پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ٤٦، شمارهٔ ٢، تابستان ١٣٩٣
ص. ٤٢٦-٤١٥

مقایسهٔ تطبیقی توسعهٔ فضاهای زیرزمینی حمل و نقل عمومی به‌منزلهٔ ابزاری برای کاهش آلودگی هوا (مورد مطالعه: تهران و توکیو)

علی پورجعفر ـ دانشجوی کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس
محمدرضا بمانیان ـ دانشیار دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس
احسان رنجبر* ـ استادیار گروه شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس
محمدرضا پورجعفر، استاد دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ١٣٩٢/٠٢/١٠ تأیید نهایی: ١٣٩٢/٠٤/١٦

چکیده

اختصاص بیشتر معابر رو زمینی در شهر تهران به حمل و نقل خصوصی و عمومی با مصرف حجم بالای سوخت‌های فسیلی، موجب انتشار آلاینده‌هایی همچون منواکسید و ذرات معلق‌شده که پیامد آن، آلودگی خطرناک هوایی است که در تهران حکمفرما شده و مشکلات عدیده‌ای مانند بیماری‌ها و مرگ‌ومیر شهروندان را از خود برجای گذاشته است، درحالیکه شهرهای بزرگی همچون توکیو کمتر با این مشکل روبه‌رو هستند. هدف پژوهش کاربردی پیش رو، بررسی فواید استفاده از فضاهای حمل و نقل زیرزمینی در راستای کمک به کاهش آلودگی هوای شهر تهران است. چگونگی تأثیر توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی بر کاهش آلودگی هوا در سطح شهر تهران، سؤال اصلی پژوهش را تشکیل می‌دهد. در این راستا با مطالعات توصیفی ـ تحلیلی و با مقایسهٔ تطبیقی اقدامات انجام شده در زمینهٔ توسعهٔ فضاهای زیرزمینی برای کاهش آلودگی هوا در شهر تهران و توکیو، به پرسش مورد نظر پاسخ داده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که کاهش زمان سفرها، مسافت جابه‌جایی‌های درون‌شهری، امکان بهبود وضعیت هوای موجود و در نتیجهٔ کاهش منواکسیدکربن، اکسیدهای ازت، هیدروکربن‌های نسوخته و ذرات معلق در هوا و تغییر نوع مصرف سوخت با هدف تأثیر مثبت بر کاهش آلودگی هوای شهر تهران، ازجمله محاسن توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی در این شهر شمرده می‌شوند. در پایان برای شهر بزرگ تهران با شرایط کنونی، معابر هم‌سطح و قیمت بالای اراضی و توسعهٔ حمل و نقل عمومی در سطوح زیرین با استفاده از سوخت‌های غیر فسیلی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، توکیو، تهران، حمل و نقل زیرزمینی، فضای شهری.

---

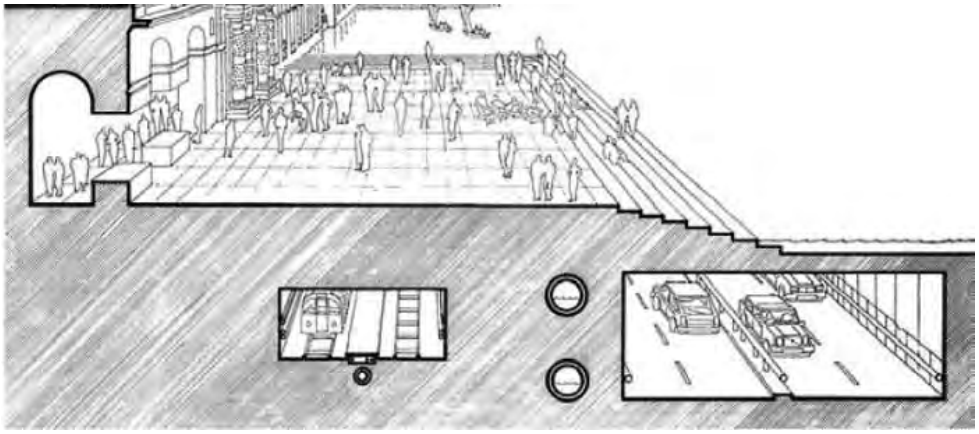
* نویسندهٔ مسئول: ٠٩١٢٨١٣٥٩٥٧
E-mail: e_ranjbar@modares.ac.ir

مقدمه

در کلانشهر تهران درصد بالایی از فضاهای روی زمین، محل آمدوشد وسایل نقلیهٔ عمومی و خصوصی است. حجم بالای ترافیک سواره در تهران، سبب طولانی‌تر شدن زمان سفرهای درون‌شهری و به‌دنبال آن، افزایش مصرف سوخت و آلاینده‌های موجود در هوای شهر شده است. رشد جمعیت و تراکم بالای آن در شهر تهران، به‌طور مداوم بر معضلات ترافیکی و آلودگی هوای تهران می‌افزاید و فضاهای شهری روزمینی تحت سلطهٔ وسایل نقلیه، به محیطی نامناسب برای زندگی تبدیل شده‌اند. چنین گرفتاری‌های محیط زیستی در کلانشهرهای جهان، همچون تهران، باعث شده مفاهیم و دیدگاه‌های جدیدی برای حل مشکلات توسعهٔ شهر ارائه شود. محیط زیست اکنون موضوعی جهانی است، در حالیکه قبلاً به این اندازه مورد توجه نبوده است. آلودگی هوا، گرم‌شدن هوا در سطح کرهٔ زمین و تأثیرات گلخانه‌ای، از بین رفتن فضاهای تفریحی و سطوح سبز، بخشی از مشکلاتی است که محیط زیست راه حل مناسب آن را طلب می‌کند. توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی، به‌ویژه حمل و نقل عمومی یکی از راهکارهای مناسبی است که می‌تواند در راستای بهبود آلودگی هوای کلانشهر تهران، مورد توجه قرار گیرد. در این نوشتار ضمن آشنایی با ویژگی‌ها و فواید فضاهای حمل و نقل زیرزمینی، چگونگی تأثیر توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی بر کاهش آلودگی هوا بررسی خواهد شد.

مبانی نظری

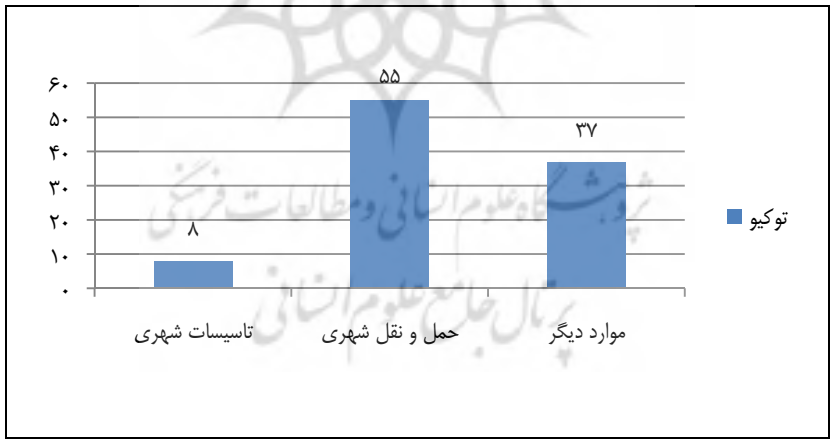
در گذشته فضاهای زیرزمینی مانند، اماکن زیرزمینی، شودان‌ها، آب‌انبارها، سرداب‌ها، راه‌های ارتباطی زیرزمینی و... کاربرد فراوانی داشته‌اند. اغلب این فضاها با توجه به نیاز مردم به امنیت و ایمنی، نوع اقلیم و مسائل اعتقادی ایجاد می‌شده‌اند. در دوران معاصر نیز با توجه به رشد چشمگیر جمعیت شهرها و گسترش شهرها در سطح، فضاهای زیرزمینی می‌توانند ضمن پاسخگویی به نیازهای امروزی شهر و شهروندان، راهکار مناسبی برای مشکلات شهرسازی کنونی باشند. فضاهای زیرزمینی شهرها دارای کاربردهایی چون، انبار برای نگهداری (مانند غذا، آب، نفت، کالاهای صنعتی، ضایعات)، فضاهایی برای تأسیسات صنعتی و نیازهایی مانند: نیروگاه‌ها، خدمات رفاهی و ارتباطات (مانند آب، فاضلاب، گاز، کابل‌های الکترسیته)، کاربرد عمومی (مانند مراکز خرید، بیمارستان‌ها، ساختارهای دفاع غیر نظامی)، استفاده‌های خصوصی (مانند: پارکینگ خودرو) هستند (کریمی‌مشاور و نگین‌تاجی، ۱۳۸۹). از دیگر کاربردهای مهم فضاهای زیرزمینی حمل و نقل سواره است. فضاهای زیرزمینی شهری می‌توانند کاربران خاص خود را داشته باشند. کاربران خاص هر فضا بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی فضا مشخص می‌شوند. این نوع فضاها می‌توانند برای بخش‌هایی مانند حمل و نقل مزایا و امتیازهای فراوانی را دربرداشته باشند (کریمی‌مشاور و نگین تاجی، ۱۳۸۹). از آنجا که فضاهای حمل و نقل زیرزمینی یا تونل‌ها خطی هستند، با حمل و نقل که نوعی فعالیت خطی به‌شمار می‌رود، همخوانی دارند. به‌علاوه، در این‌گونه فضاها حمل و نقل دارای ایمنی و ظرفیت بیشتری است (دابینسون و بوون، ۱۹۹۷: ۲۳). این‌گونه فضاها به دو بخش عمدهٔ خطوط ریلی و جاده‌ها اختصاص می‌یابند (شکل ۱).



شکل ۱. خطوط ریلی و جاده‌های زیرزمینی

منبع: آدمیرال و دیگران، ۲۰۰۹

در اکثر شهرهای توسعه‌یافته‌ای چون توکیو، بیشترین مساحت فضاهای زیرزمینی به حمل و نقل عمومی اختصاص یافته است. آمار ارائه‌شده در شکل ۲، نشان می‌دهد که در توکیو ۵۵ درصد فضاهای زیرزمینی به حمل و نقل، ۸ درصد به تأسیسات و ۳۷ درصد به دیگر عملکردها اختصاص یافته است. اختصاص بیشترین سهم فضاهای زیرزمینی به موضوع حمل و نقل، نشان از توجه ویژه دست‌اندرکاران شهر توکیو به موضوع مذکور است.



شکل ۲. کاربرد فضای زیرزمینی شهری بر حسب کارکرد

منبع: کریمی‌مشاور و نگین‌تاجی، ۱۳۸۹

عدم توجه به مصرف صحیح سوخت و برنامه‌ریزی و طراحی صرف برای خودرو و نه عابر پیاده و به‌تبع آن، تغییر فرهنگ مردم از پیاده‌محوری به سواره‌محوری، سبب شد تا فضاهای شهری، به‌خصوص مراکز و میادین مهم شهر تهران (مانند میدان تجریش، قدس و اقدسیه)، از کربن و سایر آلاینده‌های دیگر انباشته شوند که این آلودگی‌ها بر روح و روان شهروندان تأثیرات منفی می‌گذارد. عابران پیاده در خیابان‌ها، نه‌تنها ایمنی جانی ندارند، بلکه از ابعاد روحی و روانی نیز در امان نیستند. به این ترتیب شهروندان فضاهای شهری را، نه‌تنها محلی برای استراحت، تفکر و استفاده از اوقات فراغت

خود نمی‌بینند، بلکه برای فرار از آن گام برمی‌دارند (خسروی، ۱۳۹۰). برنامه‌ریزی برای خودرو همواره بر برنامه‌ریزی‌های مختص به انسان مقدم بوده است. درنتیجه هجوم انبوه خودرو با گذر زمان، پیاده‌ها را به عقب‌نشینی واداشته و آنان را بـه خانه‌ها یا فضاهای بسته تبعید کرده است (فرزبود، ۱۳۸۵: ۱). این در حالیست که در شهرهایی همچون تهـران، چنانچـه جریان هوا وجود نداشته باشد، به‌دلیل کم‌توجهی به توسعهٔ فضاهای زیرزمینی برای حمل و نقل عمـومی (ماننـد متـرو) و استفادهٔ بیش از حد خودروی شخصی و سوخت‌های فسیلی در معابر هم سطح، مقدار آلودگی از سطح هشـدار و وضـعیت اضطرار فراتر می‌رود.

روش پژوهش

روش به‌کار رفته در این پژوهش توصیفی ـ تحلیلی است و شهرهای توکیو و تهران نمونه‌های مورد بررسی در نظر گرفته شده‌اند. در این راستا تلاش شده است با مقایسهٔ تطبیقی مقادیر آلاینده‌ها و اقدامات انجام‌شده در زمینهٔ توسـعه فضـاهای حمل و نقل زیرزمینی برای کاهش آلودگی هوای شهر تهران و توکیو، به پرسش اصلی پژوهش مبنی بـر اینکـه چگونـه توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی می‌تواند به کاهش آلودگی هوا در سطح شهر تهران منجر شود، پاسخ داده شود.

آلودگی هوا

آلودگی هوا ورود یک یا چند آلاینده به هوای آزاد یا تغییر در نسبت طبیعی اجزای آن است (جدول ۱)؛ به‌طوری که برای انسان یا سایر موجودات زنده زیان‌آور بوده، به آثار تاریخی و اموال آسیب برساند و راحتـی و امنیـت زنـدگی انسـان‌هـا را تهدید کند.[1]

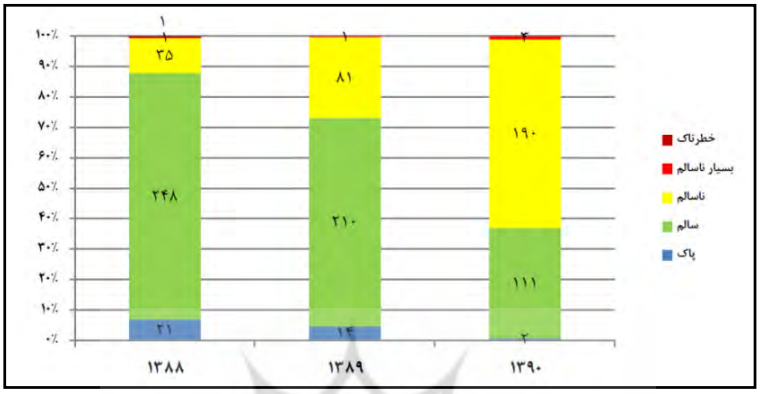
جدول ۱. مقایسهٔ ترکیب هوای پاک و آلوده

آلاینده	هوای پاک (ppm)	هوای آلوده (ppm)
دی اکسیدگوگرد	۰/۰۰۱ – ۰/۰۱	۰/۲ –۲
دی‌اکسیدکربن	۳۱۰ – ۳۳۰	۳۵۰ –۷۰۰
مونواکسیدکربن	< ۱	۵ –۲۰۰
اکسیدهای نیتروژن	۰/۰۰۱ – ۰/۰۱	۰/۰۱ –۰/۵
هیدروکربن‌ها	< ۱	۱ –۲۰
ذرات معلق ($\mu g/m^3$)	۱۰ –۲۰	۷۰ –۷۰۰

بر اساس گزارش‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهـران، هـوای ایـن شـهر در سـال‌هـای ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به‌ترتیب ۳۵، ۸۱ و ۱۹۰ روز وضعیت ناسالم داشته است. روند صعودی تعداد روزهای هوای ناسالم از ده ماه نخست سـال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰، نشان‌دهندهٔ کاهش تدریجی کیفیت هوای تهران و افزایش آلودگی هوا است (شکل ۳).

1. http://air.tehran.ir

آلودگی هوا در کلانشهرها از دو منبع طبیعی و مصنوعی حاصل می‌شود. منابع مصنوعی منابعی هستند که انسان به‌طور مستقیم در تولید آنها دخالت دارد و آنها را وارد طبیعت می‌کند. منابع مصنوعی نیز به دو زیرمجموعهٔ منابع ساکن و متحرک تقسیم‌بندی می‌شوند (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۱). بخش حمل و نقل از اصلی‌ترین منابع متحرک تولید آلودگی هواست که سهم بسزایی در آلودگی هوای کلانشهرها دارد.



شکل ۳. وضعیت الودگی هوای تهران در ده ماه اول طی سه سال (۱۳۹۰- ۱۳۸۸) [1]

سهم بخش حمل و نقل در آلودگی هوای تهران

آلودگی ناشی از بخش حمل و نقل، به‌دلیل توسعهٔ بی‌رویه و سریع و گاه برنامه‌ریزی و طراحی نامطلوب شهری، به‌اندازهٔ آلودگی صنعتی مهم بوده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آلودگی ناشی از وسایل نقلیهٔ موتوری به شکل گازهای خروجی از اگزوز، ذرات معلق، سروصدا و... است (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۱). این نوع آلودگی را می‌توان با اتخاذ روش‌های برنامه‌ریزی کشوری، منطقه‌ای و شهری مناسب، کنترل کرد و به حداقل رساند.

آلاینده‌ها

شریان‌های شهری با حجم ترافیک بالا و سطح سرویس پایین، افزایش زمان سفرهای درون‌شهری را به‌همراه خواهد داشت. به‌طور کلی زمان سفرهای درون‌شهری به دو دلیل افزایش می‌یابد. نخست؛ طولانی‌تر شدن مسافت و دوم؛ توقف‌های طولانی به‌سبب حجم بالای ترافیک.

آلاینده‌های هوای شهر تهران در معابر شهری از وسایل نقلیهٔ موتوری اعم از، خودروی شخصی، موتورسیکلت، کامیون، مینی‌بوس، اتوبوس، وانت‌بار و تاکسی ناشی می‌شود. مونواکسیدکربن (CO_2) و ذرات معلق (PM_{10}) دو آلایندهٔ اصلی شهر تهران شناخته شده‌اند (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۸۳).

شکل ۴ نشان‌دهندهٔ سهم چشمگیر منابع متحرک (وسایل نقلیهٔ موتوری) در انتشار آلاینده‌ها در هوای شهر تهران است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درمجموع منابع متحرک ۸۹ درصد آلاینده‌های شهر تهران را منتشر می‌کنند. علاوه‌براین، بنا به گزارش شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، از مقایسهٔ سهم گروه‌های مختلف سیستم حمل و نقل شهر تهران در انتشار آلودگی، خودروهای سبک با ۷۷/۲ درصد بیشترین سهم را دارند (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۸۳).

1. http://air.tehran.ir, 2012

برای حل مشکل آلودگی هوای شهر تهران، اقدامات گوناگونی صورت پذیرفته که هریک تا حدودی بر کاهش آلودگی هوای این کلانشهر مؤثر بوده‌اند. در این میان ایجاد و توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی، به‌خصوص برای حمل و نقل عمومی مانند متروی تهران، راه حل بسیار مناسبی است که می‌تواند بر کاهش انتشار آلاینده‌ها بسیار مؤثر واقع شود.

شکل ٤. سهم منابع ثابت و متحرک در تولید آلاینده‌های هوای شهر تهران

منبع: شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۸۳

بحث و یافته‌ها

رابطهٔ توسعه فضاهای حمل و نقل زیرزمینی و کاهش آلودگی هوا

با توجه به سهم عمدهٔ منابع متحرک و به‌طور خاص خودروهای سبک در آلودگی هوای شهر تهران، کاهش میزان انتشار آلایندهٔ ناشی از منابع متحرک، اثرهای مثبتی را به‌دنبال خواهد داشت. کاهش آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل از راه‌های گوناگونی امکان‌پذیر است که بیشتر راه حل‌ها وابسته به کاهش استفاده از وسایل نقلیهٔ موتوری، ارتقای کیفیت وسایل نقلیه و سوخت مصرفی آنها است. این‌گونه راه حل‌ها بسیار مطلوبند؛ به‌طوری که در بسیاری از کشورها، همچون ژاپن و به‌طور خاص در محدودهٔ توکیو به‌کار گرفته شده‌اند و نتایج مطلوبی را به‌همراه داشته‌اند (دولت کلانشهر توکیو، ۲۰۱۱). در شهر تهران نیز تا به امروز اقدامات فراوانی در این زمینه صورت گرفته است، اما در کنار تمامی راه حل‌ها، می‌توان با کوتاه‌کردن مسافت و زمان سفرهای درون‌شهری، تغییر نوع مصرف انرژی و ایجاد امکان تصفیهٔ آلودگی حاصل از مصرف سوخت فسیلی، آلودگی هوا را کاهش داد.

کاهش مسافت جابه‌جایی سفرهای درون‌شهری

کاهش مسافت جابه‌جایی‌های متکی بر وسایل نقلیهٔ موتوری در کلانشهرها، وابسته به ایجاد مسیرهای ارتباطی جایگزین با حداقل مسافت است. کوتاه‌شدن مسیرهای ارتباطی درون‌شهری، نیازمند ایجاد شریان‌هایی با حداقل انحراف است تا کمترین فاصلهٔ ممکن را تا نقاط مهم شهر فراهم کند. در کلانشهرهایی همچون تهران، ایجاد چنین شریانی در مناطقی

از شهر که تراکم ساختمانی بالایی دارد، تقریباً ناممکن است؛ چرا که تخریب تعداد زیادی از ساختمان‌ها و تملک سطح وسیعی از زمین توسط شهرداری فقط برای ایجاد یک مسیر ارتباطی مستقیم با کوتاه‌ترین مسافت ممکن، از نظر اقتصادی و تملک پرهزینهٔ اراضی، منطقی نیست و تا حدی غیرممکن به نظر می‌رسد. علاوه‌براین، در بسیاری موارد ساخت تونل در زیر زمین ارزان‌تر از تملک زمین است. برای مثال، هزینهٔ احداث تونل در نواحی شهری انگلستان، هر کیلومتر ۸۰ میلون یورو هزینه دارد و بسیار ارزان‌تر از مسیرهایی است که در نواحی شهری احتیاج به تملک زمین دارد. احداث تونل می‌تواند در کشورهای دیگر هزینهٔ کمتری داشته باشد، به‌خصوص در مکان‌هایی که شرایط زمین صخره‌ای است. برای مثال، ساخت تونل در هر کیلومتر از زمین صخره‌ای در هلسینکی، حدود ۱۰میلیون یورو هزینه دارد (کریمی مشاور و نگین‌تاجی، ۱۳۸۹).

احداث پل‌های هوایی سواره‌رو برای دستیابی به هدف فوق چندان مطلوب نیست، علت آن از دیدگاه طراحی شهری کاهش کیفیت بصری فضاهای شهری است. ایجاد پل‌ها هرچند که از نظر حمل و نقل موجب کاهش توقف و نقاط برخورد در چهارراه‌ها می‌شوند و تا حدودی مسافت جابه‌جایی را کوتاه‌تر می‌کنند، اما با تحمیل محصوریت و پوشش نامطلوبی بر فضاهای شهری، از سرزندگی و غنای بصری فضای شهری می‌کاهند. بنابراین احداث پل‌ها نیز مناسب‌ترین راه برای کاهش مسافت جابه‌جایی در کلانشهرها نیست. البته در شریان‌های ارتباطی اصلی که هدف ایجاد ارتباط مطلوب میان مبدأ و مقصد برای وسایل نقلیهٔ موتوری است، سرزندگی و غنای بصری چندان مد نظر نیست و چنانچه ایمنی و امنیت معبر با نورپردازی مناسب و استانداردهای حمل و نقلی لازم فراهم شود، امکان استفاده از آن وجود دارد. بنابراین شریان ارتباطی زیرزمینی در مقایسه با یک پل هوایی (سواره) با در نظر گرفتن نکاتی که بیان شد، بسیار مفیدتر خواهد بود. برای نمونه در آلاسکای ایالات متحدهٔ آمریکا در همین ارتباط، تونل زیرزمینی به‌منظور جایگزینی پل هوایی برای ترافیک سواره پیشنهاد شده است (شکل ۵).

الف ب

شکل ۵. الف) تونل زیرزمینی پیشنهادی برای محوری در آلاسکای آمریکا؛ ب) وضع موجود این محور با پل روگذر

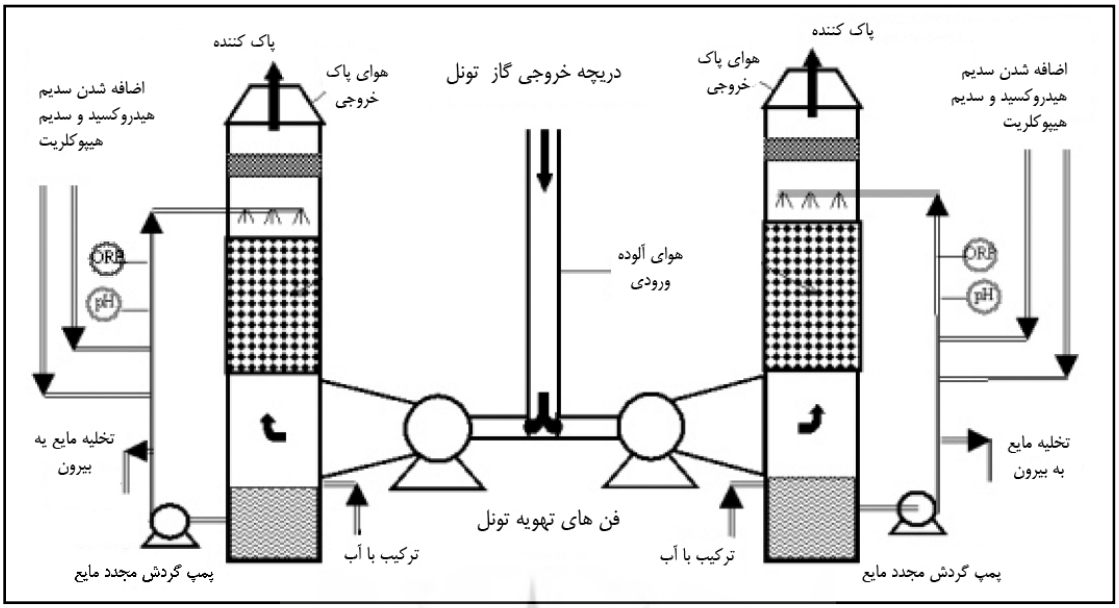
منبع: انجمن بین‌المللی تونل و فضای زیرزمینی، ۲۰۱۲

کاهش زمان سفرهای درون‌شهری

کاهش زمان سفرهای درون‌شهری به دو عامل بستگی دارد. کاهش مسافت، یکی از عواملی است که در کاهش زمان سفرهای درون‌شهری تأثیر می‌گذارد. عامل دوم، روان بودن ترافیک است. ترافیک روان سواره در صورتی محقق می‌شود که ظرفیت معابر، پاسخگوی حجم ترافیک باشد. براساس رابطهٔ محاسبهٔ سطح سرویس ($\frac{v}{c}$ <۱) هرچه نسبت حجم ترافیک (V) به ظرفیت (C) معابر از عدد ۱ کوچکتر شود، روانی ترافیک بیشتر خواهد بود. درنتیجه با سنگین‌شدن بار ترافیکی یک معبر، سرعت حرکت وسایل نقلیه پایین آمده و زمان سفرهای درون‌شهری افزایش خواهد یافت. افزایش زمان فعالیت خودروها، به‌معنای افزایش مصرف سوخت، تولید بیشتر مونواکسیدکربن و ذرات معلق و درنهایت آلودگی بیشتر هوا است. بنابراین افزایش سطح معبر (شریان اصلی شهری)، می‌تواند موجب متعادل و روان‌سازی سرعت حرکت وسایل نقلیهٔ موتوری شود. هرچند که بهره‌گیری از سیاست‌های بهینهٔ مدیریت ترافیک، یکی از راهکارهای مثمر ثمر در راستای کمک به کاهش یا مهار آلودگی هوا است، اما در صورت نیاز جدی به افزایش سطح معبر، با توجه به کمبود فضا در کلانشهرهایی همچون تهران (به‌طور ویژه در مرکز شهر)، امکان تعریض یک شریان ارتباطی یا احداث شریانی جدید بسیار محدود است. راه حل مناسب، احداث یک مسیر ارتباطی به‌صورت هوایی یا زیرزمینی است. مسیر ارتباطی هوایی (پل) با توجه به توصیفاتی که بیان شد، از نظر طراحی شهری چندان مطلوب نیست، اما چنانچه راه دیگری پیش رو نباشد، با در نظر گرفتن اثراتی که از محیط می‌پذیرد و بر محیط می‌گذارد، تا حدودی برای متعادل‌سازی سرعت حرکت سواره و درنهایت کاهش آلودگی هوا مؤثر است، اما در مواردی که امکان فضای زیرزمینی فراهم است، ایجاد یک شریان ارتباطی زیرزمینی راه حل مناسب‌تری است. فضاهای حمل و نقل زیرزمینی، حداقل تأثیرات منفی را بر محیط پیرامونشان خواهند داشت.

تصفیهٔ هوای آلوده

در شریان‌های ارتباطی روباز شهری که روی سطح زمین قرار دارند، امکان کنترل و تصفیهٔ آلودگی ناشی از وسایل نقلیهٔ موتوری تقریباً ناممکن است؛ در حالیکه اگر آلودگی ناشی از وسایل نقلیه در تونل یا فضای حمل و نقل زیرزمینی منتشر شود، با توجه به امکان کنترل هوا در محیطی نسبتاً محدود (تونل)، می‌توان آلودگی‌های موجود در هوا را تصفیه کرد. هرچند که تصفیهٔ آلودگی‌های موجود در هوای فضاهای حمل و نقل زیرزمینی وسایل نقلیهٔ موتوری با توجه به فرآیند تصفیه و تجهیزات لازم، درمقایسه با روش انتقال آلودگی از درون فضای زیرزمینی به بیرون، هزینهٔ بیشتری را می‌طلبد، اما تصفیهٔ آلودگی‌ها در درازمدت، به‌دلیل جلوگیری از آثار نامطلوب محیط زیست و خسارت‌های فراوان اقتصادی و جانی ناشی از مشکلات آلودگی هوا، بسیار مفید و سودمند خواهد بود. در شکل ۶ مقطعی از سیستم تصفیهٔ کربن هوای تونل‌های زیرزمینی ارائه شده است.

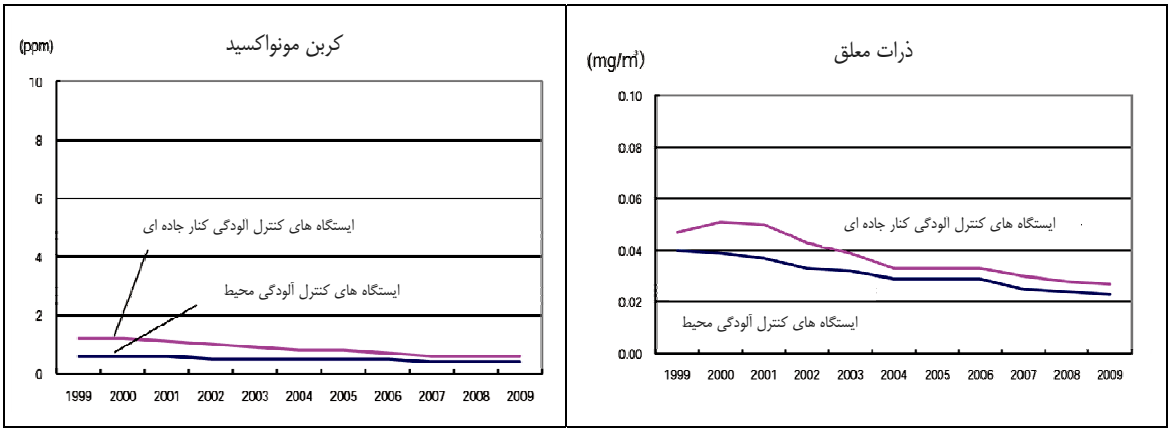


شکل ٦. شافت تهویه و دستگاه‌های تصفیه کربن

منبع: انجمن بین‌المللی تونل و فضای زیرزمینی، ۲۰۱۲

تغییر نوع مصرف انرژی به‌همراه توسعهٔ فضاهای شهری زیرزمینی

شبکهٔ حمل و نقل مترو یکی از انواع فضاهای حمل و نقل زیرزمینی است. مترو به‌دلیل استفاده از انرژی الکتریکی به جای سوخت‌های فسیلی همچون بنزین و گازوییل، نقش بسیار مهمی در کاهش آلودگی هوای کلانشهرها دارد. مقدار مصرف سوخت مترو برحسب میلی‌لیتر بر مسافر ـ کیلومتر رقم ۹ محاسبه شده؛ درحالیکه این مقدار برای خودروهای شخصی ۶۹، تاکسی ۶۵، مینی‌بوس ۲۷، اتوبوس ۲۰ و موتورسیکلت ۵۰ است (قلی‌ها، ۱۳۹۲: ۷). توکیو از جمله شهرهایی است که از بزرگترین شبکه‌های متروی جهان برخوردار است. گسترش شبکهٔ مترو و استقبال مردم توکیو از آن، سبب کاهش استفاده از وسایل نقلیهٔ شخصی و وسایل نقلیهٔ عمومی همچون اتوبوس شده است؛ به‌طوری که ساکنان توکیو آنقدر که با نقشهٔ زیرزمینی شهرشان آشنایند، نقشهٔ سطح شهر را نمی‌شناسند. مسئولان توکیو با جذب شهروندان به استفاده از مترو و کاهش آمدوشد وسایل نقلیهٔ موتوری در سطح شهر، توانسته‌اند از میزان آلودگی‌های ناشی از منابع متحرک در فضای شهر بکاهند. با توجه به وضعیت آلودگی هوای توکیو از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ که در گزارش محیط زیستی توکیو در سال ۲۰۱۱ آمده است (شکل ۷)، تأثیرات مثبت شبکهٔ مترو بر کاهش آلودگی هوا در کنار سایر تدابیری که بدین منظور اندیشیده شده، مشخص است. نه‌تنها در شهر توکیو، بلکه در شهرهای دیگر ژاپن همچون اوزاکا با توسعهٔ مرکز اداری تجاری بزرگ (CBD)، فضای آرام و مطلوبی در تقاطع‌های بزرگ شهری زیرزمینی، برنامه‌ریزی، طراحی و اجرا شده است.

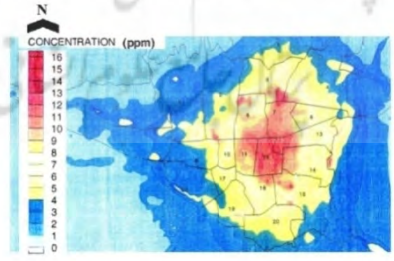
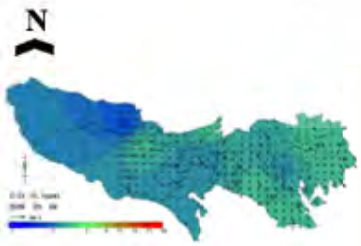


شکل ۷. روند کاهش میزان ذرات معلق و کربن منواکسید در هوای توکیو

منبع: کنترل کیفیت هوای توکیو، ۲۰۱۰

در شهر تهران نیز تا کنون شبکهٔ زیرزمینی مترو، زمینهٔ کاهش انتشار ۱۵۱۰ تن انواع آلایندهٔ زیست‌محیطی و همچنین کاهش تولید ۷۰۶۰ تن اکسیدکربن را فراهم کرده است (قلی‌ها، ۱۳۹۲: ۷). در جدول ۲ به‌طور نسبی وسعت، آلودگی هوا و جمعیت دو شهر تهران و توکیو مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۲. مقایسهٔ تطبیقی وسعت آلودگی هوا و جمعیت تهران و توکیو

	تهران	توکیو
تاریخ راه‌اندازی	۱۹۹۹ میلادی	۱۹۲۷ میلادی
جمعیت شهر	حدود ۸ میلیون نفر	حدود ۱۳ میلیون نفر
جمعیت استان یا منطقهٔ شهری	حدود ۱۳ میلیون نفر	حدود ۳۵ میلیون نفر
طول خط مترو	حدود ۱۴۰ کیلومتر	حدود ۲۰۰ کیلومتر
وسعت شهر	حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع	حدود ۲۰۰۰ کیلومترمربع
ذرات معلق (ای.تی.ام.، ۲۰۰۲-۲۰۰۹) • زیاد • کم	 ۶۸ (μgm^3)	 ۴۲ (μgm^3)

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

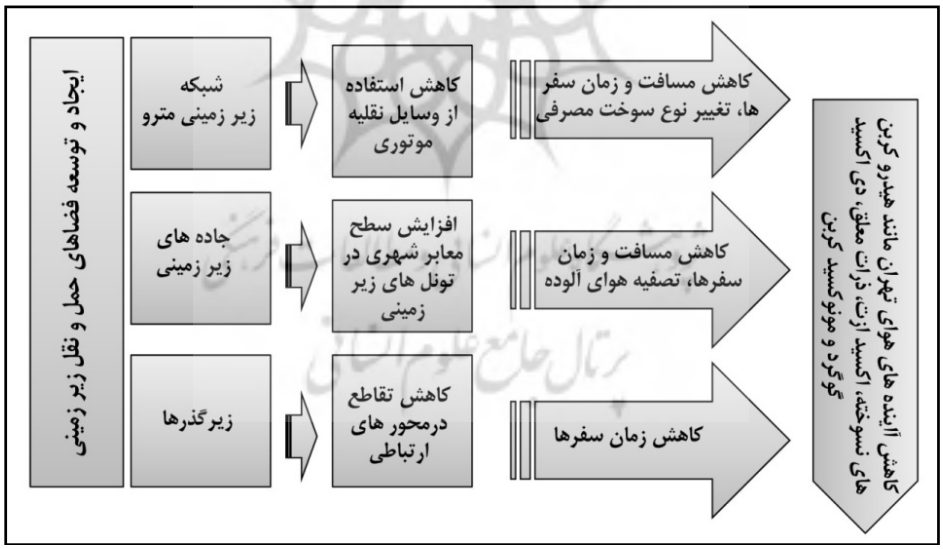
از مقایسهٔ تطبیقی انجام شده در این پژوهش، می‌توان چنین نتیجه گرفت که شهر توکیو با وجود وسعت و جمعیت بیشتر، در مقایسه با تهران دارای آلودگی کمتری است. به‌علاوه، مجموع طول خطوط مترو و شبکهٔ فضاهای کریدورگونهٔ شهری در توکیو نسبت به تهران بسیار بیشتر است. می‌توان از تجربهٔ توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی و خطوط مترو و

حمل و نقل عمومی که زمینهٔ راحتی سفرهای درون‌شهری را ایجاد کرده و کاهش آلاینده‌های شهر توکیو را به‌همراه داشته است، در برنامه‌ریزی و طراحی شبکهٔ حمل و نقل زیرزمینی شهر تهران (به‌منظور کاهش آلاینده‌های ناشی از منابع متحرک مانند: هیدروکربن‌های نسوخته، اکسید ازت، ذرات معلق، دی‌اکسید گوگرد و منواکسید کربن)، استفاده کرد. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که توسعهٔ مناسب فضاهای حمل و نقل زیرزمینی، مانند شبکهٔ مترو، جاده‌های زیرزمینی و زیرگذرها، به‌دلیل تأثیر بر نوع مصرف انرژی، کاهش مسافت و زمان سفرهای درون‌شهری، فراهم آوردن فرصتی برای کنترل و تصفیهٔ ذرات آلاینده، در کاهش آلودگی هوا و بهترشدن کیفیت هوا، مؤثر خواهد بود (جدول ۳ و شکل ۸).

جدول ۳. چگونگی تأثیر انواع فضاهای حمل و نقل زیرزمینی بر کاهش تولید آلاینده‌ها

نام فضای حمل و نقل زیرزمینی	نوع وسیلهٔ نقلیهٔ تحت تأثیر	نحوهٔ تأثیر بر کاهش آلودگی هوا	میزان کاهش تولید آلاینده		
			زیاد	متوسط	کم
شبکهٔ مترو	سواری، اتوبوس شرکت واحد، موتورسیکلت	کاهش استفاده، تغییر نوع سوخت مصرفی و کاهش زمان	✓		
جاده‌های زیرزمینی (تونل)	سواری، اتوبوس شرکت واحد، موتورسیکلت، خودروهای باربر	کاهش مسافت جابه‌جایی، کاهش زمان سفر، امکان تصفیهٔ هوای درون فضا		✓	
زیرگذر	سواری، اتوبوس شرکت واحد، موتورسیکلت، خودروهای باربر	کاهش زمان استفاده از وسایل نقلیهٔ موتوری			✓

منبع: نگارندگان



شکل ۸. فرآیند ایجاد و توسعهٔ فضاهای حمل و نقل زیرزمینی و تأثیرگذاری بر کاهش آلودگی هوای تهران

منبع: نگارندگان

در نهایت پیشنهادهای زیر ارائه شده است:

۱. در کلانشهری همچون تهران که در طول هر سال بارها و بارها با مشکل حاد حالت اضطرار و هشدار در مورد آلاینده‌هایی همچون منواکسیدکربن و ذرات معلق روبه‌روست به جای برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت بزرگراه‌های دو طبقه برای خودروهای شخصی، به توسعهٔ کریدورها و میادین زیرزمینی برای مراکز اداری ـ تجاری (CBD) و حمل و نقل عمومی پرداخته شود.

۲. سعی شود با توجه به افزایش بار ترافیکی معابر شهر تهران در سال‌های اخیر، ضمن برآورد ظرفیت معبر و سطح سرویس کنونی، در موارد لازم با ایجاد زیرگذر، تقاطع‌های همسطح را به غیر همسطح تبدیل کرده تا به کاهش تداخل ترافیکی سواره ـ سواره و سواره ـ پیاده و روان‌سازی ترافیک سواره کمک شود.

۳. گسترش خطوط مترو و فضاهای تجاری و فرهنگی زیرزمینی جنب ایستگاه‌های مترو، به‌منظور کارآمدی بیشتر ایستگاه‌ها.

۴. توجه ویژه به توسعهٔ زیرزمینی شریان‌های آتی که امکان ایجاد گسست در بافت‌های شهری را به‌دنبال خواهند داشت (مانند شریان عبوری کاوه در قیطریه واقع در منطقهٔ ۱ و بزرگراه کردستان در محدودهٔ امیرآباد و یوسف‌آباد واقع در منطقهٔ ۶ کلانشهر تهران).

منابع

1. Air Quality Control Company Website, 2012, http://air.tehran.ir.
2. Air Quality Control Company, 2011, **Air Pollution Report (2009, 2010, 2011)**, Tehran Municipality, Tehran. (*in Persian*)
3. Dobinson, K., Bovven, R., 1997, **Underground Space in the Urban Environment Development and Use**, a Record of the Warren Centre Underground Space Project, the Warren Centre for Advanced Engineering, the University of Sydney.
4. Farzbod, S., 2006, **Urban Planning towards Segregation of Pedestrian and Vehicular Traffic**, by help of Underground Corridors M.U.R.P Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. (*in Persian*)
5. Gholiha, A. M., 2013, **Tehran's Metro-A Friend of the Living Environment**, Cities of the World, Vol.3, No. 8 & 9, PP. 6-10. (*in Persian*)
6. ITA Working Group, 2012, **Urban Problems-Underground Solutions**, Ita Report N 011, France. http://www.ita-aites.org/en/publications/wg-publications/224-underground-solutions-for-urban-problems.
7. Kaliampakos, D., 2008, **Underground Space Development-Setting Modern Strategies**, School of Mining Engineering and Metallurgy, National Technical University of Athens.
8. Karimimoshaver, M. and Negintaji, S., 2010, **Location of Underground Spaces in Urban Projects**, Tehran Urban Planning & Research Center, Danesh Shahr, Vol. 2, No. 12, PP. 4-20. (*in Persian*)
9. Khosravi, B., 2011, **Carbon Free Urban Spaces (Case Study: Tajrish)**, Urban Design Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. (*in Persian*)
10. Nurul Amin, A.T.M., 2009, **Reducing Emissions from Private Cars: Incentive Measures for Behavioral Change**, United Nations Environment Program, October.
11. Over View of Tokyo, 2012, **Tokyo City Profile and Government**, Translation and Layout by Urban Connections, 2011 Edition, www.metro.**Tokyo**.jp.
12. Tehran Detail Plan, 2012, **Environmental Studies**, Naghsh-e-jahan Pars Consultant Engineers, Tehran Municipality Urban Planning and Architecture Section, Tehran. (*in Persian*)
13. Tehran Government Website, 2012, www.ostan-th.ir.
14. Tokyo Metropolitan Government, 2011, **The Environment of Tokyo**, Tokyo, http://www.kankyo.metro.**tokyo**.jp.