

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۸۳-۶۹

تحلیل پراکنش مکانی آلاینده‌های هوا در مرکز شهر (منطقه ۸) تبریز و ارتباط آن با محیط انسان‌ساخت^۱

آیدا ملکی*^۲، پریسا قبادی^۳، داوود کاه‌فروشان^۴، محمدحسن سربازان^۵، حمید منصوری^۶

چکیده

آلودگی هوا از مسائل قرن حاضر در سراسر دنیا محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف شناسایی آلاینده‌های عمده در منطقه ۸ تبریز و تحلیل نحوه پراکنش مکانی آن‌ها و بررسی ارتباط آن با برخی از مؤلفه‌های محیط انسان‌ساخت انجام گرفته است. برای بررسی نحوه پراکنش آلاینده‌ها در محدوده، اطلاعات مربوط به غلظت آلاینده‌ها توسط تجهیزات سیار در ۱۱ نقطه از پیش تعیین شده مابین ساعت ۱۰ تا ۲۰ در ساعات مختلف در روزهای متعدد در خردادماه ۱۴۰۰ اندازه‌گیری شد و به کمک نرم‌افزار GIS نقشه‌های پراکنش آن در کل منطقه استخراج شد. نقشه‌های تولیدشده نشان می‌داد که غلظت آلاینده‌ها با تراکم کاربری تجاری و به تبع آن افزایش حجم ترافیک ارتباط مستقیم دارد همچنین نتایج نشانگر وجود رابطه معنی‌داری بین غلظت ذرات معلق و فاکتور دید به آسمان و همین‌طور تراکم توده ساختمانی در منطقه بودند. غلظت مونوکسید کربن با نسبت فضای سبز در نقاط اندازه‌گیری رابطه معکوس و آلاینده‌های SO_2 ، NO_2 و CO رابطه معنی‌داری را با نسبت سطح ساخته‌شده به ساخته نشده و در واقع تراکم ساختمانی نشان می‌داد. علاوه بر این، رابطه میان میزان غلظت آلاینده‌ها با یکدیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت که بیانگر رابطه قوی مستقیم بین غلظت ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ با یکدیگر و غلظت SO_2 ، NO_2 و CO با یکدیگر بودند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تیپولوژی شهر نقش بسزایی در تشدید یا تعدیل غلظت برخی آلاینده‌های هوا دارد و در مناطق بحرانی به کمک کنترل متغیرهای طراحی شهری می‌توان کیفیت هوای منطقه را تا حدودی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، ضریب دید به آسمان، ذرات معلق، کیفیت هوای شهری، تبریز

^۱ این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان «تحلیل پراکنش زمانی- مکانی آلاینده‌های هوای تبریز و ارتباط آن با مؤلفه‌های طراحی شهری» به شماره قرارداد ۵-۱۳۸۸/م/پ می‌باشد که با حمایت مالی مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی کلانشهر تبریز انجام گرفته است.

^۲* استادیار، گروه معماری- انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران؛ نویسنده مسئول: a.maleki@tabriziau.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

^۴ دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران.

^۵ شهرداری تبریز، کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، مدیر کارگروه محیط زیست مرکز مطالعات پژوهش و برنامه ریزی شهرداری تبریز، تبریز، ایران.

^۶ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری- انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

۱- مقدمه

مؤلفه‌های شهرسازی متعددی در تشدید این پدیده نقش ایفا می‌کنند که میزان تأثیر هر یک در شهرهای مختلف متفاوت است و برای شناسایی آن‌ها باید بررسی‌های گسترده‌ای در مورد هر شهر انجام شود. این مؤلفه‌ها را می‌توان در سه دسته عمده شامل تیپولوژی بافت شهری، کاربری اراضی و ترافیک دسته‌بندی کرد. شناسایی این عوامل در هر شهر از آن جهت ضروری خواهد بود که به سیاست‌گذاران شهری کمک کند تا با آسیب‌شناسی بافت موجود بتوانند گامی در جهت تعدیل شرایط کنونی برداشته و در توسعه‌های آتی شهر از ایجاد نقاط بحرانی پیشگیری نمایند و موجب پایداری طولانی‌مدت شهرها شوند. در شهر تبریز به واسطه صنایع سنگینی که شهر را محاصره کرده‌اند و در مسیر باد غالب مستقر شده‌اند و همین‌طور افزایش وسایط حمل‌ونقل موتوری که اغلب فرسوده و با مصرف بالای سوخت هستند شدت آلودگی هوا به حدی افزایش یافته که آن‌ها در زمره هشت شهر آلوده کشور قرار داده است. جو و هوای شهر تبریز به دلیل کمبود تهویه طبیعی، کمی سرعت باد و پایداری جو با وارونگی دما مواجه است و این شرایط باعث ایجاد یا تشدید آلودگی هوا می‌شود (پناهی ۱۳۹۷، ۷۵-۷۴) و با آغاز دوره سرد سال اغلب روزهای آن با آلودگی هوا همراه است. با توجه به خسارت‌ها و اثرات زیان‌بار وجود آلاینده‌های هوا، ضرورت تحقیق حاضر مطالعه در این خصوص و ارائه‌ی بهترین و عملی‌ترین راه‌حل‌ها برای رفع این مشکلات است. هدف از این تحقیق، تحلیل نحوه پراکنش مکانی آلاینده‌های هوای تبریز و آنالیز ارتباط آن با برخی از مؤلفه‌های انسان‌ساخت است.

و سؤالات پژوهش را می‌توان بدین صورت مطرح نمود:
 پراکنش مکانی آلاینده‌های هوای تبریز چگونه است؟
 شدت آلودگی هوای تبریز با کدام مؤلفه‌های شهرسازی ارتباط دارد؟ و چه راهکارهایی می‌توان متناسب با آن‌ها اتخاذ کرد؟
 در پژوهش حاضر پس از بررسی مبانی و پیشینه تحقیق، در بخش مواد و روش به تبیین متغیرهای پژوهش و نحوه جمع‌آوری آن‌ها پرداخته شده است. سپس پایش میدانی و

آلودگی هوا که به یکی از عمده‌ترین معضلات جهانی و چالش‌های محیط زیستی پیش‌روی کلان‌شهرها تبدیل شده، در اثر فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای زیست‌محیطی ایجاد می‌شود. با توجه به افزایش روزافزون مسائل و مشکلات شهرنشینی و جزایر گرمایی شهری، شهرهای کنونی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و گسترده‌ای برای پیشرفت‌های آینده و حفظ کیفیت محیط شهری خود هستند (Jusuf et al. 2017, 113; Unger 2009, 60). آلودگی هوای ناشی از رشد سریع ترافیک، صنعتی شدن و شهرنشینی منجر به نگرانی عمومی زیادی شده است (Tang et al. 2012, 116). تأثیر منفی سطح بالای ذرات موجود در هوا بر سلامت انسان در بسیاری از مطالعات اولیه مشهود است (Mohan et al. 2011, 883). اخیراً، سازمان بهداشت جهانی سالانه ۴/۲ میلیون مرگ را ناشی از قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا در سراسر جهان تخمین زده است (WHO 2018). منابع آلودگی عمدتاً در مناطق شهری تراکم بیشتری دارند و از طرفی چون جمعیت ساکن در این مناطق نیز بیشتر هستند به تبع آن افراد بیشتری در معرض خطر قرار می‌گیرند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که علاوه بر تراکم منابع آلاینده، ساختار فیزیکی شهر نیز در شدت گرفتن و انباشت آلودگی هوا کم‌تأثیر نیست و به نظر می‌رسد شدت و نحوه پراکنش آلودگی هوای شهر با برخی از مؤلفه‌های طراحی شهری مثل تراکم پوشش گیاهی و جهت معابر ارتباط معنی‌داری دارد (کریمی و همکاران ۱۳۹۹، ۷۷؛ حسینی، صالحی و شکری ۱۳۹۵، ۳۹۷؛ ورنوس ۱۳۹۴، ۹). قربانی و همکاران در مقاله خود تحت عنوان: بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تبریز بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی که در سال ۹۱ به انجام رسانیدند به این نتیجه رسیدند که عوامل اقلیمی (مانند سرعت و جهت باد و دما) و عوامل انسانی (مانند ازدحام جمعیت، کمبود فضای سبز، ترافیک سنگین، معابر نامناسب و...) تأثیر زیادی در آلودگی هوا دارند.

یک مطالعه یکپارچه برای دستیابی به ویژگی‌های مکانی ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) و گازهای کمیاب (O_3 ، SO_2 ، NO_2 و CO) آلاینده در شهر هانگژو (چین) برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۶ انجام دادند. نتایج پژوهش رابطه بین آلاینده‌های هوا و تغییر کاربری زمین / پوشش زمین را نشان داد (Zheng et al. 2017, 1). حلیم^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که با هدف تعیین تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت هوا در بزرگ‌ترین منطقه محله در مالزی، مناطق بزرگ مگا شهری کوالالامپور (KLEMUR) از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ انجام شده است، نتایج نشان داد که تنها غلظت متوسط PM_{10} در روز در چندین ایستگاه بیش از غلظت پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی است (Halim et al. 2020, 1). در پژوهش بنی‌نعمه و همکاران (۱۳۹۶) الگوی انتشار آلاینده CO و PM_{10} ناشی از خودروها که به وسیله مدل محاسبه شد، نشان داد که بیشترین مقدار انتشار به مناطق مرکزی شهر و مراکز تجاری و اداری، اختصاص دارد و در نواحی حاشیه‌ای شهر بسیار کم و حتی صفر محاسبه شده است (بنی‌نعمه و همکاران ۱۳۹۶، ۶۷).

۲-۳- نسبت مساحت ساخته شده به ساخته نشده: نسبت

مجموع مساحت توده‌ها (شامل ۶۵ درصد سطح اشغال کاربری‌های مسکونی و سطح اشغال ۱۰۰ درصد برای کاربری‌های دیگر به مجموع مساحت فضاهای باز (شامل فضاهای باز، بایر، سبز و معابر). توزیع فضایی و زمانی ویژگی‌های آلودگی هوا در استان جیانگ سو، چین نیز که توسط سانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۷) انجام شده نشان می‌دهد که شاخص کیفیت هوا (AQI) در استان جیانگ سو از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ کاهش یافته و بالاترین AQI در زمستان و کمترین میزان در تابستان است (Song et al. 2019, 1).

۳-۳- نسبت حجم ساخته شده به مساحت سطح محدوده:

نسبت مجموع مساحت ساخته شده در ارتفاع هر قطعه به مساحت کل محدوده (عزیزی ۱۳۹۴، ۲۵).

محدوده مورد مطالعه معرفی و در انتها یافته‌ها و تحلیل آن‌ها و نتیجه‌گیری ارائه گردیده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

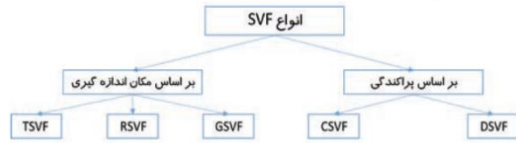
پژوهش حاضر با این فرضیه که به نظر می‌رسد شدت آلودگی هوای شهر با برخی از مؤلفه‌های محیط انسان‌ساخت مثل تراکم پوشش گیاهی، تراکم ساختمانی و فاکتور دید به آسمان رابطه معنی‌داری دارد پیش می‌رود. در این بخش به تعریف متغیرهای مستقل و وابسته و ارتباط آن‌ها با یکدیگر و همچنین بررسی پژوهش‌های قبلی و نتایج آن‌ها در خلال مباحث مطروحه پرداخته می‌شود.

۳- تعاریف:

۳-۱- کاربری: الگوی کاربری اراضی که یکی از عناصر

فرم کالبدی شهر است نشان‌دهنده نحوه توزیع و ترکیب افقی کاربری‌های شهری می‌باشد که نقش بسیار مهمی در پراکنش آلاینده‌ها و کیفیت هوای شهر بر عهده دارد. تأثیر این الگو بر توزیع آلاینده‌ها را می‌توان در مکان‌گزینی منابع آلاینده (کاربری‌های مسکونی، صنعتی، تجاری، اداری و...) و همچنین اثرگذاری آن بر توزیع سفرهای شهری و به دنبال آن آلاینده‌های منتشرشده از ترافیک شهری دانست. تأثیر کاربری‌های اراضی بر تمرکز آلاینده‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود: کاربری‌های مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی جهت اموری مثل گرمایش و پخت‌وپز تولیدکننده آلاینده‌های CO ، NO_2 ، NO هستند که در فصول سرد سال شدت بیشتری دارد. در ضمن تأثیر برخی از این کاربری‌ها مثل کاربری‌های تجاری، اداری و آموزشی در طی ساعات روز و روزهای کاری هفته بیشتر از زمان‌های دیگر است. کاربری‌های صنعتی-کارگاهی و تأسیسات و تجهیزات به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی تولیدکننده آلاینده‌های PM ، SO_2 ، CO ، NO ، NO_2 می‌باشند. در ضمن تأثیر این کاربری‌ها در طی روز و روزهای کاری هفته بیشتر از زمان‌های دیگر است (محمدی و رحیمی ۱۳۹۲، ۱۳۴). ژنگ^۱ و همکاران

داده شده است. تاکنون روش‌های گوناگونی برای محاسبه SVF با در نظرگیری تکنیک‌های مختلف پیشنهاد گردیده که یکی از آن‌ها روش عکاسی است.



شکل ۲: تقسیم بندی SVF بر اساس پراکنندگی و مکان اندازه گیری (ظریفیان مهر و همکاران ۱۳۹۸)

۳-۷- تراکم پوشش گیاهی: عبارت است از انواع درختان، بوته‌ها و علوفه و چمن و سبزی که در سطح زمین استقرار می‌یابد به عبارتی هرگونه سرسبزی در سطح زمین را سطح پوشش گیاهی و میزان انبوهی پوشش گیاهی را تراکم پوشش گیاهی می‌نامند (ملکی، کاه فروشان و قبادی ۱۴۰۰، ۹)

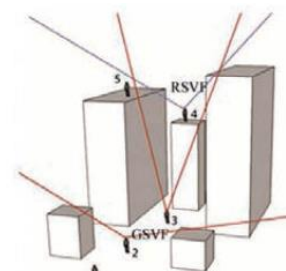
۳-۸- آلودگی هوا، تعاریف و مفاهیم: آلودگی هوا عبارت است از وجود موادی در اتمسفر که برای سلامتی انسان و سایر موجودات زنده مضر بوده و یا به زیست‌بوم یا مواد آسیب می‌رسانند. انواع مختلفی از آلاینده‌های هوا مانند گازها (مانند آمونیاک، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، متان، دی‌اکسید کربن و کلروفلوروکربن-ها)، ذرات معلق (اعم از آلی و معدنی) و مولکول‌های بیولوژیکی وجود دارد (همان).

آدامز و کر (۲۰۱۹) آلودگی هوا را در همپتون و انتاریوکانادا با استفاده از مانیتورهای نصب شده در سیستم عامل تلفن همراه از نوامبر ۲۰۰۵ تا نوامبر ۲۰۱۶ مشاهده کردند (Adams and Corr 2019, 2). در سال ۲۰۱۸، مک کرچر و ونوس^{۱۱} در پژوهشی یک مطالعه آزمایشی در لوبوک، تگزاس - توانایی مانیتورهای ارزان قیمت تلفن همراه را برای دستیابی به داده‌های مفید در یک شهر بدون شبکه نظارت، با استفاده از یک سیستم دوچرخه ارزیابی کرده‌اند (McKercher Vanos 2018, 1505). سرور و همکاران

۳-۴- خط آسمان (فاکتور دید به آسمان): خط آسمان، مرز جدائی بالای جداره و آسمان از نظر ناظر است. خط آسمان از مهم‌ترین عناصر سیمای شهری به شمار می‌رود و دربرگیرنده هویت سیما و منظر در هر محل است. (عظیمی آقداش ۱۳۹۷، ۲۳).

۳-۵- ضریب دید به آسمان (SVF): یکی از شاخص‌های معمول برای توصیف هندسه شهری، SVF است (Chen et al. 2012, 121). SVF، پارامتری در اقلیم‌شناسی شهری است که نشان‌دهنده میزان آسمان مشاهده شده از نقطه‌ای بر روی زمین است. نسبتی هندسی که کسری از آسمان قابل مشاهده از دیدگاه ناظر را بیان می‌کند (De Souza and Da Silva 2006, 1). فاکتوری کمی و بدون بعد، بین ۱ و ۰ است (Bottyan and Unger 2003, 235; Chapman, Thornes, and Bradley 1998, 81; Oke 1998) که هندسه سطح را توصیف می‌کند. عدد ۱ به معنای آسمان کامل و هر چه به صفر نزدیک می‌شود، آسمان به وسیله عناصر مصنوع یا طبیعی پوشیده می‌شود. هدف آن کشف اثرات یک سطح پیچیده شهری بر فرآیندهای اقلیمی مناطق ساخته شده‌ی شهری است (Hämmerle et al. 2011, 521).

۳-۶- انواع ضریب دید به آسمان: SVF به لحاظ نوع پراکنندگی در محیط به دو گونه‌ی منقطع (DSVF) و پیوسته (CSVF) تقسیم می‌شود: علاوه بر این، سه گونه SVF بر اساس مکان اندازه گیری نیز وجود دارد که دو نوع آن در شکل ۱ نشان داده شده است (Chun and Guldman 2014, 78). انواع تقسیم بندی SVF در شکل نشان



شکل ۱: انواع SVF بر اساس مکان اندازه گیری (Chun and Guldman 2014)

و در مکان‌هایی با بافت شهری تقریباً مشابه قرار گرفته‌اند و اغلب ایستگاه‌های موجود هم به‌طور هم‌زمان در حال کار نیستند به کمک این داده‌ها نحوه پراکنش این آلاینده‌ها با دقت بالا و ارتباط آن با مؤلفه‌های محیط انسان‌ساخت بررسی نشده‌اند. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی شد خلاصه موجود به کمک پایش‌های میدانی در نقاطی که از پیش به سبب ویژگی‌های تیپولوژیکشان تعیین شده بودند پر شود و نتایج قابل اعتمادتری به‌دست آید.

۴- مواد و روش

۴-۱- روش تحقیق

برای شناسایی آلاینده عمده در این منطقه داده‌های اخذ شده از دو ایستگاه نماز و باغشمال سازمان محیط‌زیست در سه سال اخیر (از ابتدای فروردین ۹۷ تا آخر اسفند ۹۹) مورد بررسی قرار گرفت و شاخص کیفیت هوا برای تمام آلاینده‌ها در تمامی روزها محاسبه شد. تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس و روزهای ناسالم برای هر دو ایستگاه محاسبه و در [جدول شماره ۱](#) جمع‌بندی شد. از آنجائی که در بسیاری از روزها تمامی آلاینده‌ها اندازه‌گیری نشده بودند اعداد جدول مذکور بیانگر شرایط واقعی رخ داده در سه سال گذشته نمی‌باشد اما در مجموع از کلیت داده‌های موجود می‌توان نتیجه گرفت که آلاینده عمده این منطقه که باعث ایجاد شرایط ناسالم می‌شود ذرات معلق هستند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد از داده‌های این دو ایستگاه همچنین برای

جدول ۱- آلاینده عمده و شرایط ناسالم در منطقه ۸

(داده‌های مربوط به فروردین ماه ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۹ اخذ شده از سازمان محیط‌زیست در خرداد ماه ۱۴۰۰)

سال	کیفیت هوا	نوع آلاینده	باغشمال	میدان نماز
۹۷	ناسالم برای گروه‌های حساس	PM	۶	۲۴
	ناسالم	PM	۳	۲
۹۸	ناسالم برای گروه‌های حساس	PM	۲	۴۲
	ناسالم	PM	۰	۹
۹۹	ناسالم برای گروه‌های حساس	PM	۲۰	۲۲
	ناسالم	PM	۹	۱۷

(۱۳۹۹) پژوهشی را برای آگاهی از عوامل ایجادکننده آلودگی هوا در سطح شهر تبریز انجام دادند (سرور و همکاران ۱۳۹۹، ۱۵۱). عساکره و احدی (۱۳۹۹) به کمک روش توصیفی-تحلیلی از سه گروه داده ۱- میانگین داده‌های ساعتی گازهای آلاینده جو جهت بررسی آلودگی جو ۲- میانگین داده‌های روزانه هواشناسی برای استخراج تیپ‌های هوایی ۳- داده‌های باز کاوی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیط و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحده آمریکا برای واری الگوهای جوی توأم با تیپ‌های هوایی استفاده کردند (عساکره و احدی ۱۳۹۹، ۳۷۵). آزادی مبارکی و احمدی (۱۳۹۹) در پژوهشی با هدف اصلی برآورد ذرات معلق موجود در جو شهر تبریز با استفاده از یک مدل رگرسیونی وزن‌دار با تفکیک مکانی بالا (۱، ۰ درجه قوسی) برای برآورد PM_{2.5} در شهر تبریز طی دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ از داده‌های Seawifs، MISR و MODIS با رویکرد ترکیبی به دلیل کاهش مقدار خطا استفاده کردند. نتیجه پژوهش نشان داد که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی مبتنی بر داده‌های سنجش‌ازدور نسبت به روش‌های موجود تهیه نقشه‌های آلودگی هوا برتری دارد (آزادی مبارکی و احمدی ۱۳۹۹، ۴۶۷). خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز را با تأکید بر PM₁₀ مورد تحلیل زمانی-مکانی قرار دادند. نتایج نشان داد سیطره پُرفشار جنب حاره، به دلیل تشکیل لایه‌های حرارتی بر روی ایران، در افزایش خطرناک تبریز نقش مؤثری دارد (خورشید دوست و همکاران ۱۳۹۶، ۵۸۵).

با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در ایران و مسئله آلودگی هوا کم‌تر مطالعاتی در این حیطة، ارتباط برخی از مؤلفه‌های محیط انسان‌ساخت نظیر فاکتور دید به آسمان، تراکم ساختمانی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری‌ها و غلظت آلاینده‌های مختلف را بررسی کردند و خلأ زیادی در این حوزه به‌ویژه در ایران و شهر تبریز به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران وجود دارد. مطالعات زیادی در زمینه آلودگی هوای تبریز صورت گرفته که اغلب بر اساس ۵ ایستگاه سابق سنجش آلاینده‌ها بوده است. از آنجائی که این ۵ ایستگاه تقریباً روی محور اصلی شرقی غربی به فاصله زیاد

شناسایی الگوی نوسان غلظت آلاینده‌ها در طول روز در خردادماه سال‌های قبل نیز استفاده شد.

۲-۴- متغیرهای تحقیق و نحوه جمع‌آوری آن‌ها

در این راستا شاخصه‌ای فاکتور دید به آسمان، نسبت حجم ساخته شده به مساحت سطح محدوده و نسبت سطح ساخته شده به ساخته نشده، تراکم پوشش گیاهی و کاربری‌ها به عنوان متغیرهای مستقل و غلظت آلاینده‌های هوا به عنوان متغیر وابسته مدنظر قرار گرفته است. شعاع تأثیر برای متغیرهای تراکم ساختمانی و گیاهی همین‌طور کاربری‌ها، شعاع صدمتری در نظر گرفته شد (زیرا کمترین فاصله در میان ۱۱ نقطه مشخص شده، فاصله دونقطه ۳ و ۴ به طول ۲۰۰ متر بود که این فاصله نصف و شعاع ۱۰۰ متر به جهت عدم همپوشانی کاربری‌ها مدنظر قرار گرفت).

داده‌های مربوط به غلظت آلاینده‌ها از ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر تبریز اخذ و اطلاعات مربوط به تیپولوژی شهری از شهرداری و برداشت میدانی گردآوری شده است. برای پایش میدانی در منطقه ۸، ۱۱ نقطه مشخص شد که سعی شد با توجه به مؤلفه‌های طراحی شهری مدنظر در پژوهش یعنی: فاکتور دید به آسمان، تراکم ساختمانی، تراکم پوشش گیاهی و کاربری‌ها متفاوت باشند. بعلاوه دونقطه، میدان نماز و باغشمال دارای ایستگاه ثابت سنجش

کیفیت هوا، در منطقه ۸ محسوب می‌شوند و داده‌های آن‌ها از اداره محیط‌زیست اخذ گردید. ۱۳ مکان مدنظر در **شکل شماره ۳** قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که اختلاف ارتفاع از سطح دریا در این ۱۳ نقطه مابین اعداد ۱۳۹۲ تا ۱۴۱۹ است که با توجه به اختلاف ناچیز و عدم اختلاف سطح چشم‌گیر در این منطقه از این فاکتور صرف‌نظر می‌کنیم. برای پایش ۱۱ نقطه مذکور از تجهیزات پرتابل استفاده شد. آلاینده‌های مورد مطالعه ذرات معلق ۲،۵ و ۱۰ میکرون بعلاوه CO ، SO_2 و NO_2 بودند. برای اندازه‌گیری ذرات معلق از پارسیکل سنج MIC-98098P ساخت کشور تایوان استفاده شد و برای اندازه‌گیری سایر آلاینده‌ها از دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌های محیطی مدل StreetBox، ساخت شرکت Signal Group انگلستان استفاده شده است. برای پایش میدانی، دستگاه‌های اندازه‌گیری در ارتفاع ۱/۵ متری (ارتفاع تنفسی و توصیه شده برای اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا) (Williams et al. 2014, 1) قرار داده شدند و در بازه زمانی حدود ۱۵ دقیقه غلظت آلاینده‌ها ۵ بار اندازه‌گیری و ثبت شدند که در نهایت میانگین این ۵ بار به عنوان مقدار غلظت در آن دور در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌ها در هر مکان به تناوب در بازه زمانی ۱۰ صبح تا ۲۰ بعدازظهر در ۲۰ روز کاری و دو روز تعطیل انجام شد.



شکل ۳-۱۳ مکان مدنظر و تصاویر ۱۱ مکان اندازه‌گیری و تصویر موقعیت B

سازمان محیط‌زیست در دو ایستگاه نماز و باغشمال در بازه زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ انجام شد نشان می‌دهد در خردادماه در طی روز الگوی مشخصی که تابع زمان باشد برای افزایش یا

در پژوهش حاضر منطقه مرکزی شهر تبریز (منطقه ۸) در بازه زمانی ۱۰ صبح تا ۲۰ بعدازظهر در نظر گرفته شده است. بررسی‌هایی که در داده‌های جمع‌آوری شده توسط

این منطقه به جهت حضور بازار بزرگ تبریز و سایر کاربری‌های پر مراجعه جاذب بیشترین تعداد سفرهای درون‌شهری در شهر است.

۵- یافته‌ها

۵-۱ تحلیل متغیرهای مربوط به آلودگی و پراکنش مکانی آن‌ها

از آنجائی که از یک سو تجهیزات پایش میدانی در این پروژه با آنچه توسط سازمان محیط‌زیست بکار برده می‌شود تفاوت داشت و دسترسی به گواهی‌نامه‌های کالیبراسیون آن‌ها وجود نداشت و از سوی دیگر محل اندازه‌گیری آن‌ها از نظر فاصله با معبر و ارتفاع از سطح زمین متفاوت از یکدیگر و با پروژه حاضر بود، جهت همگن‌سازی روش اندازه‌گیری و بالا بردن اعتبار داده‌های تحقیق در تحلیل‌های آماری و محاسبه همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل صرفاً از داده‌های گردآوری شده از پایش‌های میدانی استفاده شد. میانگین داده‌های گردآوری شده برای هر نقطه برای هر آلاینده محاسبه گردید و در جدول شماره ۲ دسته‌بندی و نشان داده شدند.

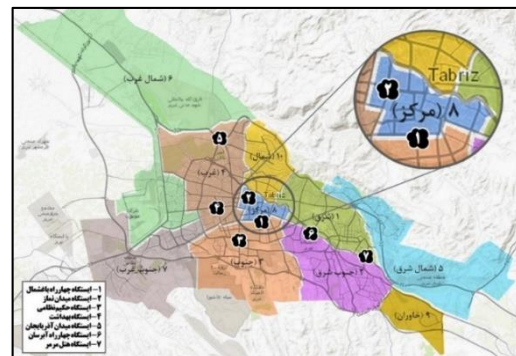
در شکل‌های شماره ۵ تا ۹ نقشه‌های میزان پراکنش هر آلاینده به تفکیک در ۱۱ محدوده اندازه‌گیری به کمک نرم‌افزار GIS نشان داده شده است. همان‌طور که در تصاویر قابل مشاهده است تراکم کاربری تجاری و اداری در نقاط با غلظت بالای آلاینده‌ها بیشتر است.

جدول ۲- میانگین داده‌های گردآوری شده از پایش میدانی در هر نقطه در خردادماه ۱۴۰۰

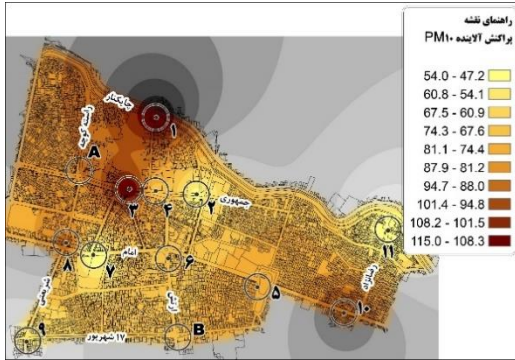
کد	ترافیک	محل نقطه	دما	رطوبت نسبی	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
A	ترافیک سنگین	میدان نماز	-	-	61	12.98	2.334	7.505	40.27
1		دارایی	34.02	17.61	115.3	75.4	32.03	3.55	26.75
2		میدان دانشسرا	33.28	18.24	52.29	33.72	32.86	3.805	27.66
3		بازار	33.69	17.66	114.7	77.05	40.28	4.14	34.28
4		میدان شهدا	32.54	19.45	71.46	46.97	34.78	4.061	30.52
B	ترافیک متوسط	باغشمال	-	-	39.36	9.403	1.419	3.789	-
5		چهارراه منصور	33.3	18.48	78.18	51.1	21.49	3.119	22.53
6		میدان ساعت	32.78	19.47	71.6	46.77	18.91	3.24	23.54
7		ارک	32.24	19.09	47.16	30.68	20.45	2.997	22.02
8		شریعی	33.78	17.44	90.61	59.85	22.48	3.237	23.08
9		چهارراه ۱۷ شهریور	28.78	23.45	58.41	37.71	17.82	2.861	21.88
10		میدان قطب	33.75	17.66	94.73	62.16	20.64	3.271	23.05
11	رضا نژاد	32.4	17.92	51.42	33.65	14.28	2.66	17.61	
میانگین کل			32.80	18.77	72.78	44.41	21.52	3.71	26.09

کاهش غلظت آلاینده‌ها دیده نمی‌شود و فقط طی ساعات اولیه بامداد به صورت محسوس از غلظت آلاینده‌ها کاسته می‌شود از این رو بازه زمانی ۱۰-۲۰ که ساعات کاری بخش تجاری است و شاهد حجم ترافیک نسبتاً بالایی در منطقه هستیم برای سنجش و پایش میدانی در نظر گرفته شد.

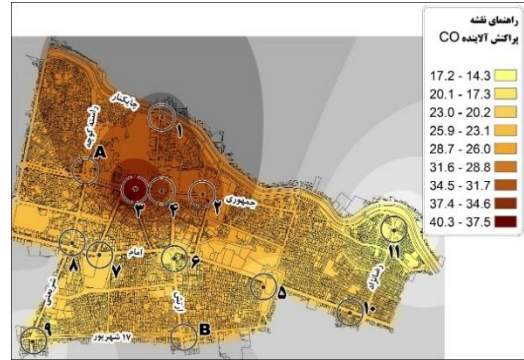
منطقه ۸ تبریز ۲ درصد از کل مساحت تبریز را به خود اختصاص داده و کوچک‌ترین منطقه در بین مناطق دیگر کلان‌شهر تبریز می‌باشد و از دیرباز به علت اهمیت مرکزیت شهری، اکثر مراکز ادارات دولتی، سازمان‌ها، نهادها و مراکز اقتصادی و تجاری و غیره در این محدوده احداث شده‌اند. از میان ایستگاه‌های پایه سنجش آلودگی هوا دو ایستگاه میدان نماز و باغ شمال در این منطقه قرار دارند (شکل شماره ۴) (حیدری چیاپانه و همکاران ۱۳۹۶، ۵۲).



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تبریز



شکل ۹- پراکنش آلاینده PM₁₀ در منطقه ۸ و اطراف ۱۱ محدوده اندازه گیری شده



شکل ۵- پراکنش آلاینده CO در منطقه ۸ و اطراف ۱۱ محدوده اندازه گیری شده

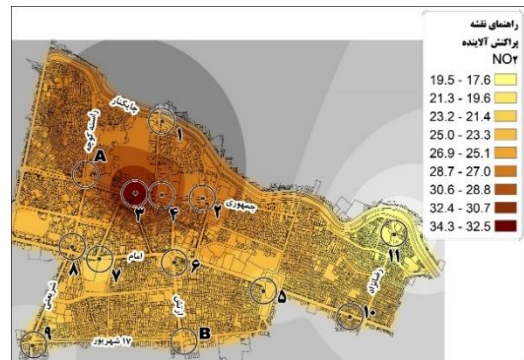
همان گونه که در [جدول شماره ۳](#) قابل مشاهده است مابین ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} همبستگی قوی دیده شد و مابین گازهای آگزوزی: CO, SO₂, NO₂ نیز همبستگی قوی و خوبی وجود دارد. از آنجائیکه منبع ذرات معلق هر دو از یک منبع و اغلب از وسایل نقلیه سنگین همانند اتوبوس‌های شرکت واحد که در این منطقه تردد هستند، می باشد و گازهای آگزوزی نیز در تابستان عمدتاً از خودروهای سبک منتشر می شوند و منبع یکسانی دارند ارتباط مستقیم آن‌ها دور از انتظار نبود.

جدول ۳- جدول ضریب همبستگی میان آلاینده‌ها

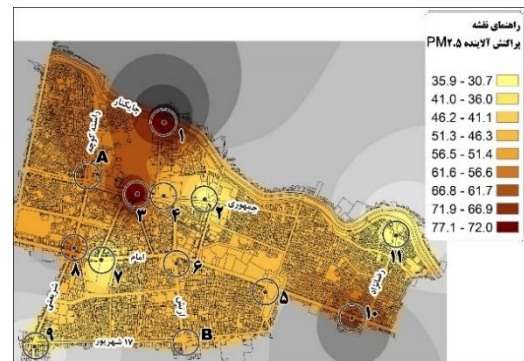
	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
PM 10		1/00	0/52	0/49	0/53
PM 2.5	1/00		0/53	0/50	0/54
co (ppm)	0/52	0/53		0/96	0/97
So2 (ppb)	0/49	0/50	0/96		0/97
No2 (ppb)	0/53	0/54	0/97	0/97	

۵-۲- اطلاعات و تحلیل متغیرهای مربوط به محیط انسان‌ساخت

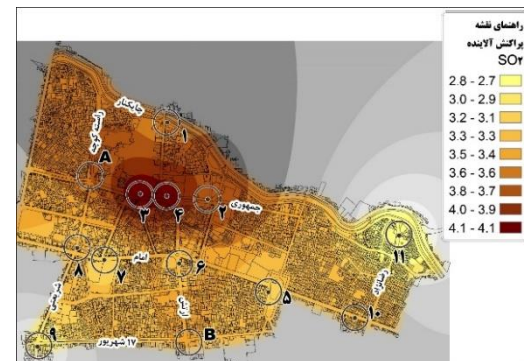
هر کدام از متغیرها در ایستگاه‌های مذکور محاسبه شد. برای محاسبه SVF از نرم افزار SVFcalculator توسعه یافته توسط دانشگاه گوتنبرگ استفاده شد. سایر متغیرها نیز در [جدول شماره ۴](#) قابل مشاهده می باشند. هنگام انتخاب نقاط



شکل ۶- پراکنش آلاینده NO₂ در منطقه ۸ و اطراف ۱۱ محدوده اندازه گیری شده



شکل ۷- پراکنش آلاینده PM_{2.5} در منطقه ۸ و اطراف ۱۱ محدوده اندازه گیری شده



شکل ۸- پراکنش آلاینده SO₂ در منطقه ۸ و اطراف ۱۱ محدوده اندازه گیری شده

در ترافیک متوسط، غلظت آلاینده‌ها در دو ایستگاه شریعتی و میدان قطب نسبت به بقیه ایستگاه‌ها بیشتر است و کم‌ترین هم متعلق به ایستگاه‌های ارگ و رضانژاد می‌باشد که به‌طور محسوسی، هر دو ایستگاه کنار فضای باز و گشودگی فضایی زیاد قرار دارند. ایستگاه رضانژاد کنار چایکنار، پارک و زمین بایر قرار گرفته و در محدوده ایستگاه ارگ هم به جهت محوطه ارگ، زمین باز وسیعی وجود دارد که به نظر می‌رسد به مقدار قابل توجهی در کاهش غلظت آلاینده‌ها مؤثر بوده است. در میدان قطب و خیابان شریعتی به جهت محصوریت بیشتر، غلظت آلاینده‌ها هم بالاتر می‌باشد و بقیه ایستگاه‌ها در حد وسط قرار گرفته و از لحاظ محصوریت هم مابین حداقل و حداکثرها قرار دارند.

اندازه‌گیری، سعی شده است تا تمامی نقاط در جریان‌های اصلی و پرتردد انتخاب گردد اما به هر ترتیب ترافیک منطقه بازار به جهت توقف بیشتر اتومبیل‌ها بیشتر از سایر نقاط است. از این رو برای کنترل متغیر مداخله‌گر ترافیک، نقاط به دودسته با ترافیک سنگین و ترافیک متوسط دسته‌بندی شدند که ۴ نقطه واقع در منطقه بازار در زمره دسته با ترافیک سنگین و بقیه با ترافیک متوسط قرار گرفتند. غلظت آلاینده‌ها در دسته مربوط به ایستگاه‌های منطقه بازار که ترافیک سنگین تری دارند نسبت به دسته دوم بیشتر است. در میان محدوده‌های قرار گرفته با ترافیک سنگین، ایستگاه بازار و دارایی، جایی که سبزی‌نگی کم‌تر است، غلظت آلاینده‌ها افزایش محسوسی دارد و به‌صورت قابل ملاحظه‌ای غلظت تمام آلاینده‌ها بیشتر از ایستگاه دانشسرا و میدان شهدا که سبزی‌نگی بیشتری دارند می‌باشد. در ایستگاه‌های قرار گرفته

جدول ۴- موقعیت‌ها و فاکتورهای مورد بررسی

شماره موقعیت‌ها	نام موقعیت‌ها	فاکتورهای مورد بررسی				ترافیک معابر ^{۱۲}
		فاکتور دید به آسمان	نسبت حجم ساخته شده به مساحت سطح محدوده	نسبت فضای ساخته شده به ساخته نشده	نسبت فضای سبز	
۱	دارایی	۰,۸۸۷	۲,۰۰۸	۰,۵۵۳	۲۴,۱	سنگین
۲	میدان دانشسرا	۰,۳۱۳	۳,۴۸۱	۰,۵۳۵	۱۴,۱	سنگین
۳	بازار	۰,۷۲۹	۲,۴۲۴	۱,۳۳۷	۸	سنگین
۴	میدان شهدا	۰,۳۲۵	۳,۷۹۲	۰,۸۹۰	۱۹,۹	سنگین
۵	چهارراه منصور	۰,۷۵۷	۱,۶۶۶	۰,۳۵۶	۰	متوسط
۶	میدان ساعت	۰,۱۱	۲,۷۰۵	۰,۵۴۵	۱۶,۴	متوسط
۷	ارک	۰,۲۷۲	۵,۰۳۱	۱,۲۰۷	۱,۲	متوسط
۸	شریعتی	۰,۲۹۳	۳,۶۱۷	۰,۹۴۰	۱,۲	متوسط
۹	چهارراه ۱۷ شهریور	۰,۱۶۲	۳,۰۴۸	۰,۸۶۳	۶,۶	متوسط
۱۰	میدان قطب	۰,۶۸۸	۴,۰۸۰	۱,۰۷۱	۰	متوسط
۱۱	رضا نژاد	۰,۵۵	۳,۵۷۴	۰,۵۳۴	۱۴,۷	متوسط

^{۱۲} بر اساس منابع (طرح جامع شهر تبریز (۱۳۹۵) و غلامعلی فرد (۱۳۹۵))

۳-۵- تحلیل روابط همبستگی

همان‌گونه که در جدول شماره ۶ مشهود است. همبستگی بین متغیر حجم توده ساخته‌شده به کل سطح و ذرات معلق دیده می‌شود. هر قدر که حجم توده نسبت به سطح، افزایش می‌یابد، غلظت آلاینده‌ها کم‌تر می‌شود. این متغیر هم همانند متغیر قبلی یعنی SVF، زمانی که این رابطه قوی‌تر و معنی‌دار است که ترافیک سنگین و غلظت آلاینده‌ها بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد در این شرایط هر چه حجم توده افزایش پیدا می‌کند این غلظت کاهش پیدا می‌کند همان‌طور که در قسمت SVF توضیح داده شد. با افزایش حجم ساخته‌شده، در واقع سطوحی که می‌تواند جذب این ذرات معلق باشد افزایش می‌یابد و از این جهت قابل پیش‌بینی است که افزایش سطوح، کمک‌کننده برای جذب ذرات معلق در فضاهای شهری می‌باشند.

جدول ۶- جدول ضریب همبستگی آلاینده‌ها با نسبت حجم توده ساخته‌شده به کل سطح

نسبت حجم توده ساخته‌شده به کل سطح	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
معیار با ترافیک متوسط	0.280	0.286	-0.209	0.001	-0.142
معیار با ترافیک سنگین	-0.903	-0.892	-0.138	0.423	-0.001
... همه معیار	-0.250	-0.245	-0.025	0.115	-0.004

در جدول شماره ۶ رابطه همبستگی میان نسبت مساحت فضای سبز و غلظت آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه این نسبت صرفاً در صد مساحت سطحی که برای کاشت هر نوع گیاهی استفاده شده محاسبه شده و نوع گیاه از نظر نوع علفی یا درختی و تراکم شاخ و برگ در محاسبه مؤثر نبوده است. بین آلاینده‌ها مونوکسید کربن رابطه معنی‌داری را با نسبت فضای سبز نشان می‌دهد. با توجه به مقدار منفی ضریب همبستگی این رابطه یک رابطه معکوس است یعنی با افزایش در صد فضای سبز از غلظت این آلاینده کاسته می‌شود. از آنجایی که حجم درخت‌ها و تراکم برگی که دارند محاسبه نشده و فقط مساحت فضای سبز در دسترس است و در ارتباط با ذرات معلق فقط درخت‌ها و سطح برگ آن‌ها مؤثرند، رابطه بین مساحت فضای سبز و غلظت ذرات ضعیف‌تر دیده می‌شود،

برای سنجش همبستگی بین متغیرها، ضریب همبستگی پیرسون محاسبه گردید. تعداد مدنظر ۱۱ نقطه اندازه‌گیری و میزان P-value در ارتباط بین متغیرهایی که رابطه معنی‌داری دارند کمتر از ۰,۰۰۵ است. رابطه بین متغیرهای محیط انسان‌ساخت و آلاینده‌ها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به جدول شماره ۵ ارتباط قوی میان SVF و ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} نشان می‌دهد که با توجه به مقدار مثبت ۲ ارتباطی مستقیم است و هر چه دید به آسمان افزایش پیدا می‌کند غلظت این آلاینده‌ها هم در منطقه افزایش می‌یابد. در ایستگاه‌های موجود دید به آسمان بیشتر به وسیله درخت‌ها مسدود شده و از آنجایی که شاخ و برگ درختان جزء سطوح جذب ذرات معلق محسوب می‌شوند، به هر میزان که سطوح (سبز و یا سطح ساختمانی) افزایش یابد، ذرات، بیشتر به آن‌ها چسبیده و جذب می‌شوند و کمتر در هوا معلق می‌شوند. از این رو هر چه مقدار این سطوح افزایش پیدا می‌کند طبیعتاً SVF کاهش می‌یابد و این امر موجب کاهش غلظت ذرات در آن محدوده می‌شود. در مناطق با ترافیک سنگین این ارتباط قوی‌تر و محکم‌تر است و این نشان‌دهنده این است که هر چه غلظت آلاینده‌ها افزایش پیدا می‌کند نقش SVF پررنگ‌تر است و در مکان‌هایی که غلظت آلاینده‌ها کمتر است نقش موانع در کاهش یا افزایش غلظت کمتر می‌باشد و ارتباط ضعیف‌تر می‌شود. در ارتباط با گازهای اگزوزی یعنی سایر آلاینده‌ها و SVF رابطه قابل تعریف و معناداری قابل مشاهده نبود.

جدول ۵- جدول ضریب همبستگی آلاینده‌ها با ضریب دید به آسمان (SVF)

SVF یا فاکتور دید به آسمان	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
معیار با ترافیک متوسط	0.354	0.355	0.090	0.018	-0.225
معیار با ترافیک سنگین	0.951	0.940	0.156	-0.379	0.040
... همه معیار	0.670	0.667	0.320	0.199	0.209

منطقه بازار که منطقه آلوده تر است و سایر نقاط تقسیم شدند. ضریب همبستگی برای سه دسته نقاط با ترافیک سنگین (منطقه بازار)، نقاط با ترافیک متوسط (سایر نقاط) و همه نقاط باهم محاسبه گردید. مقایسه روابط به دست آمده در این سه دسته نشان می داد که تیپولوژی و فرم شهر در جاهایی که ترافیک سنگین تر می باشد و منابع آلاینده بیشتری حضور دارند، تأثیر گذارتر است و نقش بیشتری نسبت به محدوده هایی که دارای ترافیک و منابع آلاینده کمتری است دارد. از این جهت نشان می دهد که نقش فرم شهر در شرایط بحرانی نسبت به شرایط معمول پرنرنگ تر است.

بررسی مربوط به نقش فاکتور دید به آسمان نشان داد که این مؤلفه رابطه مستقیم و قوی با غلظت ذرات معلق دارد ولی با سایر آلاینده ها رابطه معنی داری مشاهده نشد. نتایج بیانگر کاهش غلظت ذرات در کریدورهایی است که مساحت سطوح اطراف افزایش داشته است. این پدیده در نقاطی که درختان پهن برگ با تراکم شاخ و برگ بالا وجود دارند مشهودتر است. نتایج مربوط به بررسی رابطه حجم به توده نیز نتایج حاصل از فاکتور دید به آسمان را تأیید می کرد. در منطقه بازار با حجم ترافیک سنگین تر با افزایش توده و به تبع آن افزایش سطح جاذب غلظت ذرات معلق نیز کاهش یافته است. در حالیکه رابطه معنی داری بین این مؤلفه و سایر آلاینده ها دیده نشد. در بررسی مربوط به رابطه مساحت فضای سبز با غلظت آلاینده ها رابطه معکوس و معنی داری بین درصد مساحت فضای سبز و غلظت مونوکسید کربن دیده شد که هرچه این سطح افزایش پیدا می کرد از غلظت مونوکسید کربن کاسته می شد. این رابطه بین سایر آلاینده ها مشاهده نشد. مقایسه این نتایج با نتایج منتج از فاکتور دید به آسمان نشان می دهد در کاهش ذرات معلق حجم درختان و سایر سطوح اثر گذار است و سطح افقی سبزینگی و سایر گیاهان مانند چمن و گل کاری مؤثر نمی باشند در حالیکه در مورد مونوکسید کربن صرف حضور سبزینگی مؤثر است و شعاع تأثیر آن در مسافت نزدیک که در این پژوهش صدمتر در نظر گرفته شده است می باشد و فاصله زیاد یا ساختمان های موجود در حدفاصل

در حالی که در متغیر SVF حجم درخت ها، حجم برگ ها و تراکم برگ ها و ابعاد تاج درخت ها را بیشتر مؤثر می دیدیم.

جدول ۷- جدول ضریب همبستگی آلاینده ها با نسبت مساحت فضای

سبز

نسبت فضای سبز به مساحت کل	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
معیار با_ترافیک متوسط	-0.424	-0.423	-0.771	-0.401	-0.435
معیار با_ترافیک سنگین	0.015	-0.020	-0.808	-0.699	-0.753
_همه معیار	0.081	0.073	0.378	0.364	0.311

در بررسی رابطه بین نسبت سطح ساخته شده به سطح ساخته نشده رابطه مستقیمی بین غلظت گازهای اگزوزی: CO, NO₂ و SO₂ با این متغیر دیده شد. این رابطه در دسته منطقه بازار که ترافیک سنگین تری دارد قوی تر است (جدول شماره ۸).

جدول ۸- جدول ضریب همبستگی آلاینده ها با نسبت سطح ساخته شده

به ساخته نشده

نسبت سطح ساخته شده به ساخته نشده	PM 10	PM 2.5	co (ppm)	So2 (ppb)	No2 (ppb)
معیار با_ترافیک متوسط	0.575	0.571	0.193	0.415	0.240
معیار با_ترافیک سنگین	0.433	0.468	0.982	0.851	0.991
_همه معیار	0.243	0.236	-0.176	-0.060	-0.125

۶- بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به کمک یافته ها و توضیحات بیان شده در این بخش فرضیه مطرح در ابتدای پژوهش را اثبات و به سؤالات پژوهش پاسخ روشنی داده می شود. با توجه به محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین میانگین غلظت آلاینده های اندازه گیری شده باهم و با متغیرهای محیط انسان ساخت، ضرایب به دست آمده حاکی از وجود رابطه مستقیم بین غلظت PM_{2.5} و PM₁₀ باهم و CO, NO₂ و SO₂ باهم بود. رابطه معنی داری بین غلظت این دو گروه باهم دیده نشد. در محاسبه ضریب همبستگی بین آلاینده ها و مؤلفه های محیط انسان ساخت برای کنترل نقش متغیر مداخله گر ترافیک نقاط اندازه گیری به دودسته نقاط واقع در

داشته باشد. از آنجائیکه نتایج ضریب تأثیر این مؤلفه‌ها را در فواصل کم نشان می‌دهد. از طرفی ایستگاه‌های ثابت سنجش آلودگی شهر به تعداد کم در مناطق محدودی از شهر واقع هستند بررسی در مورد سایر مناطق و مقایسه آن‌ها می‌تواند شمای کلی‌تری در مورد کیفیت هوای کل تبریز ارائه دهد. همین‌طور به علت افزایش منابع و حجم انتشار آلاینده‌ها در زمستان و ایام سرد سال پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی بازه زمانی حداقل یک‌ساله برای بررسی اجمالی در فصول مختلف و به‌ویژه در شرایط وارونگی و تغییر شکل زیرساخت‌های سبز و آبی شهر در ایام سرد در نظر گرفته شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان «تحلیل پراکنش زمانی- مکانی آلاینده‌های هوای تبریز و ارتباط آن با مؤلفه‌های طراحی شهری» به شماره قرارداد ۵-۱۳۸/م/پ می‌باشد که با حمایت مالی مرکز پژوهش‌های شورای اسلامی کلان‌شهر تبریز انجام گرفته است.

منابع

۱- آزادی مبارکی، محمد، و محمود احمدی. ۱۳۹۹. تغییرپذیری بلندمدت ذرات معلق (PM_{2.5}) شهر تبریز با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۲(۳): ۴۸۰-۴۶۷
DOI:10.22059/jphgr.2020.295385.1007474

۲- بنی‌نعیمه، سمیه، مسعود رفیعی، سیروس کریمی، و عبدالرحمن راسخ. ۱۳۹۶. برآورد پراکنش آلاینده‌های منتشره از منابع متحرک آلودگی هوا (منطقه مورد مطالعه: اهواز). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۹(۵): ۶۷-۷۶.
DOI: 10.22034/jest.2017.11218

۳- پناهی، علی. ۱۳۹۷. بررسی ارتباط بین آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در اینورژهای شدید شهر تبریز. نشریه فضای جغرافیایی، ۱۸(۶۲): ۶۳-۷۶.
<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2187-fa.html>

نقاط و فضای سبز تأثیر آن را به شدت کاهش می‌دهد و یا از بین می‌برد.

نتایج بررسی رابطه نسبت سطح ساخته‌شده به ساخته نشده را با غلظت SO₂، NO₂ و CO معنی‌دار و مستقیم نشان داد که بیانگر افزایش غلظت این آلاینده‌ها در مناطق پرتراکم‌تر می‌باشد. این رابطه با ذرات معلق چندان معنی‌دار نیست و در کل می‌توان نتیجه گرفت که گشایش فضایی در کاهش و رفع شدت غلظت گازهای آلاینده مؤثرتر است و در مناطقی که بار این آلاینده‌ها بیشتر است به‌عنوان راهکار مورد استفاده قرار گیرد. از آنجائی که پارامترهای کمی مربوط به شکل بافت شهری برای فاصله صد متری از نقطه اندازه‌گیری محاسبه شد و فاصله ۲۰۰ متری نقاط اندازه‌گیری در مناطق پرتراکم و تفاوت چشم‌گیر داده‌های گردآوری‌شده نشان داد که شعاع تأثیر هر کدام از عوامل مؤثر کوتاه و کمتر از صد متر است. در مورد آلاینده‌های NO₂ و SO₂ نتایج نشان داد که فقط گشایش فضایی تا حدودی می‌تواند به رفع تراکم این آلاینده‌ها کمک کند. از این‌رو برای کاهش این آلاینده‌ها بهتر است اقداماتی در خصوص کاهش منابع انتشار آن‌ها صورت پذیرد. نتایج پژوهش حاکی از اثبات فرضیه و پاسخ روشن به سؤالات پژوهش بود.

محدودیت‌های پژوهش

از آنجائیکه این پژوهش در بازه زمانی سه‌ماهه اول سال انجام شد عمده منبع آلودگی مربوط به وسائط حمل‌ونقل بود و آلودگی ناشی از تجهیزات گرمایشی در این تحقیق قابل بررسی نبود. همین‌طور پدیده وارونگی که در دماهای پایین روی می‌دهد و می‌تواند نتایج تحقیق را تحت تأثیر قرار دهد قابل بررسی نبود. از طرف دیگر شرایط مربوط به کرونا و قرنطینه‌ها و کاهش فعالیت ناوگان اتوبوس‌رانی شهر و تعطیلی برخی از صنوف می‌توانسته در نتایج طرح مؤثر باشد.

چشم‌انداز آتی پژوهش

نتایج این پژوهش نشان داد که تیپولوژی شهر نقش بسزایی در تشدید یا تعدیل غلظت برخی آلاینده‌های هوا

آلودگی هوا (مطالعه موردی: ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران).
نشریه مطالعات شهری، ۹(۳۴): ۹۰-۷۷.

DOI:10.34785/J011.2021.336

۱۳- محمدی، اکبر، و سمیه رحیمی. ۱۳۹۲. تأثیرات الگوی
کاربری اراضی بر توزیع فضایی آلاینده‌های هوای شهر تهران.
مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۱۴): ۱۴۲-۱۲۳.

20.1001.1.22285229.1392.4.14.7.3

۱۴- ملکی، آیدا، داوود کاه‌فروشان، و پرینا قبادی. ۱۴۰۰. تحلیل
پراکنش زمانی- مکانی آلاینده‌های هوای تبریز و ارتباط آن با
مولفه‌های طراحی شهری. دانشگاه هنر اسلامی تبریز. مرکز
پژوهش‌های شورای اسلامی شهر تبریز.

۱۵- طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز. ۱۳۹۵. مهندسان
مشاور نقش محیط.

۱۶- ظریفیان‌مهر، عبدالحسین، لعلا جهان‌شاهلو، حسن ذبیحی، و
بهلول علیجانی. ۱۳۹۸. تخمین شاخص ضریب دید به
آسمان (SVF) مقایسه‌ای تجربی از مدل‌های درون‌یابی. فصلنامه
اطلاعات جغرافیایی، ۲۸(۱۱۱): ۹۷-۱۱۷.

DOI:10.22131/sepehr.2019.37509

۱۷- ورنوس، هخامنش. ۱۳۹۴. پوشش گیاهی و تأثیر آن بر
آلودگی هوا. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم
کشاورزی و محیط‌زیست.

18. Adams Matthew D., and Denis Corr. 2019. A mobile air pollution monitoring data set. Data, 4(1): 2. DOI: 10.3390/data4010002.

19. Bottyán, Zsolt, and J. Unger. 2003. A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. Theoretical and Applied Climatology, 75(3): 233-243. DOI:10.1007/s00704-003-0735-7

20. Chapman, Lee, John Thornes, and Andrew Vincent Bradley. 2001. Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. Theoretical and applied climatology, 69(1): 81-89. DOI:10.1007/s007040170036.

21. Chen, Liang, Edward, Xipo An, Chao Ren, Max Lee, Una Wang, and Zhengjun He. 2012. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-

۴- حسینی، سید حسین، علی صالحی، و الهام شکری. ۱۳۹۵.
مطالعه تأثیر پوشش گیاهی و بام سبز بر افزایش سرعت باد و
پراکنش آلاینده‌ها در دره‌های شهری با استفاده از دینامیک
سیالات محاسباتی. فصلنامه سلامت و محیط‌زیست، ۹(۳): ۳۹۷-۴۱۰.

http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5667-fa.html

۵- حیدری چپانه، رحیم، معصومه علی‌رضایی، و علی زارعی.
۱۳۹۶. تحلیلی بر کاربری اراضی کلان‌شهر تبریز (مطالعه موردی:
منطقه ۸ کلان‌شهر تبریز). نشریه پژوهش‌های مکانی- فضایی،
۳(۱).

۶- خورشید دوست، علی محمد؛ ولی زاده، کامران خلیل؛ قاسمی
بگتاش، علی. ۱۳۹۶. تحلیل زمانی- مکانی آلودگی‌های خطرناک
شهر تبریز با تأکید بر PM10. نشریه پژوهش‌های جغرافیای
طبیعی، ۴۹(۴): ۵۸۵-۶۰۲.

DOI:10.22059/jphgr.2018.221265.1006970

۷- سرور، هوشنگ، مرزیه اسماعیل‌پور، منصور خیری زاده، و
مهتاب امرایی. ۱۳۹۹. تحلیل فضایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر
آلودگی هوای شهر تبریز. نشریه مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۴):
۱۷۲-۱۵۱.

DOI:10.22111/jneh.2020.31469.1558

۸- عساکره، حسین، و لیلا احدی. ۱۳۹۹. بررسی رابطه تیپ‌های
هوایی تبریز و آلودگی هوا. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی.
۳۷۵-۳۹۴ (۳): ۵۲.

DOI:10.22059/jphgr.2020.272960.1007326

۹- عزیزی، محمد مهدی. ۱۳۹۴. تراکم در شهرسازی: اصول و
معیارهای تعیین تراکم شهری. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه
تهران.

۱۰- عظیمی آفداش، محمد. ۱۳۹۷. شرح و درس‌آزمون‌های
نظام‌مهندسی شهرسازی، تهران: نشر نوآور.

۱۱- غلامعلی‌فرد، مهدی. ۱۳۹۵. تدوین فهرست انتشار منابع
آلاینده کلان‌شهر تبریز، مکان‌یابی در نرم‌افزار GIS و مدل‌سازی.
دانشگاه تربیت مدرس. کارفرما: سازمان حفاظت محیط‌زیست
اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان شرقی.

۱۲- کریمی، مصطفی، سمانه خوشنواز، علی‌اکبر شمسی‌پور، و
معصومه مقبل. ۱۳۹۹. مدل‌سازی اثر جهت خیابان در پراکنش

- monitoring in urban environments: a pilot study in Lubbock, Texas. *Environmental technology*, 39(12): 1505-1514. DOI: [10.1080/09593330.2017.1332106](https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1332106)
29. Oke, T. R. 1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3): 103-113. Doi:[10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6).
30. Song, Rong, Liumei Yang, Mengyuan Liu, Can Li, and Yanrong Yang. 2019. Spatiotemporal Distribution of Air Pollution Characteristics in Jiangsu Province, China. *Advances in Meteorology*, 2019: 1-14. DOI:[10.1155/2019/5907673](https://doi.org/10.1155/2019/5907673)
31. Tang, Xiaolong, Yan Zhang, Honghong Yi, Jieyun Ma, and Li Pu. 2012. Development a detailed inventory framework for estimating major pollutants emissions inventory for Yunnan Province, China. *Atmospheric Environment* 57: 116-125. <https://ur.booksc.me>
32. Unger, János. 2009. Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3): 59-80. DOI:[10.1504/IJEP.2009.021817](https://doi.org/10.1504/IJEP.2009.021817)
33. WHO (World Health Organization). 2018. Available at [https://www.who.int/en/newsroom/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/newsroom/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Accessed date: 22 August 2019.
34. Zheng, Sheng, Xueyuan Zhou, Ramesh P. Singh, Yuzhe Wu, Yanmei Ye, and Cifang Wu. 2017. The Spatiotemporal Distribution of Air Pollutants and Their Relationship with Land-Use Patterns in Hangzhou City, China. *Atmosphere*. 8(6):110. DOI: [10.3390/atmos8060110](https://doi.org/10.3390/atmos8060110).
35. Williams, Ron, Vasu Kilaru, Emily Snyder, Amanda Kaufman, Timothy Dye, Andrew Rutter, Ashley Russell, and Hilary Hafner. 2014. *Air Sensor Guidebook*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/159 (NTIS PB2015-100610). <https://cfpub.epa.gov/si>
- density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32(1): 121-136. DOI:[10.1002/joc.2243](https://doi.org/10.1002/joc.2243)
22. Chun, Bumseok, and Jean-Michel Guldmann. 2014. Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 125: 76-88. DOI:[10.1016/j.landurbplan.2014.01.016](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.016).
23. De Souza Léa Cristina Lucas, and Antônio Nelson Rodrigues Da Silva. 2006. Applying GIS tools for analysing urban thermal environment. PLEA 2006- The 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.
24. Halim Nor Diana Abdul, Mohd Talib Latif, Ahmad Fariz Mohamed, Khairul Nizam Abdul Maulud, Shaharudin Idrus, Azliyana Azhari, Murnira Othman, and Nurzawani Md Sofwan. 2020. Spatial assessment of land use impact on air quality in mega urban regions, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102436. DOI: [10.1016/j.scs.2020.102436](https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102436)
25. Hämmerle, Martin, Tamás Gál, János Unger, and Andreas Matzarakis. 2011. Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical and applied climatology*, 105(3-4): 521-527. Doi:[10.1007/s00704-011-0402-3](https://doi.org/10.1007/s00704-011-0402-3).
26. Jusuf, Steve Kardinal, Marcel Ignatius, Nyuk Hien Wong, and Erna Tan. 2017. STEVE Tool Plug-in for SketchUp: A User-Friendly Microclimatic Mapping Tool for Estate Development. In *Sustainable Building and Built Environments to Mitigate Climate Change in the Tropics*: 113-130. Springer. DOI:[10.1007/978-3-319-49601-6_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49601-6_9)
27. Mohan, Manju, Shweta Bhati, Archana Sreenivas, and Pallavi Marrapu. 2011. Performance evaluation of AERMOD and ADMS-urban for total suspended particulate matter concentrations in megacity Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(7): 883-894. DOI: [10.4209/aaqr.2011.05.0065](https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.05.0065)
28. McKercher, Grant R, and Jennifer K Vanos. 2018. Low-cost mobile air pollution

Received: 20/11/2021

Accepted: 27/02/2022

Analysis of the Spatial Distribution of Air Pollutants in Center of the City of Tabriz (District 8) and its Relation with Man-made Environment

Aida Maleki¹, Parisa Ghobadi², Davoud Kahforoushan³, Mohammad Hassan Sarbazan⁴, Hamid Mansouri⁵

Abstract

Air pollution is one of the problems of the present century all over the world. The aim of this study was to identify the major pollutants in Tabriz, District 8, and analyze their spatial distribution and investigate its relation with some components of man-made environment. To study the distribution of pollutants in the research area, information about the concentration of pollutants was measured by mobile equipment at 11 predetermined points between 10:00- 20:00 in different times and different days in June 2021 and with GIS software and distribution maps were extracted. The generated maps showed that the concentration of pollutants is directly related to the density of commercial land use and consequently the increase in traffic volume. To find the relationship between pollution concentration and urban typology, information about urban design components was extracted by using GIS software and the correlation coefficient between the concentrations of pollutants and the mentioned components was investigated. The results also showed a significant relationship between the concentration of suspended particles and the visibility factor to the sky as well as the density of building mass in the region. The concentration of carbon monoxide with the ratio of green space at the measuring points was inversely related and the pollutants NO₂, SO₂ and CO showed a significant relationship with the ratio of surface to unstructured and in fact building density. In addition, the relationship between the concentrations of pollutants with each other was also examined, indicating a strong direct relationship between the concentration of suspended particles (PM₁₀ and PM_{2.5}) together and the concentration of NO₂, SO₂ and CO with each other. In general, it can be concluded that the typology of the city plays a significant role in intensifying or adjusting the concentration of some air pollutants, and in critical areas, the air quality of the area can be improved to some extent by controlling urban design variables.

Keywords

Pollutant, Sky View Factor, Suspended Particles, Urban Air Quality, Tabriz

¹ Assistant Professor, Department of Architecture-Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran; Corresponding Author: a.maleki@tabriziau.ac.ir

² PhD student, Department of Islamic Urbanism, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

³ Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran.

⁴ Tabriz Municipality, Senior expert in Environmental Engineering, Land Evaluation and Spatial Planning, Director of the environmental working group of Tabriz Municipality Research and Planning Study Center, Iran.

⁵ M.S. student, Department of Architecture-Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.