

ترجمه انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:  
Mechanism of the Effect of Urban Form and Land Use on  
Transportation and Air Pollution in Tehran  
در همین شماره مجله به چاپ رسیده است.

مقاله پژوهشی

## مکانیسم تأثیر شکل شهری و کاربری زمین بر حمل و نقل و آلودگی هوای کلانشهر تهران\*

امیر قهرمانلو<sup>۱</sup>، محمود صفارزاده<sup>۲\*</sup>، علی نادران<sup>۳</sup>، حسن جوانشیر<sup>۴</sup>

۱. پژوهشگر دکتری برنامه ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
  ۲. استاد، برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
  ۳. استادیار، مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
  ۴. استادیار، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

### چکیده

**بیان مسئله:** آلودگی هوای تهران یکی از چالش‌های عمده مدیریت شهری است. امروزه مشکل آلودگی هوا و تراکم ترافیک در کلانشهر تهران مانند بیشتر شهرهای بزرگ کشورهای جهان بسیار نگران کننده است. در این میان کاربری زمین و حمل و نقل دو بخش عمده هستند که دارای بیشترین سهم در آلودگی محیط زیست می‌باشند.

**هدف پژوهش:** انگیزه این مقاله، بررسی کارایی کاربری زمین شهری، نحوه توزیع کاربری‌ها و تأثیر آنها بر حمل و نقل و آلاینده‌ها است. بدین منظور این سوال مطرح شد که تأثیر کارایی کاربری زمین شهری و توزیع کاربری‌های شهر تهران بر حمل و نقل و آلودگی هوا در دو دهه اخیر به چه صورت بوده است؟  
**روش پژوهش:** پژوهش حاضر به لحاظ هدف کاربردی بوده و گردآوری اطلاعات به صورت اسنادی- کتابخانه‌ای، داده‌های شهرداری و تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست و نرم‌افزارهای تخصصی Google Earth Pro، ArcGIS 10، ENVI53 و SPSS 24 استفاده شد.  
**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش، بیانگر گسترش شهر تهران، از بین رفتن پوشش گیاهی و تبدیل آنها به اراضی ساخته شده است. شهر تهران طی دو دهه گذشته، از نظر مساحت ساخته شده شهر رشد بیشتری نسبت به رشد جمعیت داشته است، که بیانگر ناکارآمدی زمین طی این دوره زمانی است. به عبارتی گسترش شهر بیشتر به سمت حاشیه با تراکم جمعیتی کم بوده است. بررسی همبستگی میان انواع کاربری زمین طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۴، حاکی از رشد پراکنده شهر تهران است. در چنین شرایطی ساکنین بیشتر از خودرو شخصی استفاده می‌کنند که این امر باعث افزایش ازدحام ترافیکی، مصرف بالای سوخت و تشدید آلودگی هوا می‌شود.

**واژگان کلیدی:** سنجش از دور، کاربری زمین، حمل و نقل، رشد پراکنده، آلودگی هوا.

### مقدمه و بیان مسئله

در سال ۲۰۱۸ تنها برای کشور چین ۹۰۰ میلیارد دلار و برای کشور آمریکا ۶۰۰ میلیارد دلار برآورد شده است (WorldEconomicForum, 2020). امروزه بیشتر ساکنان شهری برای فعالیت‌هایی از قبیل خرید، آموزش، کار و درمان غالباً از محل مسکونی خود به مناطق دیگر سفر می‌کنند. در نتیجه، سیستم حمل و نقل و سیستم کاربری

آلودگی هوای کلان شهر تهران یکی از چالش‌های عمده مدیریت شهری است. بنا بر گزارش شرکت کنترل کیفیت هوای تهران در ۹ ماهه اول سال ۲۰۲۰ کلانشهر تهران تنها به مدت ۱۵ روز دارای هوای پاک بوده است (سامانه برخط کیفیت هوای تهران، ۱۳۹۹). هزینه اقتصادی آلودگی هوا

نادران<sup>۳</sup> و دکتر «حسن جوانشیر» در دانشکده مهندسی عمران، معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در حال انجام است.  
\* نویسنده مسئول: Saffar\_m@modares.ac.ir، ۰۹۱۲۱۱۲۵۰۹۶

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری «امیر قهرمانلو» با عنوان «تحلیل رابطه میان کاربری زمین و حمل و نقل و تأثیر آن بر آلودگی محیط زیست کلانشهر تهران» است که به راهنمایی دکتر «محمود صفارزاده» و مشاوره دکتر «علی

انواع کاربری زمین و درک بهتر تعاملات انسان با محیط پیرامون استفاده شد.

### پیشینه تحقیق

در طول چند دهه اخیر، داغ ترین موضوعات در زمینه سنجش از دور و محیط‌های جغرافیایی، مشاهده تغییرات سطح زمین است. زمانی که داده‌های لندست پس از سال ۲۰۰۸ به صورت رایگان ارائه شد، نقشه‌برداری سطح شهری با سنجش از دور در مقیاس زمانی تسریع شد (Xiao, Zhang, Wang, Yuan, Feng, & Kelly, 2016). برای اینکه محیط شهری بتواند توسط متخصصان و برنامه ریزان شهری مورد استفاده قرار گیرد، محققان سنجش از دور، باید یافته‌های علمی تولید کنند که کاربرد عملی داشته باشد. در حال حاضر، اغلب مطالعات سنجش از دور بر پیشرفت روش‌شناختی، به ویژه توسعه الگوریتم متمرکز شده است (Wantz et al., 2014). اکثر مطالعات سنجش از دور شهری بر روی شهرهای بزرگ مانند شهرهای واقع در چین، ایالات متحده یا اروپا متمرکز هستند، در حالی که برای درک پایداری، سیاست شهری و کارآمدی، مطالعات سنجش از دور شهری باید بر تنوع بالاتری از مناطق و اندازه مناطق شهری متمرکز شود (McGrath, 2018). شکل شهری نقش حیاتی در نحوه عملکرد و تعامل محیط زیست شهری با فعالیت‌های انسانی ایفا می‌کند. شکل شهری و پیکربندی فضایی کاربری زمین، حمل و نقل و عناصر طراحی شده شهری برای توسعه شهری پایدار و هوشمند بسیار مهم است (Ramaswami, Russell, Culligan, Sharma & Kumar, 2016). در فرآیندهای شهری، بررسی ارتباط متقابل حمل و نقل و کاربری زمین<sup>۲</sup> حائز اهمیت است. حمل و نقل به واسطه دسترسی، توزیع و رشد کاربری‌های مختلف، زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربری زمین نیز می‌تواند از طریق تولید و جذب سفر بر روی حمل و نقل تأثیر بگذارد (Bertolini, 2017). سیلوا و همکاران در سال ۲۰۱۵ با بررسی حدود ۶۰ سال تحقیقات مختلف انجام شده در زمینه ارتباط متقابل کاربری و حمل و نقل دریافتند که این موضوع در برخی زمینه‌ها دارای خلأ تحقیقاتی است. از آن جمله می‌توان به بررسی محیط زیست در روابط بین کاربری اراضی و حمل و نقل اشاره کرد (Acheampong & Silva, 2015). حمل و نقل و کاربری‌های زمین دو بخش عمده‌ای هستند که بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسید کربن در محیط زیست دارند (Hickman, Ashiru, & Banister, 2010). بخش حمل و نقل مستقیماً باعث تخریب محیط زیست می‌شود. کاربری زمین و شکل شهری به صورت

زمین از بسیاری جهات با یکدیگر تعامل دارند (Rodrigue, 2020, 321). تا اوایل قرن بیستم بیشتر شهرها از جمله شهر تهران به صورت محله‌هایی با کاربردهای فشرده و مختلط بود که بیشترین خدمات معمولاً در فاصله پیاده‌روی خانه‌ها قرار داشتند. اما پس از جنگ جهانی دوم، به دلیل رشد سریع استفاده از اتومبیل و پیروی از مقررات مدرن کاربری اراضی، الگوی جدید توسعه شهری با رشد چشمگیر شهرها در کشور همراه شد. امروزه این نوع الگوی توسعه، رشد پراکنده شهری یا گسترش افقی شهر تعریف می‌شود (Tajbakhsh, 2020). تجربه نشان داده است، هر جامعه‌ای که با پدیده رشد مداوم جمعیت روبرو بوده است، خواه به شکل عقلانی و خواه به شکل اضطراری، توسعه به سمت پیرامون کلانشهر تمایل پیدا کرده است (Knox, 2008, 42). برای درک بهتر شهر، بایستی مناطق شهری که محور پایداری بوده بررسی شوند و داده‌های شهری در چندین بعد اندازه‌گیری شوند: اولاً در تنوع و ناهمگونی شهری<sup>۱</sup> و ثانیاً در طول زمان (Seto et al., 2014). سنجش از دور پوشش زمین را به تصویر کشیده و نمایشی شبیه نقشه از سطح زمین ارائه می‌دهد که بسیار قابل اعتماد بوده و در طیف وسیعی از معیارهای مکانی و زمانی قابل دسترسی است (Panigrahi, Verma, & Tripathi, 2017). پراکندگی، الگوهای کاربری زمین با دسترسی کمتر ایجاد می‌کند. خانوارهای حومه شهر، نسبت به خانوارهای مشابه در مناطق مرکزی شهر تقریباً ساعات بیشتری از خودروی شخصی استفاده می‌کنند، که این امر موجب افزایش تراکم ترافیک، تصادفات، مصرف سوخت بیشتر و تشدید آلودگی هوا می‌شود (Litman, 2016, 24). این تحقیق کاربردی بوده و انگیزه این مقاله، بررسی رشد شهر تهران، نحوه توزیع کاربری‌ها و مکانیسم تأثیر آنها بر حمل و نقل و آلاینده‌ها است. این پژوهش قصد دارد، به آلودگی هوای شهر تهران که ناشی از عوامل متعددی همچون توسعه شهری، کارایی کاربری اراضی شهری و توزیع کاربری زمین بوده، بپردازد که در مطالعات کمتر به آنها توجه شده و به دنبال پاسخگویی به این سؤال است: مکانیسم ایجاد آلودگی محیط زیست از جنبه‌های رشد شهر، کارایی کاربری اراضی شهری و توزیع کاربری‌های شهر تهران طی دو دهه گذشته به چه صورت است؟ و به فرضیه پیشروی الگوی توسعه شهر تهران به سمت پراکندگی می‌پردازد. در این پژوهش، ابتدا تراکم جمعیت مناطق شهری بررسی شد. سپس کارایی زمین شهری متشکل از بناهای ساخته‌شده توسط اطلاعات جغرافیایی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. سپس از داده‌های شهرداری برای تحلیل اختلاط میان

است. با مطالعه پژوهش‌های پیشین می‌توان دریافت که بیشتر تحقیقات در مقیاس شهر بوده، در حالی که بایستی تمرکز بیشتر بر روی مناطق شهری بعنوان محورهای پایداری شود، که در این مقاله مناطق ۲۲ گانه شهری تحلیل شد. همچنین محققان سنجش از دور عمدتاً بر روش‌شناختی و توسعه الگوریتم توجه نموده، به گونه‌ای که برای مکان و یا دوره زمانی خاص تحلیل انجام شده است. در این مطالعه از منظر عملی و توسط سنجش از دور، به بررسی تغییرات پوشش سطح زمین مناطق شهر تهران پرداخته شد. به منظور افزایش دقت و درک تعاملات انسان با محیط پیرامون، از داده‌های شهری در ترکیب با سنجش دور و مقیاس مکانی-زمانی انجام شد. همچنین پراکندگی شهر تهران در طی دو دهه گذشته با استفاده از چندین منبع مختلف جمعیت، گسترش محدوده ساخته شده و توزیع کاربری‌های زمین بررسی شد. نهایتاً تأثیر هر دوی مستقیم و واسطه‌ای کاربری زمین بر حمل و نقل و آلودگی محیط زیست بیان شد.

### مبانی نظری

#### • سنجش از دور

فرآیند شناسایی و پایش خصوصیات فیزیکی یک منطقه با اندازه‌گیری تابش منعکس شده و ساطع شده آن در فاصله از ماهواره یا هواپیما است. دوربین‌های ویژه، تصاویر سنجش از راه دور را جمع‌آوری می‌کنند که به محققان کمک می‌کند تا چیزهایی درباره زمین دریافت کنند.

#### • اختلاط کاربری زمین

مکان‌بایی انواع مختلف کاربری‌های زمین در نزدیکی یکدیگر است، که الگوی اسکان منطقه را نشان می‌دهد. امروزه بحث اختلاط کاربری‌ها در ادبیات شهرسازی جایگاه ویژه‌ای یافته و گروه‌های مختلفی از جمله حامیان پایداری شهری بر آن تأکید دارند. از آنجا که محیط‌های شهری معمولاً نسبتاً پایدار هستند، بنابراین از نظر تاریخی، نقشه‌برداری مناطق شهری در فاصله زمانی ۵ تا ۱۰ سال مناسب است (Xian & Homer, 2010).

#### • طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

روشی برای ارزش‌داری پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییر کاربری و پوشش زمین<sup>۳</sup> و استخراج مناطقی مانند محدوده ساخته شده، زمین‌های کشاورزی، منطقه جنگلی، زمین‌های پوشش گیاهی، بدنه‌های آبی، زمین‌های بایر، مناطق کوهستانی و مناطق بیابانی است. در میان روش‌های طبقه‌بندی، استفاده از روش‌های نظارت شده و نظارت نشده رایج است. روش ماشینی بردار پشتیبان<sup>۴</sup> در میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، دارای نتایج معقول می

مستقیم و واسطه‌ای بر محیط زیست اثر دارد (Dhakal, 2010). حالت مستقیم تغییر در الگوی استفاده از زمین مانند تخریب پوشش گیاهی و تبدیل به فضای شهری عامل اصلی تغییر آب و هوا است (Peña et al., 2007). حالت غیرمستقیم، شکل شهری بر نحوه سفر افراد و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن تأثیر می‌گذارد. هنگام رشد پراکنده شهر معمولاً استفاده از خودروی شخصی بیشتر می‌شود (Schiller & Kenworthy, 2017, 7). در مقابل مطالعات متعدد نشان داده است افرادی که در مناطقی با تراکم مسکونی و یا اشتغال بالا، کاربری‌های متنوع زمین (به عنوان مثال کاربری مختلط مسکونی، تجاری، تفریحی و غیره)، شبکه‌های خیابانی دارای ارتباط زیاد (به عنوان مثال خیابان‌های شبکه یا نیمه شبکه که در مقابل بن بست‌ها قرار دارند) زندگی می‌کنند، با سطح دسترسی بالاتری از حمل و نقل عمومی و انتشار دی‌اکسید کربن پایین همراه هستند (Cervero & Sullivan, 2011). در گذشته رشد پراکنده به دلیل زمین‌های ارزان، ساخت بی‌رویه جاده‌ها و تولید بیش از اندازه خودرو، مختص شهرهای آمریکایی بود. اما امروزه این رشد به پدیده‌ای جهانی تبدیل شده که بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه با آن روبرو هستند. به عنوان مثال احداث مراکز خرید بزرگ تحت عنوان «هایپرستار» در کلانشهر تهران، از نمونه‌های بارز سیاست‌های رشد پراکنده شهری، عرضه پارکینگ رایگان و وابستگی به اتومبیل شخصی است (شورچه و سیف‌الدینی، ۱۳۹۴، ۱۹۶). کریمی مشاور و همکاران در سال ۱۳۸۹ به رابطه چگونگی قرارگیری ساختمان‌های بلند مرتبه و منظر شهری تهران پرداختند. آنها دریافتند که برج‌های بلندمرتبه منفرد در مقایسه با برج‌های خوشه‌ای، از قدرت تأثیرگذاری زیادی در قلمرو خود برخوردار هستند (کریمی مشاور، منصوری و ادیبی، ۱۳۸۹). استفاده از داده‌های سنجش از دور به تنهایی، ممکن است برای مطالعات شهری در دوره زمانی مناسب نباشد. چون با تصاویر سنجش از دور، اطلاعات محیط فیزیکی شهر را می‌توان استخراج کرد. برای بررسی کاربری زمین، فعالیت و جابجایی افراد نیاز به داده‌های شهری است (Huang, Taubenböck, Mou, & Zhu, 2018; Soliman, Soltani, Yin, Padmanabhan, & Wang, 2017). در کشور ایران با الهام از کشورهای پیشرفته، احداث پیاده‌راه‌ها در کلانشهر تهران در راستای حرکت از خودرومداری به پیاده‌مداری رواج یافته است (خیرالدین، حق بیان و شکوهی، ۱۳۹۸).

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، داده‌های شهرداری تهران و مطالعه مناطق ۲۲ گانه کلانشهر تهران به صورت مکانی-زمانی از مزایای این تحقیق در مقایسه با تحقیقات پیشین

شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این شهر علاوه بر این که پرجمعیت‌ترین شهر کشور بوده، پرتراکم‌ترین کانون جمعیتی کشور نیز است. در تصویر ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه آورده شده است.

#### • روش‌های جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای، مرکز آمار ایران و شهرداری تهران تهیه شد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و لندست ۸، با توجه به مشخصات تهران (شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵)، برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد. در جدول ۱ شرح تصاویر آورده شده است. استفاده از لندست برای این منظور رایج است (Gong, Hu, Chen, Liu, & Wang, 2018; Koroso, Zevenbergen, & Lengoiboni, 2020).

#### • شاخص کارآیی کاربری زمین شهری<sup>۵</sup>

این شاخص برای محاسبه محدوده ساخته‌شده شامل ساختمان‌های شهری و شبکه معابر حمل و نقل بین آنها است. بنابراین هنگام محاسبه این شاخص، گستره محدوده ساخته شده کوچکتر از مرزهای اداری است. برای محاسبه شاخص، مصرف سالانه زمین و نرخ رشد جمعیت برآورد گردید. چنانچه  $ULUE > 1$  باشد به معنای

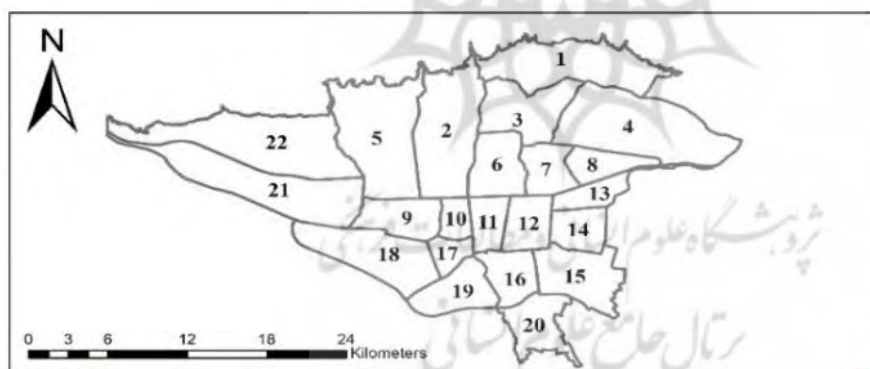
باشد (Shaharum, Shafri, Gambo, & Abidin, 2018; Thanh Noi & Kappas, 2018; Nery, Sadler, Solis (Aulestia, White, & Polyakov, 2019).

#### روش تحقیق

جمع‌آوری اطلاعات جغرافیایی به صورت میدانی اصولاً سخت، زمان‌بر و پرهزینه بوده و تجزیه و تحلیل اطلاعات فوق نیز زمان زیادی را می‌طلبد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای شهر تهران اخذ، سپس تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک توسط نرم‌افزار ENVI5.3 انجام گرفت. از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شیء‌گرا و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، جهت تشخیص تغییرات مکانی-زمانی استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل، داده‌ها به محیط ArcGIS 8.10 انتقال و اطلاعات مناطق ۲۲ گانه کلانشهر تهران استخراج شد. نتایج حاصل با داده‌های Google Earth Pro به عنوان مرجع مقایسه و اعتبار سنجی انجام گرفت. در بخش اطلاعات شهری، از نرم افزارهای Excel و SPSS 24 استفاده شد.

#### • منطقه مورد مطالعه

کلانشهر تهران به عنوان پایتخت کشور ایران، از لحاظ جغرافیایی در مختصات بین ۳۴ تا ۳۶ درجه عرض



مناطق ۲۲ گانه



جاده های شهر تهران

تصویر ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره ای شهر تهران از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱. مأخذ: [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov).

پوشش ابر	وضوح طیفی	وضوح فضایی (متر)	نوع ماهواره	تاریخ (سال/ماه/روز)
۰	چندطیفی	۳۰	لندست ۵	2000/06/08
۰	چندطیفی	۳۰	لندست ۵	2010/06/04
۰	پانکروماتیک	۱۵	لندست ۸	2021/06/02

بالای مناطق مرکزی مانند منطقه ۱۰ و ۱۷ نسبت به مناطق حومه است.

#### • کارایی کاربری زمین شهری در تهران

با استفاده از شاخص قسمت ۴-۳ و جایگذاری مقادیر نتایج به شرح جدول ۲ حاصل گردید.

از تحلیل تصاویر ماهواره ای تصویر ۳، تغییر پوشش سطح زمین شهر تهران مشخص گردید که نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

به منظور اطمینان نتایج حاصل از تصاویر ماهواره ای، اعتبارسنجی انجام گرفت. نتایج گویای دقت بالای پردازش داده های ماهواره ای با سطح واقعی کلانشهر تهران بوده که در جدول ۴ آورده شده است.

#### • اختلاط کاربری های شهر تهران

عمده کاربریهای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران برای دوره زمانی سال ۲۰۱۶-۲۰۰۴ از شهرداری تهران اخذ گردید. پس از محاسبه همبستگی، نتایج در جداول ۵ و ۶ قابل مشاهده است.

#### بحث

#### • تراکم جمعیت

با محاسبه تراکم جمعیت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران مشخص شد که مناطق مرکزی از تراکم به مراتب بیشتری نسبت به مناطق حاشیه برخوردار هستند. تراکم کم مناطق حاشیه منجر به استفاده بیشتر افراد از خودروی شخصی، افزایش ترافیک، ازدیاد مصرف سوخت و تشدید آلودگی هوا می شود.

#### • کارایی کاربری زمین شهری

بر اساس یافته های جدول ۲، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ گسترش محدوده ساخته شده شهر تهران، ۳۳/۶۲ درصد افزایش و در آن دوره، جمعیت ۲۹ / ۸۹ درصد افزایش داشته است. مساحت ساخته شده تهران بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ به ترتیب ۱۹ / ۴۹ و ۱۱ / ۸۲ درصد رشد و جمعیت شهر در آن بازه زمانی به ترتیب ۱۳ / ۰۵ درصد و ۱۴ / ۰۸۹ درصد افزایش داشته است. از سال ۲۰۰۰-۲۰۲۱، نرخ رشد محدوده ساخته شده شهر تهران از نرخ رشد جمعیت

استفاده ناکارآمد از زمین شهری است. اگر  $0 \leq ULUE \leq 1$  باشد، آنگاه کاربری زمین به صورت کارآمد و اگر  $ULUE < 0$  باشد به معنای مصرف زمین کاهشی و یا رشد جمعیت نزولی است (Koroso et al., 2020).

#### • شاخص اختلاط کاربری زمین<sup>۶</sup>

این شاخص به معنی مکانیابی انواع مختلف کاربری های زمین در نزدیک یکدیگر است. در این مطالعه از ضریب همبستگی «پیرسون» به عنوان شاخصی جهت برآورد اختلاط کاربری زمین استفاده شد. نزدیکی ضریب همبستگی به عدد یک به معنای افزایش ترکیب کاربری ها بوده که می تواند فاصله سفر بین مبدأ و مقصد سفر را کاهش دهد و بالعکس کاهش این ضریب، به معنای تفکیک زیاد میان انواع کاربری ها و پراکندگی<sup>۷</sup> شهر است (Shoorcheh, Varesi, Mohammadi, & Litman, 2016).

#### • شاخص های ارزیابی دقت

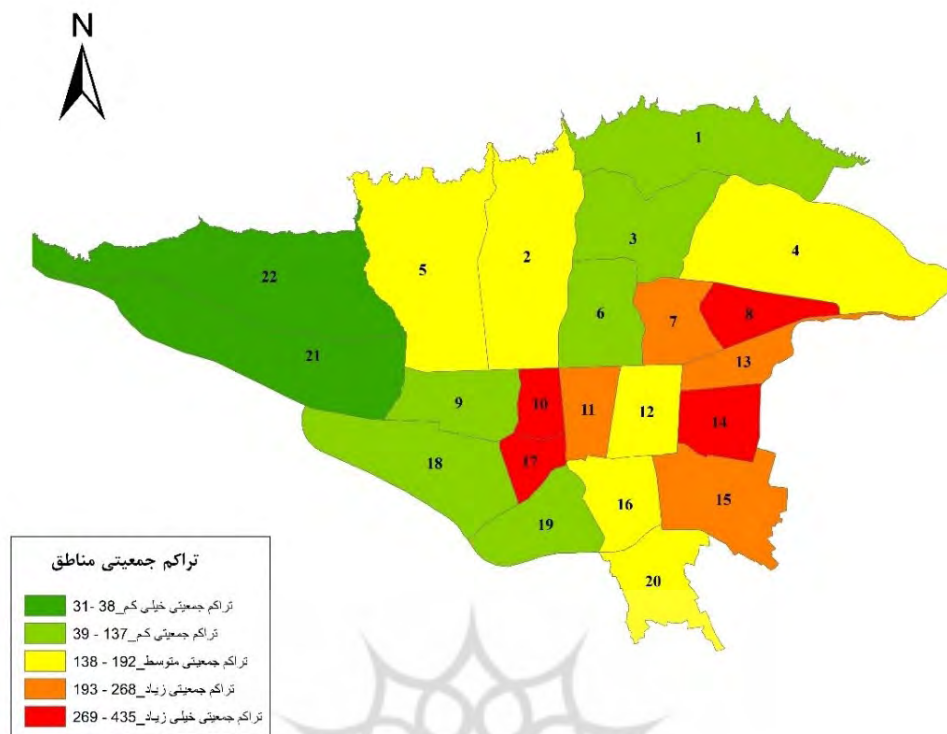
داده های ماهواره ای پردازش شده، با نمونه های نرم افزار Google Earth Pro به عنوان داده های مرجع، مقایسه شد. اعتبارسنجی نتایج، با محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا، در محیط نرم افزار ENVI 3. 5 محاسبه شد (Bakr & Afifi, 2019; Alkaradaghi, Ali, Al-Ansari, & Laue, 2018; Birhane, Ashfare, Fenta, Hishe, Gebremedhin, M. & Solomon, N., 2019).

#### یافته های تحقیق

آلودگی هوای شهر تهران ناشی از عوامل متعددی، همچون توسعه شهری، کارایی کاربری اراضی و توزیع کاربری زمین است. این مطالعه به مکانیسم تأثیر آنها بر حمل و نقل و آلاینده ها که در مطالعات قبلی کمتر به آنها توجه شده، می پردازد.

#### • جمعیت شهر تهران

بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن مرکز آمار ایران در سال ۲۰۱۶، تهران دارای جمعیت حدود ۷.۸ میلیون نفر است. تراکم جمعیت تهران در سال ۲۰۲۱ محاسبه گردید. در طول دو دهه گذشته، گسترش شهر تهران و رشد جمعیت آن قابل توجه بوده است. تصویر ۲، بیانگر تراکم



تصویر ۲. تراکم جمعیت مناطق تهران در سال ۲۰۲۱. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۲. رشد جمعیت و مساحت ساخته شده شهر تهران. مأخذ: نگارندگان.

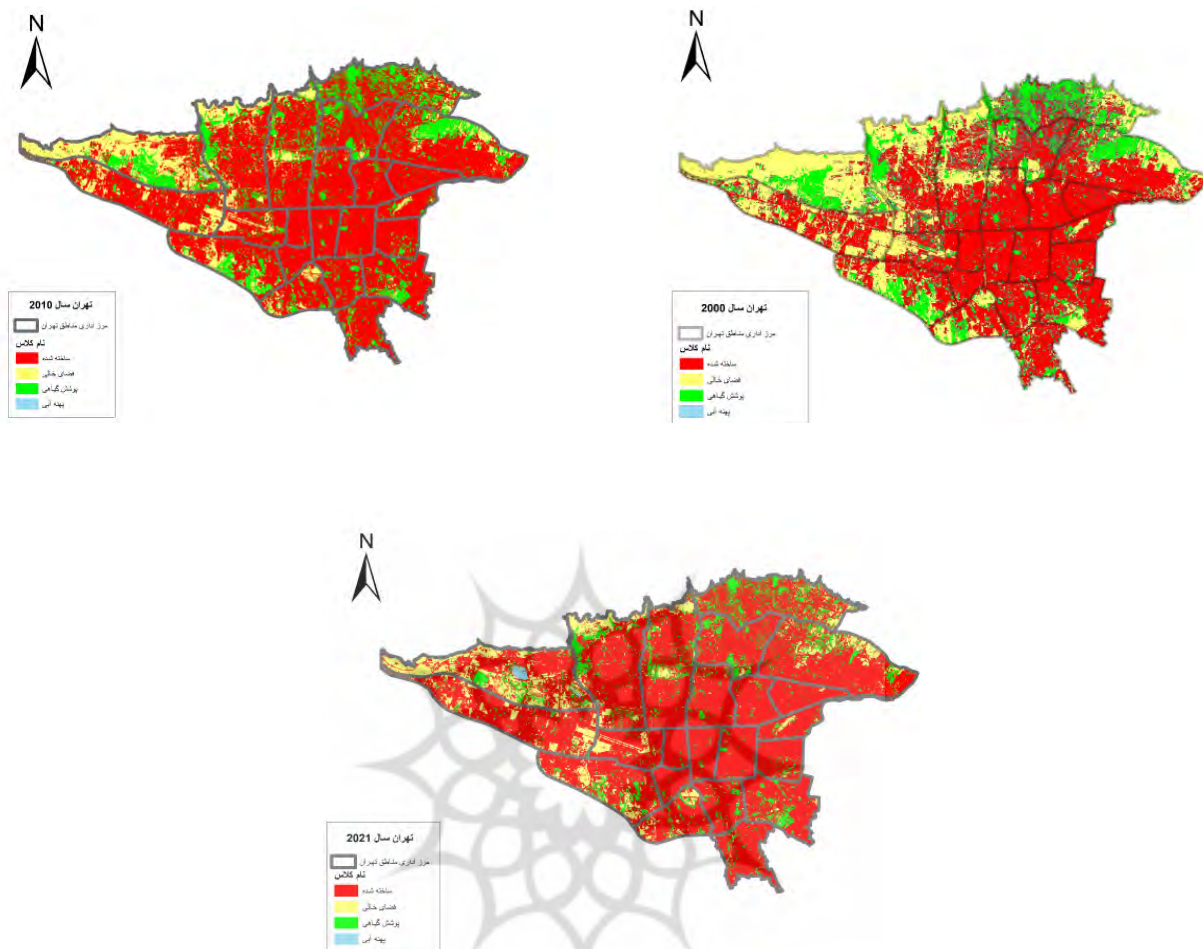
تغییرات			تهران			سال
۲۰۲۱-۲۰۰۰	۲۰۲۱-۲۰۱۰	۲۰۱۰-۲۰۰۰	۲۰۲۱	۲۰۱۰	۲۰۰۰	
-	-	-	۹۲۵۹۰۰۹	۸۰۵۸۵۲۰	۷۱۲۸۱۴۰	جمعیت
-	-	-	۴۷۳	۴۲۳	۳۵۴	مساحت ساخته شده (کیلومتر مربع)
%۲۹,۸۹	%۱۴,۸۹	%۱۳,۰۵	-	-	-	رشد جمعیت
%۳۳,۶۲	%۱۱,۸۲	%۱۹,۴۹	-	-	-	رشد مساحت ساخته شده
۱,۱۱	۰,۸۱	۱,۴۵	-	-	-	شاخص کارایی کاربری زمین شهری

شده شهری در سال ۲۰۰۰، برابر ۳۵۴ کیلومتر مربع بود. یعنی ۵۷٪ از کل مساحت تهران را به خود اختصاص داده است. در سال ۲۰۲۱، مساحت ساخته شده شهری به ۴۷۳ کیلومتر مربع می‌رسد. یعنی ۷۶٪ از کل مساحت را تشکیل داده است. در این بازه زمانی ۲۱ ساله، ۱۱۹ کیلومتر مربع به فضای شهری اضافه شده است که معادل ۱/۶۶ کیلومتر مربع در سال است. با توجه به جدول ۳، بیشترین رشد فضای ساخته شده شهری و مصرف زمین‌های بایر در

آن بیشتر بوده است. به همین دلیل مقدار  $ULUE > 1$  این مقدار گویای ناکارآمدی زمین در شهر تهران است. اثبات این موضوع برای برنامه‌ریزان شهری دارای اهمیت است، که در تحقیقات گذشته برای شهر تهران به آن اشاره نشده است.

#### • مقایسه تغییر پوشش سطح زمین

براساس تصاویر ماهواره‌ای شهر تهران در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ که در تصویر ۳ آمده است، مساحت ساخته



تصویر ۳. تغییر پوشش سطح زمین شهر تهران در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱. مأخذ: نگارندگان.

آورده شده است. دقت کلی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ حدود ۹۶ درصد و ضریب کاپا تقریباً ۰/۹۴ حاصل شد که بیانگر دقت بالای نتایج حاصل با واقعیت شهر تهران است.

#### • اختلاط کاربری های شهر تهران

داده‌های کاربری اراضی به شرح مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی، درمانی، نظامی، صنعتی، فضای سبز، تفریحی، ساخته‌نشده و بایر و شبکه معابر حمل و نقل از شهرداری تهران طی دوره زمانی ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۶ اخذ شد. ضریب همبستگی پیرسون، به عنوان شاخصی جهت بررسی اختلاط کاربری‌ها، توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. مطابق با تصاویر ۵ و ۶، نتایج حاصل از بررسی همبستگی میان کاربری‌ها به ترتیب ۲۴ درصد و ۲۹ درصد ارتباط میان کاربری اراضی مختلف بوده است. که در این میان به ترتیب

بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۰ (دهه اول) به ترتیب، برابر ۶/۸۵ کیلومتر مربع در سال و ۶/۳۴ کیلومتر مربع در سال می باشد. اما بیشترین تخریب پوشش گیاهی که به فضای شهری تبدیل شده، برابر ۳/۰۸ کیلومتر مربع در سال که مربوط به دهه دوم است. این قسمت بیانگر اثرات مستقیم کاربری زمین بر ایجاد آلودگی هوای شهر تهران و مزیت این تحقیق است. به منظور صرفه جویی در مصرف زمین، افزایش بهره‌وری قطعات ساختمانی، بلندمرتبه‌سازی به جای توسعه افقی سرلوحه اقدامات مربوط به شهرسازی قرار گیرد. بلندمرتبه‌سازی، بهره‌وری از قطعات زمین را به حداکثر رسانده و فضا را برای ساخت معابر عریض، پارکینگ‌ها و خدمات بیشتر می‌کند.

#### • اعتبارسنجی نتایج تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره ای اعتبارسنجی شد که نتایج در جدول ۴

جدول ۳. مقادیر فضای ساخته شده شهری، فضای خالی و پوشش گیاهی شهر تهران. مأخذ: نگارندگان.

سال	مساحت پوشش سطح زمین (کیلومتر مربع)			درصد			بازه زمانی	گسترش سالانه (سال/کیلومتر مربع)		مصرف سالانه (سال/ کیلومتر مربع)	
	ساخته شده	فضای خالی	پوشش گیاهی	ساخته شده	فضای خالی	پوشش گیاهی		ساخته شده	فضای خالی	پوشش گیاهی	
۲۰۰۰	۳۵۴/۰۶	۱۵۳/۵۶	۱۱۱	۵۷/۱۷	۲۴/۷۹	۱۷/۹۲	...	...	...	...	
۲۰۱۰	۴۲۲/۵۷	۹۰/۲۰	۱۰۵/۴	۶۸/۲۳	۱۴/۵۶	۱۷/۰۲	-۲۰۰۰ ۲۰۱۰	۶,۸۵	۶,۳۴	۰,۵۶	
۲۰۲۱	۴۷۲/۹۵	۷۲/۷۳	۷۱/۵۶	۷۶/۳۶	۱۱/۷۴	۱۱/۵۵	-۲۰۱۰ ۲۰۲۱	۴,۵۸	۱,۵۹	۳,۰۸	

جدول ۴. اعتبار سنجی و دقت پوشش سطح زمین در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۱. مأخذ: نگارندگان.

سال	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۱
دقت کلی	%۹۶/۳۱	%۹۶/۳۲	%۹۶/۳۲
ضریب کاپا	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۵

توسعه، با تخریب بیشتر پوشش گیاهی همراه بوده است که نقش مستقیم در افزایش آلودگی هوای شهر تهران دارد. در این پژوهش علاوه بر داده‌های ماهواره‌ای، از داده‌های شهرداری تهران به منظور بررسی وضعیت کاربری‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی میان انواع کاربری‌های مناطق ۲۲ گانه مشخص شد، شهر تهران به صورت پراکنده رشد داشته است، بنابراین استفاده از اتومبیل شخصی اجتناب‌ناپذیر می‌شود. در شهر پراکنده به دلیل تراکم کم، تقاضا برای حمل و نقل عمومی پایین است، از این رو هنگام توسعه شهری، سرمایه‌گذاری در حمل و نقل عمومی برای سرمایه‌گذار نمی‌تواند سود آور باشد. از طرفی دیگر وقتی فواصل بین انواع کاربری‌ها زیاد است، استفاده از شیوه‌های پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری کارایی خود را از دست می‌دهند. این حالت بیانگر تأثیر غیرمستقیم کاربری زمین بر حمل و نقل و افزایش آلودگی هوا است. علاوه بر موارد فوق، تراکم کم جمعیت مناطق حاشیه‌ای نسبت به مناطق مرکزی، موجب می‌شود ساکنان این مناطق، برای تأمین نیازهای اساسی مانند شغل، آموزش، درمان، خرید و تفریح مجبور به طی مسافت‌های طولانی با اتومبیل شخصی می‌باشند. این امر باعث افزایش حجم ترافیک، مصرف بالای سوخت و افزایش آلودگی هوای شهر تهران می‌شود. ادارات، وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها مانند شهرداری تهران، وزارت مسکن

۱۳ درصد و ۲۰ درصد ارتباط بسیار قوی با رنگ سبز برای سال پایه و الباقی دارای ارتباط کمتری با رنگ آبی است. این موضوع بیانگر ارتباط کم میان کاربری‌ها یا تفکیک زیاد میان انواع کاربری‌ها و رشد پراکنده شهر تهران برای هر یک از سال‌ها است. اما با بررسی مکانی-زمانی کاربری‌ها، در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۴، می‌توان افزایش اختلاط میان کاربری‌ها را دریافت. این بدان معناست که علی‌رغم رشد پراکنده در هر یک از سال‌ها، مدیریت شهری توانسته تا حدودی از پراکندگی شهر بکاهد. این قسمت بیانگر شکل شهر و اثرات غیرمستقیم کاربری زمین بر حمل و نقل و افزایش آلودگی هوای شهر تهران است، که در تحقیقات گذشته کمتر به آن اشاره شده است.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش در اولین گام برای تجزیه و تحلیل بهتر، از داده‌های بیشتر با منابع متعدد استفاده کرد. برنامه‌ریزان شهری برای ایجاد محیط مطلوب برای ساکنین شهری، نیازمند اطلاعات به روز و دقیق جغرافیایی هستند. نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد، گسترش شهر بیشتر به سمت مناطق حومه رشد داشته است. از مقایسه فضای خالی و پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ و ۲۰۲۱-۲۰۱۰ می‌توان نتیجه گرفت، گسترش شهر تهران در بازه زمانی دوم، به دلیل کم‌شدن زمین‌های خالی جهت



تصویر ۵. همبستگی میان انواع کاربری‌های زمین مناطق شهر تهران در سال ۲۰۰۴. مأخذ: نگارندگان.

		مسکونی	تجاری	اداری	آموزشی	درمانی	نظامی	صنعتی
مسکونی	Pearson Correlation	۱	-.۰۰۶۴	.۴۹۳*	.۰۳۷۶	.۰۳۳۴	.۰۲۴۶	-.۰۱۳۲
	Sig. (2-tailed)		.۰۷۷۹	.۰۰۲۰	.۰۰۸۴	.۰۱۲۹	.۰۲۷۰	.۰۵۵۹
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
تجاری	Pearson Correlation	-.۰۰۶۴	۱	.۰۳۸۳	-.۰۲۳۰	-.۰۱۳۹	-.۰۲۵۹	-.۰۱۰۳
	Sig. (2-tailed)	.۰۷۷۹		.۰۰۷۹	.۰۳۰۳	.۰۵۳۷	.۰۲۴۵	.۰۶۵۰
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
اداری	Pearson Correlation	.۴۹۳*	.۰۳۸۳	۱	.۰۲۸۲	.۰۵۴۲**	-.۰۰۲۰	-.۰۲۴۰
	Sig. (2-tailed)	.۰۰۲۰	.۰۰۷۹		.۰۲۰۴	.۰۰۰۹	.۰۹۳۱	.۰۲۸۲
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
آموزشی	Pearson Correlation	.۰۳۷۶	-.۰۲۳۰	.۰۲۸۲	۱	.۰۳۵۲	.۴۹۹*	-.۰۰۰۶
	Sig. (2-tailed)	.۰۰۸۴	.۰۳۰۳	.۰۲۰۴		.۰۱۰۹	.۰۰۱۸	.۰۹۸۰
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
درمانی	Pearson Correlation	.۰۳۳۴	-.۰۱۳۹	.۰۵۴۲**	.۰۳۵۲	۱	.۰۰۹۹	.۰۱۳۹
	Sig. (2-tailed)	.۰۱۲۹	.۰۵۳۷	.۰۰۰۹	.۰۱۰۹		.۰۶۶۱	.۰۵۳۸
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
نظامی	Pearson Correlation	.۰۲۴۶	-.۰۲۵۹	-.۰۰۲۰	.۴۹۹*	.۰۰۹۹	۱	.۶۶۴**
	Sig. (2-tailed)	.۰۲۷۰	.۰۲۴۵	.۰۹۳۱	.۰۰۱۸	.۰۶۶۱		.۰۰۰۱
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
صنعتی	Pearson Correlation	-.۰۱۳۲	-.۰۱۰۳	-.۰۲۴۰	-.۰۰۰۶	.۰۱۳۹	.۶۶۴**	۱
	Sig. (2-tailed)	.۰۵۵۹	.۰۶۵۰	.۰۲۸۲	.۰۹۸۰	.۰۵۳۸	.۰۰۰۱	
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
فضای_سبز	Pearson Correlation	.۴۴۷*	-.۰۱۳۴	.۰۱۳۰	.۷۶۹**	-.۰۰۸۱	.۷۲۰**	.۰۱۵۰
	Sig. (2-tailed)	.۰۰۳۷	.۰۵۵۳	.۰۵۶۶	.۰۰۰۰	.۰۷۲۱	.۰۰۰۰	.۰۵۰۴
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
تفریحی	Pearson Correlation	.۰۵۰۴*	-.۰۱۶۸	.۰۱۶۸	.۰۲۶۹	.۰۲۱۷	-.۰۰۶۵	-.۰۱۳۹
	Sig. (2-tailed)	.۰۰۱۷	.۰۴۵۵	.۰۴۵۴	.۰۲۲۷	.۰۳۳۲	.۰۷۷۴	.۰۵۳۷
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
ساخته_نشده_و_بایر	Pearson Correlation	.۰۲۲۶	-.۰۱۹۱	-.۰۰۸۳	.۷۲۸**	-.۰۰۹۷	.۴۵۰*	.۰۰۶۱
	Sig. (2-tailed)	.۰۳۳۴	.۰۴۰۶	.۰۷۲۱	.۰۰۰۰	.۰۶۷۵	.۰۰۴۰	.۰۷۹۴
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
شبکه_معاور	Pearson Correlation	.۸۱۹**	-.۰۰۱۴	.۰۲۳۰	.۰۳۲۷	.۰۲۷۱	.۰۴۱۲	.۰۲۸۶
	Sig. (2-tailed)	.۰۰۰۰	.۰۹۵۰	.۰۳۰۳	.۰۱۳۷	.۰۲۲۲	.۰۰۵۶	.۰۱۹۷
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

تصویر ۶. همبستگی میان انواع کاربری‌های زمین مناطق شهر تهران در سال ۲۰۱۶. مأخذ: نگارندگان.

		مسکونی	تجاری	اداری	آموزشی	درمانی	نظامی	صنعتی
مسکونی	Pearson Correlation	۱	۰.۰۳۶	۰.۲۵۳	۰.۶۸۷**	۰.۵۱۵*	۰.۲۶۷	-۰.۱۴۷
	Sig. (2-tailed)		۰.۸۷۲	۰.۲۵۶	۰.۰۰۰	۰.۰۱۴	۰.۲۳۰	۰.۵۱۴
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
تجاری	Pearson Correlation	۰.۰۳۶	۱	-۰.۲۱۱	۰.۱۸۷	۰.۰۳۹	-۰.۰۷۸	۰.۲۳۴
	Sig. (2-tailed)	۰.۸۷۲		۰.۳۴۷	۰.۴۰۶	۰.۸۶۲	۰.۷۲۹	۰.۲۹۵
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
اداری	Pearson Correlation	۰.۲۵۳	-۰.۲۱۱	۱	۰.۴۵۵*	۰.۶۰۹**	۰.۲۷۲	۰.۰۲۴
	Sig. (2-tailed)	۰.۲۵۶	۰.۳۴۷		۰.۰۳۳	۰.۰۰۳	۰.۲۲۲	۰.۹۱۷
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
آموزشی	Pearson Correlation	۰.۶۸۷**	۰.۱۸۷	۰.۴۵۵*	۱	۰.۵۸۴**	۰.۱۶۱	-۰.۱۸۱
	Sig. (2-tailed)	۰.۰۰۰	۰.۴۰۶	۰.۰۳۳		۰.۰۰۴	۰.۴۷۵	۰.۴۱۹
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
درمانی	Pearson Correlation	۰.۵۱۵*	۰.۰۳۹	۰.۶۰۹**	۰.۵۸۴**	۱	۰.۰۵۲	-۰.۰۷۰
	Sig. (2-tailed)	۰.۰۱۴	۰.۸۶۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۴		۰.۸۲۰	۰.۷۵۸
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
نظامی	Pearson Correlation	۰.۲۶۷	-۰.۰۷۸	۰.۲۷۲	۰.۱۶۱	۰.۰۵۲	۱	۰.۶۵۵**
	Sig. (2-tailed)	۰.۲۳۰	۰.۷۲۹	۰.۲۲۲	۰.۴۷۵	۰.۸۲۰		۰.۰۰۱
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
صنعتی	Pearson Correlation	-۰.۱۴۷	۰.۲۳۴	۰.۰۲۴	-۰.۱۸۱	-۰.۰۷۰	۰.۶۵۵**	۱
	Sig. (2-tailed)	۰.۵۱۴	۰.۲۹۵	۰.۹۱۷	۰.۴۱۹	۰.۷۵۸	۰.۰۰۱	
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
فضای سبز	Pearson Correlation	۰.۴۴۸*	۰.۱۸۷	۰.۲۶۵	۰.۳۲۳	-۰.۰۸۸	۰.۴۶۳*	۰.۱۹۶
	Sig. (2-tailed)	۰.۰۳۶	۰.۴۰۵	۰.۲۳۳	۰.۱۴۳	۰.۶۹۷	۰.۰۳۰	۰.۳۸۱
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
تفریحی	Pearson Correlation	۰.۳۴۹	۰.۰۸۳	۰.۵۲۹*	۰.۲۲۸	۰.۶۳۱**	۰.۰۴۰	-۰.۰۰۵
	Sig. (2-tailed)	۰.۱۱۲	۰.۷۱۴	۰.۰۱۱	۰.۳۰۷	۰.۰۰۲	۰.۸۵۹	۰.۹۸۳
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
ساخته نشده و بایر	Pearson Correlation	۰.۲۴۷	۰.۰۳۶	۰.۳۹۱	۰.۱۶۳	-۰.۰۹۹	۰.۵۳۷**	۰.۲۷۴
	Sig. (2-tailed)	۰.۲۶۷	۰.۸۷۵	۰.۰۷۲	۰.۴۷۰	۰.۶۶۰	۰.۰۱۰	۰.۲۱۷
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
شبکه معابر	Pearson Correlation	۰.۸۴۹**	۰.۲۱۷	۰.۲۹۸	۰.۶۱۳**	۰.۲۹۲	۰.۴۰۸	۰.۱۷۱
	Sig. (2-tailed)	۰.۰۰۰	۰.۳۳۱	۰.۱۷۷	۰.۰۰۲	۰.۱۸۸	۰.۰۶۰	۰.۴۴۶
	N	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

opportunities for urban carbon mitigation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4),283-277.

- Gong, J., Hu, Z., Chen, W., Liu, Y., & Wang, J. (2018). Urban expansion dynamics and modes in metropolitan Guangzhou, China. *Land Use Policy*, 72,109-100.
- Hickman, R., Ashiru, O., & Banister, D. (2010). Transport and climate change: Simulating the options for carbon reduction in London. *Transport policy*, 17(2),125-110.
- Huang, R., Taubenböck, H., Mou, L., & Zhu, X. X. (2018). *Classification of settlement types from Tweets using LDA and LSTM*. Paper presented at the IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Knox, P. L. (2008). *Metroburbia, USA*: Rutgers University Press.
- Koroso, N. H., Zevenbergen, J. A., & Lengoiboni, M. (2020). Urban land use efficiency in Ethiopia: An assessment of urban land use sustainability in Addis Ababa. *Land Use Policy*, 99, 105081.
- Litman, T. (2016). *Transportation cost and benefit analysis, techniques, estimates and implications*, viewed 1 March 2010. Retrieved from <https://www.vtpi.org/tca/>
- McGrath, B. (2018). Intersecting disciplinary frameworks: the architecture and ecology of the city. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(6),159-148.
- Nery, T., Sadler, R., Solis Aulestia, M., White, B. & Polyakov, M. (2019). Discriminating native and plantation forests in a Landsat time-series for land use policy design. *International Journal of Remote Sensing*, 40(11),4082-4059.
- Peña, J., Bonet, A., Bellot, J., Sánchez, J. R., Eisenhuth, D., Hallett, S. & Aledo, A. (2007). Driving forces of land-use change in a cultural landscape of Spain. In E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema & H. Scholten (eds.). *Modelling land use change: progress and applications*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Ramaswami, A., Russell, A. G., Culligan, P. J., Sharma, K. R. & Kumar, E. (2016). Meta-principles for developing smart, sustainable, and healthy cities. *Science*, 352(6288), 943-940.
- Panigrahi, S., Verma, K., & Tripathi, P. (2017). Data mining algorithms for land cover change detection: a review. *Sādhanā*, 42(12), 2081-2097
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The geography of transport systems*. New York: Routledge.
- Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G. C., Dewar, D., . . . Lwasa, S. (2014). *Human settlements, infrastructure and spatial planning*.
- Schiller, P. L. & Kenworthy, J. R. (2017). *An introduction to sustainable transportation: Policy, planning and implementation*. New York: Routledge.
- Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G.

و شهرسازی و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران می‌توانند از نتایج این پژوهش بهره‌مند شوند.

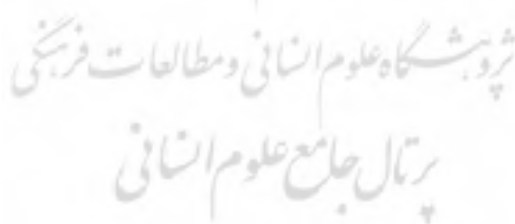
### پی‌نوشت‌ها

۱. urban heterogeneity
۲. Land Use Transportation Interaction (LUTI)
۳. Land Use/Land Cover (LU/LC)
۴. Support Vector Machine (SVM)
۵. Urban Land Use Efficiency (ULUE)
۶. Land Use Mix index  
sprawl

### فهرست منابع

- خیرالدین، رضا؛ حق بیان، رسول و شکوهی، محمد صالح. (۱۳۹۸). بازکاوی مؤلفه‌های ناکامی تجربه ایجاد پیاده‌راه ۱۷ شهریور شهر تهران. *باغ نظر*، ۱۶ (۸۱)، ۶۲-۵۳.
- سامانه برخط کیفیت هوای تهران. (۱۳۹۹). شرکت کنترل کیفیت هوا (وابسته به شهرداری تهران). Retrieved from <https://air.tehran.ir>.
- شورچه، محمود و سیف‌الدینی، فرانک. (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی و طراحی هوشمندانه کاربری زمین و حمل و نقل شهری (با تجدید نظر کامل و اضافات). تهران: انتشارات پرهام نقش.
- کریمی مشاور، مهرداد؛ منصوری، سیدامیر و ادیبی، علی اصغر. (۱۳۹۸). رابطه چگونگی قرارگیری ساختمان‌های بلندمرتبه و منظر شهری. *باغ نظر*، ۷ (۱۳)، ۹۹-۸۹.
- Acheampong, R. A., & Silva, E. A. (2015). Land use-transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions. *Journal of Transport and Land use*, 8(3),38-11
- Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., & Laue, J. (2018). Evaluation of land use & land cover change using multi-temporal Landsat imagery: a case study Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Journal of Geographic Information System*, 10(3), 260-247
- Bakr, N., & Afifi, A. A. (2019). Quantifying land use/land cover change and its potential impact on rice production in the Northern Nile Delta, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 360-348.
- Bertolini, L. (2017). *Planning the mobile metropolis: Transport for people, places and the planet*: Macmillan International Higher Education.
- Birhane, E., Ashfare, H., Fenta, A. A., Hishe, H., Gebremedhin, M. A., & Solomon, N. (2019). Land use land cover changes along topographic gradients in Hugumburda national forest priority area, Northern Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 68-61.
- Cervero, R. & Sullivan, C. (2011). Green TODs: marrying transit-oriented development and green urbanism. *International journal of sustainable development & world ecology*, 18(3), 218-210.
- Dhakal, S. (2010). GHG emissions from urbanization and

- C., Dewar, D., Huang, L., Inaba, A., Kansal, A., Lwasa, S., McMahon, J., Müller, D. B., Murakami, J., Nagendra, H. & Ramaswami, A. (2014). *Human settlements, infrastructure and spatial planning*. USA: Cambridge University Press.
- Shaharum, N. S. N., Shafri, H. Z. M., Gambo, J., & Abidin, F. A. Z. (2018). Mapping of Krau Wildlife Reserve (KWR) protected area using Landsat 8 and supervised classification algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 24-35.
  - Shoorcheh, M., Varesi, H., Mohammadi, J., & Litman, T. (2016). Urban Growth Structure and Travel Behavior in Tehran City. *Modern Applied Science*, 10(8), 32.
  - Soliman, A., Soltani, K., Yin, J., Padmanabhan, A. & Wang, S. (2017). Social sensing of urban land use based on analysis of Twitter users' mobility patterns. *Plos one*, 12(7), e0181657.
  - Tajbakhsh, K. (2020). *Urban Change in Iran: Stories of Rooted Histories and Ever-accelerating Developments by Fatemeh Farnaz Arefian and Seyed Hossein Iradj Moeini*, eds. In: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
  - Thanh Noi, P. & Kappas, M. (2018). Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. *Sensors*, 18(1), 18.
  - Wentz, E. A., Anderson, S., Fragkias, M., Netzband, M., Mesev, V., Myint, S. W., Quattrochi, D., Rahman, A., & Seto, K. C. (2014). Supporting global environmental change research: A review of trends and knowledge gaps in urban remote sensing. *Remote Sensing*, 6(5), 3879-3905.
  - WorldEconomicForum. (2020). *This is the global economic cost of air pollution*. Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2020/02/the-economic-burden-of-air-pollution/>
  - Xian, G. & Homer, C. (2010). Updating the 2001 National Land Cover Database impervious surface products to 2006 using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1676- 1686.
  - Xiao, P., Zhang, X., Wang, D., Yuan, M., Feng, X., & Kelly, M. (2016). Change detection of built-up land: A framework of combining pixel-based detection and object-based recognition. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 402-414.



#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



نحوه ارجاع به این مقاله:  
قهرمانلو، امیر؛ صفارزاده، محمود؛ نادران، علی و جوانشیر، حسن. (۱۴۰۱). مکانیسم تأثیر شکل شهری و کاربری زمین بر حمل و نقل و آلودگی هوای کلانشهر تهران. *باغ نظر*، ۱۹ (۱۰۹)، ۳۵-۴۶.

DOI:10.22034/BAGH.2022.323127.5086  
URL: [http://www.bagh-sj.com/article\\_150325.html](http://www.bagh-sj.com/article_150325.html)

