

تأثیرات الگوی کاربری اراضی بر توزیع فضایی آلاینده‌های هوای شهر تهران

اکبر محمدی: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، تهران، ایران*
سمیه رحیمی: کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

الگوی کاربری اراضی نشان دهنده 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 اثر گذاری آن بر توزیع سفرهای شهری و بدنبال آن آلاینده‌های منتشر شده از ترافیک شهری دانست. هدف اصلی این پژوهش نیز بررسی نقش الگوی کاربری اراضی بر تمرکز آلاینده‌های هوای شهر تهران با استفاده از ترکیب تکنیک‌های فضایی و روشهای آمار استنباطی است. آمار ۱۶ ایستگاه سنجش آلودگی شهر تهران در سال ۲۰۱۰ (شامل آلاینده‌های CO ، NO_2 ، O_3 ، PM_{10} و SO_2) بعنوان متغیر تأثیر پذیر انتخاب گردیده و شاخص‌های الگوی کاربری اراضی (استخراج شده توسط نرم افزار FRAGSTATS)، طول شبکه معابر و درصد فضای باز به عنوان متغیرهای تأثیر گذار انتخاب گردیدند. جهت استخراج متغیرهای تأثیرگذار از سیستم بافرینگ که در روش رگرسیون کاربری اراضی (LUR) بکار گرفته می‌شود، استفاده گردید تا نتایج در فواصل مختلف مورد تحلیل قرار گیرند. پس از بررسی‌های روابط همبستگی میان تمرکز آلاینده‌ها و شاخص‌های الگوی کاربری اراضی که در سه بخش شاخص‌های سرزمین، شاخص‌های طبقات و سایر شاخص‌ها (شاخص‌های طول معابر و درصد فضای باز) صورت پذیرفت، نتایج تحقیق حاکی از آن است که بالاترین ضریب همبستگی، مربوط به رابطه میان آلاینده NO_2 و طول معابر در بافر ۱۰۰۰ متری می‌باشد. بطور کلی آلاینده NO_2 در مقایسه با دیگر آلاینده‌ها همبستگی بیشتری با شاخص‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان در تأثیر الگوی کاربری اراضی بر منابع تولید این آلاینده که عمدتاً جریانهای ترافیکی می‌باشد، دانست. آلاینده‌های دیگر مثل CO ، PM_{10} و SO_2 نیز روابط متوسطی را (بویژه در بافر ۱۰۰۰ متری) با الگوی کاربری اراضی نشان می‌دهند. کمترین میزان ضریب همبستگی نیز میان آلاینده O_3 و شاخص‌های الگوهای کاربری اراضی مشاهده می‌شود که دلیل آن را می‌توان در نحوه شکل‌گیری و واکنشهای متفاوت این آلاینده نسبت به آلاینده‌های دیگر دانست.

واژه‌های کلیدی: الگوی کاربری اراضی، آلاینده‌های هوا، Fragstats، شهر تهران

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

کیفیت هوا امروزه یکی از چالش‌های مهم کلان شهرها ی دنیا می باشد. عوامل متعددی در ایجاد و تشدید آلاینده‌های هوا دخیل هستند که مهمترین آنها نوع و کیفیت انرژی‌های مصرفی در بخشهای مختلف شهر مثل حمل و نقل، سکونت و سایر فعالیتهای، عوامل و پدیده‌های هواشناسی مثل درجه حرارت، ارتفاع لایه آمیخته، باد و...، موقعیت و نشستگاه شهر، واکنشهای شیمیایی بین آلاینده‌ها و تکنولوژی ساخت وسایل نقلیه، گرمایشی و... می‌باشد.

الگوی کاربری اراضی که یکی از عناصر فرم کالبدی شهر است، نقش بسیار مهمی در توزیع آلاینده‌ها و کیفیت هوای شهر عهده دار می باشد. بیشترین تاثیر این عامل بر کیفیت هوای شهر از طریق تاثیر بر جریانهای حمل و نقل و توزیع سفرها در شهر می باشد. از سوی دیگر کاربری‌های موجود در شهر به عنوان منابع آلاینده مطرح هستند که نحوه توزیع و ترکیب آنها نیز بر توزیع آلاینده‌های شهری موثر می باشد.

تهران به عنوان شانزدهمین شهر پرجمعیت دنیا در سال ۲۰۱۲ (به نقل از سایت city mayors) در زمینه کیفیت هوا با مشکلات عمده ای روبرو می باشد به گونه ای که در طی سال ۱۳۹۰ تعداد روزهای پاک و سالم شهر تهران در حدود ۱۴۷ روز بوده است. (شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران، ۱۳۹۱) در کنار عوامل طبیعی مثل اقلیم، توپوگرافی و درات معلق وارد شده از کشورهای همسایه، مهمترین عامل در ایجاد آلودگی شهر تهران کیفیت نامناسب سوخت

مصرفی وسایل نقلیه و کیفیت نامناسب وسایل نقلیه به لحاظ سن و فن آوری‌های بکار رفته در آنها می باشد. البته به نظر می رسد الگوی کاربری اراضی شهر تهران نیز بواسطه تاثیر در مکان‌گزینی کاربری‌ها و همچنین تاثیر بر توزیع سفرهای شهری در توزیع فضایی و تمرکز آلاینده‌ها اثر گذار باشد، که در این تحقیق به بررسی این امر پرداخته خواهد شد.

۱-۱- اهمیت و ضرورت

در دنیای کنونی کیفیت هوا در شهرهای بزرگ یکی از دغدغه‌ها و چالش‌های اصلی مدیریت شهری محسوب می گردد. وجود آلاینده‌هایی مثل مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO₂)، ازن (O₃)، ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون (PM₁₀) و دی اکسید سولفور (SO₂) در هوای شهرها خطرات جانی و مالی زیادی را به همراه دارد که از مهمترین آنها می توان به موارد زیر اشاره داشت:

بوجود آمدن امراض قلبی، ریوی، بینایی و...، تاثیرات منفی بر ساختمان و سازه‌ها، ورود این آلاینده‌ها به آب و خاک و آلودگی آنها، تاثیرات منفی بر پوشش گیاهی و اثرات اقلیمی و هواشناسی مثل تشکیل جزایر گرمایی.

موارد ذکر شده نشان دهنده اهمیت و ضرورت تحقیقات مرتبط با تمرکز آلاینده‌های شهری با هدف کاهش هزینه‌های ناشی از پیامدهای آلودگی هوا می باشد.

۱-۲- اهداف

هدف اصلی این تحقیق بررسی نقش و تاثیر الگوی کاربری اراضی بر توزیع و تمرکز آلاینده‌های CO،

فرم کالبدی شهر و تولید آلاینده‌های اکسید نیتروژن (NO₂) و ذرات معلق (PM_{2.5}) می‌باشد (R:0.91). ضریب همبستگی بین متغیرهای تمرکز؛ دسترسی، اختلاط کاربری اراضی و این آلاینده‌ها نیز ۰.۹۱ بود، ولی ضریب همبستگی بین دو آلاینده و متغیر تراکم ۰.۹۲ بدست آمده که نشان دهنده این است که در فرم شهری اسپرال تولید آلاینده‌های فوق بیشتر از فرم شهر فشرده می‌باشد.

شاخص همبستگی میان شاخص فرم شهری و آلاینده ازن نیز در حدود ۰.۵۲ است که نشانگر رابطه نه چندان قوی ولی معنادار است. متغیر تراکم بیشترین همبستگی را با میزان ازن موجود در هوا نشان می‌دهد (r:0.63). دیگر متغیرها، همبستگی کمتری با میزان ازن موجود در جو دارند. شاخص همبستگی بدست آمده بین متغیر تمرکز و میزان ازن موجود در هوا (۰.۴۱)؛ متغیر دسترسی و میزان ازن موجود در هوا (۰.۴۷)؛ متغیر اختلاط کاربری‌ها و ازن موجود در هوا (۰.۳۹) بوده است.

در پایان وی با توجه به نتایج به دست آمده به پیش بینی تولید آلاینده‌های شهری بر اساس تحلیل رگرسیون پرداخته است. (Brian stone jr,2006) محققان در دانشگاه کالیفرنیا و کالیاری (Cagliari) در طی یک تحقیق که هدف آن سنجش تأثیرات منطقه ای کاربری اراضی بود به این نتیجه رسیدند که در شهر ساکرامنتو (Sacramento) سیاست‌های کاربری اراضی و حمل و نقل عمومی می‌تواند باعث کاهش سفرهای درون شهری با خودرو و کاهش آلاینده‌های منشر شده از این خودروها به میزان ۴ تا ۷ درصد گردد. (Johnston and others,2000)

NO₂، O₃، PM₁₀ و SO₂ با استفاده از روش‌های آماری می‌باشد.

۱-۴- پیشینه پژوهش

رابطه میان فرم کالبدی شهر، آلودگی کاربری اراضی و کیفیت هوای شهرها تاکنون در مطالعات زیادی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

در دستور العملی که توسط اداره حمل و نقل و کیفیت هوای سازمان محیط زیست ایالات متحده آمریکا^۱ تهیه شده است به ارائه راهکارهایی در جهت برنامه ریزی ترکیبی کاربری اراضی و حمل و نقل به دولتهای محلی و منطقه ای در جهت جلوگیری از آلودگی هوا اقدام گردیده است. در این راهنما متغیرهای کاربری اراضی شهری که حمل و نقل را متأثر می‌سازند به صورت زیر آورده شده است: (EPA,2001)

۱- تراکم

۲- اختلاط کاربری اراضی

۳- دسترسی به حمل و نقل عمومی

۴- بهبود محیط‌های پیاده رو از نظر طراحی شهری

۵- آلودگی‌های توسعه کالبدی-ساختاری (همان منبع)

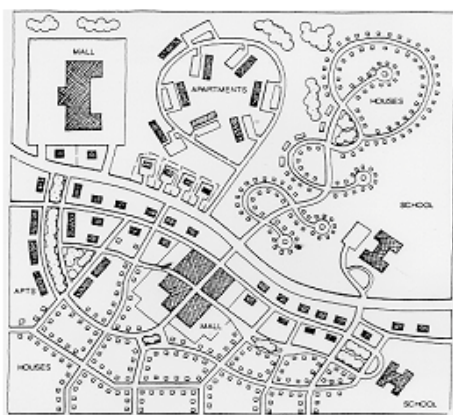
استون (Stone) در تحقیق خود با استفاده از متغیرهایی مانند تمرکز؛ دسترسی؛ تراکم و اختلاط کاربری اراضی به محاسبه شاخص رشد اسپرال ۴۵ شهر بزرگ آمریکا اقدام نموده و سپس ارتباط این متغیرها و شاخص اسپرال (Sprawl) شهری را با کیفیت هوای نواحی شهری سنجیده است. نتایج تحقیق وی نشان دهنده رابطه قوی میان شاخص‌های

² - Particulate matter

¹-US Environmental Protection Agency

معرفی نموده است. (Ken Gwilliam, Masami Kojima, and Todd Johnson, 2004 در سال ۱۹۹۸ اپوگی و بیلی (Apogee and Hagler) (Baily, 1998) در بررسی تحقیقات انجام گرفته در خصوص رابطه میان فرم شهری و رفتار سفر به این نتیجه رسیدند که فرم کالبدی شهر تاثیر بسزایی در رفتار سفر دارد. این محققان در بررسی تحقیقات صورت گرفته (چه تحقیقات تجربی و چه تحقیقات مدلسازی) که بین اوایل تا اواسط دهه ۹۰ میلادی صورت پذیرفته بود دریافتند که شواهدی دال بر این موضوع که تغییر در الگوی کنونی توسعه (تراکم کم، تک خانواری و اتومبیل محور) می تواند استفاده از اتومبیل شخصی و انتشار آلاینده‌ها را کاهش دهد، وجود دارد. در این بررسی محققان برخی از ویژگی‌های فرم شهری که می تواند رفتار سفر را تحت تاثیر قرار دهد به شرح زیر ذکر نموده اند:

Disconnected Network



Connected Network

تصویر ۱- دو الگوی متفاوت کاربری اراضی (بالا):
اختلاف کم کاربری اراضی، دسترسی پایین تر، پایین:
اختلاف کاربری‌ها، دسترسی بیشتر) Frank
(Spielberg, 1999)

نتیجه یک تحقیق شبیه سازی در بالتیمور مرلند نشان داد که توسعه متمرکز در مقایسه با توسعه ای که در ۲۰ سال گذشته در شهر بوقوع پیوسته است می تواند ۰.۹ درصد سفر روزانه که با اتومبیل صورت می گیرد را کاهش دهد. البته این کاهش در مناطق پر تراکم به ۱.۷ درصد کاهش می رسد. همچنین طبق برآورد توسعه گسترده شهری می تواند سفرهای روزانه صورت گرفته با اتومبیل را روزانه تا ۱.۸ درصد افزایش دهد که این افزایش در مناطق پرتراکم به ۱.۶ درصد کاهش می یابد. (DeCorla- Souza, 1992)

در مطالعه ای که در شهر واشنگتن صورت پذیرفت بر اساس مدلسازی سناریوهای تعادل بین مسکن و اشتغال؛ پیش بینی گردید که با افزایش استفاده از حمل و نقل عمومی، میانگین طول سفرهای با اتومبیل شخصی کاهش خواهد یافت. سفرهای درون شهری که توسط خودرو شخصی صورت می پذیرد در صورت نزدیکی مکانهای سکونت و اشتغال تا ۵ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در صورت دسترسی به وسایل حمل و نقل عمومی پیش بینی شد این میزان به ۹.۲ درصد کاهش یابد. (DeCorla- Souza, 1992)

در تحقیقی که توسط موسسه بانک جهانی (world bank) به انتشار رسیده است، فصل پنجم آن اختصاص به ارائه راهکارهایی در خصوص کاهش تقاضای سفر دارد که یکی از بندهای آن در رابطه با کاربری اراضی می باشد. در این بند به تاثیر کاربری اراضی بر حمل و نقل شهری پرداخته شده است و متغیرهایی موثر کاربری اراضی که در حمل و نقل شهری و به دنبال آن کیفیت هوای شهرها موثر هستند را شامل تراکم؛ ساختار؛ اختلاط و طراحی محلی

استراتژی‌هایی که الگوهای سفرهای درون شهری بهینه تری را تشویق می‌نماید. (Todd Litman, 2008)

بورگو و همکارانش در یک تحقیق جهت نشان دادن رابطه میان فرم شهری، الگوی کاربری اراضی و کیفیت هوای شهر اقدام به تهیه سه شهر تخیلی با الگوهای کاربری متفاوت (شهر خطی، شهر پراکنده و شهر فشرده) نموده و با استفاده از سیستم مدلسازی^۱ MEMO/MRAS اقدام به پیش بینی آلاینده‌ها در سه شهر تخیلی نمودند. نتایج این تحقیق در زمینه آلاینده ازن (O3) نشان دهنده این است که اگرچه هر سه شهر الگوی تمرکز ساعتی مشابهی را داشته اند ولی در شهر پراکنده سطوح تمرکز ازن در ساعات بحرانی (بین ساعت ۱۲ تا ۱۶) بالاترین میزان را به خود اختصاص داده در حالی که پایین ترین سطح تمرکز ازن به شهر فشرده تعلق داشته است. (Borrego, C; et.al.; 2004)

الگوی تمرکز ساعتی آلاینده NO₂ نیز در سه شهر مشابه هم بوده و بیشترین میزان تمرکز آن در ساعات اولیه و پایانی روز مشاهده شده است، ولی بالاترین میانگین تمرکز NO₂ متعلق به شهر خطی بوده و شهر فشرده دارای کمترین میانگین تمرکز NO₂ می باشد. (Borrego, C; et.al.; 2006)

نیومن و نورثی در مطالعه ای جهت نشان دادن رابطه میان مصرف بنزین و تراکم شهری، ۳۲ شهر را در کشورهای آمریکا، کانادا، استرالیا، ژاپن و هنگ کنگ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان دهنده

در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۰۸ توسط تاد لیتمن (Todd Litman, 2008) تحت عنوان تأثیرات کاربری اراضی بر روی حمل و نقل صورت پذیرفت به بررسی عوامل و متغیرهای کاربری اراضی که رفتار سفر در شهرها را متاثر می سازد، پرداخته شد، و در پایان عوامل و متغیرهای زیر به عنوان عوامل تأثیر گذار الگوی کاربری اراضی بر روی رفتار سفر و کیفیت هوای شهر عنوان گردیده است.

- ۱- تراکم: که بیان کننده افراد و یا مشاغل در هر واحد از مساحت اراضی (هکتار یا آکر) دارد.
- ۲- اختلاط: میزان اختلاط و کنار هم قرار گیری کاربری‌های مختلف بصورت عمودی و افقی. این عامل تحت عنوان تعادل مساکن/ مشاغل نیز شناخته می شود.
- ۳- دسترسی منطقه ای: مکان توسعه‌های جدید نسبت به مرکز منطقه ای شهر. اغلب توسط تعداد شغل‌های در دسترس در یک زمان سفر معین اندازه گیری می گردد.
- ۴- تمرکز: سهم فعالیت‌های تجاری و... در مراکز عمده فعالیت‌های ۵- درجه ارتباطات میان معابر: میزان ارتباطات میان سیستم معابر شهری که طول سفرها را کاهش می دهد.
- ۶- طراحی و مدیریت معابر: اندازه و طرح خیابانها جهت استفاده از سایر گزینه‌های سفر (دوچرخه، پیاده)
- ۷- تعداد و مدیریت پارکینگ‌ها: تعداد پارکینگ‌ها به ازای هر واحد ساختمانی یا در هکتار و مدیریت و قانونهای مربوط به پارکینگ‌ها
- ۸- شرایط محیط‌های دوچرخه سواری و پیاده روی
- ۹- دسترسی و کیفیت حمل و نقل عمومی
- ۱۰- طراحی سایت: طراحی ساختمانها و پارکینگ‌ها
- ۱۱- مدیریت حرکت: برنامه و

^۱ - مدل MEMO یک مدل هواشناسی بوده و مدل MARS یک مدل انتشار جهت پیش بینی انتشار آلاینده ها در محیط می باشد.

- آیا الگوی کاربری اراضی بر تمرکز آلاینده‌های هوا (CO, NO₂, O₃, PM₁₀, SO₂) در شهر تهران تاثیر دارد؟

- کدامیک از ویژگی‌های الگوی کاربری اراضی بیشترین نقش را در تمرکز پنج آلاینده در شهر تهران بر عهده دارد؟

با توجه به سوالات مطرح شده می‌توان فرضیات زیر را درخصوص این تحقیق مطرح نمود:

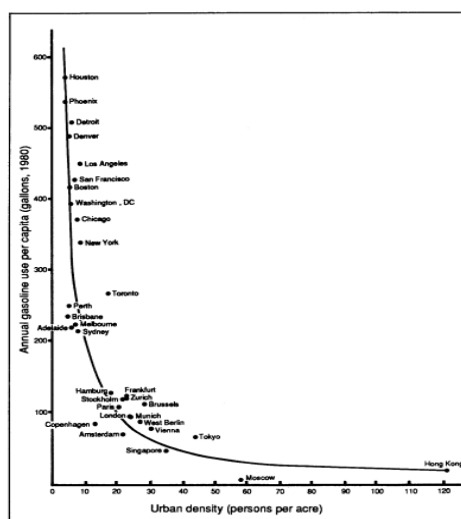
- الگوی کاربری اراضی نقش قابل توجهی را در تمرکز پنج آلاینده مورد بررسی در شهر تهران بر عهده دارد.

- به نظر می‌رسد در بین ویژگیهای الگوی کاربری اراضی، تنوع کاربری‌ها نقش بیشتری را در تمرکز پنج آلاینده در شهر تهران بر عهده دارد.

۱-۶- روش تحقیق و مراحل آن (روش تحقیق، جامعه آماری، روش نمونه‌گیری، حجم نمونه و روش تعیین آن، ابزار گردآوری داده‌ها و اعتبارسنجی آنها)

در این تحقیق جهت استخراج شاخص‌ها و متغیرهای الگوی کاربری اراضی موثر در کیفیت هوا از روش بافرینگ^۱ رگرسیون کاربری اراضی (LUR^۲) استفاده شده است.

این است که یک رابطه همبستگی منفی بین تراکم شهری و مصرف بنزین وجود دارد یعنی هر چقدر تراکم شهری کاهش یابد میزان مصرف بنزین افزایش می‌یابد و برعکس (نمودار شماره ۱). (Newman and Knowrthy, 1989)



نمودار شماره ۱- رابطه میان مصرف بنزین و تراکم شهری (Newman and Knowrthy, 1989)

بعنوان یک جمع بندی در خصوص این مطالعات می‌توان گفت که در تمامی مطالعات صورت پذیرفته مهمترین عوامل مرتبط با فرم شهر-الگوی کاربری اراضی که بر کیفیت هوای شهر موثر هستند شامل موارد زیر هستند:

- ۱- تراکم شهری که شامل تراکم جمعیت و اشتغال در واحد سطح می‌باشد.
- ۲- اختلاط کاربری اراضی
- ۳- دسترسی به خدمات و حمل و نقل عمومی

۱-۵- سئوال‌ها و فرضیه‌ها

¹ - Buffering

² - Land use regression

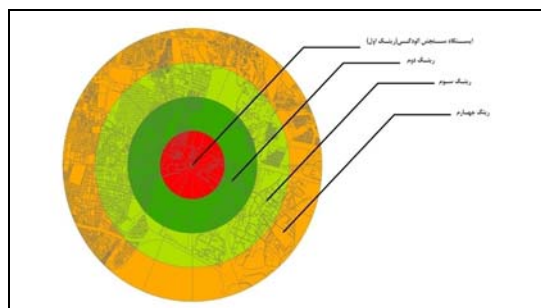
دو متغیر فاصله ای یا نسبی و یا یک متغیر فاصله ای و یک متغیر نسبی به کار برده می شود. (بی همتا، زارع چاهوکی، ۱۳۹۰)

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

در این معادله r ضریب همبستگی پیرسون، n تعداد نمونه، X متغیر الف و Y متغیر ب می باشد.

۷-۱- معرفی متغیرها و شاخص‌های پژوهش

آلاینده‌های مورد بررسی در این تحقیق نیز شامل پنج آلاینده اصلی NO_2 ، O_3 ، CO ، SO_2 و PM_{10} است. جهت استخراج داده‌های مربوط به شاخص‌های الگوی کاربری اراضی در هر بافر از نرم افزارهای Arc gis10 و Fragstats 4.1 استفاده شده است. در نرم افزار fragstats شاخص‌های مربوط به الگوی کاربری اراضی تحت عنوان شاخص ارائه شده و در سه سطح قطعه^۱، طبقه^۲ و سرزمین^۳ محاسبه می شود. در این تحقیق با توجه به هدف مطالعه برخی از شاخص‌های طبقه و سرزمین مورد استفاده قرار گرفته اند. در جدول شماره یک شاخص‌های مورد بررسی نشان داده شده اند، در این جدول علاوه بر شاخص طبقه و سرزمین، سایر شاخص‌های مربوط به الگوی کاربری اراضی مثل طول معابر (به تفکیک نوع) و درصد فضاهای باز نیز آمده است.



تصویر ۲- سیستم بافرینگ مورد استفاده در روش LUR

در این تکنیک در اطراف ایستگاه سنجش آلودگی بافرهایی به شعاع‌های مختلف (از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) ایجاد شده و اطلاعات مربوط به الگوی کاربری اراضی در هر بافر استخراج شده و در بررسی روابط همبستگی با تمرکز آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می گیرد.

اگر چه تمام ایستگاههای سنجش آلودگی این تحقیق در داخل مرزهای شهر تهران واقع شده اند، تمرکز ثبت شده آلاینده‌ها در هریک از این ایستگاهها در مقایسه با ایستگاههای دیگر متفاوت است که دلیل آن تغییرات در شدت انتشار ترافیک و کاربریهای اراضی داخل بافرها می باشد. برای آشکار سازی تأثیرات کاربری اراضی بر روی تمرکز آلاینده، روابط همبستگی پیرسون پنج آلاینده بطور مجزا با طول شبکه معابر، درصد فضاهای باز و همچنین شاخص‌های الگوی کاربری اراضی به تفکیک هر بافر محاسبه گردیده است. ضریب همبستگی پیرسون که به نام‌های ضریب همبستگی گشتاوری و یا ضریب همبستگی مرتبه ی صفر نیز نامیده می شود، توسط سرکارل پیرسون معرفی شده است. این ضریب به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه ی بین

1 - Patch

2 - Class

3 - Landscape

جدول ۱- شاخص‌های الگوی کاربری اراضی

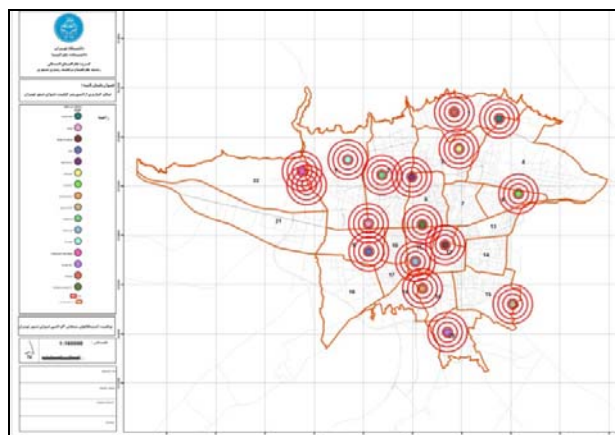
شاخصها		
شاخص‌های طبقه	شاخص‌های سرزمین	سایر شاخص‌ها
PLAND: سهم هر طبقه (کاربری) از سرزمین	IJI: شاخص پراکندگی و کنارهم قرارگیری	طول معابر محلی
	PLADJ: درصد مجاورتهای مشابه	طول معابر جمع و پخش کننده
	AI: شاخص تجمع	طول معابر شریانی درجه دو
	NP: تعداد قطعات	طول معابر شریانی درجه یک
	PD: تراکم قطعات	درصد فضای باز
	PR: تعداد طبقات موجود در سرزمین	
	PRD: تراکم طبقات موجود در سرزمین	
	SHDI: شاخص تنوع شانون	
	SIDI: شاخص تنوع سیمپسون	
	MSIDI: شاخص تغییر یافته تنوع سیمپسون	
	SHEI: شاخص یکنواختی شانون	
	SIEI: شاخص یکنواختی سیمپسون	
	MSIEI: شاخص تغییر یافته یکنواختی سیمپسون	

ماخذ: شاخص‌های مورد بررسی بر گرفته از (McGarigal, K., and B.J. Marks.,2012)

۸-۱- محدوده و قلمرو پژوهش،

ایستگاههای سنجش آلاینده‌ها در سال ۲۰۱۰ که تحت نظر دو سازمان (شهرداری تهران و اداره کل محیط زیست استان تهران) بوده اند، ۱۶ ایستگاه با توجه به کامل بودن داده‌ها و همچنین پوشش فضایی سطح شهر انتخاب گردیده اند که نقشه زیر نشان دهنده موقعیت این ایستگاهها می باشد.

محدوده مورد بررسی این تحقیق محدوده شهر تهران و ایستگاههای سنجش آلاینده واقع در این محدوده می باشد. از نظر زمانی نیز سال ۲۰۱۰ میلادی بعنوان محدوده زمانی مطالعه انتخاب گردیده که علت انتخاب آن کامل بودن داده‌های ایستگاههای سنجش آلودگی مورد مطالعه در این سال است. البته از بین



نقشه شماره ۱- موقعیت ایستگاههای سنجش آلودگی مورد مطالعه و بافرهای اطراف آن (۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) (ماخذ: مرکز

مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران)

۲- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

عوامل مختلف مانند منابع آلاینده ثابت و متحرک و شرایط آب و هواشناسی، تمرکز آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های سنجش واقع در شهر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. منابع انتشار شامل تمام خطوط شبکه‌های حمل و نقل و منابع ثابت صنعتی، تجاری و مسکونی می‌باشد. فضاهای سبز می‌تواند نقشی دوگانه در کیفیت هوای شهر داشته باشند، هم بعنوان تولید کننده ترکیبات آلی فرار بیوژنیک (VOCs) و هم بعنوان فیلتر آلاینده‌ها. علاوه بر این محیط شهر در معرض آلاینده‌هایی که منشا خارج از شهر دارند نیز قرار

دارد، بنابراین در مطالعات مدلسازی مربوط به کیفیت هوای شهر عوامل اصلی زیر مشخص گردیده اند: (Kim,2010)

i: ایستگاه سنجش آلودگی (1-n)

l: خطوط حمل و نقل (1-l)

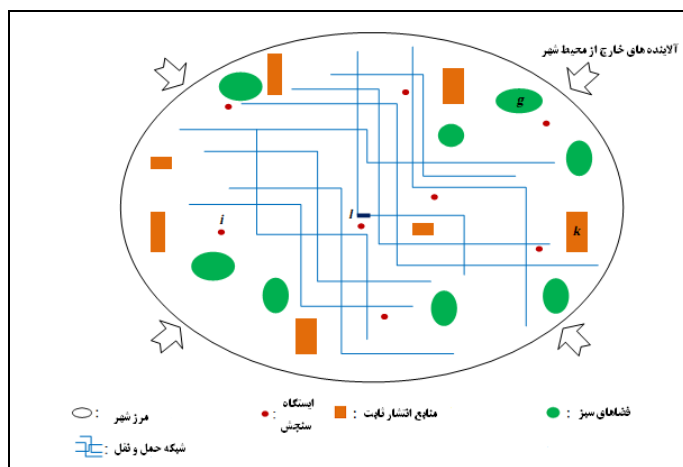
k: منبع آلودگی ثابت (1-k)

P: آلاینده (1-p)

G: فضای سبز (1-g)

t: زمان (1-t)

M: عوامل هواشناسی (1-m)







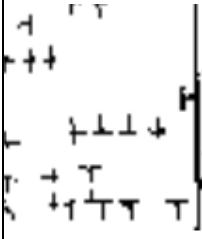
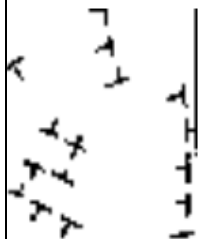
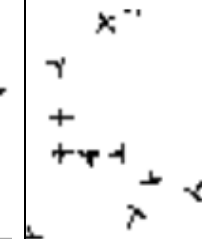
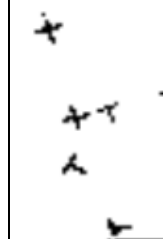


تصویر ۳- سیستم عمومی کیفیت هوای شهر ماخذ (Kim,2010)

حمل و نقل شهری تحت تاثیر الگوی کاربری اراضی اطراف این شبکه‌ها و یا به عبارت دیگر پهنه‌های تولید کننده و جذب سفر، طول شبکه و الگوی شبکه می‌باشد. الگوی شبکه معابر نشانگر فرم و شکل شبکه است و حجم ترافیک شبکه‌ها را از طریق تاثیر بر انتخاب نوع سفر (اتومبیل شخصی، پیاده، دوچرخه و...) تحت تاثیر قرار می‌دهد. (جدول ۱)

خطوط حمل و نقل: یکی از مهمترین منابع آلودگی در فضای شهرها شبکه‌های حمل و نقل می‌باشد. طراحی این شبکه‌ها در فرآیند طراحی الگوهای کاربری اراضی شکل می‌گیرد. از مهمترین شاخصهای شبکه حمل و نقل که می‌تواند انتشار آلاینده‌ها را تحت تاثیر قرار دهد می‌توان به حجم ترافیک اشاره داشت. حجم ترافیک در شبکه‌های

جدول ۲- مقایسه الگوی شبکه معابر

الگوی شبکه معابر	Gridiron	Fragmented Parallel	Warped Parallel	Loops and Lollipops	Lollipops on a Stick
					الگوی شبکه معابر
					تقاطع‌ها
۲۰۸۰۰	۱۹۰۰۰	۱۶۵۰۰	۱۵۳۰۰	۱۵۶۰۰	طول شبکه
۲۸	۱۹	۱۴	۱۲	۸	تعداد بلوکها
۲۶	۲۲	۱۴	۱۲	۸	تعداد تقاطع‌ها
۱۹	۱۰	۷	۶	۴	تعداد نقاط دسترسی
۰	۱	۲	۸	۲۴	تعداد بن بست‌ها و لوپها

ماخذ: Southworth, M. and P. Owens. ۱۹۹۳.

شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران،
(<http://air.tehran.ir>)

مونوکسید نیتروژن (NO) از فرآیند احتراق نیتروژن (N₂) در دمای بالا مانند احتراق داخلی موتورها حاصل می‌شود و دی‌اکسید نیتروژن (NO₂) نیز از موتورهایی که حاوی بیش از ۹۰ درصد دی‌اکسید نیتروژن می‌باشند آزاد می‌گردد. از آنجایی که وسایل نقلیه مهمترین منبع انتشار NO_xها در مناطق شهری می‌باشند، منطقی است که انتظار داشته باشیم ایستگاههای کنار معابر اصلی تمرکز بالایی از NO₂

نقش شبکه معابر در تمرکز آلاینده‌ها را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

- اکسیدهای نیتروژن (NO و NO₂)

عمده ترین منبع افزایش اکسیدهای نیتروژن در هوای شهرها منابع متحرک (وسایل نقلیه) می‌باشند. (US EPA, 2000). بر اساس آمار منتشر شده توسط شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران، در سال ۱۳۸۹، منابع متحرک عامل ۷۱ درصد از اکسیدهای نیتروژن موجود در جو شهر تهران بوده است. (سایت

به تیتراسیون ازن معروف است. (Yarwood, Grant,)
(Koo and Dunker, 2008)



از آنجا که معابر اصلی با ترافیک بالا منبع اصلی تولید NO، NO₂ و CO هستند، کاهش O₃ طی روزهای پرتراфик در کنار این معابر امری قابل پیش بینی می باشد.

- دی اکسید سولفور (SO₂)

از زمانی که بنزین‌ها سولفور زدایی می شوند، خودروهای دیزلی تنها منبع انتشار SO₂ در حوزه حمل و نقل می باشند، این حوزه نزدیک به ۵ درصد از انتشار SO₂ را عهده دار است.

- ذرات معلق (PM):

اصلی ترین منبع انتشار PMها در مناطق شهری وسایل نقلیه دیزلی است. با پیشرفتهای حاصل در تکنولوژی تبدیل کاتالیزوری، وسایل نقلیه گازوئیلی مجهز به این مدلها PM کمتری نسبت به وسایل فاقد این مدلها منتشر می کند. بنابراین دوده‌های کربنی که بطور مستقیم از وسایل نقلیه دیزلی منتشر می شوند، ذراتی که از جاده‌ها و معابر منتشر می شوند و ذرات اسیدی ثانویه مهمترین منبع PM در مناطق اطراف معابر شهری می باشد.

منابع آلودگی ثابت: منابع آلودگی ثابت از دیدگاه کاربری اراضی شهری شامل کاربریهایی مثل صنعتی- کارگاهی، مسکونی، تجاری، اداری و... هستند که از نظر مکانی ثابت بوده و تولید کننده آلاینده‌ها می باشد. شدت و ضعف تولید آلاینده‌ها از این منابع وابستگی زیادی به شرایط اقتصادی- اجتماعی و محیط طبیعی دارد. الگوی کاربری اراضی از دو طریق بر انتشار و تمرکز آلاینده‌ها موثر می باشد: ۱- از

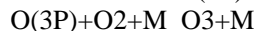
را در مقایسه با ایستگاههای دیگر به ثبت رسانده باشند. (Pandy, et.al., 2008)

- مونوکسید کربن (CO)

بر اساس تحقیقات انجام شده در ۲۸ کشور اتحادیه اروپا حمل و نقل جاده ای عامل ۵۶ درصد مونوکسید کربن موجود در جو این کشورها می باشد (CORINAIR, 2003)، بنابر این میزان انتشار این آلاینده در نواحی شهری پرتراکم در مقایسه با نواحی روستایی و حومه‌های کم تراکم خیلی زیاد تر است. از مهمترین واکنشهای مونوکسید کربن در طی روز و اطراف معابر پرتراфик، با رادیکال OH و NO می باشد که این واکنش باعث بوجود آمدن ازن (O₃) گردیده و میزان CO را کاهش می دهد.

- ازن (O₃)

ازن یکی از آلاینده‌های ثانویه است که در محیط‌های شهری از طریق واکنشهای شیمیایی بوجود می آید. مهمترین واکنشی که منجر به تولید این آلاینده می گردد، ترکیب O(3P) با O₂ است.



در این فرآیند ابتدا تفکیک نوری NO₂ با اشعه ماورا بنفش و ساخت دوباره NO و حال پایه اتم اکسیژن O(3P) در طول روز صورت گرفته و سپس اتم اکسیژن که در فرآیند فتولیز بوجود آمده با اکسیژن موجود واکنش نشان داده و تولید O₃ می نماید. دامنه طول امواج اشعه ماورا بنفش در فرآیند فتولیز بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر (DERWENT & HERTEL 1998) و ۲۸۰ تا ۴۳۰ نانومتر (SEINFELD, 1989) شناسایی شده است.

هنگامی که تشکیل ازن به پایان می رسد، باز تولید NO₂ از طریق واکنش NO با O₃ روی می دهد که

نقش فیلتر برای آلاینده‌ها داشته و از سوی دیگر با انتشار (VOCs) تمرکز برخی از آلاینده‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند به عنوان نمونه در فصول رشد (بهار و تابستان)، گیاهان هیدروکربن‌های با واکنش پذیری بالا شامل ایزوپرن (C5H8) و آلفا-پینن (C10H16) منتشر می‌کنند. از آنجایی که VOCs‌های بیوژنیک (BVOC) به حرارت حساس هستند، افزایش انتشار BVOCها همراه با حرارت بالا منجر به افزایش تولید O3 می‌گردد. (Sanderson et al., 2003)

عوامل هواشناسی مثل دما، رطوبت، فشار و باد نیز نقش مهمی در تمرکز آلاینده‌ها بر عهده دارند که در کنار عوامل دیگر کیفیت هوای شهر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این عوامل با فراهم کردن یا تحدید شرایط برای واکنش‌های شیمیایی و همچنین تمرکز و پخش آلاینده‌ها، میزان آلاینده‌های موجود در هوای شهر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در پایان بحث جهت نشان دادن تاثیرات عناصر الگوی کاربری اراضی بر آلاینده‌های مورد مطالعه جدول زیر ارائه گردیده است:

طریق تاثیر بر ترکیب کاربریهای یک ناحیه (درصد کاربریهای آلاینده) ۲- از طریق تاثیر بر جریانهای ترافیک (تولید و جذب سفرهای شهری) و به دنبال آن تولید آلاینده‌های ناشی از ترافیک تاثیر کاربریهای اراضی بر تمرکز آلاینده‌ها را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

کاربریهای مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی به دلیل مصرف سوختهای فسیلی جهت اموری مثل گرمایش و پخت و پز تولید کننده آلاینده‌های CO، NO و NO2 هستند که در فصول سرد سال شدت بیشتری دارد. در ضمن تاثیر 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 تاسیسات و تجهیزات به دلیل مصرف سوختهای فسیلی تولید کننده آلاینده های CO، NO، NO2، SO2 و PM می‌باشند. در ضمن تاثیر این کاربریها در طی روز و روزهای کاری هفته بیشتر از زمانهای دیگر است.

فضاهای سبز: همانطور که گفته شد فضاهای سبز نقش دوگانه در تمرکز آلاینده‌ها دارد. از یک طرف

جدول ۳- تاثیرات عناصر الگوی کاربری اراضی بر آلاینده‌های مورد مطالعه

تاثیر زمان	کاربری صنعتی- کارگاهی	کاربری تجاری، اداری، آموزشی و..	کاربری مسکونی	ترافیک در معابر اصلی	
افزایش در طول روز و کاهش در طول شب، افزایش در روزهای کاری هفته و کاهش در روزهای تعطیل،	تولید آلاینده توسط واحدهای صنعتی و کارگاهی	تولید آلاینده توسط واحدهای تجاری، اداری، آموزشی و..	تولید آلاینده توسط واحدهای مسکونی،	تولید آلاینده توسط وسایل نقلیه، تیتراسیون ازن (O3) و تولید NO2	NO2
افزایش در طول روز و کاهش در طول شب، افزایش در روزهای کاری هفته و کاهش در	تولید آلاینده توسط واحدهای صنعتی و کارگاهی	تولید آلاینده توسط واحدهای تجاری، اداری، آموزشی و..	تولید آلاینده توسط واحدهای مسکونی	تولید آلاینده توسط وسایل نقلیه	CO

روزهای تعطیل،					
افزایش در طول روز و کاهش در طول شب، افزایش در روزهای کاری هفته و کاهش در روزهای تعطیل،	تولید آلاینده توسط واحدهای صنعتی و کارگاهی			تولید آلاینده توسط وسایل نقلیه دیزلی	SO ₂
کاهش در طول روز و افزایش در طول شب، کاهش در روزهای کاری هفته و افزایش در روزهای تعطیل،	تولید ازن توسط فتولیز NO ₂ و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون، تولید ازن توسط واکنش CO با OH و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون	تولید ازن توسط فتولیز NO ₂ و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون، تولید ازن توسط واکنش CO با OH و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون	تولید ازن توسط فتولیز NO ₂ و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون، تولید ازن توسط واکنش CO با OH و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون	تولید ازن توسط فتولیز NO ₂ و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون، تولید ازن توسط واکنش CO با OH و از بین رفتن آن توسط تیتراسیون	O ₃
افزایش در طول روز و کاهش در طول شب، افزایش در روزهای کاری هفته و کاهش در روزهای تعطیل،	تولید آلاینده توسط واحدهای صنعتی و کارگاهی			تولید آلاینده توسط وسایل نقلیه دیزلی، گردو خاکهای بلند شده از معابر توسط وسایل نقلیه	PM ₁₀

ماخذ: مطالعات نگارنده

تعداد کاربری‌های موجود در بافر) و تمرکز آلاینده NO₂ با ضریب همبستگی $R = -0.689$ (معنی داری در سطح ۵ درصد) دارد. این ضریب بیانگر این است که با افزایش تعداد کاربری‌های موجود در بافر ۵۰۰ متری تمرکز آلاینده NO₂ کاهش می‌یابد و برعکس. به عبارتی با بالا رفتن درجه اختلاط کاربری‌ها که یکی از شاخصهای مهم و تأثیرگذار بر جریانهای ترافیکی (تولید و جذب سفر) می‌باشد، میزان انتشار NO₂ کاهش می‌یابد.

این آلاینده بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص IJI ($R = -0.353$) داشته است، که نشانگر کاهش میزان تمرکز CO با افزایش شاخص IJI می‌باشد. شاخص IJI نیز نشان دهنده اختلاط و

۳- کاربرد روش‌ها، تکنیک‌ها، بحث، بررسی و تجزیه و تحلیل فرضیه‌ها و سوال‌ها با استفاده از روش‌های کمی و کیفی

پس از استخراج متغیرهای مورد نظر، این داده‌ها با استفاده از نرم افزار spss21 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. با توجه به گسترده بودن حجم خروجی‌های تحقیق، نتایج آن به تفکیک بافرهای تعریف شده مورد بررسی قرار گرفته است:

۱- بافر ۵۰۰ متری

در بافر ۵۰۰ متری بررسی روابط میان متغیرهای مورد بررسی نشان دهنده نتایج زیر می‌باشد:

NO₂: بالاترین ضریب همبستگی در این بافر اختصاص به رابطه میان شاخص PR (نشان دهنده

محدوده گردیده و شدت انتشار و تمرکز PM10 را کاهش می‌دهد.

SO₂: با شاخص PLADJ و ضریب همبستگی $R = -0.299$ ، که نشانگر افزایش تمرکز SO₂ با افزایش مجاورت کاربری‌های همسان و مشابه می‌باشد. به عبارتی وقتی که میزان مجاورت و کنار هم قرار گیری کاربریها در یک محدوده افزایش می‌یابد، تمرکز SO₂ کاهش می‌یابد. مجاورت کاربریها در یک محدوده نیز بیانگر درجه اختلاط کاربریها است و هر چقدر افزایش یابد، باعث کاهش سفرهای درون محدوده گردیده و شدت انتشار و تمرکز SO₂ را کاهش می‌دهد.

روابط میان شاخص‌های طبقات و تمرکز آلاینده‌ها در بافر ۵۰۰ متری نیز الگوی متفاوتی را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که بالاترین ضریب همبستگی میان شاخص PLND معابر و آلاینده NO₂ با $R = 0.695$ (در سطح معنی داری ۵ درصد) مشاهده گردیده است که نشانگر این است که با افزایش سهم مساحت شبکه معابر در بافر ۵۰۰ متری میزان آلاینده NO₂ افزایش می‌یابد.

آلاینده CO: این آلاینده بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص PLAND شبکه معابر ($R = 0.509$) نشان داده است که بیانگر افزایش تمرکز CO با افزایش سهم مساحت شبکه معابر می‌باشد.

آلاینده O₃: این آلاینده بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص PLAND شبکه معابر ($R = -0.289$) نشان داده است که بیانگر کاهش تمرکز O₃ با افزایش سهم مساحت شبکه معابر می‌باشد. همانطور که در مطالعات مبانی نظری عنوان گردید در واکنش شیمیایی موسوم به تیتراسیون، O₃ حاصل از واکنش

ناهمگونی الگوی کاربری اراضی است و رابطه منفی این شاخص با تمرکز و انتشار CO همانطور که در مبانی تئوریک گفته شد، از طریق تاثیر اختلاط کاربریها بر کاهش جریانهای ترافیکی در این بافر و کاهش انتشار CO از طریق وسایل نقلیه می‌باشد.

O₃: این آلاینده در بافر ۵۰۰ متری بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص AI ($R = 0.336$) داشته است، که نشانگر افزایش میزان تمرکز O₃ با افزایش شاخص AI می‌باشد. شاخص AI یکی از شاخصهای الگوی کاربری اراضی است که نشان دهنده مجاورت بین کاربریهای یکسان می‌باشد و هر گاه محدوده از یک کاربری تشکیل شده باشد، میزان آن افزایش می‌یابد. رابطه همبستگی مثبت میان این شاخص و تمرکز O₃ بیانگر این است احتمال تمرکز O₃ در محدوده‌هایی که از یک کاربری خاص تشکیل شده باشند و به دور از معابر اصلی قرار داشته باشند، بیشتر است. دلیل این امر را می‌توان در تشکیل O₃ از طریق فرآیند فتولیز NO₂ و تیتراسیون کند تر O₃ در این محدوده‌ها به دلیل کمتر بودن میزان NO جستجو نمود.

PM10: بالاترین رابطه همبستگی این آلاینده در بافر ۵۰۰ متری با شاخص PLADJ ($R = -0.304$) می‌باشد، که نشانگر افزایش تمرکز PM10 با افزایش مجاورت کاربری‌های همسان و مشابه می‌باشد. به عبارتی وقتی که میزان مجاورت و کنار هم قرار گیری کاربریها در یک محدوده افزایش می‌یابد، تمرکز PM10 کاهش می‌یابد. مجاورت کاربریها در یک محدوده نیز بیانگر درجه اختلاط کاربریها است و هر چقدر افزایش یابد، باعث کاهش سفرهای درون

این شاخص بر تمرکز آلاینده‌های فوق است. همانطور که در بخش‌های قبلی نیز ذکر گردید، وسایل نقلیه عامل اصلی برای تمرکز آلاینده‌های NO_2 ، CO ، SO_2 و PM_{10} می باشد. آلاینده O_3 به دلیل نوع شکل گیری و واکنش‌های متفاوت نسبت به سایر آلاینده‌ها بالاترین ضریب همبستگی را با معابر جمع و پخش کننده دارد. (با ضریب $R=0.432$). بر اساس مطالعات نظری انجام شده در تحقیق، O_3 مناطق حاشیه معابر اصلی پرتراфик به دلیل انتشار NO فراوان با سرعت زیادتری از بین رفته (توسط واکنش تیتراسیون) و تمرکز کمتری نسبت به حاشیه معابر با تراфик کمتر دارند.

فضاهای باز که در برگیرنده فضاهای سبز طبیعی، مصنوعی و سایر فضاهای باز می باشد همبستگی منفی (معناداری در سطح ۵ درصد) با تمرکز آلاینده‌ها بویژه NO_2 و CO به ترتیب با ضرایب $R=-0.525$ و $R=-0.551$ را تجربه نموده است. در خصوص سایر آلاینده‌ها ضرایب همبستگی ضعیف می باشد. (کمتر از ۰.۲). همانطور که در مباحث نظری اشاره گردید، فضاهای سبز نقش دوگانه در تمرکز آلاینده‌های شهری دارند، از یک طرف به عنوان تولید کننده مواد آلی بیوژنیک و از سوی دیگر به عنوان فیلترهای تصفیه کننده آلاینده‌ها.

بافر ۱۰۰۰ متر: در بافر ۱۰۰۰ متری بررسی ضرایب همبستگی نشان دهنده شرایط متفاوت تری نسبت به بافر ۵۰۰ متری می باشد، به گونه ای که در این بافر ارتباط میان شاخص $SHDI$ (شاخص تنوع شانون) و میانگین تمرکز سالیانه NO_2 با ضریب همبستگی $R=0.796$ (در سطح معنی داری ۵ درصد)، بیشترین میزان را به خود اختصاص داده، وضعیت ارتباط میان

فتوشیمیایی نور خورشید و NO_2 با NO حاصل از سوخت وسایل نقلیه واکنش نشان داده و منجر به از بین رفتن O_3 و تشکیل NO_2 می گردد. به دلیل اینکه بیشترین میزان NO از طریق وسایل نقلیه انتشار می یابد، در کنار معابر و بویژه معابر اصلی تمرکز این آلاینده بیشتر بوده و واکنش تیتراسیون سرعت بیشتری به خود گرفته و باعث کاهش تمرکز O_3 در این مناطق می گردد.

آلاینده PM_{10} : این آلاینده بالاترین شاخص همبستگی را با شاخص $PLAND$ شبکه معابر ($R=0.398$) نشان داده است که بیانگر افزایش تمرکز PM_{10} با افزایش سهم مساحت کاربری‌های شبکه معابر می باشد.

آلاینده SO_2 : این آلاینده نیز بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص $PLAND$ شبکه معابر (تمرکز SO_2 با افزایش سهم کاربری شبکه معابر می باشد. $R=0.275$) را نشان داده است، که بیانگر افزایش

آخرین ضرایب همبستگی محاسبه شده در بافر ۵۰۰ متری، مربوط به شاخص‌های طول شبکه معابر و درصد فضای باز می باشد که نتایج آزمون همبستگی بین این شاخص‌ها و تمرکز آلاینده‌ها نشان دهنده موارد زیر می باشد:

در خصوص شاخص طول شبکه معابر بالاترین ضریب همبستگی میان آلاینده‌ها و سلسله مراتب معابر، مربوط به معابر شریانی درجه یک با ضریب $R=0.79$ برای NO_2 (در سطح معنی داری ۵ درصد)، $R=0.654$ برای CO (در سطح معنی داری ۵ درصد)، $R=0.421$ برای PM_{10} و $R=0.350$ برای SO_2 می باشد، که نشان دهنده تاثیر مثبت و معنی دار

سایر آلاینده‌ها و شاخص‌های سرزمین و طبقات در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۴- ضریب همبستگی میان شاخص‌های سرزمین و تمرکز آلاینده‌ها در بافر ۱۰۰۰ متری

شاخص	ضریب همبستگی	
SHDI	0.696 (معنی داری در سطح ۵ درصد)	آلاینده NO2
IJI	0.522 (معنی داری در سطح ۵ درصد)	آلاینده CO
AI	-0.215	آلاینده O3
PLADJ	-0.386	آلاینده PM10
PLADJ	-0.313	آلاینده SO2

ماخذ: مطالعات نگارنده

آلاینده NO₂، بالاترین ضریب همبستگی (در سطح معنی داری ۵ درصد) را با شاخص PLAND معابر (R= ۰.۷۱۴) داشته است، تمرکز آلاینده CO نیز با سطح معنی داری ۵ درصد و ضریب R= ۰.۵۲۰ با شاخص PLAND معابر در ارتباط بوده است. رابطه همبستگی میان سایر آلاینده‌ها و شاخص‌های طبقات در جدول زیر ارائه گردیده است.

همانطور که در جدول بالا مشاهده می‌گردد، در این بافر ارتباط میان تمرکز آلاینده‌ها و شاخص‌های سرزمین به جز آلاینده NO₂ که با شاخص SHDI (شاخص تنوع شانون) داری ارتباط بوده، در سایر آلاینده‌ها به مانند بافر ۵۰۰ متری می‌باشد. اما میزان ضریب همبستگی در این بافر نسبت به بافر ۵۰۰ متری بهبود یافته است.

ارتباط میان شاخص‌های طبقات و تمرکز آلاینده‌ها نیز در بافر ۱۰۰۰ متری به صورت زیر بوده است:

جدول ۵- ضریب همبستگی میان شاخص‌های طبقات و تمرکز آلاینده‌ها در بافر ۱۰۰۰ متری

شاخص	ضریب همبستگی	
PLAND معابر	0.714 (معنی داری در سطح ۵ درصد)	آلاینده NO2
PLAND معابر	0.520 (معنی داری در سطح ۵ درصد)	آلاینده CO
PLAND معابر	0.312	آلاینده O3
PLAND معابر و صنعتی - کارگاهی	0.421	آلاینده PM10
PLAND معابر	0.318	آلاینده SO2

ماخذ: مطالعات نگارنده

بهبود ضریب آنها نسبت به بافر ۵۰۰ متری دارد. در این بافر NO₂ با ضریب R=۰.۸۱ (در سطح معنی

ارتباط میان آلاینده‌ها با شاخص‌های طول معابر و درصد فضای باز در بافر ۱۰۰۰ متری نیز حکایت از

در بافرهای ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متر ضرایب همبستگی میان تمرکز آلاینده‌ها به جز آلاینده PM10 نسبت به بافرهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری کاهش داشته است. علت افزایش ضریب همبستگی PM10 با الگوی کاربری اراضی و بویژه طول شبکه معابر شریانی درجه یک در بافرهای ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ متری (به ترتیب با ضرایب $R=0.541$ و $R=0.580$)، پایداری این آلاینده و تاثیر کم فاصله در کاهش آن می باشد که باعث گردیده تا منابع به دور از ایستگاه سنجش نیز در تمرکز این آلاینده نقش داشته باشند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

همانطور که در بخش قبل مشاهده گردید، آلاینده‌های مورد بررسی رفتار متفاوتی را نسبت به تغییرات الگوی کاربری اراضی در فواصل مختلف نشان می دهند. آلاینده NO2 که یکی از مهمترین آلاینده‌های شهری می باشد، عمدتاً بوسیله جریانهای ترافیکی (سوخت وسایل نقلیه) تولید می گردد. در بررسی‌های صورت گرفته، همبستگی این آلاینده با شاخص طول شبکه معابر و شاخص تنوع شانون (نشان دهنده تنوع در الگوی کاربری اراضی) بالا می باشد. در ضمن بالاترین همبستگی بین شاخص‌ها و شاخص‌های الگوی کاربری اراضی و این آلاینده در بافر ۱۰۰۰ متری مشاهده گردیده است و با دور شدن از ایستگاه سنجش این میزان کاهش می یابد که علت آن کاهش اثر این آلاینده با عامل فاصله^۱ از منابع تولید می باشد.

آلاینده CO نیز رفتاری مشابه آلاینده NO2 داشته است. بر اساس بررسی‌های صورت پذیرفته بالاترین

داری ۱ درصد) با شبکه معابر شریانی درجه یک در ارتباط بوده است. میزان همبستگی این آلاینده با معابر درجات پایین تر به صورت زیر بوده است:

معابر شریانی درجه دو: $R=0.621$

معابر جمع و پخش کننده: $R=0.342$

معابر محلی: $R=0.14$

آلاینده CO نیز در این بافر همبستگی بالاتری را با معابر شریانی درجه یک در مقایسه با بافر ۵۰۰ متری نشان داده است. به گونه ای که رابطه همبستگی میان CO و این معابر $R=0.684$ بوده است. (در سطح معنی داری ۵ درصد). آلاینده‌های دیگر به جز PM10 نیز وضعیت مشابهی داشته اند و میزان ضرایب همبستگی آنها در این بافر نسبت به بافر ۵۰۰ متری افزایش یافته است. آلاینده O3 با ضریب همبستگی $R=0.660$ و آلاینده SO2 با ضریب همبستگی $R=0.360$ با معابر شریانی درجه یک در ارتباط بوده اند. برخلاف آلاینده‌های فوق ضریب همبستگی PM10 با معابر شریانی درجه یک در این بافر به $R=0.354$ کاهش یافته است. ضریب همبستگی میان آلاینده‌های PM10، SO2 و O3 با سایر معابر در این بافر نیز ضعیف می باشد.

در این بافر نیز ارتباط فضاهای باز با آلاینده‌های NO2 و CO همبستگی بالایی را نشان می دهد. به گونه ای که ضریب همبستگی میان NO2 با درصد فضاهای باز معادل $R=-0.520$ و ضریب همبستگی CO با درصد فضاهای باز $R=-0.571$ می باشد. (معناداری در سطح ۵ درصد)، ارتباط سایر آلاینده‌های با درصد فضاهای باز این بافر نیز ضعیف است.

¹ - Distance decay

تهران می‌توان گفت که الگوهای کاربری با تنوع کمتر و همچنین سهم بالاتر شبکه‌های معابر اصلی، آلودگی بیشتری را تولید خواهند نمود که اثبات فرضیات پژوهش را نیز بدنبال دارد.

۵- پیشنهادها و راهبردها

ارتباط میان فرم شهری و الگوهای کاربری اراضی با کیفیت هوای شهر و آلاینده‌ها بعنوان یک موضوع تحقیقاتی کاربردی نقش بسزایی در ایجاد چارچوب‌های زیست محیطی برای برنامه ریزی کاربری اراضی در طرح‌های شهری تهیه شده در سطح کشور دارد. با ایجاد ارتباط میان نتایج این تحقیقات و طرح‌های تهیه شده فرآیند بارگذاری عملکردی در شهرها و بویژه شهرهای بزرگ با توجه به پیامدهای زیست محیطی آن (در زمینه کیفیت هوا) صورت می‌پذیرد. البته در این خصوص هنوز کمبودهای اساسی وجود دارد که نیازمند پژوهش‌های بیشتر بویژه با اولویت شهرهای بزرگتر کشور که با مشکل آلودگی هوا روبه‌رو هستند می‌باشد. در پایان پیشنهادهای کاربردی که در راستای تحقیق حاضر می‌توان مطرح نمود به شرح زیر می‌باشد:

- تلفیق و هماهنگی برنامه ریزیهای مربوط به کاربری اراضی، حمل و نقل و کیفیت هوا بویژه در کلانشهرهای کشور

- توجه به مسائلی مثل ظرفیت بارگذاری عملکردی و ظرفیت شبکه‌های حمل و نقل شهری در برنامه ریزیهای توسعه کالبدی آینده در شهر تهران و کلان شهرهای دیگر کشور

- گنجاندن بندهای مطالعاتی در خصوص بررسی رابطه میان برنامه ریزیهای کالبدی توسعه شهری و

میزان همبستگی این آلاینده نیز با طول معابر شریانی درجه یک مشاهده گردیده و با فاصله گرفتن از منابع تولید آلودگی میزان آن کاهش می‌یابد. در ضمن رابطه این آلاینده با درصد فضاهای باز در بافر ۱۰۰۰ متری ضریب بالایی را به خود اختصاص داده است که حکایت از تاثیر فضاهای باز و سبز در کاهش این آلاینده دارد.

آلاینده O3 به دلیل اینکه جزء آلاینده‌های ثانویه می‌باشد و طی واکنشهای شیمیایی بین سایر آلاینده‌ها و نورخورشید بوجود می‌آید رفتار متفاوتتری را نسبت به سایر آلاینده‌ها از خود نشان می‌دهد. به عنوان مثال بالاترین ضریب همبستگی میان این آلاینده با شاخص طول معابر جمع و پخش کننده مشاهده گردیده که علت آن وجود شرایط مساعد برای تمرکز آلاینده O3 در کنار این معابر (وجود NO2 و تیتراسیون کمتر) نسبت به معابر سطوح بالاتر است.

آلاینده SO2 نیز رفتاری مشابه آلاینده‌های NO2 و CO دارا می‌باشد، ولی میزان ضرایب همبستگی آن در مقایسه با دو آلاینده دیگر ضعیف تر است.

آلاینده PM10 با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی که دارا می‌باشد، رفتار متفاوتتری را نسبت به سایر آلاینده‌ها نشان می‌دهد. این آلاینده می‌تواند در فواصل دور جابجا گردیده و اثر عامل فاصله در کاهش این آلاینده خیلی کم می‌باشد. همانطور که در بررسی روابط این آلاینده اشاره شد، بالاترین ضریب همبستگی آن در فواصل دورتر و با معابر شریانی درجه یک و در فواصل نزدیک با درصد کاربریهای معابر و صنعتی-کارگاهی دیده شده است.

بعنوان یک نتیجه گیری کلی در خصوص ارتباط میان الگوی کاربری اراضی و توزیع آلاینده‌ها در شهر

- Borrego C., Martins H., Tchepel O., Salmim L., Monteiro A., Miranda A.I. (2006) How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. *Environmental Modelling & Software*. 21, 461-467.
- DeCorla-Souza, P. (1992). "The Impacts of Alternative Urban Development Patterns of Highway System Performance." Presented at ITE conference on Transportation Engineering in a New Era.
- EPA, (2001), EPA Guidance: Improving air quality through land use activities, TRAQ EPA's transportation air quality center <http://www.epa.gov/otaq/traq>
- Gwilliam, ken, kojima. Masami, Johnson, todd, (2004), Reducing air pollution from urban transport, world bank, www.worldbank.org
- Johnston, R.A., Rodier, C. J., Choy, M., and Abraham, J.E. (2000). Air Quality Impacts of Regional Land Use Policies. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Urban and Economic Development Division, Washington, DC
- Kim, Youngkook, (2010), Impacts of transportation, land use and meteorology on urban air quality, Jean-Michel Guldmann, Adviser, Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University
- Litman, Todd, (2008) Land Use Impacts on Transport: How land use factors affect travel behavior, Victoria Transport Policy Institute
- Marquez, Leorey O, Smith Narrida C; (1999) A framework for linking urban form and air quality, *Journal of Environmental Modeling & Software* 14, 541-548,
- McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel, and E. Ene. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- کیفیت هوای شهرها در شرح خدمات طرح‌های مطالعاتی و کالبدی توسعه شهری - استفاده از توان علمی جامعه برنامه ریزی شهری در جهت غنا بخشیدن به مباحث تئوریک و تجربی این مباحث در سطح کلان شهرهای کشور - تدوین ضوابط و مقررات توسعه کالبدی و برنامه ریزی کاربری اراضی شهر با توجه ویژه به کیفیت هوای شهر
- منابع**
- اداره کل محیط زیست استان تهران، (۱۳۸۹) داده‌های مربوط به ایستگاههای سنجش آلودگی شهر تهران
- بی همتا، محمد رضا، زارع چاهوکی، محمد علی، (۱۳۹۰) اصول آمار در علوم منابع طبیعی، انتشارات دانشگاه تهران، نوبت اول، تهران
- سایت شرکت کنترل کیفیت هوای تهران <http://air.tehran.ir>
- شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران، (۱۳۸۹) داده‌های مربوط به ایستگاههای سنجش آلودگی شهر تهران
- محمدی، اکبر، (۱۳۹۱)، تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت هوای شهر تهران، به راهنمایی دکتر مهدی قرخلو، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا (دفاع نشده)
- مرکز مطالعات برنامه ریزی شهر تهران، (۱۳۸۵) نقشه کاربری اراضی و معابر شهر تهران
- Apogee/Hagler Bailly. (1998) The Effects of Urban Form on Travel and Emissions: A Review and Synthesis of the Literature. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Urban and Economic Development Division, Washington, DC

- operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe
- US EPA,(2000) National air pollutant emission trends, 1900-1998 (EPA-454/R-00-002 ed.). Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards
- Derwent, R. G., & Hertel, O,(1989) Transformation of air pollutants. In J. Fenger, O. Hertel & F.Palmgren (Eds.), Urban air pollution: European aspects. Dordrecht; Boston: Kluwer AcademicPublishers
- Seinfeld, J. H,(1989) Urban air pollution: State of the science. Science, 243(4892), 745-752
- Yarwood, G., Grant, J., Koo, B., & Dunker, A. M. ,(2008) Modeling weekday to weekend changes in emissions and ozone in the Los Angeles basin for 1997 and 2010. Atmospheric Environment, 42(16), 3765-3779
- Sanderson, M. G., Jones, C. D., Collins, W. J., Johnson, C. E., & Derwent, R. G. ,(2003) Effect of climate change on isoprene emissions and surface ozone levels. Geophysical Research Letters, 30
- McGarigal, K., SA Cushman, and E Ene. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Newman, P., Kenworthy, J.,(1989). Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook. Avebury Technical, Great Britain
- Stone, Brian,(2008), urban sprawl and air quality in large us cities, journal of environmental management vol 86
- Southworth, M. and P. Owens. 1993. The Evolving Metropolis: Studies of Community, Neighborhood, and Street Form at the Urban Edge. Journal of the American Planning Association 59(3): 271-87.
- Pandey, S. K., Kim, K., Chung, S., Cho, S. -, Kim, M. -, & Shon, Z.,(2008) Long-term study of NOx behavior at urban roadside and background locations in Seoul, Korea. Atmospheric Environment, 42(4),607-622
- CORINAIR,(2003) Atmospheric emission inventory guidebook (3rd ed.) Co-