the morphology of freshly emitted fine particles. *Atmos Environ.* 87:65–76.
63. Vincent JH (2007). Aerosol sampling: science, standards, instrumentation and applications.

64. Virghileanu, M., Savulescu, I., Mihai, B., Nistor, C., & Dobre, R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. *Remote. Sens.*, 12: 35-75.
65. WHO (2016). Urban ambient air pollution database. Available online: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/who-aap-database-may-2016.xlsx (accessed on 4 July 2020)

Abstract:

Air pollutants include ozone (O_3), nitrous oxide (NO_x), carbon monoxide (CO), particulate matter, sulfur dioxide (SO_2), etc. Most of these pollutants are the result of combustion of fossil fuels. Daily air quality is determined by the AQI index. The AQI index or air quality index is an indicator for predicting daily air quality, which indicates whether the air is clean or polluted and how it relates to our health levels. Air pollution in Mashhad has been increasing in recent years and according to available statistics, the city of Mashhad is facing the phenomenon of temperature inversion about 260 days a year. Accordingly, in this study, air pollution has been monitored in Mashhad using ground data and satellite data to determine the distribution of air pollution indicators. This research is practical in terms of purpose because it tries to identify pollution zones in Mashhad and in terms of data is field and spatial type. Google Earth systems are engines. To prepare air pollution maps using Sentinel satellite, Google Earth Engine system has been used and to prepare maps using ground stations after collecting field data through interpolation in arc gis environment, pollution maps have been prepared. The maximum concentration of carbon monoxide is 1.68. The concentration of sulfur dioxide in winter has the highest amount of 37.84. The amount of ozone in spring is 19.28. Also, the amount of nitrogen dioxide in winter is 37.84 more than other seasons, in which Karimi and Khayyam Shomali stations have the highest amount of this pollutant. The highest concentrations of sulfur dioxide occur in spring and winter. Building, grass and target stations had the highest values. The Moran index coefficient for the spatial distribution of pollution is 0.4617, which indicates the clustering of pollution. Considering that the value: $Z_{core} = 23.81$ and is greater than the expected value ($E_I = 2.58$) Also, the values of R_2 and R_2 (Adjusted R_2) of the geographic weight regression model in this research are 0.6678 and 0.5727, respectively, which indicates Acceptable accuracy of the research variables in modeling the spatial relationships of industrial land uses, population density and land use of green spaces and gardens with air pollution. The model was able to evaluate up to %66 of the existing relationship.

Keywords: Air pollution monitoring, Remote sensing, Ground stations, Mashhad, Sentinel-



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Civil and Environmental Engineering

**Monitoring of Urban Airpollution using Data and
Ground-based Stations
(Case Study Mashhad of Iran)**

By :

Amir Neyshabouryan Torghi

Supervisors:

Dr. Ramazan Vaghei

Dr. Saeid Gharechelou

January 2021