juep.net

تحلیل تطبیقی تحولات کاربری زمین در کلان‌شهر و رود دره‌های تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

رسول رحمت زاده*[۱] ، بهزاد ملک پور اصل[۲]، غلامرضا کاظمیان[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مدیریت شهری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:1405-06-26

تاریخ بازنگری:1405-08-06

تاریخ پذیرش:1405-08-16

چکیده

گسترش کالبدی و تغییرات کاربری اراضی طی دهه‌های گذشته پیامدهای بسیاری بر ساختار فضایی، اکولوژیکی و هویتی شهرها به همراه داشته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی و تحلیل تطبیقی تحولات کاربری و پوشش زمین در کلان‌شهر و رووددره‌های تهران انجام شده است. بدین منظور در پژوهش توصیفی_تحلیلی حاضر، تصاویر ماهواره‌ای از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵، در هفت مقطع زمانی، در محیط نرم‌افزار ENVI با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم SVM طبقه‌بندی و سپس در محیط GIS تحلیل شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که روند غالب تحولات کاربری زمین در هر دو محدوده، شامل افزایش چشمگیر اراضی ساخته‌شده، کاهش اراضی بایر، تغییرات نوسانی فضاهای سبز و افزایش پهنه‌های آبی در محدوده کلان‌شهر تهران بوده است. تحولات کاربری زمین در تهران طی دوره مطالعه در سه مرحله؛ گسترش کالبدی با رشد سریع، رشد بسیار شدید و سپس رشد آهسته‌تر اما متراکم‌تر و پیچیده‌تر قابل تبیین است. طی دوره مورد مطالعه در مقابل کاهش اراضی بایر، مساحت اراضی ساخته شده در کلان‌شهر تهران ۲۵۰ درصد و در رووددره‌ها ۲۵۹ درصد افزایش یافته است. فضاهای سبز پس از افزایش در دوره‌های اول و دوم، از دوره سوم یعنی از دهه ۱۳۸۰ روند کاهشی داشته است. نتایج بیانگر تأثیرپذیری رووددره‌ها از روند عمومی توسعه شهری و در عین حال برخورداری از الگوی متمایز تغییرات کاربری است. بر این اساس، حفاظت از اراضی سبز و طبیعی باقی‌مانده، کنترل ساخت‌وساز و تغییر کاربری، تقویت پیوستگی اکولوژیکی و دسترسی عمومی، در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی رووددره‌های شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کلمات کلیدی:

رود دره‌های تهران، زمین شهری، سنجش از دور، فضای سبز، کاربری زمین، کلان‌شهر تهران

[۱] نویسنده مسئول : r_rahmatzadeh@sbu.ac.ir

juep.net

۱. مقدمه

گسترش شتابان شهرنشینی و توسعه کالبدی شهرها در دهه‌های اخیر، تغییرات گسترده‌ای در الگوی استفاده از زمین ایجاد کرده است. این گسترش و تغییرات کاربری اراضی شهری اگر چه می‌تواند نشان‌دهنده توسعه اقتصادی باشد، اما اغلب پیامدهای متقابلی را نیز به همراه دارد؛ از جمله از دست رفتن زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، تالاب‌ها، حوزه‌های آبخیز و سایر اشکال محیط‌زیستی (Wu et al., 2021; Yang et al., 2021). به طوری که مطالعات، تغییر کاربری اراضی شهری را با مسائلی همچون تغییرات دمایی، جزایر حرارتی، تغییر اقلیم شهری، رواناب و سیلاب‌ها، میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و سایر ریسک‌های محیط‌زیستی مرتبط می‌دانند (Kabeja et al., 2022; Stephen, 2018; Zhu et al., 2021). در بسیاری از شهرها، رشد سریع، با مدیریت ضعیف، توسعه بی‌رویه و نامنظم، علاوه بر پیامدهای شدید محیط‌زیستی، فشار بر اکوسیستم‌ها و زیرساخت‌های عمومی را نیز به همراه داشته است. این امر ارزیابی منظم تغییرات کاربری زمین را به عنوان یک ضرورت فوری و نه فقط یک فعالیت آکادمیک، مطرح می‌کند (Sardar et al., 2026). از این رو بررسی تغییرات کاربری اراضی شهری از آن جهت اهمیت دارد که اطلاعات و شواهدی از روندهای گذشته، عوامل محرک تغییرات زمین و مسیر احتمالی آینده در اختیار برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران و جوامع قرار می‌دهد تا بتوانند میان توسعه اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و تاب آوری بلند مدت شهری تعادل برقرار کنند (Gautam & Aithal, 2024).

کلان‌شهر تهران در نتیجه رشد کالبدی طی چند دهه گذشته با دگرگونی‌های چشمگیری در الگوی کاربری زمین مواجه بوده است. افزایش سطوح ساخته‌شده و تبدیل اراضی طبیعی، بایر و فضاهای سبز به کاربری‌های شهری، از مهم‌ترین آثار این فرایند است که ساختار فضایی شهر و عملکردهای اکولوژیکی آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است (Rousta et al., 2018). یکی از پهنه‌هایی که در این فرایند در معرض تغییرات قرار گرفته رودره‌های شهر تهران است؛ پهنه‌هایی که علاوه بر قرارگیری در ساختار طبیعی شهر، بخشی مهم از نظام فضایی و محیط‌زیستی شهر تهران را شکل می‌دهند.

رودره‌های شهر تهران صرفاً مسیرهای عبور آب نیستند، بلکه به‌عنوان کریدورهای طبیعی شمالی–جنوبی، عناصر پیونددهنده فضاهای سبز و باز با ساختار شهری و بخشی از ساختار تاریخی و فرهنگی تهران نیز عمل می‌کنند (Chamanara & Kazemeini, 2016). این پهنه‌های دارای اهمیت اکولوژیکی، اجتماعی و فضایی، زمینه شکل‌گیری فضاهای سبز و باغ‌ها، سیمای شهری، هویت و تصویر ذهنی شهر تهران را فراهم می‌کنند. همچنین می‌توانند در پیوند میان انسان، طبیعت و شهر و در ارتقای کیفیت محیط شهری نقش‌آفرین باشند. از این منظر، تغییرات کاربری و پوشش زمین در رودره‌ها می‌تواند منجر به تغییر در رابطه میان ساختار طبیعی و توسعه کالبدی شهر باشد. بنابراین، حفظ و مدیریت رودره‌های تهران را نمی‌توان تنها مسئله‌ای مرتبط با حفاظت محیط‌زیست دانست، بلکه این موضوع با حفظ هویت شهری، ارتقای کیفیت زندگی و دستیابی به پایداری و تاب‌آوری شهری نیز ارتباط دارد. از این رو، شناخت تحولات و تغییرات کاربری و پوشش زمین، یکی از الزامات اساسی به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت رود دره‌های شهری محسوب می‌شود.

داده‌های سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل پوشش زمانی طولانی، تکرارپذیری، پوشش گسترده و امکان مقایسه تغییرات در دوره‌های زمانی مختلف، ابزار مناسبی برای پایش تحولات کاربری و پوشش زمین در مقیاس شهری را فراهم می‌کنند (Wulder et al., 2019). با وجود مطالعات متعددی که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تحولات کاربری و پوشش زمین در تهران پرداخته‌اند، بخش قابل‌توجهی از این مطالعات یا بر بخش‌هایی از محدوده‌ی شهری تمرکز داشته و یا دوره‌های زمانی محدودی را بررسی کرده‌اند. در کنار این امر، رودره‌های تهران کمتر به‌عنوان یک پهنه فضایی مستقل در یک دوره زمانی بلندمدت مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه مستقیم روند تحولات آنها با روند عمومی کلان‌شهر تهران نیز تا به حال مورد توجه قرار نگرفته است.

بر این اساس مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که علی‌رغم اهمیت بررسی تحولات کاربری و پوشش زمین در مدیریت و برنامه‌ریزی کلان‌شهر و رودره‌های تهران، تاکنون کمتر به تحولات کاربری زمین به صورت جامع پرداخته شده است. علاوه بر این هنوز به روشنی مشخص نشده است که الگوی گسترش کالبدی و تغییرات کاربری چگونه بوده و آیا در رودره‌ها از الگوی عمومی تغییرات کاربری و پوشش زمین در کلان‌شهر تهران پیروی می‌کند یا دارای تفاوت است.

هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی و تحلیل تطبیقی تحولات کاربری و پوشش زمین در کلان‌شهر و رودره‌های تهران طی دوره ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ (از نخستین تا به‌روزترین تصاویر) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. در راستای این هدف، تلاش می‌شود ابتدا تغییرات کاربری و پوشش زمین در هر دو محدوده مورد بررسی قرار گیرد، سپس میزان تغییرات پوشش کاربری اراضی را در دوره‌های مختلف مقایسه و در نهایت مشخص شود که الگوی روند تحولات رودره‌ها تا چه اندازه با الگوی روند عمومی تغییرات کاربری زمین در کلان‌شهر تهران همسو یا متفاوت بوده است. نتایج این پژوهش می‌تواند ضمن ارائه تصویری بلندمدت از تحول کاربری زمین رود دره‌های تهران، مبنایی برای مطالعات بعدی درباره عوامل مؤثر بر این تغییرات در هر دوره، از جمله تحولات نهادی، سیاست‌های زمین و مدیریت شهری و اقتصاد سیاسی زمین را فراهم آورد.

۲. پیشینه پژوهش

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که سنجش‌ازدور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست از مهم‌ترین ابزارها به منظور پایش بلندمدت گسترش شهر، تغییرات فضایی و تحولات کاربری زمین شهرها در بسیاری از مطالعات انجام شده است. از جمله مطالعات خارجی و داخلی انجام شده به منظور پایش بلندمدت تغییرات کاربری و پوشش زمین، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بادوال و کومار (۲۰۲۵) در پژوهشی، تحولات زیرساخت سبز شهری در دهلی هند را طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست بررسی کردند. در این پژوهش پس از طبقه‌بندی کاربری زمین، از ماتریس‌های تغییر و شاخص‌های سیمای سرزمین برای بررسی تغییرات ساختاری و فضایی استفاده شده است. نتایج این مطالعه حاکی از افزایش قابل‌توجه اراضی ساخته‌شده و کاهش و قطعه‌قطعه‌شدن پوشش گیاهی و فضاهای باز بود. نویسندگان بر ضرورت ادغام برنامه‌ریزی شهری، سیاست‌گذاری و پایش سنجش‌ازدور برای مدیریت پایدار فضاهای سبز تأکید کردند (Bhadwal & Kumar, 2025). اولگوند و همکاران (۲۰۲۵) نیز در پژوهشی با عنوان «تغییرات کاربری و پوشش زمین: مطالعه موردی در نیجریه»، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تحلیل GIS، تغییرات کاربری زمین را طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد که اراضی ساخته‌شده افزایش و پوشش جنگلی و بوته‌زار کاهش یافته است؛ همچنین، تبدیل اراضی با پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی به سطوح ساخته‌شده، ضرورت مدیریت پایدار زمین و ایجاد تعادل میان توسعه شهری و حفاظت اکولوژیکی را نشان می‌دهد (Ologunde et al., 2025). دینگ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی در شهر شنژن چین، تغییرات پوشش زمین را در یک دوره بلندمدت از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۲ با استفاده از ۹ تصویر لندست بررسی کرده‌اند. در این مطالعه، طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم SVM انجام گرفته است. نتایج آن نشان می‌دهد که طی ۴۳ سال، محدوده ساخته شده شهری حدود ۷۵۶.۸۴ کیلومترمربع افزایش یافته، در حالی که پوشش گیاهی حدود ۵۴۶.۲۷ کیلومترمربع، مساحت پهنه‌های آبی ۱۳۲.۹۵ کیلومتر مربع و مساحت اراضی بایر ۷۷.۶۲ کیلومتر مربع کاهش داشته است (Ding et al., 2022). در پژوهشی دیگر میرجانا و همکاران (۲۰۲۶)، تحولات کاربری زمین و تغییرات پوشش گیاهی کریدور رودخانه ساوا در بلگراد صربستان را طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تحولات شهری و پروژه‌های

بازتوسعه در امتداد رودخانه می‌توانند ساختار فضایی پوشش گیاهی و محیط رودخانه‌ای را تحت تأثیر قرار دهند (Miletić et al., 2026). دهقانی و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی تطبیقی، الگوهای تغییر کاربری زمین در تهران و سیدنی را طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۳ شناسایی و عوامل مؤثر بر آنها را تحلیل کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در تهران تبدیل اراضی کشاورزی و بایر به اراضی ساخته‌شده قابل توجه بوده و دسترسی به شبکه راه‌ها از عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری محسوب می‌شود (Dehghani et al., 2025).

در میان مطالعات انجام شده داخلی چندین مطالعه در سال‌های مختلف وجود دارد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به بررسی تغییرات کاربری در محدوده شهر تهران پرداخته‌اند. حیدریان و همکاران (۲۰۱۴) در میان اولین مطالعات، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، تغییرات کاربری زمین در تهران را در فاصله سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در این دوره، بیشترین افزایش مربوط به پهنه‌های ساخته‌شده، پارک‌ها و پهنه‌های آبی و بیشترین کاهش مربوط به اراضی بایر و کشاورزی بوده است (Heydarian et al., 2014). کاویانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی با عنوان «تحلیل الگوی رشد شهر تهران با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین» تغییرات فضایی—زمانی کاربری/پوشش اراضی در کلان‌شهر تهران و پیرامون آن را طی چهار دهه و تا سال ۱۳۹۲ را بررسی کرده و نشان می‌دهند که رشد شهری تهران در سه مرحله اصلی شامل شکل‌گیری هسته‌های اولیه رشد، پخشایش و سپس همگرایی لکه‌های شهری قابل توضیح است (Kaviani et al., 2015).

روستا و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تغییرات کاربری و پوشش زمین کلان‌شهر تهران را طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ با استفاده از تصاویر لندست بررسی کرده‌اند. نتایج آن نشان‌دهنده افزایش قابل توجه اراضی ساخته‌شده و کاهش پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی بوده است (Rousta et al., 2018). ستاری و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان « تحلیل و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تغییرات کاربری اراضی شهری در منطقه کلان‌شهر تهران» با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، GIS و مدلCA-Markov ، تغییرات کاربری اراضی کلان‌شهر تهران و پیامدهای زیست‌محیطی آن را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روند تبدیل اراضی طبیعی به کاربری‌های ساخته‌شده به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (Sattari et al., 2023). سبحانی و دانه کار (۲۰۲۶) نیز در پژوهشی با محوریت ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل Markov-CA در منطقه ۲۲ شهرداری تهران، تغییرات کاربری اراضی و روند گسترش ساخت‌وساز با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی مورد بررسی قرار داده‌اند؛ نتایج آن نشان می‌دهد که رشد کالبدی شهر و تبدیل اراضی طبیعی و باز به کاربری‌های ساخته‌شده، از مهم‌ترین روندهای تغییرات کاربری در مناطق در حال توسعه تهران است (Sobhani & Danehkar, 2026).

با توجه به‌مرور پیشینه‌های مطالعاتی می‌توان گفت از یک سو، بیشتر پژوهش‌ها تغییرات کاربری زمین را در مقیاس کل شهر یا کلان‌شهر تهران بررسی کرده‌اند و کمتر به رود دره‌های تهران توجه شده است. از سویی دیگر، مطالعات پیشین عمدتاً دوره‌های کوتاهی و معمولا یک یا دو دهه را پوشش داده‌اند و بررسی یکپارچه و مقایسه‌ای تحولات از ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵، یعنی در یک بازه زمانی بیش از پنج دهه، کمتر موردتوجه قرار گرفته است؛ بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز هم‌زمان بر رود دره‌ها و کلان‌شهر تهران و با بهره‌گیری از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست، علاوه بر آشکارسازی روند و الگوی کلی تغییرات کاربری زمین، تفاوت الگوی تحول در رود دره‌ها با ساختار کلی کلان‌شهر را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر فلسفه و پارادایم پژوهش در چارچوب پارادایم اثبات‌گرایی قرار می‌گیرد. از نظر هدف، پژوهش حاضر را می‌توان در زمره پژوهش‌های نظری - کاربردی قرار داد؛ زیرا نتایج حاصل از آن می‌تواند برای شناخت روند بلندمدت تغییرات کاربری زمین و مدیریت و برنامه‌ریزی فضایی رود دره‌های شهر تهران مورداستفاده قرار گیرد. از نظر ماهیت و روش اجرا نیز پژوهش حاضر توصیفی_تحلیلی است که با رویکرد کمی و با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و GIS انجام شده است. مراحل مختلف انجام پژوهش حاضر به شرح موارد زیر است.

مرحله نخست؛ انتخاب تصاویر ماهواره لندست: به‌منظور بررسی روند تحولات کاربری زمین در محدوده موردمطالعه، از مجموعه تصاویر ماهواره‌ای لندست در مقاطع زمانی مختلف طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۶ میلادی و با فاصله زمانی هر ده سال استفاده شد. انتخاب تصاویر بر اساس موقعیت جغرافیایی محدوده شهر تهران از طریق تصاویر ماهواره لندست موجود در سایت usgs (https://earthexplorer.usgs.gov) و در بازه اردیبهشت و مردادماه به منظور تشخیص بهتر پوشش‌ها از جمله فضاهای سبز و همچنین با در نظر گرفتن میزان پوشش ابر زیر ۱۰ درصد محدوده انتخاب و از اولین تصویر موجود که مربوط به سال ۱۳۵۱ است، تا سال ۱۴۰۰ برای هر دهه و نیز جدیدترین تصویر مربوط به سال ۱۴۰۵ اخذ شد. مشخصات هفت تصویر اخذ شده از این سایت به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده در پژوهش از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	دقت مکانی	سیستم مختصات
۱	Landsat 1	MSS	1351/ 1972/09/05	۶۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۲	Landsat 3	MSS	1360/ 1981/05/27	۶۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۳	Landsat 5	TM	1370/ 1991/06/16	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۴	Landsat 7	ETM+	1380/ 2001/06/27	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۵	Landsat 5	TM	1390/ 2011/07/09	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۶	Landsat 8	OLI	1400/ 2021/06/18	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N
۷	Landsat 8	OLI	1405/ 2026/06/07	۳۰ متر	WGS84 UTM Zone 39 N

مرحله دوم؛ پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای: پس از دریافت تصاویر، مرحله پیش‌پردازش باهدف آماده‌سازی تصاویر برای طبقه‌بندی و کاهش خطاهای ناشی از شرایط تصویربرداری در نرم‌افزار ENVI انجام شد. این مرحله شامل برش محدوده موردمطالعه با استفاده از نقشه محدوده تهران و تصحیح رادیومتریک با دستور Radiometric Correction، تصحیح اتمسفری با استفاده از دستور Quick Atmospheric Correction و نرمال‌سازی مقادیر باندهای طیفی در بازه صفر تا یک با فرمول نویسی در دستور Band math بود.

مرحله سوم؛ ایجاد ROI و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در محیط ENVI: هدف از این مرحله ایجاد مجموعه‌ای از نمونه‌های معرف برای هر طبقه بود تا الگوریتم طبقه‌بندی بتواند ویژگی‌های طیفی طبقات مختلف را شناسایی و تفکیک کند. باتوجه‌به هدف پژوهش، طبقات کاربری و پوشش زمین مورداستفاده در شش طبقه اولیه شامل ساخته‌شده، فضای سبز، اراضی بایر، کوهستان، آب و راه طبقه‌بندی شد. سپس جهت برآورد تعداد نمونه برای هر دسته از فرمول زیر که بر اساس سهم هر دسته از میزان مساحت است استفاده شد (Jensen, 2016).

juep.net

$$N = \frac{B\Pi_i(1-\Pi_i)}{b_i^2}$$

که در آن:

N : تعداد نمونه موردنیاز برای دسته

IIi : نسبت/سهم آن دسته از کل منطقه

1− IIi : سهم سایر دسته‌ها

bi :خطای مجاز برای آن دسته

B : مقدار به‌دست‌آمده از توزیع کای‌دو

باتوجه‌به فرمول ذکر شده و نیز سهم حدودی هر کدام از دسته‌ها حداقل نمونه موردنیاز به‌صورت جدول ۲ برای هر دوره بدست آمد و با این حال تلاش شد تا در عمل به منظور آشکارسازی بهتر هر دسته تعداد بیشتری نیز برداشت شود.

جدول ۲. تعداد نمونه‌های برداشتی از تصاویر ماهواره‌ای برای هر کاربری

دسته / سال	۱۳۵۱/۱۹۷۲	۱۳۶۰/۱۹۸۱	۱۳۷۰/۱۹۹۱	۱۳۸۰/۲۰۰۱	۱۳۹۰/۲۰۱۱	۱۴۰۰/۲۰۲۱	۱۴۰۵/۲۰۲۶
ساخته‌شده	90	131	147	۱۵۶	۲16	168	168
راه	50	50	63	63	63	63	63
بایر	168	147	112	112	۱۰۹	112	112
کوه	147	147	147	147	112	112	112
سبز	60	60	60	60	60	60	60
آب	50	50	50	50	50	50	50
جمع	565	585	579	۵۸۸	۵۸۷	565	565

مرحله چهارم؛ طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی صحت طبقه‌ها: طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم SVM (Support Vector Machine) در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد. SVM یکی از الگوریتم‌های است که برای طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور، به‌ویژه در شرایطی که تعداد نمونه‌ها محدود و تفکیک طیفی طبقات پیچیده باشد، کاربرد گسترده‌ای دارد. اساس این الگوریتم بر تعیین یک ابر صفحه بهینه برای جداسازی طبقه‌های مختلف است؛ به‌گونه‌ای که فاصله نمونه‌ها از مرز تصمیم تاحدامکان افزایش یابد (Mountrakis et al., 2011).

پس از تولید نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، به‌منظور اطمینان از اعتبار نتایج، ارزیابی صحت طبقه‌بندی انجام شد. در این مرحله ابتدا برای هر طبقه، نمونه‌های تصادفی به صورت جداگانه برای تصویر هر دوره با استفاده از نزدیک‌ترین تصویر موجود در نرم‌افزار گوگل ارث پرو (Google Earth Pro) به لحاظ زمانی به آن دوره با توجه به سهم درصد هر طبقه به تعداد حداقل ۲۰ و حداکثر ۵۰ مورد

juep.net

juep.net

برداشت شد. پس از آن نمونه‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزار GIS در قالب Shapefile ذخیره و به نرم‌افزار ENVI منتقل و با تشکیل ماتریس خطا (Confusion Matrix) با استفاده از دستور Confusion Matrix صحت طبقه‌بندی نمونه‌های برداشت شده، ارزیابی شد. این ماتریس امکان مقایسه طبقات پیش‌بینی‌شده توسط طبقه‌بندی‌کننده با داده‌های مرجع را فراهم می‌کند. بر اساس نتایج این ماتریس شاخص‌هایی مانند دقت کلی (Overall Accuracy) و ضریب کاپا (Coefficient Kappa) برای تصویر هر دوره محاسبه شد که به‌صورت جدول ۳ است.

جدول ۳. میزان دقت و اعتبار طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

ضریب/ سال	۱۳۵۱/۱۹۷۲	۱۳۶۰/۱۹۸۱	۱۳۷۰/۱۹۹۱	۱۳۸۰/۲۰۰۱	۱۳۹۰/۲۰۱۱	۱۴۰۰/۲۰۲۱	۱۴۰۵/۲۰۲۶
دقت کلی	۸۹.۸	۹۰.۴	۹۱.۳	۹۲.۲	۹۰.۷	۹۱.۵	۹۲.۱
ضریب کاپا	۰.۸۷۵	۰.۸۸۶	۰.۸۹۵	۰.۹۰۴	۰.۸۹۶	۰.۹۰۳	۰.۹۱۲

باتوجه‌به نتایج بدست آمده که در جدول ۳ بیان شده است و ازآنجایی‌که دقت کلی در طبقه‌بندی تصاویر حدود ۹۰ درصد به بالا بدست آمده و همچنین ضریب کاپا نیز بالاتر از ۰.۸۷ بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت این شاخص‌ها وضعیت قابل‌قبولی قرار دارند و بیانگر عملکرد مناسب طبقه‌بندی انجام شده است.

مرحله پنجم؛ تحلیل داده‌ها در محیط GIS : پس از انجام طبقه‌بندی و ارزیابی صحت نتایج، به‌منظور تفسیر بهتر داده‌ها و امکان مقایسه روشن‌تر تحولات کاربری و پوشش زمین، نقشه‌های استخراج‌شده در محیط نرم‌افزار GIS مورد پردازش قرار گرفتند. در این پژوهش، به‌منظور ساده‌سازی ساختار طبقه‌بندی و افزایش قابلیت مقایسه تغییرات کاربری و پوشش زمین در دوره‌های زمانی مختلف، تعداد طبقات اولیه از شش طبقه به چهار طبقه شامل اراضی ساخته‌شده، اراضی بایر، فضای سبز و آب کاهش یافت. این تصمیم با هدف ادغام طبقات دارای ویژگی‌های طیفی و ماهیت کاربری مشابه، کاهش احتمال اختلاط میان طبقات در فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تسهیل تحلیل روند تغییرات در محیط GIS اتخاذ شد. در این فرایند، طبقه راه در اراضی ساخته‌شده و طبقه کوهستان در اراضی بایر تجمیع و بازتعریف شد. سپس با استفاده از ابزارهای GIS، مساحت هر یک از چهار طبقه اصلی در سال‌های موردمطالعه محاسبه شد و نقشه‌های مربوط به توزیع و تغییرات این طبقات تهیه و تحلیل شدند.

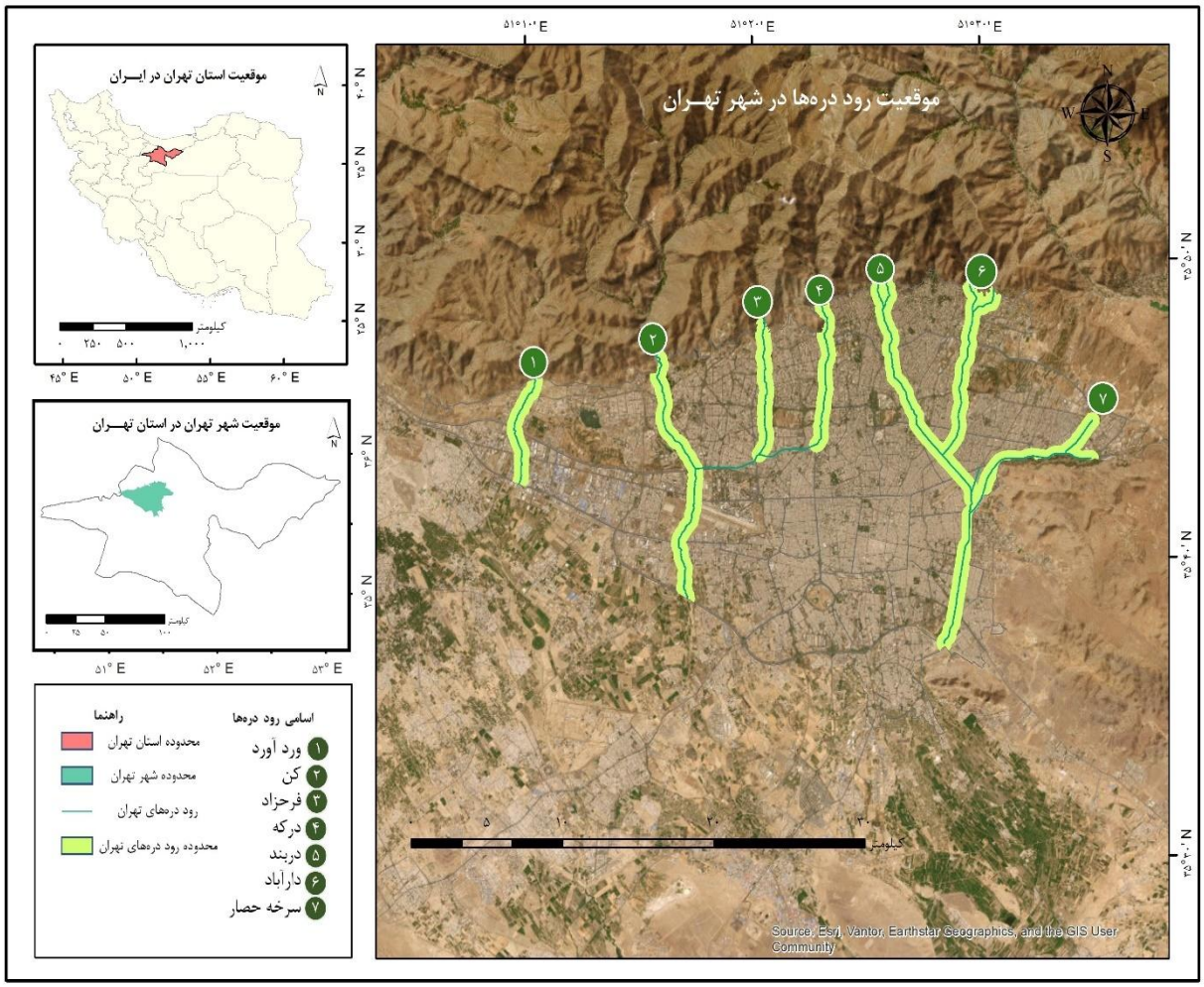
۴. بیان یافته‌ها

۱.۴. محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل محدوده کلان‌شهر تهران که در بخش شمالی کشور و در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و در موقعیت جغرافیایی بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه و ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی امتداد دارد (Aghazadeh et al., 2025). تهران با مساحتی بالغ بر ۶۱۶ کیلومتر مربع (Tehran Municipality ICT Organization, 2025)، از ارتفاع ۹۰۰ متر در قسمت‌های جنوبی تا ۱۸۰۰ متر در قسمت‌های شمالی متغیر است (Khazaei et al., 2025). جمعیت این شهر در دهه‌های اخیر رشد قابل توجهی داشته و بر اساس آخرین سرشماری رسمی در سال ۱۳۹۵ از ۸.۷ میلیون نفر فراتر رفته است (Statistical Centre of Iran, 2016). علاوه بر محدوده کلان‌شهر تهران، این مطالعه شامل رودره وردآورد، کن، فرحزاد، درکه، دربند، دارآباد و سرخه‌حصار نیز می‌شود که در بخش شمالی و شمال‌غربی و همچنین شرق

juep.net

تهران قرار گرفته‌اند و از ارتفاعات البرز به سمت پهنه شهری امتداد می‌یابند (Negin Shahr Ayandeh Consulting Engineers, 2013). با توجه به اینکه رود دره‌ها فقط مسیل عبور آب نیستند و به دلیل عبور آب و موقعیت جغرافیایی، محل شکل‌گیری باغات، فضاهای سبز و همچنین به دلیل شیب آن، از منظر ویژه‌ای برخوردارند، بنابراین، در این پژوهش محدوده‌ای به شعاع ۵۰۰ متری هفت مسیل رودخانه به عنوان محدوده رودره با نظر خبرگان انتخاب شد. نقشه محدوده‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر به قرار شکل ۱ است.

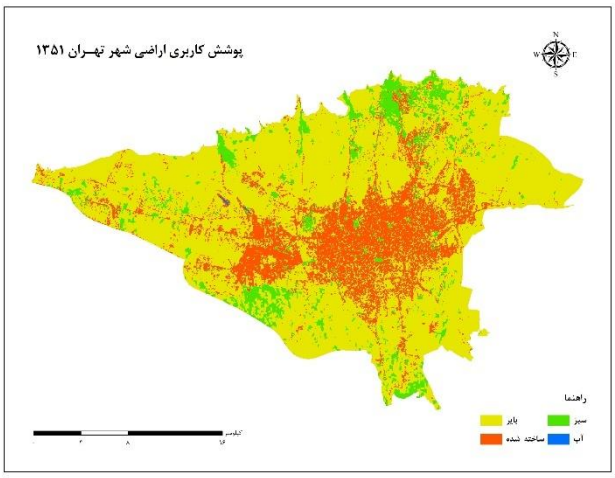


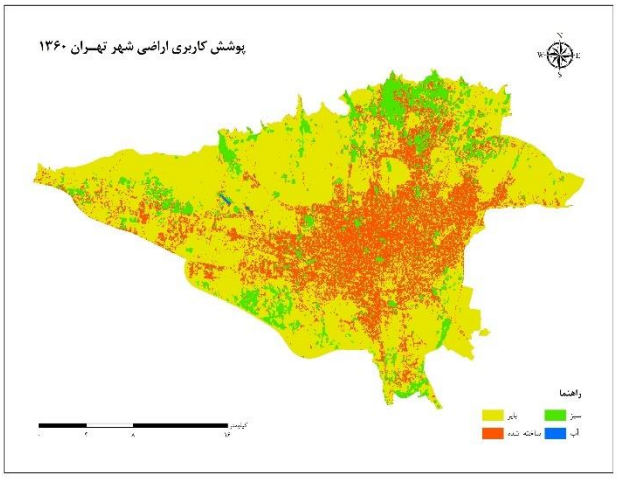
شکل ۱. محدوده مورد مطالعه: کلان‌شهر و رود دره‌های هفتگانه تهران

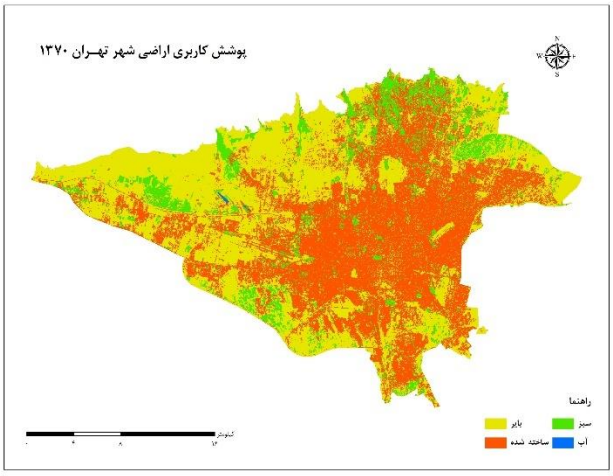
۲.۴. *تحولات کاربری زمین محدوده کلان‌شهر تهران طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵*

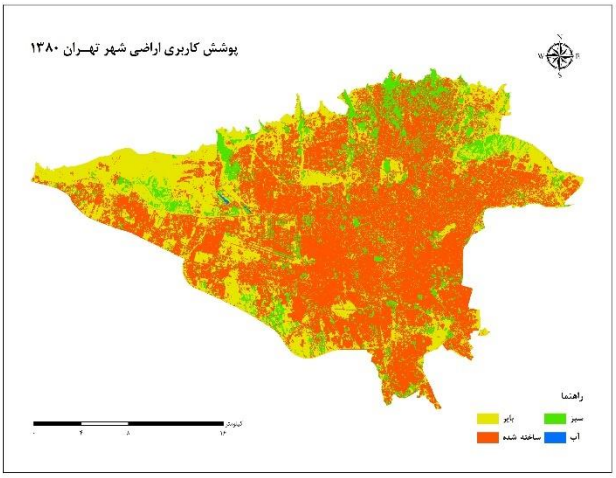
یافته‌های حاصل از تحلیل و طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین تصاویر ماهواره‌ای لندست طی ۵۴ سال گذشته محدوده کلان‌شهر تهران یعنی از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ در قالب شکل ۲ است. با توجه به نقشه‌های بدست آمده، در خصوص جهت گسترش شهر تهران می‌توان گفت ابتدا اراضی بخش مرکزی شهر مورد ساخت و ساز قرار گرفته و سپس جهت گسترش بیشتر به سمت شمال و شرق

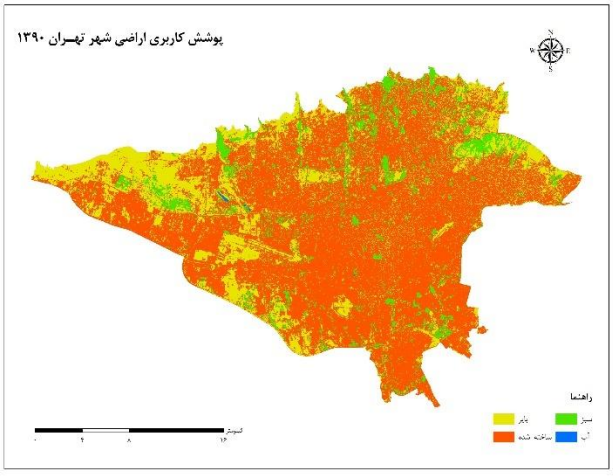
بوده و در ادامه بخش‌های جنوب و جنوب غربی گسترش یافته و در نهایت گسترش تهران به سمت بخش غربی و شمال غربی بوده است.

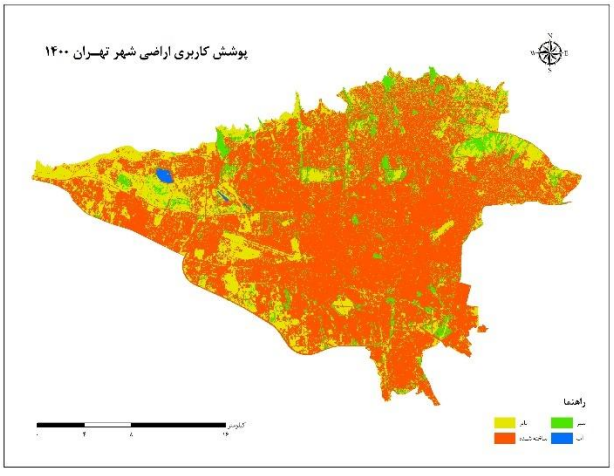




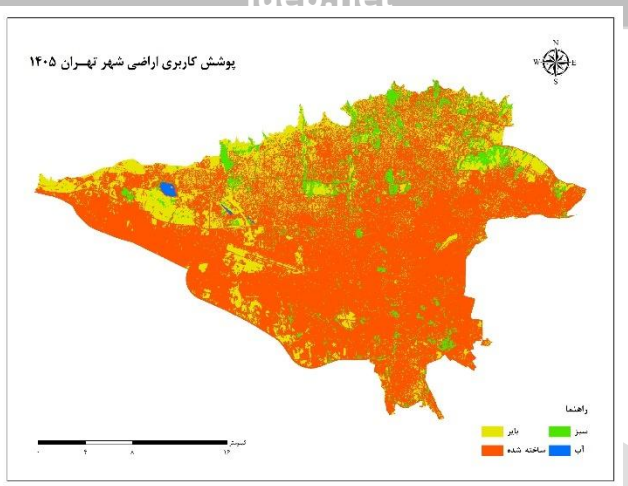








juep.net



شکل ۲. نقشه تغییرات کاربری زمین در محدوده کلان‌شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

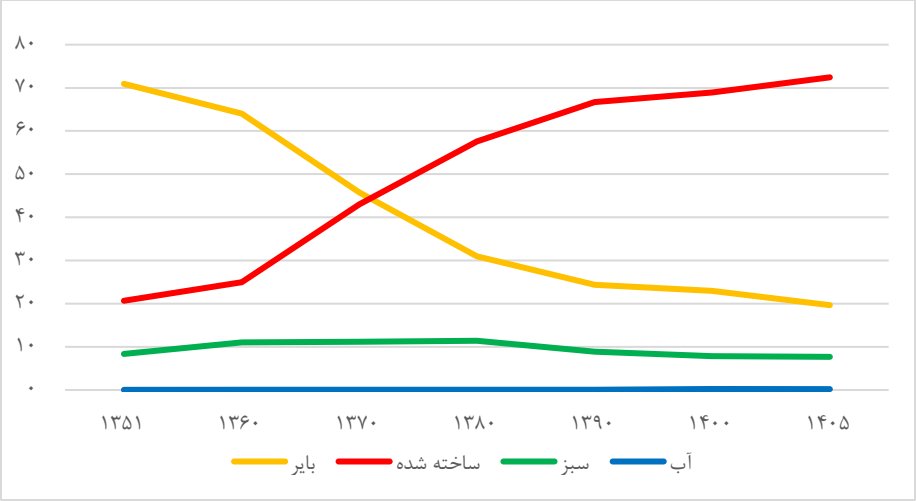
به‌منظور بررسی روند تغییرات کاربری و پوشش زمین در محدوده مورد مطالعه، مساحت هر یک از چهار طبقه استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در مقاطع زمانی مختلف در نرم‌افزار GIS محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از محاسبه مساحت طبقات در دوره زمانی ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. میزان مساحت کاربری‌های کلان‌شهر تهران در دوره‌های مختلف (مساحت به هکتار)

کاربری/ سال	1351	1360	1370	1380	1390	1400	1405
ساخته شده	12734.9	15357.7	26485.1	35487.3	41083.5	42476.9	44621.5
اراضی بایر	43695.1	39451.2	28214.1	19068.1	15031.1	14151.6	12108.1
فضای سبز	515۰.9	6770.7	6880.4	702۴.0	5464.4	4832.3	4731.9
آب	۲۲.4	23.8	23.8	2۴.0	24.4	142.5	141.9

بر اساس یافته‌های مطرح شده در جدول ۴، در فاصله سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ مساحت اراضی ساخته‌شده از 12734.9 هکتار به 44621.5 هکتار افزایش یافته است که بیانگر افزایشی حدود ۲۵۰ درصدی در طول ۵۴ سال است. در مقابل، مساحت اراضی بایر از 43695.1 هکتار در سال ۱۳۵۱ به ۱۲۱۰۸.۱هکتار در سال ۱۴۰۵ کاهش یافته است. مساحت فضاهای سبز نیز از ۵۱۵۰.۹ هکتار در سال ۱۳۵۱ به ۴۷۳۱.۹ هکتار در سال ۱۴۰۵ رسیده و در مجموع حدود ۸.۱ درصد کاهش داشته است، این در حالی است که مساخت فضای سبز تا سال ۱۳۸۰ در حال افزایش بوده به طوری که در این سال مساحت فضای سبز به ۷۰۲۴ هکتار نیز رسیده بوده است. مساحت پهنه آبی نیز در دهه‌های مختلف ثابت بود که پس از احداث دریاچه چیتگر از سال ۱۴۰۰ در تصاویر آشکار شده و موجب ۶ برابر شدن پهنه آبی تهران و رسیدن آن به حدود ۱۴۲ هکتار شده است.

juep.net



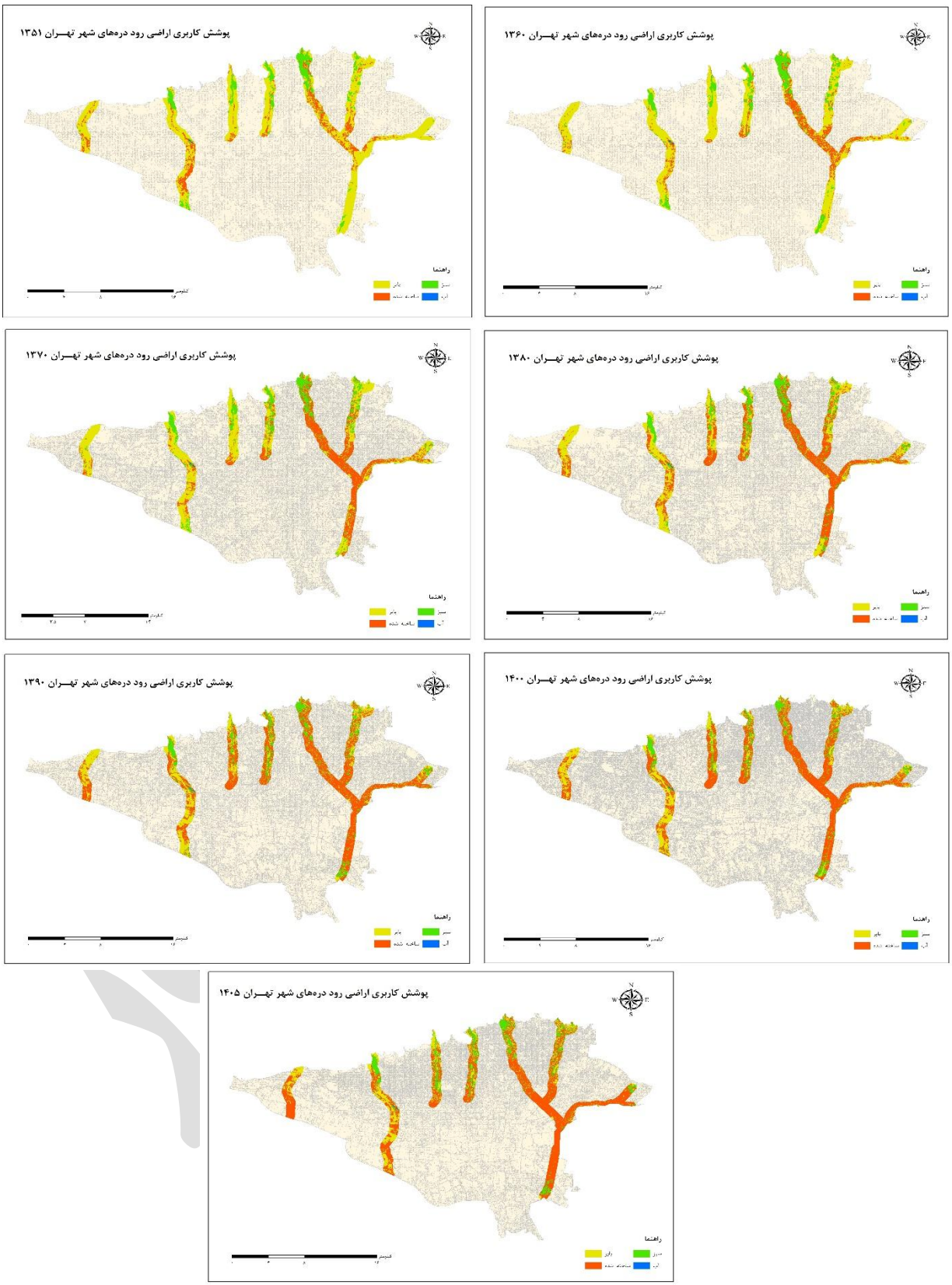
شکل ۳. درصد سهم مساحت کاربری‌های کلان‌شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

باتوجه‌به شکل ۳ که تغییرات سهم سه طبقه اصلی کاربری زمین در کلان‌شهر تهران را طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ نشان می‌دهد؛ نتایج بیانگر افزایش پیوسته سهم اراضی ساخته‌شده از ۲۰.۶۷ به ۷۲.۴۳ درصد و کاهش سهم اراضی بایر از ۷۰.۹۳ به ۱۹.۶۵ درصد است، در حالی که سهم فضای سبز پس از روند افزایش اولیه، از دهه ۱۳۸۰ روند کاهشی داشته است و در کل از حدود ۸.۴ درصد به ۷.۶ درصد از مساحت کل اراضی کاهش یافته است. اراضی آبی نیز در دوره‌های ابتدایی ثابت بوده و با اضافه شدن دریاچه چیتگر سهم آن از حدود ۰.۰۳ درصد به ۰.۲۳ درصد افزایش یافته است.

۳.۴. تحولات کاربری رود دره‌های شهر تهران طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

بررسی تحولات کاربری زمین در رود‌دره‌های شهر تهران طی دوره ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵، بیانگر تغییرات قابل‌توجه در الگوی استقرار و توزیع کاربری‌های زمین در این پهنه‌های طبیعی تحت تأثیر گسترش کالبدی شهر است. نتایج حاصل از تحلیل و طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین رود دره‌های تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست طی 54 سال گذشته در قالب شکل ۴ آورده شده است.

juep.net



شکل ۴. نقشه تغییرات کاربری زمین در محدوده رود دره‌های شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

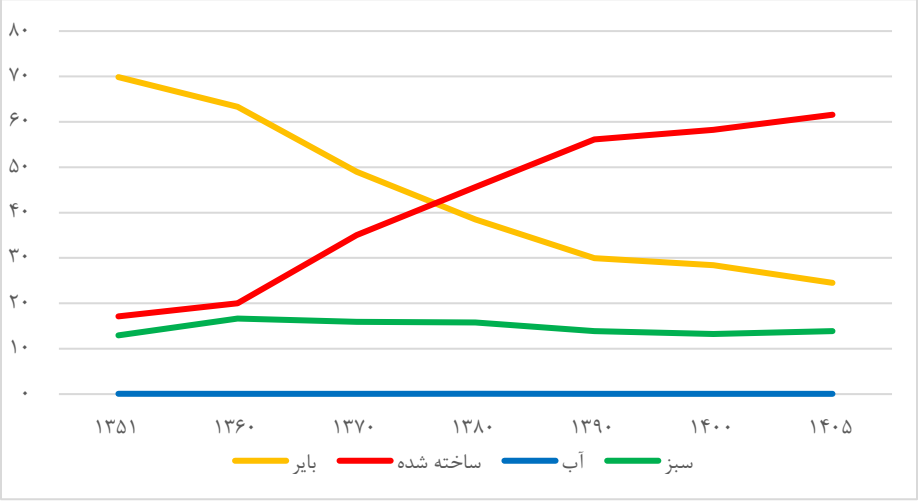
juep.net

به‌منظور بررسی تحولات کاربری و پوشش زمین در محدوده رود دره‌های شهر تهران، پس از استخراج مساحت هر یک از طبقات کاربری در دوره‌های زمانی مختلف، با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان می‌دهد که در طول دوره مورد مطالعه، همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، چهار طبقه مورد بررسی شامل اراضی بایر، اراضی ساخته‌شده و پوشش سبز در تمامی دوره‌ها مجموعاً حدود ۸۸۰۷ هکتار از محدوده مورد بررسی را تشکیل داده‌اند؛ بااین‌حال، سهم و مساحت هر یک از این طبقات در هر دوره مطابق جدول ۵ تغییر کرده است. این تغییرات، به‌ویژه در ارتباط با کاهش اراضی بایر و افزایش سطوح ساخته‌شده، می‌تواند بیانگر روند گسترش فعالیت‌های شهری و تغییر تدریجی سیمای طبیعی رود دره‌های تهران است.

جدول ۵. میزان مساحت کاربری‌های رود دره‌های شهر تهران در دوره‌های مختلف (مساحت به هکتار)

کاربری/ سال	1351	1360	1370	1380	1390	1400	1405
ساخته شده	1508.6	1761.4	3085.6	4018.7	4940.2	5131.4	5422.1
اراضی بایر	6152.5	5573.5	4315.3	3391.2	2638.4	2501.9	2159.4
فضای سبز	1140.1	1466.2	1400.4	1391.3	1222.6	1167.6	1219.7
آب	۶.۱	۶.۲	۶.۱	۶.۳	۶.۱	۶.۲	۶.۲

مطابق نتایج جدول ۵، در سال ۱۳۵۱ بیشترین مساحت رود دره‌های مورد بررسی همانند سایر محدوده فعلی شهر تهران به اراضی بایر با 6152.5 هکتار اختصاص داشته است، درحالی‌که مساحت اراضی ساخته‌شده، پوشش سبز و آب به ترتیب ۱۵۰۸.۶ ، ۱۱۴۰.۱ و ۶.۱ هکتار بوده است. در ادامه، روند تغییرات نشان‌دهنده کاهش چشمگیر اراضی بایر و افزایش قابل‌توجه سطوح ساخته‌شده است؛ به‌گونه‌ای که تا سال ۱۴۰۵ مساحت اراضی بایر به ۲۱۵۹.۴ هکتار کاهش‌یافته، در مقابل مساحت اراضی ساخته‌شده به 5422.1 هکتار افزایش‌یافته است. این تغییر بیانگر جابه‌جایی بخش قابل‌توجهی از اراضی بایر به سمت کاربری‌های ساخته‌شده و افزایش غلبه ساخت‌وساز در محدوده رودره‌هاست. در مورد پوشش سبز، روند تغییرات یکنواخت نبوده است؛ با وجود اینکه میزان مساحت آن در ابتدا و انتهای دوره تقریباً یکسان بوده؛ اما در طول دوره افزایش و کاهش داشته است. پوشش اراضی آبی نیز همواره تقریبا ثابت و حدود ۶ هکتار بوده است.



شکل ۵. درصد سهم مساحت کاربری‌های رود دره‌های شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

شکل ۵ روند تغییرات سهم مساحت سه طبقه اصلی کاربری زمین در رود دره‌های تهران را طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ نشان می‌دهد. نتایج بیانگر افزایش سهم اراضی ساخته‌شده از ۱۷.۱۳ به ۶۱.۵۶ درصد و کاهش سهم اراضی بایر از ۶۹.۸۶ به ۲۴.۵۲ درصد است؛ در مقابل، سهم فضای سبز نوسانات محدودی داشته و در پایان دوره به حدود ۱۳.۹۲ درصد رسیده و از پهنه آبی نیز ثابت بوده است.

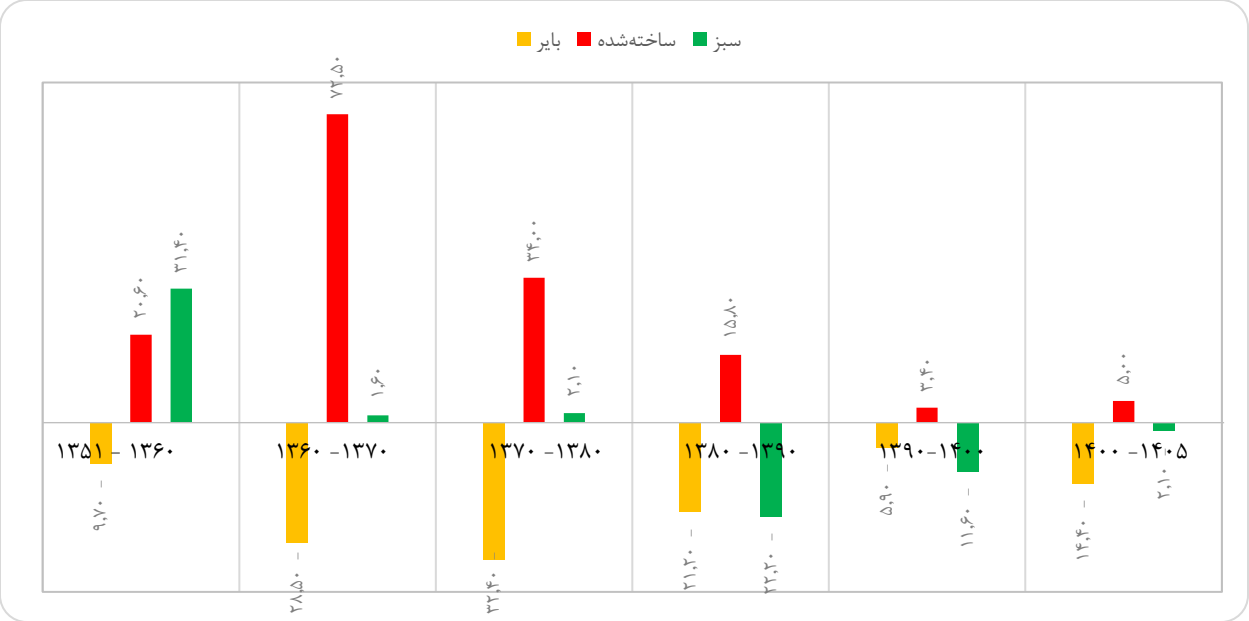
۵. بحث و تفسیر یافته‌ها

درصد تغییرات چهار کاربری اراضی ساخته‌شده، اراضی بایر، فضای سبز و پهنه آب در دوره‌های مورد بررسی مطابق جدول ۶ آورده شده است. نتایج بررسی درصد تغییرات کاربری‌ها نشان‌دهنده رابطه معکوس میان گسترش اراضی ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر وجود دارد و همچنین نشان‌دهنده افزایش فضاهای سبز در دوره‌های اولیه و سپس کاهش آن در دوره‌های بعدی موردمطالعه است.

جدول ۶. درصد تغییرات مساحت کاربری اراضی شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

کاربری/ دهه	۱۳۶۰-۱۳۵۱	۱۳۷۰-۱۳۶۰	۱۳۸۰-۱۳۷۰	۱۳۹۰-۱۳۸۰	۱۴۰۰-۱۳۹۰	۱۴۰۵-۱۴۰۰	کل دوره
ساخته شده	20.6	72.5	34.0	15.8	3.4	5.0	250.4
بایر	-9.7	-28.5	-32.4	-21.2	-5.9	-14.4	-72.3
سبز	31.4	1.6	2.1	-22.2	-11.6	-2.1	-8.1
آب	5.9	0.0	1.1	1.7	483.5	-0.4	532.5

نتایج حاصل از درصد تغییرات مطابق جدول ۶ و همچنین شکل ۶ نشان می‌دهد که اراضی بایر در تمامی دوره‌های مورد بررسی، به طور مستمر، در اثر توسعه و تغییرات فضایی شهر با شدت‌های متفاوتی کاهش یافته‌اند. اراضی ساخته‌شده برخلاف اراضی بایر، در تمام دوره‌های مورد بررسی روند افزایشی داشته است. تغییرات فضای سبز الگوی متفاوتی نسبت به دو کاربری دیگر دارد. در سه دهه نخست مورد بررسی یعنی دهه ۱۳۵۰ مساحت فضای سبز حدود ۳۱.۳ درصد افزایش‌یافته، در دهه ۱۳۶۰ و دهه ۱۳۷۰ نیز این افزایش به صورت محدود و به ترتیب ۱.۶ درصد و ۲.۱ درصد بوده است. اما از دهه ۱۳۸۰ روند تغییرات معکوس شده و در این دهه فضای سبز حدود ۲۲.۱ درصد کاهش‌یافته، در دهه ۱۳۹۰ نیز این کاهش حدود ۱۱.۶ درصد بوده و در دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۵ نیز این کاهش هر چند اندک و در حدود ۲ درصد ادامه یافته است. پهنه آبی تا سال ۱۳۹۰ ثابت بوده ولی از تصویر مربوط به سال ۱۴۰۰ به دلیل احداث دریاچه چیتگر به شدت و به میزان ۴۸۳.۵ درصد افزایش داشته است (با توجه به تغییر زیاد آن و عدم تناسب با سایر کاربری‌ها در شکل ۶ درصد تغییرات این پهنه آورده نشده است).



شکل 6. درصد تغییرات کاربری و پوشش زمین در محدوده کلان‌شهر تهران

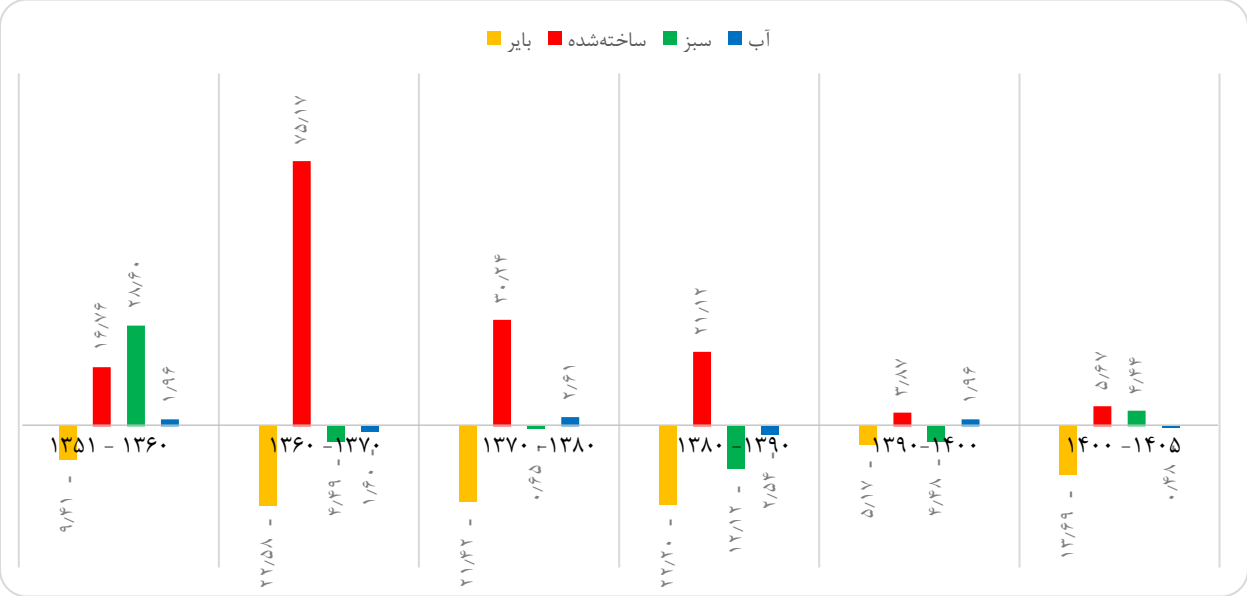
با توجه به یافته‌های پژوهش و همانطور که در شکل ۷ نیز قابل مشاهده است، تحولات کاربری زمین در شهر تهران را می‌توان در سه مرحله اصلی تفسیر کرد: مرحله نخست، از ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۰، با رشد سریع در افزایش اراضی ساخته‌شده (در حدود ۲۰.۶ درصد) و افزایش میزان فضای سبز همراه بوده است. مرحله دوم، دوره گسترش کالبدی با شتاب بسیار زیاد، از ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۰ بوده به طوری که بیشترین میزان افزایش اراضی ساخته‌شده مربوط به دهه‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۰ است که به‌ترتیب حدود ۷۲/۵ و ۳۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد. مرحله سوم، افزایش آهسته رشد کالبدی شهر تهران از ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۵ است که با کاهش نسبی شدت افزایش اراضی ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر و نوسان فضای سبز و افزایش پهنه آبی مشخص می‌شود. این دوره‌بندی با مطالعات پیشین درباره تحولات فضایی تهران (Mashayekhi, 2019; Shahraki et al., 2012; Zali et al., 2016) همخوانی دارد،

بررسی درصد تغییرات کاربری‌های محدوده رود دره‌ها که در جدول ۷ آورده شده است بیانگر جابه‌جایی بخش قابل‌توجهی از اراضی بایر به سمت کاربری‌های ساخته‌شده و افزایش غلبه ساخت‌وساز در رودره‌ها همانند محدوده شهر است. در مورد پوشش سبز، روند تغییرات یکنواخت نبوده است؛ باوجوداینکه میزان مساحت آن در ابتدا و انتهای دوره تقریباً یکسان بوده؛ اما در دوره‌های اولیه مورد بررسی افزایش‌یافته سپس کاهش و در نهایت دوباره در سال ۱۴۰۵ اندکی افزایش داشته است.

جدول ۷. درصد تغییرات مساحت کاربری اراضی رود دره‌های تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

کاربری/ دوره	۱۳۶۰-۱۳۵۱	۱۳۷۰-۱۳۶۰	۱۳۸۰-۱۳۷۰	۱۳۹۰-۱۳۸۰	۱۴۰۰-۱۳۹۰	۱۴۰۵-۱۴۰۰	کل دوره
ساخته شده	16.76	75.17	30.24	21.12	3.87	5.67	259.41
بایر	-9.41	-22.58	-21.42	-۲۲.۲	-5.17	-13.69	-64.90
سبز	28.60	-4.49	-0.65	-12.12	-4.48	4.44	6.98
آب	1.96	-1.60	2.61	-2.54	1.96	-0.48	1.80

بر اساس جدول ۷ و همچنین شکل ۷، مربوط به درصد تغییرات کاربری‌ها در رود دره‌های شهر تهران، اراضی بایر در تمامی دوره‌ها روند کاهشی داشته و بیشترین کاهش آن در دهه ۱۳۶۰ با ۲۲.۵۸- درصد و پس از آن در دهه ۱۳۷۰ با ۲۱.۴۲- درصد رخداده است؛ در مقابل، اراضی ساخته‌شده در تمام دوره‌ها روندی افزایش داشته و بیشترین رشد آن نیز در دهه ۱۳۶۰ با ۷۵.۱۷ درصد ثبت شده است. فضای سبز برخلاف دو کاربری دیگر از الگوی نوسانی برخوردار بوده است؛ به‌طوری که در دهه ۱۳۵۰ بر میزان آن در حدود ۲۸.۶ درصد افزوده شده، اما از دهه ۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰ کاهش‌یافته به عبارتی دیگر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ کاهش‌یافته اما در سال ۱۴۰۵ به میزان ۴.۴ درصد افزایش داشته است که می‌توان آن را نشان‌دهنده توجه به فضای سبز در رود دره‌ها دانست. پهنه آبی نیز در تمامی دوره‌های مورد بررسی تغییر قابل توجهی نداشته و تقریبا ثابت مانده است.



شکل ۷. درصد تغییرات کاربری و پوشش زمین در رود دره‌های شهر تهران

با توجه شگل ۷ که درصد تغییرات چهار کاربری مورد بررسی را در رووددره‌ها نشان می‌دهد، همانند محدوده شهر تهران می‌توان نتیجه گرفت در رود دره‌های نیز سه مرحله ذکر شده یعنی مرحله اول رشد سریع کالبدی، مرحله دوم رشد کالبدی بسیار شدید و مرحله سوم رشد آهسته کالبدی، اتفاق افتاده است.

به‌منظور بررسی میزان هم‌جهتی تحولات کاربری زمین در رود دره‌ها با تحولات در کلان‌شهر تهران، تغییرات چهار طبقه اصلی شامل اراضی ساخته‌شده، اراضی بایر، فضای سبز و پهنه آبی در دوره‌های زمانی مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. جدول ۸ ضمن نشان‌دادن درصد تغییرات هر طبقه در شهر و رود دره‌ها، جهت تغییرات و شدت نسبی آن‌ها را نیز مقایسه می‌کند. این مقایسه امکان شناسایی دوره‌های همسو و ناهمسو و همچنین تفاوت الگوی تحولات کاربری زمین در رود دره‌ها و کلان‌شهر تهران را فراهم می‌سازد.

جدول ۸. مقایسه تطبیقی تغییرات کاربری‌های اصلی در کلان‌شهر تهران و رود دره‌های آن طی دوره‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵

دوره زمانی	کاربری	تهران	رود دره‌ها	جهت تغییر	میزان همسویی	شدت نسبی تغییر
۱۳۵۱–۱۳۶۰	بایر	-9.7	-9.41	کاهش / کاهش	همسو	تقریباً مشابه

	ساخته‌شده	20.6	16.76	افزایش / افزایش	همسو	تهران بیشتر
	فضای سبز	31.۴	28.۶	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
	آب	۵.۹	۱.۹۶	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
۱۳۶۰–۱۳۷۰	بایر	-28.5	-22.58	کاهش / کاهش	همسو	شهر بیشتر
	ساخته‌شده	72.5	75.17	افزایش / افزایش	همسو	رود دره‌ها بیشتر
	فضای سبز	1.6	-4.۴۹	افزایش / کاهش	ناهمسو	—
	آب	۰.۰	-1.۶	ثابت / کاهش	ناهمسو	—
۱۳۷۰–۱۳۸۰	بایر	-32.4	-21.42	کاهش / کاهش	همسو	شهر بیشتر
	ساخته‌شده	34.0	30.24	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
	فضای سبز	2.1	-0.65	افزایش / کاهش	ناهمسو	—
	آب	۱.۱	2.61	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
۱۳۸۰–۱۳۹۰	بایر	-21.2	-۲۲.۲	کاهش / کاهش	همسو	رود دره‌ها بیشتر
	ساخته‌شده	15.8	21.12	افزایش / افزایش	همسو	رود دره‌ها بیشتر
	فضای سبز	-22.۲	-12.12	کاهش / کاهش	همسو	شهر بیشتر
	آب	۱.۷	-2.54	افزایش / کاهش	ناهمسو	-
۱۳۹۰–۱۴۰۰	بایر	-5.9	-5.17	کاهش / کاهش	همسو	تقریباً مشابه
	ساخته‌شده	3.4	3.87	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
	فضای سبز	-11.6	-4.۴۸	کاهش / کاهش	همسو	شهر بیشتر
	آب	483.5	۱.۹۶	افزایش / افزایش	همسو	شهر بیشتر
۱۴۰۰–۱۴۰۵	بایر	-14.4	-13.69	کاهش / کاهش	همسو	تقریباً مشابه
	ساخته‌شده	5.0	5.67	افزایش / افزایش	همسو	تقریباً مشابه
	فضای سبز	-2.1	4.46	کاهش / افزایش	ناهمسو	—

	آب	-0.4	-0.48	کاهش / کاهش	همسو	تقریباً مشابه
کل دوره	بایر	-72.3	-64.90	کاهش / کاهش	همسو	شهر اندکی بیشتر
	ساخته‌شده	250.4	259.41	افزایش / افزایش	همسو	رودره‌ها اندکی بیشتر
	فضای سبز	-8.1	6.98	کاهش / افزایش	ناهمسو	—
	آب	532.5	1.80	افزایش / افزایش	همسو	شهر بیشتر

مقایسه تطبیقی ارائه‌شده در جدول ۸ نشان می‌دهد که روند تغییرات اراضی بایر و ساخته‌شده در رود دره‌ها و کلان‌شهر تهران در اغلب دوره‌ها همسو بوده است. در هر دو محدوده، کاهش پیوسته اراضی بایر با افزایش پیوسته اراضی ساخته‌شده همراه بوده و بیشترین شدت گسترش اراضی ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر نیز در دوره‌های ۱۳۶۰–۱۳۷۰ و ۱۳۷۰–۱۳۸۰ مشاهده می‌شود. در مقابل، رفتار فضای سبز پیچیده‌تر است و در دوره‌های ۱۳۶۰–۱۳۷۰ ، ۱۳۷۰–۱۳۸۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۵ با روند شهر ناهمسو بوده است. بیشترین میزان کاهش فضای سبز هم در شهر و هم در رود دره‌ها مربوط به دوره ۱۳۸۰- ۱۳۹۰ به ترتیب ۲۲.۲- و 12.1- بوده است که بیانگر بیشترین تغییرات کاربری فضای سبز در این دوره است. کاربری پهنه آبی در رودره‌ها همواره ثابت بوده اما در سطح کلانشهر تهران پس از احداث دریاچه چیتگر به صورت قابل توجهی افزایش یافته است.

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر که مطالعات مختلف نیز آن را تایید می‌کنند، تحولات کاربری اراضی محدوده و رودره‌های شهر تهران از سال ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ را می‌توان در سه مرحله توضیح داد. مرحله نخست مربوط به قبل از دهه ۱۳۶۰ است که با رشد سریع شهر همراه بوده به طوری که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای در دوره ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۰، اراضی ساخته شده ۲۰ درصد افزایش یافته است. از عوامل موثر در این امر می‌توان به اصلاحات ارضی، افزایش درآمدهای نفتی، شتاب‌گرفتن صنعتی‌شدن و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و اداری در پایتخت اشاره نمود که موجب مهاجرت گسترده به شهر تهران و افزایش جمعیت و فشار بر بازار مسکن و تقاضا و مصرف زمین شده است (Mashayekhi, 2019).

مرحله دوم رشد بسیار زیاد (انفجاری) کالبدی تهران، از دهه ۱۳۶۰ آغاز شد و در دهه ۱۳۷۰ نیز، با شدت کمتری ادامه یافت. در این دوره بر اساس تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، وسعت اراضی ساخته‌شده شهر از حدود ۱۵ هزار هکتار در سال ۱۳۶۰ به حدود ۳۵ هزار هکتار در پایان دهه ۱۳۷۰ افزایش یافت. هم‌زمان، جمعیت شهر از حدود ۴.۵ میلیون نفر در سال ۱۳۵۵ به حدود ۶ میلیون نفر در سال ۱۳۶۵ رسید (Statistical Centre of Iran, 2016). دوره‌ای که در مطالعات از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نقاط عطف در تحولات فضایی تهران یاد می‌شود. این گسترش کالبدی را نمی‌توان صرفاً به رشد جمعیت نسبت داد؛ بلکه مجموعه‌ای از عوامل، از جمله انقلاب اسلامی، جنگ ایران و عراق، افزایش مهاجرت به پایتخت و سیاست‌های دولت در حوزه زمین و مسکن، در شکل‌گیری آن نقش داشتند. به‌ویژه، تصویب قانون اراضی شهری در سال ۱۳۶۰ و قانون زمین شهری در سال ۱۳۶۶، زمینه مداخله گسترده‌تر دولت در تملک، مدیریت و واگذاری اراضی شهری را فراهم کرد. این مداخلات با هدف تأمین زمین برای ساخت مسکن و پاسخ‌گویی به تقاضای فزاینده، بر سازوکار عرضه زمین و روند توسعه کالبدی شهر تأثیر گذاشتند. ازاین‌رو، گسترش تهران در این دو دهه را می‌توان

حاصل برهم‌کنش تحولات جمعیتی، شرایط سیاسی و اقتصادی و سیاست‌های زمین و مسکن دانست (Asadzadeh et al., 2014; Mashayekhi, 2019; Shahraki et al., 2012; Zali et al., 2016).

مرحله سوم توسعه کالبدی تهران را می‌توان از دهه ۱۳۸۰ شمسی به بعد و دوره رشد آهسته‌تر، متراکم‌تر و پیچیده‌تر شهر دانست؛ دوره‌ای که در آن، اگرچه از شدت گسترش افقی نسبت به دهه‌های پیشین کاسته شد، توسعه شهری همچنان از طریق گسترش در لبه‌های شهر، تغییر کاربری اراضی و رشد سکونتگاه‌های اقماری ادامه یافت (Shahraki et al., 2012; Zali et al., 2016). در این مرحله، محدودیت زمین قابل ساخت در محدوده شهر، افزایش تقاضای مسکن و فشارهای اقتصادی، از یک سو به افزایش تراکم ساختمانی، بلندمرتبه‌سازی و نوسازی بافت‌های موجود و از سوی دیگر به تداوم گسترش توسعه در حاشیه‌های غربی و جنوبی، به‌ویژه در امتداد محور تهران–کرج، انجامید (Dadashpoor & Panahi, 2021; Tayebi et al., 2023). در کنار این عوامل، وابستگی بخشی از درآمدهای شهرداری به عوارض ساخت‌وساز و فروش تراکم مازاد، انگیزه‌های مالی را در فرایند تصمیم‌گیری و صدور مجوزهای ساختمانی تقویت کرد و در برخی موارد، زمینه افزایش تراکم فراتر از ضوابط مصوب و تغییر کاربری اراضی را فراهم آورد (Karampour, 2021; Kojouri et al., 2023). این تحولات در شرایطی رخ داد که رشد کالبدی تهران دیگر صرفاً به توسعه افقی محدود نبود، بلکه از طریق هم‌زمانی تراکم‌افزایی درون‌شهری، گسترش پیرامونی و تبدیل اراضی سبز به سطوح ساخته‌شده، ساختار فضایی کلان‌شهر را دگرگون می‌کرد. شواهد سنجش تصاویر ماهواره‌ای نیز این تغییرات را تأیید می‌کنند؛ برای مثال، بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین تهران طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ نشان می‌دهد در دهه ۱۳۸۰ حدود ۲۲ درصد و در دهه ۱۳۹۰ حدود ۱۱ درصد فضای سبز کاهش داشته است. در نتیجه، کاهش و تغییر توزیع فضایی فضاهای سبز، افزایش فشار بر اراضی باز و طبیعی و تشدید پیامدهای زیست‌محیطی، از مهم‌ترین پیامدهای این الگوی توسعه بوده است. بنابراین، ویژگی اصلی این مرحله را باید نه توقف رشد تهران، بلکه تغییر شکل رشد از گسترش عمدتاً افقی به الگویی ترکیبی از تراکم‌افزایی، توسعه پیرامونی و تبدیل تدریجی فضاهای سبز و باز به کاربری‌های شهری دانست؛ الگویی که پیامدهای آن برای پایداری محیطی و کیفیت زندگی شهری همچنان اهمیت دارد.

۶. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تطبیقی تحولات کاربری و پوشش زمین در کلان‌شهر تهران و رودره‌های آن طی دوره ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ انجام شد. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۶۰، ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۵ با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم SVM در محیط ENVI پردازش و پس از آن، تغییرات کاربری در محیط GIS تحلیل و با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که الگوی تحولات کاربری در هر دو محدوده، افزایش سطوح ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر، روند غالب تحولات طی پنج دهه بوده است؛ بااین‌حال، تغییرات فضای سبز و شدت تحولات در برخی دوره‌ها تفاوت‌هایی را میان رودره‌ها و کلان‌شهر تهران نشان می‌دهد.

در مقیاس کلان‌شهر تهران، مساحت اراضی ساخته‌شده از حدود ۱۳ هزار هکتار در سال ۱۳۵۱ به ۴۴ هزار هکتار در سال ۱۴۰۵ افزایش یافته و حدود ۲۵۰ درصد رشد داشته است؛ در مقابل، اراضی بایر از حدود ۴۳ هزار هکتار به ۱۲ هزار هکتار کاهش یافته است. اراضی سبز پس از افزایش در سه دوره اول، روند کاهشی داشته و پهنه آبی نیز پس از احداث دریاچه چیتگر افزایش چشمگیر یافته است. بدین ترتیب، ساختار فضایی تهران طی دوره مورد مطالعه از غلبه پهنه‌های باز و بایر به غلبه سطوح ساخته‌شده تغییر

کرده است. این یافته با نتایج مطالعات پیشین در تهران، از جمله پژوهش روستا و همکاران (۲۰۱۸)، ستاری و همکاران (۲۰۲۳) و سبحانی و دانه کار (۲۰۲۶) همخوانی دارد که همگی بر روند گسترش سطوح ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر یا پوشش‌های طبیعی در بخش‌هایی از تهران تأکید کرده‌اند.

در مقیاس رودره‌ها نیز مساحت اراضی ساخته‌شده در این محدوده‌ها از حدود ۱.۵ هزار هکتار در سال ۱۳۵۱ به حدود ۵ هزار هکتار در سال ۱۴۰۵ افزایش یافته که بیانگر رشدی نزدیک به ۲۵۹ درصد حتی بیشتر از رشد شهر است. در مقابل، اراضی بایر از حدود ۶ هزار هکتار به ۲ هزار هکتار کاهش یافته‌اند. پهنه آبی در این محدوده همواره ثابت بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که رودره‌ها نیز از روند عمومی توسعه کالبدی تهران تأثیر پذیرفته‌اند و ویژگی طبیعی آنها مانع از گسترش سطوح ساخته‌شده در این پهنه‌ها نشده است. بااین‌حال، مقایسه تغییرات فضای سبز در دو مقیاس نشان می‌دهد که روند رودره‌ها با روند کلان‌شهر تهران یکسان نبوده است. درحالی‌که فضای سبز کلان‌شهر تهران در مجموع دوره مورد مطالعه کاهش یافته، مقادیر ثبت‌شده برای رودره‌ها از افزایش اندک مساحت فضای سبز در ابتدا و انتهای دوره حکایت دارند؛ هرچند این افزایش کلی، با نوسانات و کاهش‌هایی در برخی دوره‌ها همراه بوده است. بنابراین، رودره‌ها را نمی‌توان پهنه‌هایی کاملاً مستقل از توسعه شهری یا کاملاً مشابه با الگوی عمومی شهر دانست؛ بلکه این محدوده‌ها ضمن تأثیرپذیری از روندهای عمومی توسعه، الگوی خاصی از تغییرات کاربری زمین را تجربه کرده‌اند.

در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تحولات کاربری زمین شهر تهران طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۴۰۵ را می‌توان در سه مرحله؛ مرحله نخست؛ رشد سریع، مرحله دوم؛ گسترش بسیار شدید کالبدی و مرحله سوم؛ رشد آهسته‌تر اما متراکم‌تر و پیچیده‌تر تبیین کرد. افزایش سطوح ساخته‌شده و کاهش اراضی بایر، وجه مشترک این مراحل و همچنین روند غالب تغییرات در تهر سه مرحله با شدت‌های متفاوت بوده است؛ با این حال تحولات فضای سبز روند متفاوتی داشته که شواهد مهمی برای درک تفاوت مراحل توسعه شهری فراهم می‌کند. در کلان‌شهر تهران، مساحت فضای سبز در دو مرحله یعنی تا سال ۱۳۸۰ در مجموع روند افزایشی داشته است؛ اما پس از آن، روند تغییرات معکوس شده و کاهش فضای سبز در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج ارائه‌شده در پژوهش، این کاهش در دهه ۱۳۸۰ حدود ۲۲ درصد و در دهه ۱۳۹۰ حدود ۱۱ درصد برآورد شده است. این وضعیت نشان می‌دهد که افزایش سطوح ساخته‌شده در مراحل اولیه توسعه شهری لزوماً با کاهش فوری فضای سبز همراه نبوده است؛ بااین‌حال، در مرحله سوم، هم‌زمان با افزایش تراکم ساختمانی، تداوم توسعه پیرامونی و تغییر کاربری اراضی، فشار بر فضاهای سبز و باز تشدید شده است. ازاین‌رو، دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ را می‌توان از منظر تحولات فضای سبز، دوره‌ای مهم در تغییر الگوی توسعه تهران دانست.

افزون بر کاهش مساحت فضای سبز، تغییر در اندازه، پراکنش و پیوستگی فضایی پهنه‌های سبز نیز از پیامدهای بالقوه این الگوی توسعه است. تداوم ساخت‌وساز در اراضی باز و بایر می‌تواند به کوچک‌شدن قطعات سبز، افزایش گسستگی فضایی و تضعیف ارتباط میان بخش‌های مختلف شبکه سبز شهری منجر شود. این موضوع به‌ویژه در مورد رودره‌های تهران، به‌عنوان کریدورهای طبیعی و عناصر مهم ساختار اکولوژیکی و هویتی شهر، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. درحالی‌که تحولات فضای سبز، به‌ویژه از دهه ۱۳۸۰ به بعد، تفاوت‌های مهمی را میان دو مقیاس نشان می‌دهد. افزایش حدود ۲۵۹ درصدی سطوح ساخته‌شده در رودره‌ها و کاهش اراضی بایر در این پهنه‌ها بیانگر آن است که ارزش طبیعی، اکولوژیکی و هویتی آنها تاکنون به‌طور کامل در قالب نظامی مؤثر از حفاظت و مدیریت فضایی بازتاب نیافته است. از این منظر، مسئله رودره‌ها صرفاً حفاظت از چند پهنه طبیعی نیست، بلکه به نحوه مواجهه نظام برنامه‌ریزی و مدیریت شهری با زمین، به‌ویژه اراضی طبیعی و فضاهای باز و سبز، در فرایند توسعه کلان‌شهر مربوط می‌شود. بر

این اساس، مدیریت آینده رودره‌ها مستلزم پیوند دادن سیاست‌های کاربری زمین با حفاظت از پیوستگی اکولوژیکی، کنترل تغییر کاربری و ساخت‌وساز، تقویت نقش عمومی و هویتی این پهنه‌ها و لحاظ‌کردن آنها در ساختار سبز کلان‌شهر تهران است.

۷. پیشنهادها

- بر اساس یافته‌های پژوهش، لازم است اراضی بایر و باز باقی‌مانده در محدوده رودره‌ها به‌عنوان ذخیره فضایی و اکولوژیکی شهر شناسایی و از تبدیل آنها به سطوح ساخته‌شده جلوگیری شود. این اراضی نباید صرفاً به دلیل بایر بودن، فاقد ارزش تلقی شوند؛ زیرا می‌توانند در حفظ پیوستگی شبکه طبیعی، توسعه فضای سبز، تامین خدمات عمومی و افزایش تاب‌آوری شهری نقش داشته باشند.
- حفاظت از فضاهای سبز موجود باید از رویکرد صرفاً کمی و مساحت‌محور به سمت حفاظت از قطعات سبز، جلوگیری از خردشدگی و حفظ پیوستگی آنها حرکت کند.
- پیشنهاد می‌شود عمومی‌سازی و حفظ دسترسی عمومی به رودره‌ها به‌عنوان یکی از اصول مدیریت این پهنه‌ها مورد توجه قرار گیرد و از واگذاری یا تبدیل تدریجی زمین‌های رودره‌ای به کاربری‌های خصوصی و ساخت‌وسازهای محدودکننده دسترسی عمومی جلوگیری شود.
- پیشنهاد می‌شود در طرح‌های توسعه شهری، برای رودره‌ها ضوابط مستقل و سخت‌گیرانه‌تری نسبت به پهنه‌های معمول شهری در نظر گرفته شود و هرگونه تغییر کاربری اراضی باز و سبز در این محدوده‌ها منوط به ارزیابی پیامدهای اکولوژیکی، فضایی و اجتماعی باشد. ایجاد یک پهنه حفاظتی پیوسته برای شبکه رودره‌های تهران و اولویت دادن به کاربری‌های عمومی، طبیعی و سبز می‌تواند از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت آینده این پهنه‌ها باشد.
- در نهایت، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بررسی تغییرات کاربری زمین به‌تنهایی قادر به توضیح کامل چرایی تحولات رودره‌ها نیست. نقاط عطف شناسایی‌شده، به‌ویژه تشدید کاهش قابل توجه فضای سبز در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، ضرورت بررسی عوامل مؤثر بر این تحولات را مطرح می‌کند. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، نتایج سنجش‌ازدور حاضر با تحولات قوانین و مقررات زمین، نظام مالکیت، سیاست‌های زمین، تصمیمات مدیریت شهری، طرح‌های جامع و تفصیلی، مصوبات کمیسیون ماده ۵، پروژه‌های عمرانی و تحولات نهادی و مدیریتی مورد بررسی قرار گیرد.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در نگارش این مقاله به طور مساوی مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه افرادی که در انجام این پژوهش ما را یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌کنند. این مقاله حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله وجود ندارد.

منابع

Aghazadeh, F., Samadi, M., Cheval, S., & Moshiri, S. (2025). Impacts of land use, vegetation, and air pollution on surface urban heat island spatiotemporal dynamics: Tehran as a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*, 14607–14633. https://doi.org/10.1007/s13762-025-06561-8

Asadzadeh, A., Sikder, S. K., Mahmoudi, F., & Kötter, T. (2014). Assessing Site Selection of New Towns Using TOPSIS Method under Entropy Logic: A Case study: New Towns of Tehran Metropolitan Region (TMR). *Environmental Management and Sustainable Development*, *3*(1), 123. https://doi.org/10.5296/emsd.v3i1.4874

Bhadwal, S., & Kumar, M. (2025). *Assessing Urban Green Infrastructure Transformation in Delhi (1991–2021): A Landscape Ecology and Remote Sensing Approach | Asian Journal of Geographical Research*. 1–22. https://doi.org/10.9734/ajgr/2025/v8i3272

Chamanara, S., & Kazemeini, A. (2016). Efficient multiscale approach for the integration of continuous multi-functional green infrastructure in Tehran city, Iran. *International Journal of Urban Sustainable Development*, *8*(2), 174–190. https://doi.org/10.1080/19463138.2016.1171773

Dadashpoor, H., & Panahi, H. (2021). Exploring an integrated spatially model for land-use scenarios simulation in a metropolitan region. *Environment, Development and Sustainability*, *23*(9), 13628–13649. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01231-4

Dehghani, A., Soltani, A., & Nateghi, K. (2025). Balancing urban growth and environmental change: Land use patterns in Tehran and Sydney. *Environmental and Sustainability Indicators*, *26*, 100691. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100691

Ding, K., Huang, Y., Wang, C., Li, Q., Yang, C., Fang, X., Tao, M., Xie, R., & Dai, M. (2022). Time Series Analysis of Land Cover Change Using Remotely Sensed and Multisource Urban Data Based on Machine Learning: A Case Study of Shenzhen, China from 1979 to 2022. *Remote Sensing*, *14*(22), 5706. https://doi.org/10.3390/rs14225706

EarthExplorer. (n.d.). Retrieved September 8, 2026, from https://earthexplorer.usgs.gov/

Gautam, A., & Aithal, B. H. (2024). Multi-Sensor Satellite Data Analysis for Urban Land Use Pattern Recognition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1412*(1), 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1412/1/012032

Heydarian, P., Rangzan, K., Maleki, S., & Taghizadeh, A. (2014). Land use change detection using post classification comparison Landsat satellite images (Case study: Land of Tehran). *RS & GIS for Natural Resources*. [In persian]. https://sid.ir/paper/496273/fa

Jensen, J. (2016). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Pearson.

Kabeja, C., Li, R., Rwabuhungu Rwatangabo, D. E., & Duan, J. (2022). Monitoring Land Use/Cover Changes by Using Multi-Temporal Remote Sensing for Urban Hydrological Assessment: A Case Study in Beijing, China. *Remote Sensing*, *14*(17), 4273. https://doi.org/10.3390/rs14174273

Karampour, K. (2021). Implications of density bonus tool for urban planning: Relaxing floor area ratio (FAR) regulations in Tehran. *International Planning Studies*, *26*(3), 219–235. https://doi.org/10.1080/13563475.2020.1802235

Kaviani, A., Farhoodi, R., & Rajabi, A. (2015). Analysis of Urban Growth Pattern in Tehran City by Landscape Ecology Approach. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *3*(4), 407–429. [In persian]. https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2015.57410

Khazaei, A., Abbaspour, M., Babaei, S. K., Taghavi, L., & Rashidi, Y. (2025). Correction: Modeling the spatiotemporal dynamics of metropolitan urban heat islands and predicting the future situation (Tehran metropolis). *International Journal of Environmental Science and Technology*, *22*(2), 951–951. https://doi.org/10.1007/s13762-024-06073-x

Kojouri, M. K., Ghalehteimouri, K. J., & Kiadarbandsari, M. (2023). The role of building violations on urban spatial development in Iran: An emphasize on Tehran metropolis socioeconomic factors. *City and Built Environment*, *1*(1), 20. https://doi.org/10.1007/s44213-023-00025-w

Mashayekhi, A. (2019). The 1968 Tehran master plan and the politics of planning development in Iran (1945–1979). *Planning Perspectives*, *34*(5), 849–876. https://doi.org/10.1080/02665433.2018.1468805

Miletić, M., Lakićević, M., & Firanj Sremac, A. (2026). Urban Transformation of the Belgrade Riverfront: Land Use and Vegetation Change from 1990 to 2024. *Earth*, *7*(2), 67. https://doi.org/10.3390/earth7020067

Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *66*(3), 247–259. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001

Negin Shahr Ayandeh Consulting Engineers. (2013). *Strategic Plan for the Organization of the Seven River Valleys of Tehran*. [In persian]. Tehran Municipality, Deputy of Architecture and Urban Planning.

Ologunde, O., Kelani, M., Biru, M., Olayemi, A., & Nunes, M. (2025). Land Use and Land Cover Changes: A Case Study in Nigeria. *Land*, *14*. https://doi.org/10.3390/land14020389

Rousta, I., Sarif, M. O., Gupta, R. D., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., Zhang, H., & Mushore, T. D. (2018). Spatiotemporal Analysis of Land Use/Land Cover and Its Effects on Surface Urban Heat Island Using Landsat Data: A Case Study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, *10*(12), 4433. https://doi.org/10.3390/su10124433

Sardar, N., Salam, A., & Aboobakker, R. (2026). Analyzing Urban Sprawl and Land Use Transformation in Palakkad Municipality, Kerala, India. *Current World Environment*, *1*, 407. https://doi.org/10.12944/CWE.21.1.25

Sattari, M. H., Sarvar, R., & Mahdavi, M. (2023). Analysis and evaluation of the environmental effects of urban land use changes in the metropolitan area of Tehran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, *14*(51), 81–60. [In persian]. https://doi.org/10.22034/jargs.2023.376032.1001

Shahraki, S. Z., Seifolddini, F., & Pourahmad, A. (2012). Urban Sprawl and Fertile Agricultural Lands in Iranian Cities — Case Study: Tehran and Karaj. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, *6*(2). https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.02.009

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2026). Assessment and prediction of land use/land cover changes using satellite images and CA-Markov model (Case study: District 22 of Tehran Municipality). *Physical Social Planning*, *13*(1), 15–30. [In persian]. https://doi.org/10.30473/psp.2026.77866.2812

Statistical Centre of Iran. (2016). *Results of the General Census of Population and Housing.* [In persian]. https://amar.org.ir/population-and-housing-census.

Stephen, H. (2018). Trend Analysis of Las Vegas Land Cover and Temperature Using Remote Sensing. *Land*, *7*(4), 135. https://doi.org/10.3390/land7040135

Tayebi, S., Alavi, S. A., Esfandi, S., Meshkani, L., & Shamsipour, A. (2023). Evaluation of Land Use Efficiency in Tehran's Expansion between 1986 and 2021: Developing an Assessment Framework Using DEMATEL and Interpretive Structural Modeling Methods. *Sustainability*, *15*(4), 3824. https://doi.org/10.3390/su15043824

Tehran Municipality ICT Organization. (2025). *Tehran Statistical Yearbook* (Vol. 392). [In persian]. Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization.

Wu, S., Sumari, N. S., Dong, T., Xu, G., & Liu, Y. (2021). Characterizing Urban Expansion Combining Concentric-Ring and Grid-Based Analysis for Latin American Cities. *Land*, *10*(5), 444. https://doi.org/10.3390/land10050444

Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., … Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, *225*, 127–147. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015

Yang, C., Liu, H., Li, Q., Cui, A., Xia, R., Shi, T., Zhang, J., Gao, W., Zhou, X., & Wu, G. (2021). Rapid Urbanization Induced Extensive Forest Loss to Urban Land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China. *Chinese Geographical Science*, *31*(1), 93–108. https://doi.org/10.1007/s11769-021-1177-9

Zali, N., Ghal'Ejough, F. H., & Esmailzadeh, Y. (2016). Analyzing Urban Sprawl of Tehran Metropolis in Iran (During 1956-2011). *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, *39*(3), 55. https://doi.org/10.11137/2016_3_55_62

Zhu, Z., Liu, B., Wang, H., & Hu, M. (2021). Analysis of the Spatiotemporal Changes in Watershed Landscape Pattern and Its Influencing Factors in Rapidly Urbanizing Areas Using Satellite Data. *Remote Sensing*, *13*(6), 1168. https://doi.org/10.3390/rs13061168