مجلهٔ منظر، ۱۸ (۷۵)، ۴۸-۶۵ / تابستان ۱۴۰۵
DOI: 10.22034/manzar.2026.519896.2347

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Measuring the Connectivity of Urban Ecological Network by Using Landscape Metrics (Case Study: Tehran Municipality District 22)
در همین شمارهٔ مجله به چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

ارزیابی پیوستگی شبکهٔ اکولوژی شهری منطقهٔ ۲۲ تهران با استفاده از متریک‌های منظر*

مهربان عثمان مصطفی
گروه معماری منظر، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران
دانشگاه پلی تکنیک سلیمانیه، سلیمانیه، عراق

حمیدرضا ابراهیمی**
گروه معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران

بهروز جانی‌پور***
گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدهٔ علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

مهدی خان سفید
گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکدهٔ علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶ تاریخ قرارگیری روی سایت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

چکیده| فضاهای سبز معمولاً به‌صورت یک لکه فیزیکی در شهرها تعیین و ارزیابی آن نیز صرفا از طریق سرانه‌های استاندارد انجام می‌شود. به همین دلیل معمولاً مکان‌یابی‌ها، فراوانی و پخش لکه‌های سبز در شهرها نیز براساس نیاز یا مؤلفه‌های کیفی یا مؤلفه‌های پیوستگی اکولوژیکی انجام نمی‌گیرد؛ بلکه براساس یک داده کمی (سرانه قابل‌قبول)، انجام می‌شود. در نتیجه فضاهای سبز در شهرها به ارزیابی‌های داده‌ای و عددی در منطقه‌ای مثل منطقهٔ ۲۲ تهران، ممکن است براساس سرانه به حد کفایت رسیده باشد؛ اما زمانی که در سطح جامعه نگاه می‌شود می‌توان دید که از نظر کیفی در این منطقه جواب مثبت نداده است. زیرا در برنامه‌ریزی شهری و طرح جامع، کمیت در اولویت بوده و سطح کیفی براساس نیاز و مطالبهٔ شهروندان تعریف نشده است. هدف این پژوهش، شناسایی ضعف‌های اکولوژیکی منظر منطقهٔ ۲۲ تهران و برطرف کردن آنها جهت افزایش پیوستگی شبکه‌های اکولوژیک به منظور افزایش انسجام کالبدی و افزایش همبستگی اجتماعی با پیوستگی فضای سبز و امتداد طبیعت خارج شهر به درون آن به‌وسیله راهکارهایی چون کمربندهای سبز، گسترش لکه‌های سبز بزرگ، بهره‌گیری از دالان‌های طبیعی مانند رود دره‌ها و امتداد آنها است. روش بررسی این پژوهش با توجه به بررسی متریک‌های منظر طی فرایندی چهار مرحله‌ای انجام گرفت. روند عناصر منظر از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰، تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 بررسی شد. سپس مدل Quic Atmospheric انجام و در مرحلهٔ سوم قدرت تفکیک مکانی تصاویر هر دو سال با استفاده از باند پانکروماتیک و دستور Gram Schmit افزایش یافت و درنهایت با استفاده از مرز منطقهٔ ۲۲ تصاویر پردازش شده برش زده شد. تصاویر ماهواره‌ای به کمک نرم‌افزار سنجش‌ازدور ENVI 5.3 پردازش شد و پوشش‌های موجود در منطقه تصاویر در پنج طبقه اراضی بایر، اراضی دارای پوشش گیاهی، پهنه آبی، جاده و اراضی ساخت‌وساز ارزیابی شد. آنالیز تصاویر به کمک نرم‌افزار Fragstats 4.2 بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام و متریک‌های «مساحت کلی/لکه»، «تعداد لکه»، «تراکم لکه»، «درصد کلاس»، «شاخص بزرگ‌ترین لکه»، «میانگین مساحت لکه» و «شاخص مجاورت و همبستگی» بررسی شد. درنهایت نتیجه گرفته شده از این پژوهش نشان می‌دهد که تعداد لکه‌ها (NP) طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از ۱۳۹۱ لکه به ۱۶۸۷ لکه افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهندهٔ کوچک‌تر شدن لکه‌ها و از بین رفتن پیوستگی ساختار منظر می‌باشد. ولی بررسی متریک‌های منظر در طبقه پوشش گیاهی با توجه به ثابت‌بودن مساحت لکه‌ها و درصد کلاس این طبقه در کنار کاهش تعداد و تراکم لکه می‌تواند نشان دهد باوجود افزایش ساخت‌وساز، تلاش موفقی در جهت حفظ اراضی دارای پوشش گیاهی در این سال‌ها شده است.

واژگان کلیدی| *اکولوژی منظر، منظر پایدار، همبستگی منظر، منظر گیاهی.*

*این مقاله برگرفته از رساله دکتری با عنوان مهربان عثمان مصطفی «تحلیل نقش پیوستگی کالبدی و اکولوژیک فضای سبز در ارتقاء کیفیت منظر شهری (مورد مطالعه: منطقه ۲۲ شهر تهران)» است که با راهنمایی دکتر «بهروز جانی‌پور» و دکتر «حمیدرضا ابراهیمی» در دانشکدهٔ معماری دانشکدگان هنرهای زیبای دانشگاه تهران در سال ۱۴۰۴ انجام شده است.

** نویسندهٔ مسئول دوم: ۰۹۱۲۷۹۰۱۵۷۵، hr.ebrahimi@ut.ac.ir
***نویسندهٔ مسئول اول: ۰۹۱۲۳۸۴۵۹۷۲، janipour@ut.ac.ir

مقدمه| مقولۀ پیوستگی فضای سبز که اخیرا در سطح جهانی مطرح شده است، به ایجاد ارتباط و اتصال بین فضاهای سبز متفاوت در یک منطقه یا شهر اشاره دارد. این اتصال می‌تواند از طریق ایجاد راهروهای سبز، کریدورهای حیات وحش، یا اتصال پارک‌ها و باغ‌ها به یکدیگر باشد. هدف از پیوستگی فضای سبز، ایجاد اکوسیستم‌های شهری منسجم، افزایش تنوع زیستی، و بهبود کیفیت زندگی شهری است. از مهمترین کارها برای افزایش کیفی منظرشهری فضای سبز، پیوستگی آن است و به همین دلیل رعایت اصول پیوستگی منظر، جزء ضروریات آن در تعریف مناظر سبز شهری قرار دارد. طی نیم‌قرن فضاهای شهری، به‌ویژه محله‌های مسکونی در سیر تحول و فرایند تکوین خود و به‌تبع جریانات ناشی از اندیشۀ جهانی‌شدن، دستخوش دگرگونی‌های شگرفی شده‌اند. گسترش شهرنشینی به حدی است که با ایجاد وضعیت مخاطره‌آمیز و آسیب‌پذیر برای جوامع روبه‌توسعه موجب گسستن ارتباط میان انسان و محیط زندگی او شده است. شکاف موجود، شکل‌گیری فضاهای عاری از پیوستگی‌های اجتماعی را تشدید کرده است. درواقع باتوجه به تمامی پیشرفت‌های قرن حاضر، در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران و به‌ویژه در کلان‌شهری مانند تهران، فقدان این عنصر حیات‌بخش در زندگی اجتماعی انسان‌ها، بیش از هر زمان دیگری موجب افول کیفیت زندگی شهری شده است (Soozanchi & Tariveh, 2011).

فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه آنهایی که ناپایدار تلقی می‌شوند، تأثیر عمیقی بر اکوسیستم داشته‌اند. روند بی‌امان شهرنشینی منجر به اشغال مستمر فضای اکولوژیکی طبیعی در فضای شهری شده است و این پیشرفت باعث تسریع تخریب فضاهای اکولوژیکی منطقه و در نتیجه ازبین‌رفتن زیستگاه و تکه‌تکه‌شدن چشم‌انداز آشکار شده است (Wu et al., 2023). این تکه‌تکه‌شدن مساحت زیستگاه‌های داخل شهر را کاهش می‌دهد، راهروهای مهم زیست‌محیطی را قطع می‌کند و اتصالات منظر را ضعیف می‌کند (Wu et al.,2023; Scolozzi & Geneletti, 2012). این امر با توجه به افزایش جمعیت و رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی دقیق در کشورهای در حال توسعه شدت بیشتری دارد و اثرات مخرب توسعه بر شبکه‌های اکولوژیک شهری و فضاهای سبز به شکل برجسته تری قابل مشاهده است(Basu & Das, 2023; Jia et al., 2024) . ساخت شبکه‌های اکولوژیکی در مناطق مختلف جهان در مقیاس‌های مکانی متفاوت، برای هدایت حفاظت و احیای اکولوژیکی منطقه‌ای یا پیش‌بینی شبکه‌های اکولوژیکی آینده تحت سناریوهای مختلف کاربری زمین، انجام شده است. با این حال، به‌ندرت برای ارزیابی دستاوردهای احیای اکولوژیکی از جنبه یکپارچگی و اتصال اکوسیستم به کار گرفته شده است (Guo et al.,2025). کلانشهر تهران علیرغم برخورداری از محیط کوهپایه‌ای مناسب، در این خصوص دارای ضعف بسیار است. منطقۀ ۲۲ به‌عنوان مکان مورد مطالعه با وسعتی در حدود ۶۰۰۰ هکتار به‌عنوان یک بخش نو و مدرن در غرب کلانشهر تهران که می‌توانست با طراحی مناسب الگوئی برای کشور باشد، نیز از این مقوله بهره چندانی نبرده و پدیده‌ای وابسته و متأثر از تحولات سریع شهری و شهرنشینی تهران است. این منطقه که یک هفتم مساحت تهران را تشکیل می‌دهد به‌عنوان بزرگ‌ترین منطقۀ متصل به تهران، در چند دهۀ اخیر شاهد رشد فزاینده‌ای بوده است. این نوع رشد و توسعه منجر به ایجاد محدودیت در توسعۀ کاربری فضای سبز و کاهش فضاهای باز شهری شده و حتی در بسیاری از موارد منجر به جایگزینی فضای سبز موجود با برج‌های ساختمانی شده است. به‌عنوان مثال بسیاری از باغ‌ها، فضاهای سبز باز و عمومی در جریان تغییر کاربری جای خود را به بافت‌های مسکونی متراکم و تجاری‌های بزرگ داده‌اند. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد توسعۀ شهر و تغییر کاربری‌ها در سال‌های اخیر، به‌قطع پیوستگی فضاهای سبز داخلی و پیرامون آن منجر شده است. این مسئله علاوه‌بر اثرات منفی بر بازدهی اکولوژیک، تهدیدی برای هویت طبیعی شهر بوده است. مطالعات پیشین حاکی از آن است که عامل اصلی بی کیفیتی، رویکرد تک‌بعدی و بخشی به این مقوله در بخش کلان به معنای عدم درنظرگیری ارتباطات متناسب با دیگر ساختارها و عملکردهای اجتماعی و زیست‌محیطی شهر و همچنین نبود پیوستگی و انسجام در میان اجزای شبکه سبز در بخش خُرد است.

اهمیت موضوع

معمولا معماران منظر عمدتاً به مقولۀ زیبائی منظر می‌پردازند و توجه زیادی به بازۀ اکولوژیک آن ندارند. ترکیب فضای سبز و فضای سخت، کارائی بسیار بیشتری از نگرش زیباشناختی می‌تواند داشته باشد که آن هم ایجاد یک بستر مناسب برای احیای اکوسیستم‌های طبیعی در درون شهر در کنار فعالیت‌های انسانی است. به همین دلیل پرداختن و ایجاد پیوستگی فضای سبز با تقویت لکه‌ها و کریدورهای شهری اهمیت بسیار وافری دارد که نباید مغفول واقع شود.

مبانی نظری

• اکولوژی شهری

مقولات اکولوژی منظر، پیوستگی فضای سبز و حتی منظر شهری، مقولات نسبتا جدیدی هستند که نه‌تنها در ایران بلکه در بسیاری از کشورهای دنیا هنوز مورد توجه جدی قرار نگرفته‌اند. در این بخش از مقاله با مروری بر سوابق پژوهشی و ادبیات تحقیق سعی بر آن است تا این مقوله‌ها برای خوانندگان

به‌طور مختصر تشریح شد. در ایران افرادی نظیر سعیدنیا در سال ۱۳۷۳ و مجنونیان در ۱۳۷۴ اهمیت پرداختن به فضاهای سبز درونی شهرها را آغاز کردند. سال‌ها بعد مقالاتی به بحث و تحقیق در مورد شبکه‌های اکولوژی شهری منظر شهری پرداختند. برای مثال در سال ۱۳۸۹ خان‌سفید و امین‌زاده مقاله خود تحت عنوان «بررسی نقش شبکه‌های اکولوژیکی در پایداری مناطق کلان‌شهری کشور» را نوشتند که آغازی بود در ورود به مبحث شبکه‌های اکولوژی. در کشورهای دیگر نیز از چند سال قبل از آن به مبحث منظر اکولوژیک و پیوستگی فضاهای سبز شهری پرداخته شده بود. از اوایل دهۀ ۱۹۹۰، شبکه‌های اکولوژیکی نقش مهمی را در هر دو جنبه اجتماعی و اکولوژیکی ایفا کرده و شبکه‌های اکولوژیکی به‌عنوان رویکردی مناسب برای بهبود ارزش‌های اکولوژیکی و اجتماعی - اقتصادی فضای باز شهری معرفی شدند (Cook, 1991, Conine et al., 2004). توجه به پیوستگی در فضاهای سبز شهری، علاوه‌بر رعایت ضوابط فضایی، توالی درک منظر شهری را تقویت کرده، حس سرزندگی و سرسبزی را در ذهن ساکنان شهر ایجاد می‌کند (Masnavi & Mohseni Fard Naghani, 2023). نگرش و رویکردهای اکولوژیکی یکی از مهم‌ترین مباحث روز دنیا در توسعۀ پایدار و برنامه‌ریزی کاربری اراضی به‌ویژه شهری به شمار می‌رود (Wang et al., 2025). به نظر می‌رسد که بیشتر جمعیت دنیا در شهرها ساکن شوند بدین ترتیب کلان‌شهرها با مشکلات زیادی از قبیل تغییر کاربری اراضی فضاهای سبز مواجه شده و با کاهش فزایندۀ عناصر طبیعی و تخریب عملکرد طبیعی اکوسیستم شهرها، اکولوژیست‌ها بر روی منظرهای شهری متمرکز شده‌اند. مطالعات و تحقیقات متعددی طی سال‌های اخیر در ارتباط با تغییرات کاربری و پوشش اراضی به‌ویژه فضاهای سبز شهری با رویکرد اکولوژی منظر و متریک‌های آن انجام شده‌اند از جمله، خان‌سفید (۱۳۸۸) در مقالۀ خود معتقد است برای رسیدن به پایداری شهری با رویکرد اکولوژی منظر باید پیوستگی و ارتباط و اتصال بین لکه‌های سبز طبیعی و مصنوعی و برقراری رابطۀ بین شهر و طبیعت مدنظر برنامه‌ریزان و طراحان قرار گیرد. شیعه و مشرف دهکردی (Shieh & Moshref Dehkordi, 2013) در تحقیق دوره‌های مختلف، وضعیت گذشته شهر مورد مطالعه قرار داده‌اند. باتوجه‌به این که معیارهای مکانی درگذشته و پیوستگی فضاهای سبز شهری درگذشته رعایت می‌شد، به نظر می‌رسد این دو معیار، توالی موردنیاز برای فهم منظر طبیعی شهر را بهتر کرده و نقش با اهمیتی به‌منظور تقویت کارایی فضاهای شهری و بهبود هویت طبیعی منطقه موردمطالعه آنها داشته است. موحد و طبیبیان (Movahed & Tabibian, 2018) بر توجه به شبکه اکولوژیک شهر در طرح‌های توسعه و برنامه‌های شهری به‌جهت رسیدن به موضوع مهم تاب‌آوری اکولوژیکی، تأکید دارند. مسیر این پژوهش بامطالعه نمونۀ موردی مشهد، دستیابی به راه‌حلی برای بهبود کیفیت ساختار اکولوژیک شهر مشهد است. در پژوهشی دیگری جانگمن و پانگتی به نقش بی‌بدیل شبکه‌های اکولوژیک در شکل‌گیری مفهوم شبکۀ سبز شهری اشاره دارند و فرایند شبکه‌سازی و انسجام آن را نشئت‌گرفته از بوم‌شناسی منظر می‌دانند (Jongman & Pungetti 2004). در همین راستا بای و گووا (Bai & Guo, 2021) در پژوهشی این ایده را پیشنهاد می‌کنند که یک شبکۀ سبز شهری از دیدگاه خدمات اکوسیستم و حساسیت اکولوژیکی شناسایی و ایجاد می‌شود، هدف این شبکه، بهبود و حفاظت از پایداری اکوسیستم و هدایت بهتر شهرها و روستاها به سمت توسعه سبز و پایدار است؛ همچنین شناسایی قطب‌ها از طریق ارزیابی خدمات اکوسیستمی و حساسیت اکولوژیکی امکان‌پذیر است. همچنین تملک زمین‌هایی که دارای مقیاس نسبتاً بزرگ هستند که در طرح تفصیلی با نام کاربری ذخیرۀ توسعه و نوسازی شهری در نظر گرفته شده، را مناسب دانسته است، نبود انسجام و پیوستگی مانع بروز منافع زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی فضاهای سبز در شهرها خواهد شد. در پژوهشی دیگری که از سوی صابونچی و همکاران (Saboonchi et al., 2018)، به این موضوع اشاره دارد که برای تحقیق انسجام درونی و بیرونی شبکه سبز نیاز است، راهکار مفصل‌بندی به شیوۀ منظرین بهره گرفته شود؛ یعنی مفصل‌بندی با تأکید بر کالبد، کارکرد و نقش هویتی ساختار سبز شهر، مبنایی برای انتظام و سازماندهی فضاهای سبز نسبت به سایر ساختارهای شهری و عاملی مؤثر بر کیفیت‌بخشی آنهاست. مفصل‌بندی با ایجاد شبکه‌های واحد از فضاهای سبز، سبب ادراک و فهم بهتر شهروندان از منظر و محیط طبیعی و زمینۀ افزای خوانایی و هویت شهر می‌شود. نوروزی و بمانیان (۱۳۹۸)، نیز در پژوهشی خود به این نتیجه رسیده‌اند که عناصر تشکیل‌دهندۀ منظر بر عوامل زیرساختی، محیطی و خدماتی رهیافتی به‌منظور ارتقای شاخص‌های پایداری شهری و افزای شاخص‌های زیست‌پذیری برای شهروندان است و نوع ساختار، عملکرد موضوعی و فاصله از فضاهای سبز تأثیر مستقیمی در تغییر شاخص‌های پایداری محیطی شهری دارد. ایوا در سال (Éva, 2011) در پژوهشی به این مسئله اشاره دارد که با ایجاد پیوستگی در جنگل‌کاری و کشت گونه‌های گیاهی مختلف در مناطقی که تراکم گیاهی پایینی دارند، کمک شایانی به ساختاربندی برنامه‌ریزی شهری و با استفاده از برنامه‌ریزی فضای سبز شهری، توسعۀ کمّی و کیفی فضاهای سبز، تعادل شبکه سبز شهری و رشد متناسب فیزیکی شهر را تأمین کرد. در تحقیق دورمیدونتوا و بلکین در سال (Dormidontova & Belkin, 2020) معتقدند که رویکرد شهری اکولوژیکی از طریق شکل‌گیری سیستمی از فضاهای سبز

بـاز شـهر انجـام می‌شـود، یکی از اصول اساسـی سـاخت سیسـتم، تـداوم فضـای سـبز درون‌شـهری و برون‌شـهری و بین سـکونتگاه‌ها اسـت. وجـود عناصر طبیعی وارد شـده به محیط شـهری بـا ارتباط بـا مجموعه‌هـای بیوژنیـک منطقـه حومۀ شـهر تسـهیل می‌شـود و در نتیجـه می‌گونـد: به‌جـای شـاخص‌های اجتماعـی - اقتصـادی توسـعۀ شـهر کـه امـروزه وجـود نـدارد، مفاهیـم اکولوژیکـی منظر شـهری - بوم‌شناسـی شـهری - می‌توانـد مبنـای برنامه‌ریـزی شـهری باشـد. در تحقیـق (Xiaoxia & et al., 2022) کـه در شـهر کاشـغر چیـن انجـام شـده بـه نتیجـه رسـیده کـه در ایـن شـهر، شهرنشـینی به‌طـور اجتناب‌ناپذیـری بـر الگوی منظـر و ویژگی‌های کلـی شـهر تأثیـر گـذارد بـوده و باعث تشـدید تکه‌تکه‌شـدن منظر و تخریـب محیط‌زیسـت اکولوژیکـی شـهری شـده اسـت کـه رفـاه سـاکنان و تنـوع زیسـتی شـهر را تهدید می‌کنـد و می‌گویند فضای سـبز شـهری زیسـتگاهی را برای موجـودات موجود در شـهر فراهم می‌کنـد و باعـث ارتبـاط راهروهایـی شـهر می‌شـود (جـدول ۱).

• پیوستگی شبکۀ اکولوژیک

پیوسـتگی اکولـوژی بـه حرکـت بـدون مانـع گونه‌هـا و جریـان فرایندهـای طبیعـی کـه حیـات را بـر روی زمیـن حفـظ می‌کننـد اشاره دارد (Convention on Migratory Species, 2020)و زیربنای تـداوم جمعیت‌هـا، گونه‌هـا، جوامـع و اکوسیسـتم‌ها اسـت (Wood et al., 2022; Beger et al., 2022). حفـظ پیوسـتگی اکولوژیکـی، معمـولاً از طریـق شـبکه‌های اکولوژیکـی (یـا اصطلاحـات مشـابه، ماننـد زیرسـاخت‌های سـبز و راهروهـای سـبز) (Hilty et al., 2020)، می‌توانـد تـاب‌آوری جمعیـت و جامعـه را در برابـر اختـلالات بهبـود بخشـد، تنـوع زیسـتی را ارتقا دهـد، عملکـرد اکوسیسـتم (Newmark et al., 2017; Truchy et al., 2020; Daigle et al., 2020) و سـازگاری بـا تغییـرات را افزایـش دهـد (Lavorel et al., 2015; Su et al., 2021). علاوه‌بـر ایـن، سـاخت شـبکۀ اکولوژیکـی به‌عنـوان راه‌حـل مبتنی‌بـر طبیعـت بـرای چالش‌هـای اجتماعـی ماننـد سـازگاری بـا تغییرات اقلیمـی و طراحـی منظـر تـاب‌آور در نظـر گرفتـه می‌شـود (Hilty et al., 2020; Fang et al., 2024; Lafortezza et al., 2018). جنگل‌هـای شـهری، زمین‌هـای کشـاورزی، مراتـع، بدنه‌هـای آبـی و سـایر محیط‌هـای طبیعـی یـا نیمه‌طبیعـی در مجمـوع فضـای سـبز نامیـده می‌شـوند (Hofmann & Gerstenberg, 2014). آنهـا می‌تواننـد رفـاه سـاکنان را بهبود بخشـند و مزایای زیسـت‌محیطی مختلـف و ارزش‌هـای خدمـات زیسـت‌محیطی را بـرای شـهرها بـه ارمغـان بیاورنـد (Wolch et al., 2014)، از جملـه کاهـش آلودگـی صوتـی، کاهـش اثـر جزیـرۀ گرمایـی (Estoque et al., 2017) بهبـود گـردش اکوسیسـتم شـهری (Livesley et al., 2016)، و تأمیـن نیازهـای اوقـات فراغـت، زیبایی‌شـناختی و سـلامتی (Astell-Burt et al., 2022). فضاهـای سـبز شـهری به‌عنـوان یـک «راه‌حـل مبتنی‌بـر طبیعت» دیـده می‌شـود (Gulsrud et al.2018) آنهـا نقـش مهمی در حفظ ثبات اکوسیسـتم‌ها، حمایت از سـلامت انسـان و تقویت توسـعۀ پایدار شـهری دارند (Pouso et al., 2021). کاهش و تکه‌تکه‌شـدن فضاهای سـبز شـهری ناشـی از فعالیت‌های انسـانی به‌طـور قابل توجهی بر مزایای فضاهای سـبز تأثیر گذاشـته اسـت (Kabisch et al., 2015). ایـن امـر مسـاحت زیسـتگاه‌های داخلـی را کاهـش می‌دهـد، راهروهـای مهم زیسـت‌محیطی را قطع می‌کند و اتصالات چشـم‌انداز را ضعیف می‌کنـد (Wu et al., 2023) مبحـث اکولـوژی شـهری عبارت اسـت از یـک زمینـۀ تحقیقاتی پر جنب و جوش که باتوجه‌به افزایش سـرعت شهرنشـینی در سراسـر جهـان، اهمیت فزاینـده‌ای دارد.

تغییر سریع کاربری زمین، الگوهای منظر را تغییر داده و مجموعه‌ای

جدول ۱. دسته‌بندی و تلخیص تحقیقات بررسی شده و نتایج آنها. مأخذ: نگارندگان.

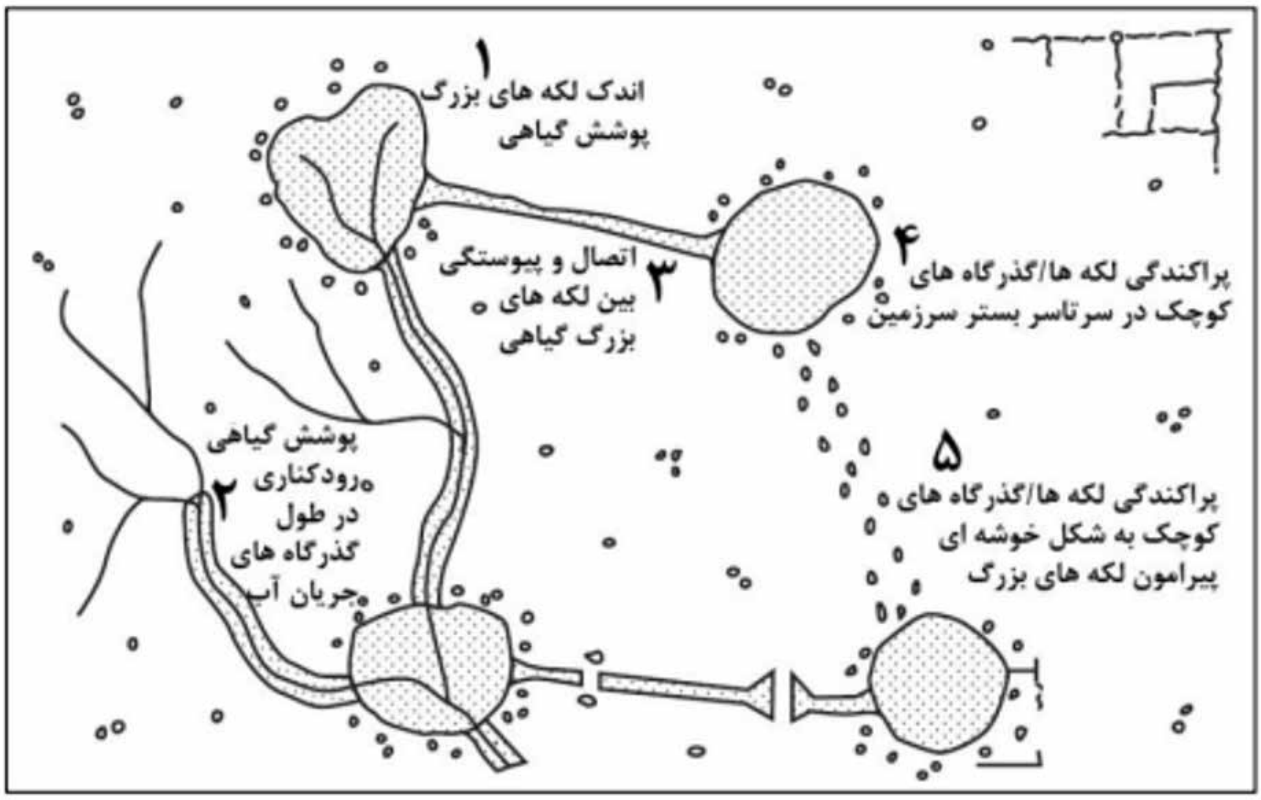
محققین	نتایج تحقیقات
خان سفید (۱۳۸۸) شیعه و مشرف دهکردی (Shieh, E., Moshref Dehkordi) موحد و طبیبیان (Movahed & Tabibian, 2018) Bai & Guo (2021) Jongman & Pungetti (2004)	پیوستگی و ارتباط و اتصال بین لکه‌های سبز طبیعی و مصنوعی ← پایداری شهری نقش پیوستگی ← هویت‌بخشی طبیعی به شهر بهبود کیفیت ساختار اکولوژیک ← تاب‌آوری اکولوژیکی ایجاد شبکه سبز ← بهبود و حفاظت از اکوسیستم مفهوم شبکه سبز شهری← انسجام حاصل از اکولوژی منظر
گنجی‌پور و فتاحیان (۱۳۹۵) صابونچی و همکاران (Saboonchi et al., 2018) نوروزی و بمانیان (Norouzi & Bemanian, 2020) Éva (2011) Dormidontova & Belkin (2020) Xiaoxia & et al (2022)	کمبود سرانۀ فضای سبز و پراکندگی نامناسب انتظام و سازماندهی فضای سبز اثر ساختار، عملکرد موضوعی و فاصله از فضاهای سبز فرصت‌های توسعه با تعادل شبکه سبز شهری تداوم فضاهای باز اصل اساسی اربوکولوژی توسعۀ شهر و تکه‌تکه‌شدن منظر و تخریب محیط‌زیست

از چالش‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی از جمله تکه‌تکه‌شدن زیستگاها (Ramírez-Delgado et al., 2022)، ازبین‌رفتن تنوع زیستی (Kremen et al., 2018; Cardinale et al., 2012)و تضعیف خدمات اکوسیستم (Zhao et al., 2024) را تشدید کرده است، به‌طوری که نزدیک به دو میلیارد هکتار زمین در سطح جهان به‌دلیل تخریب عملکردهای اکوسیستم باید احیا شود (Peng et al., 2019). پروژه‌های اولیهٔ حفاظت و احیای زیست‌محیطی اغلب بر عناصر و فرایندهای منفرد، مانند حفاظت از کوهستان، مدیریت آب، کوددهی مزارع و احیای زمین‌های بایر صنعتی و معدنی (Peng et al., 2019; Guan et al., 2019; Bian et al., 2024) متمرکز بودند و یکپارچگی اکوسیستم و پیوستگی اکولوژی را نادیده می‌گرفتند.

مفهوم شبکه‌های اکولوژیکی از اکولوژی منظر(Turner, 2005)، جغرافیای زیستی جزیره(Robert & Edward, 2001)، نظریهٔ جمعیت تجمعی و دینامیک منبع - مخزن (Hanski, 1999; Baguette et al., 2013) گرفته شده است. از نظر تاریخی، مناطق حفاظت‌شده «میراث طبیعی»، شبکه‌هایی از «انواع مختلف منظر» حفاظت‌شده و اکوسیستم‌های فضایی، همگی به‌عنوان «شبکه‌های اکولوژیکی» شناخته شده‌اند (Bennett, 2004). شبکه‌های اکولوژیکی را به‌عنوان سیستم‌های منسجمی از اجزای چشم‌انداز طبیعی یا نیمه‌طبیعی برای دستیابی به دیدگاه پذیرفته‌شده در مورد حفاظت از تنوع زیستی توصیف می‌کند. امروزه، شبکه اکولوژیکی به‌طور جهانی به‌عنوان لکه‌های زیستگاهی اصلی که توسط کریدورهای اکولوژیکی به هم متصل شده‌اند، شناخته می‌شود (Bennett & Mulongoy, 2006)، که بر الگوهای چیدمان مکانی منبع و کریدور تأکید دارد (Yang et al., 2020, Hilty et al., 2020). شبکهٔ اکولوژیک لکه‌های حاصل از تکه‌تکه‌شدن منظر را مورد حفاظت خود قرار دهد و الگوی خوانایی از منظر را ارائه می‌دهد (خان سفید و امین‌زاده، ۱۳۸۹). مطالعهٔ موردی شبکه‌های اکولوژیکی شهری و رابطهٔ آن با شهر پایدار در منطقهٔ کلان‌شهری تهران با همین رویکرد مورد تحلیل واقع شده است (Aminzadeh & Khansefid, 2010).

مدل شبکهٔ سبز از معدود الگوهایی است که توزیع بهینهٔ مکانی و چیدمان لکه‌های سبز در سرزمین را به تصویر می‌کشد (Forman, 2008) اجزای این مدل بدین شرح است (تصویر ۱).

۱- لکه‌های سبز بزرگ که برای حفاظت آبخوان و تنوع زیستی از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ ۲- گذرگاه‌های جریان آب و پوشش‌های رودکناری که ضامن تداوم فرایندهای اکولوژیکی در سرزمین‌اند؛ ۳- اتصال لکه‌های سبز بزرگ به‌وسیلهٔ گذرگاه‌های سبز پوشیده؛ ۴- لکه‌ها و گذرهای کوچکِ توزیع‌شده در سرتاسر سرزمین که هم باعث تنوع در بستر می‌شوند و هم نقش



تصویر ۱. مدل شبکهٔ اکولوژیکی سبز. مأخذ: Forman, 2008.

ارتباطی به شکل عبور موقت ایفا می‌کنند؛ ۵-لکه‌ها و گذرهای کوچک پیرامون لکه‌های بزرگ که گرادیانی از پهنه‌های سبز را ایجاد می‌کند (تصویر ۱).

شبکه‌های سبز اکولوژیک طبق تعریف فورمن ۲۰۰۸ و تعریف لیتل ۱۹۹۰ در مورد سبز راه‌ها و تعریف جامع‌تر اهرن ۱۹۹۵ نشان‌دهندهٔ اهمیت بسیار زیاد آن در منظر شهری است.

استفاده از تفکر شبکهٔ فضاهای شهری ساختاری منسجم از بافت یک شهر را شکل می‌دهد که در آن نه‌تنها پیوند و اتصال کالبدی فضاها مدنظر است؛ بلکه فعالیت‌ها نیز ارتباط می‌یابند که نتیجهٔ آن کمک به ایجاد خوانایی، شکل‌گیری حس جهت‌یابی و یکپارچه‌سازی ساختار شهر است. امتداد طبیعتِ خارج شهر به درون آن، به‌وسیلهٔ راهکارهایی همچون کمربندهای سبز، گسترش لکه‌های سبز بزرگ یا بهره‌گیری از دالان‌هایی طبیعی چون رود دره‌ها و امتداد آنها سبب پیوستگی فضاهای درون و بیرون شهرها می‌شود. از طرفی با اتصال لکه‌های سبز کوچک‌تر درون بافت شهرها به‌وسیلهٔ کریدورهای طبیعی و مصنوع و همچنین جلوگیری از انقطاع دالان‌ها با گسترش و امتداد آنها به‌سمت لکه‌های سبز می‌تواند شبکه سبز منسجمی را پدید آورد که از طریق پراکنش در نقاط مختلف، یا خود یکی از لایه‌های اصلی شهر شناخته شود و زمینه‌ساز شکل‌گیری فضاهای شهری شود، یا با دیگر فضاها و دیگر لایه‌ها نه به‌صورت لایه‌ای الحاقی و ثانویه ترکیب شود (خان سفید، ۱۳۸۶، ۱۵۴؛ Kookhaie & Masnavi, 2014). ساختار کالبدی شبکه فضاهای شهری به عوامل مؤثر در نوع و چگونگی پیوند میان فضاهای ایستا و پویای در طول شبکه می‌پردازد. عواملی که مسبب شکل‌گیری یک ترکیب مناسب به‌عنوان فضاهای پیوسته متوالی می‌شود که از رعایت اصولی چون اصل پیوستگی در ترکیب فضاهای شهری، رعایت سلسله‌مراتب فضایی، مقیاس انسانی، اصل وحدت در ترکیب، یک‌مرتبگی، استفاده از تباین و ایجاد تنوع فضایی پیروی می‌کند که نتیجهٔ آن خوانایی بافت و امکان درک آسان است (Carmona, 2003\2015). رابطهٔ بین پارامترهای فرم شهری پایدار و عناصر مورفولوژیکی شهری از جمله فضاهای باز و سبز شهری از جمله موارد مهم در این ساختار کالبدی است (Mobaraki et al., 2025). متریک‌های منظر نیز در همین حیطهٔ علمی قابل طرح می‌باشند.

• متریک‌های منظر

برای اندازه‌گیری ساختار کالبدی شبکه از روش اندازه‌گیری متریک‌ها استفاده می‌شود به نحوی که متریک‌های منظر ساختارهای فضایی منظر را در یک‌لحظه از زمان توصیف می‌کنند و ابزارهایی برای تعیین ویژگی‌های هندسی و مشخصات کالبدی و فضایی یک لکهٔ همگون فضایی، با موزائیکی از لکه‌ها فراهم می‌کنند. متریک‌های منظر برای تعیین کمیت ساختار فضایی الگوها از نظر ترکیب و پیکربندی، در یک منطقهٔ جغرافیایی به‌کار می‌رود. این متریک‌ها واحدهای قابل‌اندازه‌گیری ترکیب منظر هستند که امکان توصیف و کمی‌سازی الگوهای فضایی و فرایندهای اکولوژیکی در طول زمان و مکان را فراهم می‌کنند (Frazier et al., 2019) که می‌توانند در مقیاس‌های کلان (منطقه‌ای)، میانی (منظر) و مقیاس خرد (اکوسیستم) صورت گیرد. متریک‌های منظر در سه سطح تعریف می‌شوند شامل متریک‌ها در سطح لکه که برای لکه‌های منفرد تعریف شده و ویژگی‌های مکانی و بافت لکه را موردنظر قرار می‌دهند، در سطح طبقه در مورد مجموع لکه‌های مربوط به طبقه‌ای خاص محاسبه می‌شوند و در سطح منظر که در کل محدودهٔ محاسبه شده و برایند ویژگی‌های لکه و طبقات هستند. کاربر اصلی متریک‌های اکولوژی منظر در برنامه‌ریزی محیط‌زیست به‌دلیل توان کمی‌سازی این متریک‌ها در طبقه‌بندی و پهنه‌بندی منظر است که تا قبل از معرفی این متریک‌ها، اکولوژیست‌ها در کمی‌سازی روابط و تعامل بین گونه‌های گیاهی و جانوری بازمانده بودند (Shabani et al., 2011). توانایی جهت تشریح کمی ساختار منظر یک پیش‌شرط مطالعهٔ عملکرد و تغییر منظر است و متریک‌های مختلف جهت نیل هدف از اکولوژی منظر استخراج شده است. به‌عنوان‌مثال در مدل لکهٔ کریدور ماتریس فورمن (۱۹۹۵) چهارچوب طراحی فضائی فورمن و گردرون ۱۹۸۷۰ و فارینا ۱۹۹۹ چهار الگوی ضروری برای برنامه‌ریزی پایدار منظر شامل: نگهداری لکه‌های بزرگ پوشش گیاهی طبیعی (بومی)، نگهداری کریدورهای عریض رودکناری، حفظ پیوستگی برای حرکت گونه‌های کلیدی در میان لکه‌های بزرگ و حفظ قطعات ناهمگن طبیعی در میان مناطق توسعه‌یافته انسان. متریک‌های منظر می‌توانند چارچوب روش‌شناختی برای شناخت و اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی در اکوسیستم‌های شهری براساس اتصال و پیوستگی ساختاری و عملکردی منظر فراهم آورد (Soares et al., 2024). روش و ابزارهای مورداستفاده برای پیوستگی در چند مقاله بررسی شدند تا بهترین روش و ابزار انتخاب شود برای مثال در مقالات ایرانی، کوخائی و مثنوی (Kookhaie & Masnavi, 2014) طی پژوهشی، با استفاده از اصل پیوستگی انشعابات AWOP سعی بر شناخت تأثیر توجه به زیرساخت‌های اکولوژیک در طراحی منظر بر روی کیفیت زندگی شهری کرده و در کوششی مدون به این نتیجه رسیدندکه رویکرد طراحی اکولوژیک در زیرساخت‌های منظر شهری یکی از مهم‌ترین روش‌های طراحی شهری در رسیدن به توسعهٔ پایدار شهر در قرن حاضر است. مهریان و فریادی (Ramezani Mehrian & Faryadi, 2014)، به‌منظور تحلیل و شکل‌دادن شبکهٔ فضای سبز و ارائهٔ طرح مناسبی برای توسعهٔ فضای سبز منطقهٔ یک تهران با اهداف مختلفی از جمله افزایش

پیوستگی از اصول اکولوژی منظر و تئوری‌ها و مدل‌های موجود (گراف، حداقل هزینه و جاذبه) استفاده کردند و طرح بهینه‌ای به‌منظور توسعهٔ فضای سبز منطقه ارائه دادند. محمودزاده و مسعودی (Mahmoudzadeh & Masoudi, 2019) در مطالعه‌ای جهت ارتقا و تقویت پیوستگی اکولوژیکی در شهر تبریز باهدف ارزیابی پیوستگی فضاهای سبز، به‌وسیلهٔ شاخص‌های پیوستگی COHESION و IIC به ارزیابی پیوستگی فضاهای سبز این شهر پرداختند. سپس با نرم‌افزار Linkage Mapper کریدورهای بهینه برای ایجاد شبکه اکولوژیک شهر تبریز را ساختند. در حوزهٔ حفاظت از تنوع زیستی و ارتباطات منظر، قربانی و همکاران (Gorbani et al., 2021) در مطالعهٔ خود از متریک انتگرال پیوستگی یا IIC استفاده کردند تا پیوستگی عملکردی را بسنجند. در ادامه شبکهٔ فضای سبزی را با به‌کارگرفتن تئوری گراف و مدل جاذبه در شهر مراغه استان آذربایجان شرقی ایجاد کردند و بیان داشتند که با استفاده از تئوری گراف می‌توان پیچیدگی منظر را ساده‌سازی کرد و در جهت حفاظت از تنوع زیستی گام برداشت. در تحقیق حاتمی نژاد و همکاران در سال (Hataminejad et al., 2023) در این تحقیق ابتدا نقشه‌های کاربری زمین مربوط به سال ۲۰۱۴ و ۲۰۲۱ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 به روش طبقه‌بندی نظارت شده در چهار کلاس فضای شهری انسان‌ساخت، مزارع، باغات، زمین‌های بایر تهیه شد که تغییرات اکولوژیکی فضای سبز منطقهٔ موردمطالعه را در یک دورهٔ هفت ساله نشان می‌دهد. سپس تغییرات کاربری زمین‌های منطقه به کمک آرک جی.آی.اس آماده‌سازی شدند و درنهایت با استفاده از نرم‌افزار Fragastas مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. در پژوهش دیگر توسط (Masnavi & Mohseni Fard Naghani, 2023) به هدف، بهبود ساختار شبکهٔ اکولوژیک فضای سبز منطقهٔ نه تهران به کمک متریک‌های منظر برای دستیابی به کیفیت بهتر زندگی و محیط‌زیست است. نخست با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشهٔ کاربری اراضی شهر تهران داده‌های جغرافیایی موردنیاز نقشهٔ شبکهٔ درون بافت فرسوده منطقهٔ نه تهران تهیه شد. سپس مهم‌ترین لکه‌های فضای سبز و تغییرات آنها در طی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۷ با کمک متریک‌های منظر در نرم‌افزار FRAGSTATS 4.2.1 محاسبه شد.

در یک مقالهٔ خارجی، برای تحلیل شبکهٔ پیوسته کنگ و همکاران در سال (Kong et al., 2010) با استفاده از شش متریک منظر به شناسایی شبکه‌ها و لکه‌های سبز و کریدورهای دارای پتانسیل پرداختند و سپس با استفاده از مدل جاذبه و تئوری گراف یک شبکهٔ پیوستهٔ فضای سبز برای شهر جینان ارائه کردند. کوپر در سال (Kupfer, 2012) درمقالهٔ خود مروری بر استفاده از متریک‌های منظر و آنالیزهای آن در نرم‌افزار Fragstats داشته و بیان کرد که این محاسبات می‌تواند مشخصه‌ای برای انتخاب لکه‌ها و کریدورها به‌عنوان اجزای مهم و اتصال‌دهنده در شبکه اکولوژیک باشد. لاستینگ و همکاران (Lusting et al., 2015) در مقالهٔ خود به تحلیل چهار مؤلفهٔ موجود در زیستگاه و منظر با متریک منظر می‌پردازد و در پایان به این نتیجه رسیدند که اتفاقات درونی و بیرونی در منظر باعث تغییر و جداافتادگی و کوچک‌شدن لکه‌های منظر شده است. شیئو در سال (Xiao, 2017) لکه‌های فضای سبز را براساس نقشه‌های بیوتوپ و نیاز اجتماعی شهر استکهلم را تعیین کرد. سپس با کمک آنالیزهای مدل حداقل هزینه، بهینه‌ترین راه ارتباطی بین لکه‌های فضای سبز شبکه اکولوژیک شهر استکهلم تعیین شد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2019) در مطالعهٔ خود با کمک نرم‌افزارهای Fragstats، Confor ارتباط بین لکه‌های سبز در شهر دیترویت را بررسی و در گام دوم به کمک مدل حداقل هزینهٔ کریدورهای دارای پتانسیل شناسایی می‌شوند و سپس با تئوری گراف شبکهٔ اکولوژیک بین لکه‌ها ایجاد شد و در آخر هم به کمک مدل کشش شبکهٔ اکولوژیک بهینه برای شهر دیترویت انتخاب شد. چو و همکاران (Chu et al., 2022) تأثیرات توسعهٔ شهری بر روی لکه‌های فضای سبز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در شهر بیجینگ چین را بررسی کردند و آنها الگوی منظر را به کمک مدل FLUS برای سال ۲۰۰۰ پیش‌بینی کردند. در پژوهش دیگر توسط شیائوشیا و همکاران (Xiaoxia et al., 2022) در این مطالعه از روش‌های از جمله SeNtinel، GIS، RS Application Platform (SNAP) و Conefor Sensinode به‌کار می‌روند برای ساخت شبکه‌های سبز با استفاده از شاخص‌های اتصال منظر، مدل مسیر کم‌هزینه، و تحلیل انحنای راهرو برای شناسایی دالان‌های بالقوه تفریحی و حفاظت از تنوع زیستی با عرض معقول، نقاط و دالان‌های فضای سبز باکیفیت خوب را شناسایی می‌کند یا اینکه کدام یک نیاز به بهبود دارند. به‌طور خلاصه دررابطه با روش و ابزارهای مورد محاسبه در تحقیق‌های پیشین می‌توان به پژوهش‌های‌مورد اشاره در جدول ۲ اشاره کرد که در آنها ۱۵ مقاله بررسی و محاسبهٔ متریک‌های منظر به کمک نرم‌افزار ENVI و Fragstate انجام شده است. در نتیجه می‌توان گفت که عدم پیوستگی فضای سبز اثرات مخرب در شهرها ایجاد می‌کند که در تصویر ۲ اشاره شده‌اند.

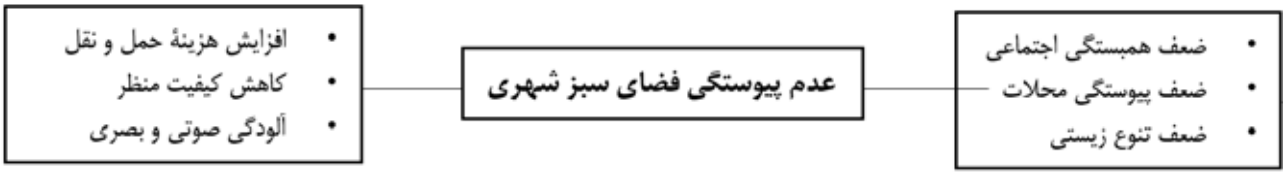
مواد و روش‌ها

• منطقهٔ موردمطالعه

منطقهٔ ۲۲ با وسعتی در حدود ۶۰۰۰ هکتار، پدیده‌ای وابسته و متأثر از تحولات سریع شهری و شهرنشینی، یک هفتم مساحت شهر تهران را تشکیل داده و به‌عنوان بزرگ‌ترین منطقهٔ متصل به تهران، در چند دههٔ اخیر شاهد رشد فزاینده‌ای بوده است. این

جدول ۲. روش‌های محاسبه متریک‌های منظر. مأخذ: نگارندگان.

مقالات	تعداد مقاله	روش‌های محاسبه
کوخائی و مثنوی (Kookhaie & Masnavi, 2014)	۱ مقاله	اصل پیوستگی (AWOP)
مهریان و فریادی (Ramezani Mehrian & Faryadi, 2014)	۱ مقاله	گراف، حداقل هزینه، جاذبه
محمودزاده و مسعودی (Mahmoudzadeh & Masoudi, 2019) / قربانی و همکاران (Gorbani et al., 2021)	۲ مقاله	شاخص پیوستگی (IIC,Cohesion)
حاتمی نژاد و همکاران (Hataminejad et al., 2023)/مثنوی و ناغانی (Masnavi & Mohseni Fard Naghani, 2023)/کنگ و همکاران(2010) ,.Kong et al /(2015) Lustig et al /(2012) Kupfer	۵ مقاله	محاسبهٔ متریک (ENVI & Fragstate)
Mougiakou & Photis (2014)	۱مقاله	GIS Raster
Zhang et al., (2019); Chu et al., (2022) /Michael et al. (2022) /Xiaoxia et al., (2022) / Xio (2017)	۵ مقاله	روش‌های ترکیبی



تصویر ۲. اثرات عدم پیوستگی فضای سبز در منظر شهری. مأخذ: نگارندگان.

نوع رشد و توسعه منجر به ایجاد محدودیت در توسعهٔ کاربری فضای سبز و کاهش فضاهای باز شهری شده و حتی در بسیاری از موارد منجر به جایگزینی این سازه‌ها با کاربری‌های دست ساز شده است. به‌عنوان مثال بسیاری از باغ‌ها، فضاهای سبز باز و عمومی در جریان تغییر کاربری جای خود را به بافت‌های مسکونی و تجاری داده‌اند (تصویر ۳).

• روش پژوهش و داده‌های مورداستفاده

به‌منظور درک دقیق تغییرات زمانی - مکانی منطقهٔ ۲۲ تهران، برای دستیابی به این بحث در این پژوهش از دوتا روش کیفی و کمّی استفاده شده، بخش کیفی برای مباحث و ارزیابی مؤلفه و شاخص‌های ذهنی منظر بوده؛ مانند تشریح پیوستگی اکولوژیکی و مؤلفه‌های توضیح پیوستگی اکولوژیکی و برای سنجش‌پذیری و راستی‌آزمایی مؤلفه‌های کمی از متریک‌های منظر استفاده شده که این متریک‌ها براساس داده‌های سنجش‌ازدور شامل سنجیده‌های ماهواره‌ای لندست ۸[1] استفاده شده است جدول ۳ انتخاب این تصاویر به‌دلیل داشتن مزیت‌های مانند رایگان بودن دسترسی، چند طیفی بودن تصاویر، وسیع و یک‌پارچه بودن دید و نیز پوشش تکراری تصاویر در دوره‌های زمانی مختلفی باشد. بعد از اخذ تصاویر موردنظر در سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS)[2] منطقهٔ موردمطالعه، سپس براساس نیاز پژوهش و شرایط محدوده «متریک‌های منظر» متناسب را انتخاب کرده و روند آنها را ارزیابی کرد (جدول ۴). همچنین باتوجه‌به نوع پوشش‌های موجود در منطقه، طبقه‌بندی مناسب در نظر گرفته می‌شود و برای محاسبهٔ متریک‌های منظر می‌توان از برنامه fragstats v4. 2 کمک گرفت و تحلیل نهایی را باتوجه‌به داده‌های حاصل از آن انجام داد.

متریک‌های منظر در این مقاله طی فرایندی چهار مرحله‌ای انجام گرفته است. در گام اول جهت بررسی روند عناصر منظر از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰، تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 استفاده شد در این پروژه جهت دستیابی به اهداف از تصاویر ماهواره‌ایی لندست ۸ سنجنده‌ای Oli استفاده شد. تصاویر مربوطه (تصاویر ۴ و۵) در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ از تارنمای earthexplorer در ماه‌های گرم با حداقل پوشش ابری دریافت و در کالکشن دو لول یک و در همین راستا به‌منظور افزایش کیفیت مکانی و بصری ابتدا تصحیحات رادیومتریکی با استفاده از تبدیل به اعداد رقومی DN به رادیانس انجام شد. در مرحلهٔ دوم تصحیحات اتمسفری با مدل Quic Atmospheric انجام و در مرحلهٔ سوم قدرت تفکیک مکانی تصاویر هر دو سال با کمک باند پانکروماتیک و دستور Gram Schmit افزایش و درنهایت با استفاده از مرز منطقهٔ ۲۲ تصاویر پردازش شده برش زده شد. در ادامه کلیه مراحل پردازش روی تصویر برش زده شده انجام شد جدول ۴.

آنالیز تصاویر به کمک نرم‌افزار Fragstats4.2 بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد و متریک‌های «مساحت کلی/ لکه»، «تعداد لکه»، «تراکم لکه»، «درصد کلاس»، «شاخص بزرگ‌ترین لکه»، «میانگین مساحت لکه» و «شاخص مجاورت و همبستگی» بررسی شد. متریک‌های «تعداد لکه»، «تراکم لکه» و «شاخص مجاورت و همبستگی»، «متریک‌های تجمعی[3]» هستند که اطلاعاتی در ارتباط با تعداد و نحوهٔ قرارگیری لکه‌ها در اختیار ما

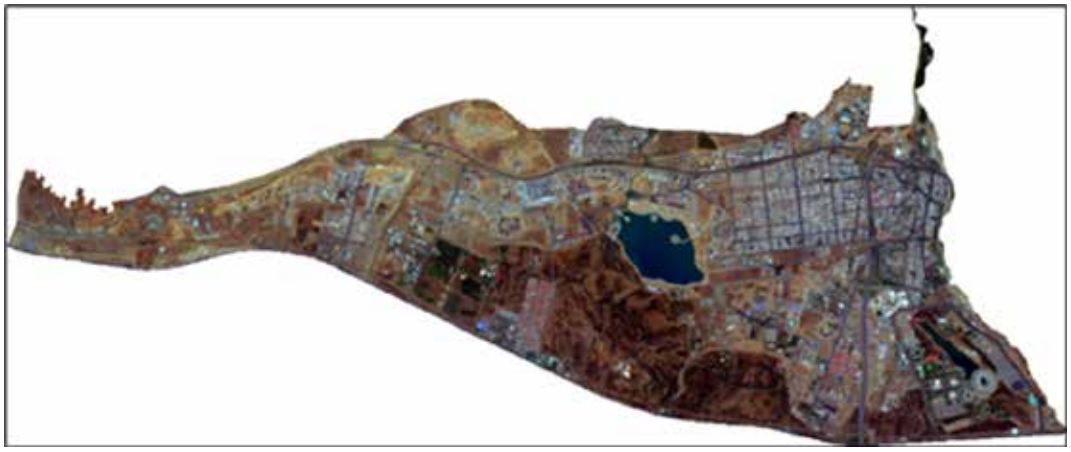
تصویر ۳. نقشه پوشش گیاهی منطقهٔ ۲۲ تهران. مأخذ:www.gahar_.ir_mataleb_15.02.98-9.

جدول ۳. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده در تحقیق. مأخذ: نگارندگان.

تاریخ تصاویر	نوع ماهواره	سنجنده	منبع
۲۰۱۳/۰۷/۱۴	لندست ۸	OLI/TIRS	USGS
۲۰۲۳/۰۷/۱۰	لندست ۸	OLI/TIRS	USGS

جدول ۴. طبقه‌بندی پوشش‌های بررسی شده. مأخذ: نگارندگان.

انواع	توضیحات
اراضی بایر	مناطق خالی از پوشش گیاهی
اراضی دارای پوشش گیاهی	مناطق دارای پوشش گیاهی
پهنهٔ آبی	دریاچه
جاده	مسیرهای دسترسی
اراضی ساخت‌وساز شده	مناطق مسکونی، صنعتی و...



تصویر ۴. تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 سال ۲۰۱۳. مأخذ: https://earthexplorer.usgs.gov

قـرار می‌دهنـد و باقـی متریک‌هـا از «متریک‌هـای مسـاحت و لبه[۴]» می‌باشـند کـه اطلاعاتـی مرتبط با مسـاحت، مسـاحت غالـب پهنه و وضعیـت طبقه‌هـا را به مـا می‌دهنـد. توضیحات کامل‌تـر هر متریک در جـداول ۴ و ۵ ارائـه شـده اسـت. ایـن متریک‌هـا بـرای هـر طبقه در دو سـطح منظر و کلاس برای سـال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ محاسـبه شـد (جدول۵).

تصویر ۵. تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 سال ۲۰۲۳. مأخذ:https://earthexplorer.usgs.gov

جدول ۵. شرح متریک‌های مورداستفاده در تحقیق. مأخذ: نگارندگان.

متریک‌های منتخب				
متریک‌ها	**علامت اختصاری**	**واحد**	**سطح بررسی**	**محدودهٔ تغییرات**
مساحت کلاس/ کلی Total Area/Class Area	CA/TA	هکتار	سطح کلاس/ سرزمین	CA/TA>0
	TA مترییک مساحت کل منظر است که نشان می‌دهد که بررسی متریک‌های دیگر در این مساحت انجام شده است. CA مساحت کل طبقه و تمام لکه‌های مربوط به آن طبقه است.			
تعداد لکه Number of Patch	NP	-	سطح کلاس	NP≥1
	در سطح کلاس نشان‌دهندهٔ تکه‌تکه‌شدن یا یکپارچگی منظر است.			
تراکم لکه Patch density	PD	هر ۱۰۰ هکتار	سطح کلاس	PD> 0
	نشان‌دهندهٔ تعداد لکه‌ها در صد هکتار است، افزایش این متریک به معنی تکه‌تکه‌شدن منظر است.			
درصد کلاس Percentage of landscape of class	PLAND	درصد	سطح کلاس	0<PLAND≤100
	نشان‌دهندهٔ آن است که چند درصد از مساحت کل به این کلاس یا طبقه اختصاص یافته است. که می‌تواند نشان دهد کدام طبقه توسعه یا کاهش داشته است.			
شاخص بزرگ‌ترین لکه Largest patch index	LPI	درصد	سطح کلاس	0<LPI≤100
	نشان می‌دهد که چند درصد از مساحت کل توسط بزرگ‌ترین لکه طبقه موردنظر پوشش داده شده است. پایین بودن این عدد برای لکه‌های طبیعی نامطلوب و بالا بودن آن برای لکه‌های انسان‌ساخت نامطلوب است.			
میانگین مساحت لکه Mean of patch area	Area-MN	هکتار	سطح کلاس	Area-MN≥0
	میانگین مساحت لکه‌های یک کلاس را نشان می‌دهد؛ برای لکه‌های طبیعی بزرگ بودن این عدد و برای لکه‌های انسان‌ساخت کوچک بودن این عدد مطلوب است.			
شاخص مجاورت و همبستگی Interspersion and Juxtaposition index	IJI	درصد	سطح سرزمین	0<IJI≤100
	نشان‌دهندهٔ اختلاط طبقات هست به این صورت اگر یک کلاس فقط با یک کلاس دیگر مجاور باشد به صفر نزدیک می‌شود و زمانی که مجاورت یکسانی با همه کلاس‌های دیگر داشته باشد برابر با ۱۰۰ می‌شود.			

یافته‌ها

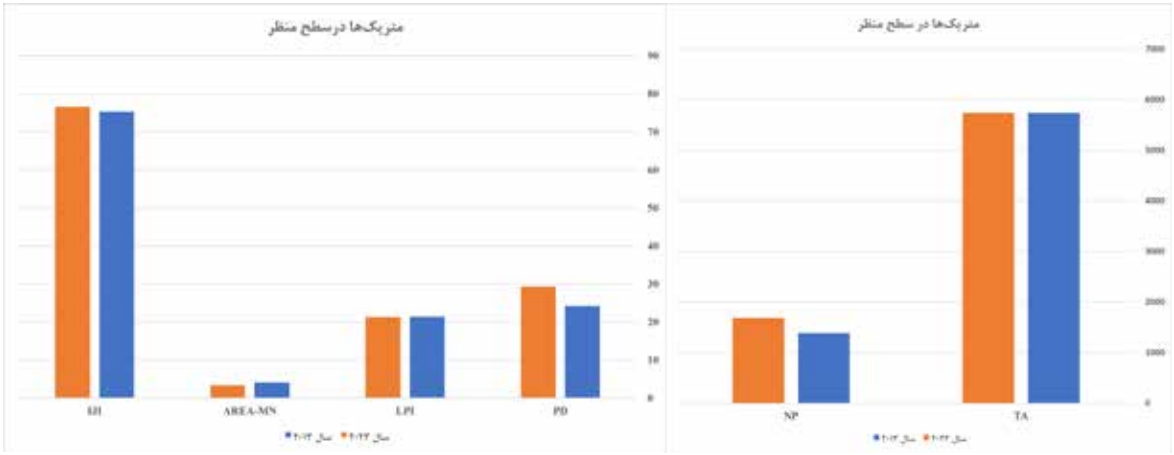
تحلیل نهایی در دو سطح منظر و کلاس براساس نتایج حاصل از پردازش نقشه‌های ENVI5.3، انجام شد. براساس داده‌های ارائه شده در سطح منظر (Landscape)، مساحت کل (TA) محدودهٔ موردمطالعه تقریباً ۵۷۵۰ هکتار متفاوت است. تعداد لکه‌ها (NP) طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ از ۱۳۹۱ لکه به ۱۶۸۷ لکه افزایش پیدا کرده است که نشان‌دهندهٔ کوچک‌تر شدن لکه‌ها و ازبین‌رفتن پیوستگی ساختار منظر است. متریک تراکم لکه (PD) از ۲۱/ ۴۴ لکه در صد هکتار به ۳۶/ ۲۹ لکه در صد هکتار رسیده است که نشان‌دهندهٔ خرد شدن لکه‌ها است (جداول ۶ تا ۸).

شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) که در هر دو سال مربوط به اراضی دارای پوشش گیاهی است کاهش نزدیک به پنج درصدی داشته است که علاوه‌بر بیان خردشدگی لکه‌ها نشان‌دهندهٔ ناهمگنی در ساختار منظر است (تصویر ۶). شاهد دیگر خردشدگی لکه‌ها و ازبین‌رفتن پیوستگی، میانگین مساحت لکه‌ها (Area_MN) است که از ۱/ ۴ هکتار در سال ۲۰۱۳ به ۳/۴هکتار در سال ۲۰۲۳ کاهش پیدا کرده است. شاخص مجاورت و همبستگی (IJI) در سطح منظر افزایش تقریباً یک درصدی داشته است که نشان می‌دهد قرار گرفتن لکه‌های مختلف در کنار یکدیگر افزایش داشته است و اختلاط لکه‌ها بیشتر شده است.

با بررسی داده‌ها در سطح کلاس (Class) می‌توان نتیجه گرفت که مساحت کاربری‌ها (CA) در طبقهٔ پوشش گیاهی و پهنهٔ آبی تغییر خاصی نداشته است. در طبقات جاده و انسان‌ساخت افزایش مشاهده می‌شود. اما اراضی بایر کاهش داشته است. افزایش اراضی ساخته شده و جاده در کنار کاهش اراضی بایر نشان‌دهندهٔ تغییر ساختار توسط انسان است. بررسی درصد کلاس (PLAND) نشان می‌دهد که اراضی بایر کاهش نه درصدی و اراضی دارای پوشش گیاهی و پهنهٔ آبی تقریباً ثابت ولی جاده حدود پنج درصد افزایش را نشان می‌دهد (تصویر ۷).

تعداد لکه‌ها (NP) از سال ۲۰۱۳ برای طبقات پوشش گیاهی، اراضی بایر و جاده کاهش را نشان می‌دهد و برای طبقهٔ انسان‌ساخت افزایش و پهنهٔ آبی ثابت بوده است. کاهش تعداد لکه‌ها به‌دلیل گسترش این طبقه و ایجاد پیوستگی در این طبقه است. بررسی تراکم لکه‌ها (PD) نشان می‌دهد روند تغییرات این متریک مانند تعداد لکه‌ها است (تصویر ۸).

شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در سال ۲۰۱۳ به ترتیب شامل طبقهٔ پوشش گیاهی، اراضی بایر، اراضی انسان‌ساخت، جاده و پهنهٔ آبی است. اما در سال ۲۰۲۳ این ترتیب تغییر می‌کند اراضی بایر بیشترین شاخص را به خود اختصاص می‌دهد که نشان‌دهندهٔ کاهش تکه تکه شدگی این طبقه است سپس طبقات پوشش گیاهی، اراضی انسان‌ساخت، جاده و پهنهٔ آبی قرار می‌گیرند. کاهش بزرگ‌ترین لکه در طبقهٔ پوشش گیاهی بسیار کم بوده؛ اما افزایش این شاخص برای اراضی بایر تا جایی‌که در سال ۲۰۲۳ بزرگ‌ترین شاخص مربوط به این طبقه بیانگر کاهش پوشش گیاهی و افزایش پهنهٔ آبی است (تصویر ۹). در طی این بازه میانگین مساحت لکه (Area_MN) برای پهنهٔ آبی بیشترین رقم را در هر دو سال نشان می‌دهد. بیشترین مساحت این پهنه مربوط به دریاچهٔ مصنوعی چیتگر است، باتوجه‌به مساحت ۲۵۰ هکتاری این لکه و تفاوت معنادار آن



تصویر ۶. تغییرات متریک‌ها در سطح منظر در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ براساس هکتار. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۶. تغییرات متریک‌ها در سطح منظر. مأخذ: نگارندگان.

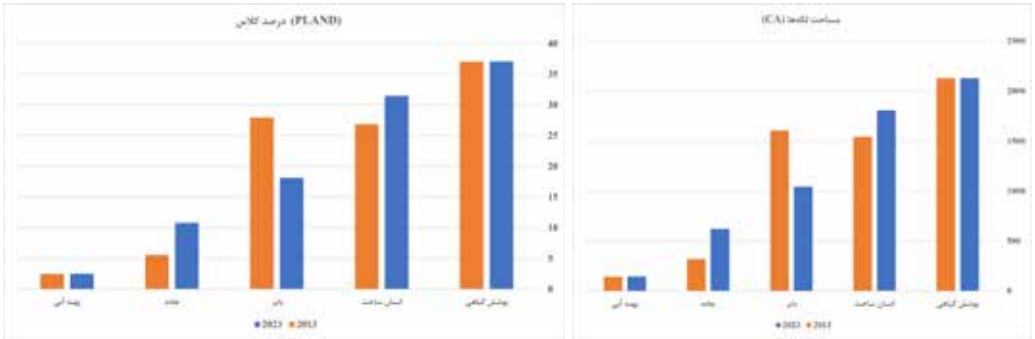
متریک‌ها	علامت اختصاری	واحد	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۲۳	تغییرات
مساحت کل	TA	هکتار	۵۷۴۴/۶۴۰۹	۵۷۴۵/۳۴۹۴	-۶۱/۲۰
تعداد لکه‌ها	NP	-	۱۳۹۱	۱۶۸۷	+۱۳۶
تراکم لکه	PD	هر ۱۰۰هکتار	۲۴/۲۱۳۹	۲۹/۳۶۲۹	+۶/۹۱
شاخص بزرگ‌ترین لکه	LPI	درصد	۲۱/۳۸۶۶	۲۱/۳۳۶۲	-۴/۳۲
میانگین مساحت لکه‌ها	AREA-MN	هکتار	۴/۱۲۹۹	۳/۴۰۵۷	-۲
شاخص مجاورت و همبستگی	IJI	درصد	۷۵/۳۷۲۱	۷۶/۶۲۱۸	-۹۶/۶

جدول ۷. متریک‌ها در سطح کلاس، سال ۲۰۱۳. مأخذ: نگارندگان.

	طبقات	CA	PLAND	NP	PD	LPI	AREA_MN	IJI
CLASS	پوشش گیاهی	۲۱۲۹/۸۲۹۴	۳۷/۰۷۰۵	۳۲۲	۵/۶۰۴۵	۲۱/۳۳۶۲	۶/۶۱۴۴	۷۶/۴۸۳۳
	انسان‌ساخت	۱۸۰۸/۳۳۵۷	۲۶/۸۶۵۹	۴۴۲	۷/۶۹۳۲	۳/۴۷۹۲	۴/۰۹۱۳	۷۹/۹۱۰۳
	بایر	۱۶۰۶/۴۹۴۳	۲۷/۹۶۵۱	۴۲۱	۷/۳۲۷۷	۴/۷۱۷۱	۲/۴۷۶۳	۷۱/۴۱۹۷
	جاده	۳۱۹/۸۱۱	۱۸/۱۴۵۲	۴۹۹	۸/۶۸۵۳	۳/۳۸۰۶	۱/۲۴۶۵	۷۶/۶۰۹۲
	پهنهٔ آبی	۱۴۲/۶۷۹۴	۲/۴۸۳۴	۳	۰/۰۵۲۲	۲/۱۵۳۵	۴۷/۵۵۹۸	۷۸/۱۵۴۵

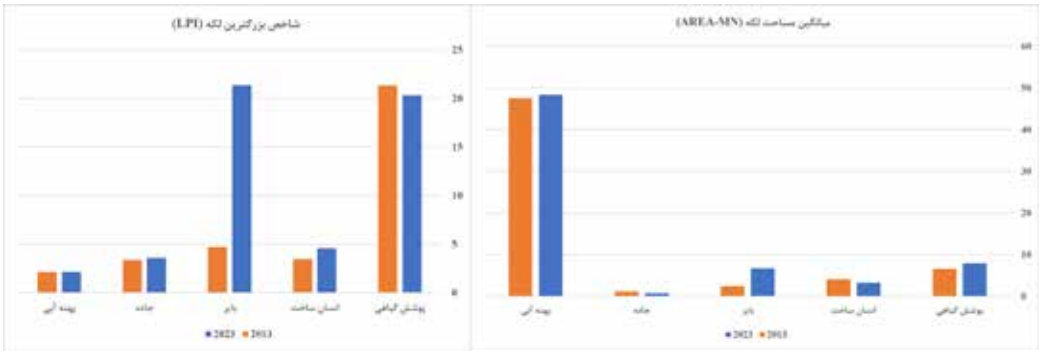
جدول ۸. متریک‌ها در سطح کلاس، سال ۲۰۲۳. مأخذ: نگارندگان.

	طبقات	CA	PLAND	NP	PD	LPI	AREA_MN	IJI
CLASS	پوشش گیاهی	۲۱۳۰/۰۰۶۵	۳۷/۰۷۸۱	۲۶۷	۴/۶۴۷۸	۲۰/۳۲۵۹	۷/۹۷۷۶	۷۱/۴۲۷۸
	انسان‌ساخت	۱۵۴۳/۳۴۶۹	۳۱/۴۷۴۸	۴۷۰	۸/۱۸۱۵	۴/۵۷۱۲	۳/۲۸۳۷	۸۰/۰۶۷۶
	بایر	۱۰۴۲/۵۰۷۶	۵/۵۶۷۱	۲۳۸	۴/۱۴۳	۲۱/۳۸۶۶	۶/۷۵	۷۱/۴۷۲۷
	جاده	۶۲۱/۹۹۷۳	۱۰/۸۲۶۱	۴۱۳	۷/۱۸۹۳	۰/۵۷۷۴	۰/۷۷۴۴	۷۶/۰۹۴۸
	پهنهٔ آبی	۱۴۴/۹۸۲۱	۲/۵۲۳۸	۳	۰/۰۵۲۲	۲/۱۴۷۶	۴۸/۳۲۷۴	۹۸/۳۱۶



تصویر ۷. متریک مساحت لکه‌ها و درصد کلاس در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ براساس هکتار. مأخذ: نگارندگان.

تصویر ۸. متریک تعداد لکه‌های هر طبقه و تراکم لکه‌ها در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ براساس هکتار. مأخذ: نگارندگان.



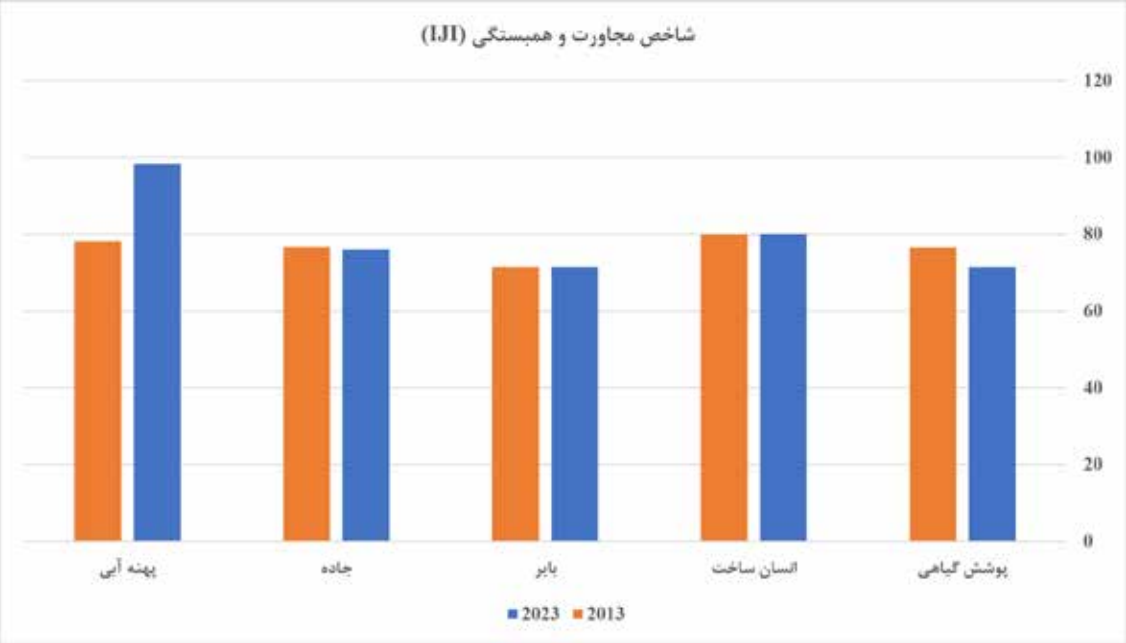
تصویر ۹. متریک شاخص بزرگ‌ترین لکه و میانگین مساحت لکه‌ها در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ براساس هکتار. مأخذ: نگارندگان.

با پهنهٔ اراضی دارای پوشش گیاهی و تفاوت چشمگیر اعداد محاسبه این متریک، لازم است نسبت به تقویت این پهنه اقدامات مناسبی در برنامه‌ریزی‌های شهری در نظر گرفته شود. برای این متریک در سال ۲۰۱۳ به‌ترتیب طبقات پوشش گیاهی، اراضی انسان‌ساخت، اراضی بایر و جاده قرار دارند و در سال ۲۰۲۳ این ترتیب تغییر کرده و بعد از پهنه آبی، پوشش گیاهی، اراضی بایر، اراضی انسان‌ساخت و جاده قرار دارد. شاخص مجاورت و همبستگی (IJI) برای پوشش گیاهی کاهش مجاورت، برای اراضی انسان‌ساخت و پهنهٔ آبی افزایش مجاورت و برای اراضی بایر و جاده به‌ترتیب افزایش و کاهش بسیار نامحسوسی داشته است. باتوجه‌به اعداد این متریک برای پهنهٔ آبی مشخص می‌شود که این پهنه با سایر پهنه‌ها از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ مجاورت بیشتری با تمام طبقات دیگر دارد که این نشان از تکه‌تکه‌شدن و اختلاط بیشتر منظر دارد. همچنین سایر اعداد این متریک برای دیگر طبقات نشان می‌دهد که شاخص مجاورت تمام طبقات بیشتر از ۷۰ است که نشان‌دهندهٔ اختلاط زیاد پهنه‌های مختلف با یکدیگر است (تصویر ۱۰).

تفسیر این متریک با درنظرگرفتن سایر متریک‌ها حاکی از آن است که باگذشت زمان نیروهای مؤثر بر روند تغییر ساختار فضای سبز باعث شده است که لکه‌های بزرگ به لکه‌های کوچک و ناپیوسته تبدیل شوند. این روند تغییر و دگرگونی می‌تواند نشان‌دهندهٔ کاهش تداوم بین لکه‌های سبز و در نتیجه کاهش عملکرد و پایداری اکولوژیکی اراضی سبز در منطقهٔ مورد مطالعه باشد. همچنین مقایسه و تحلیل متریک تراکم لبه‌های لکه‌های سبز نسبت به مناطق ساخته‌شدهٔ شهری، حاکی از پیشرفت تخریب در منظر منطقه است.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

منظر شهری یک تصویر ثابت نیست که توسط ناظر از



تصویر ۱۰. متریک شاخص مجاورت و همبستگی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۳ براساس هکتار. مأخذ: نگارندگان.

نقطه‌ای خاص رویت شود، بلکه به‌صورت متوالی ادراک می‌شود. با هر قدم عابر بخشی از فضا در پشت سر او محو و با صحنه‌های جدیدی روبرو می‌شود. استفاده از یک رویکرد ترکیبی که بتواند روند و الگوی گسترش شهری و اثرات آن بر منظر را نسبتاً سریع و بادقت بررسی کند، با استفاده از اطلاعات زمین گذشته، برای برنامه‌ریزان شهری و منظر از اهمیت بالایی برخوردار است. پایش و پیش‌بینی تغییرات ساختاری منظر ناشی از گسترش شهری در طول زمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌سازی فضایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و متریک‌های منظر رویکردی مناسب برای بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه شهری است. از نظر اکولوژی، حفظ لکه‌های سبز بزرگ و ایجاد ارتباط بین آنها منجر به پایداری بیشتر منظر می‌شود. هر چه میزان اتصال و ارتباط شبکه‌های فضای سبز شهری در یک منطقه بیشتر باشد، پایداری اکولوژیکی بیشتر می‌شود. در منطقهٔ ۲۲ شهرداری تهران با ایجاد اراضی شهری در دورهٔ موردمطالعه، تعداد لکه‌های بزرگ فضای سبز که ارزش اکولوژیکی بالایی دارند، جای خود را به لکه‌های کوچک‌تر با ارزش اکولوژیکی پایین‌تری داده و ارتباط بین لکه‌های فضای سبز نیز قطع شده است. همچنین فضاهای سبزی که ارزش اکولوژیکی زیادی دارند به‌دلیل ساخت‌وساز ناهماهنگ جای خود را به لکه‌های کوچک‌تر با ارزش اکولوژیکی کمتر داده و ارتباط بین لکه‌های فضای سبز نیز قطع شده است. باتوجه‌به بررسی صورت‌گرفته، منظر منطقهٔ ۲۲ تهران با افزایش ساخت‌وساز در حال ازدست‌دادن پیوستگی فضای سبز و کاهش کیفیت منظر است. بااین‌حال بررسی متریک‌های منظر در طبقهٔ پوشش گیاهی باتوجه‌به ثابت‌بودن مساحت لکه‌ها و درصد کلاس این طبقه در کنار کاهش تعداد و تراکم لکه می‌تواند نشان دهد باوجود افزایش ساخت‌وساز، تلاش موفقی در جهت حفظ اراضی دارای پوشش گیاهی در این سال‌ها شده است. یافته‌های این مطالعه نه‌تنها تغییراتی که در این منطقه رخ دادند را نشان می‌دهد، بلکه چارچوبی برای استراتژی‌های مدیریت اکولوژیکی آینده نیز فراهم می‌کند. ادغام شبکه‌های اکولوژیکی در برنامه‌ریزی کاربری زمین برای حفظ تنوع زیستی و خدمات اکوسیستم در مواجهه با چالش‌های مداوم زیست‌محیطی ضروری است. در انتها پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابه برای مناطق دیگر تهران و یک پژوهش کلی برای کل کلان‌شهر تهران انجام تا با ایجاد پیوستگی فضای سبز بتوان محیط آن را طبیعی‌تر و قابل زیست‌تر برای انسان و همچنین گونه‌های گیاهی و جانوری در یک اکوسیستم شهری کرد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Landsat 8
۲. United States Geological Survey
۳. Aggregation metric
۴. Area and edge metric

فهرست منابع

• خان سفید، مهدی و امین‌زاده، بهناز. (۱۳۸۹). بررسی نقش شبکه‌های اکولوژیکی در پایداری مناطق کلان شهری کشور. *نخستین همایش توسعه شهری پایدار*. https://civilica.com/doc/96906

• خان سفید، مهدی. (۱۳۸۶). بررسی الگوی پراکنش فضاهای سبز شهری با رویکرد اکولوژی منظر شهری و رابطهٔ آن با پایداری شهری (مورد مطالعه :کلان شهر تهران). *سومین همایش ملی فضای سبز و منظر شهری*، جزیره کیش. https://civilica.com/doc/6175

• گنجی پور علی و فتاحیان امیر. (۱۳۹۵). تجزیه و تحلیل فضای سبز شهری با استفاده از فناوری‌های نوین مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تهران، *دومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری*.

• Aminzadeh, B., & Khansefid, M. (2010). A case study of urban ecological networks and a sustain able city: Tehran's metropolitan area. *Urban ecosystems, 13*(1), 23-36. https://doi.org/ 10.1007/s11252-009-0101-3

• Astell-Burt, T., Hartig, T., Putra, I. G. N. E., Walsan, R., Dendup, T., & Feng, X. (2022). Green space and loneliness: A systematic review with theoretical and methodological guidance for future research. *Science of the total environment, 847*, 157521. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157521

• Baguette, M., Blanchet, S., Legrand, D., Stevens, V., & Turlure, C. (2013). Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks[J]. *Biological Reviews, 88*(2), 310–326. https://doi.org/10.1111/brv.12000

• Bai, Y., & Guo, R. (2021). The construction of green infrastructure network in the perspectives of ecosystem services and ecological sensitivity: The case of Harbin, China. *Journal of Global Ecology and Conservation, 27*, e01534. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01534.

• Basu, T., & Das, A. (2023). Urbanization induced degradation of urban green space and its association to the land surface temperature in a medium-class city in India. *Sustainable Cities and Society, 90*, 104373.

• Beger, M., Metaxas, A., Balbar, A., McGowan, J., Daigle, R., Kuempel, C., Treml, E., Possingham. H. (2022). Demystifying ecological connectivity for actionable spatial conservation planning. *Trends in ecology & evolution, 37*(12), 1079-1091. https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.09.004

• Bennett, G. (2004). *Integrating biodiversity conservation and sustainable use: Lessons learned from ecological networks*. IUCN.

• Bennett, G., & Mulongoy, K. J. (2006). *Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

• Bian, H., Li, M., Deng, Y., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, Q., Xie, S., Wang, S., Zhang, Z., & Wang, N. (2024). Identification of ecological restoration areas based on the ecological safety security assessment of wetland–hydrological ecological corridors: A case study of the Han River Basin in China. *Ecological Indicators, 160*, 111780. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111780

• Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature, 486*(7401), 59–67. https://doi.org/10.1038/nature11148

• Carmona, M. (2015). *Public places urban spaces the dimensions of urban design* (F. Qaraei; M. Shokoohi; Z. Ahri., & I. Salehi, Trans.). Art University Publications. (Original work published 2003)

• Chu, M., Lu, J., & Sun, D. (2022). Influence of urban agglomeration expansion on fragmentation of green space: A case study of the Beijing–Tianjin–Hebei urban agglomeration. *Land, 11*(2), 275. https://doi.org/10.3390/land11020275

• Conine, A., Xiang, W. N., Young, J., & Whitley, D. (2004). Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. *Landscape and urban planning, 68*(2-3), 271-287. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00159-2

• Convention on Migratory Species [CMS]. (2020). *Improving ways of addressing connectivity in the conservation of migratory species* (Resolution 12.26, Rev. COP13). Gandhinagar, India, 17–22 February 2020. UNEP/CMS/COP13/CRP 26.4.4.

• Cook, E. A. (1991). Urban landscape networks: an ecological planning framework. *Landscape research, 16*(3), 7-15. https://doi.org/10.1080/01426399108706345

• Daigle, R. M., Metaxas, A., Balbar, A. C., McGowan, J., Treml, E. A., Kuempel, C., Possingham, D. & Beger, M. (2020). Operationalizing ecological connectivity in spatial conservation planning with Marxan Connect. *Methods in Ecology and Evolution, 11*(4), 570-579. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13349

• Dormidontova, V., & Belkin, A. (2020). The continuity of open greened spaces: Basic principle of urboecology. I*OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 753*(2), 022048. https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/2/022048

• Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349-359. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195

• Éva, S. (2011). *Research of town structure and green space system of Sopron, opportunities of development with a historical approach* [Doctoral dissertation, University of West Hungary]. http://ilex.efe.hu/PhD/fmk/sagieva/angol.pdf.

• Fang, X., Li, J., Ma, Q., Zhou, R., & Du, S. (2024). A quantitative

review of nature-based solutions for urban sustainability (2016–2022): From science to implementation. *Science of the Total Environment, 927*, 172219. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.172219

• Forman, R. T. (2008). The urban region: natural systems in our place, our nourishment, our home range, our future. *Landscape Ecology, 23*(3), 251-253. https://doi.org/10.1017/CBO9780511754982

• Frazier, A. E., Vadjunec, J. M., Kedron, P., & Fagin, T. (2019). Linking landscape ecology and land system architecture for land system science: an introduction to the special issue. *Journal of Land Use Science, 14*(2), 123-134. https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1660728

• Gorbani, R. , Rostaei, S., & Karbasi, P. (2021). An Analysis of the Continuity and Cohesion of Urban Ecologic Network Through a Graph Theory Model. *Town and Country Planning, 13*(2), 281-309. https://doi.org/10.22059/jtcp.2020.313025.670169

• Guan, Y., Kang, R., Liu, J., (2019). Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis[J]. *Restor. Ecol, 27*(3), 647–660. https://doi.org/10.1111/rec.12899

• Gulsrud, N. M., Hertzog, K., & Shears, I. (2018). Innovative urban forestry governance in Melbourne?: Investigating "green placemaking" as a nature-based solution. *Environmental Research, 161*, 158-167. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.005

• Guo, Z., Zhu, C., Fan, X., Li, M., Xu, N., Yuan, Y., Guan, Y., Lyu, C., & Bai, Z. (2025). Analysis of ecological network evolution in an ecological restoration area with the MSPA–MCR model: A case study from Ningwu County, China. *Ecological Indicators, 170*, 113067. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113067

• Hanski, I. (1999). Habitat connectivity, habitat continuity, and metapopulations in dynamic landscapes. *Oikos, 87*(2), 209-219. https://doi.org/10.2307/3546736

• Hataminejad, H., Yazdi, R., & Iraji, H. (2023). Evaluation of the Ecological Structure of the Green Space with the Landscape Approach (Case study: The city of Some Sera- Gilan). *Geography and Development, 21*(71), 93-115. https://doi.org/10.22111/gdij.2023.7591

• Hilty, J., Worboys, G.L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B.J., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J.W., Theobald, D.M., Levine, J., Reuling, M., Waston, J.E.M., Ament, R., Groves, C., & Tabor, G.M. (2020). *Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors*. IUCN publication. https :// portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-030-En.pdf.

• Hofmann, M., & Gerstenberg, T. (2014). A user-generated typology of urban green spaces. In *17th International Conference of the European Forum on Urban Forestry* (EFUF), Lausanne, Switzerland (pp. 3-7).

• Jia, Y., Chen, Z., Lu, X., Sheng, S., Huang, J., & Wang, Y. (2024). The degradation and marginal effects of green space under the stress of urban sprawl in the metropolitan area. *Urban Forestry & Urban Greening, 95*, 128318. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S161886672400116X#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128318

• Jongman, R. H., & Pungetti, G. (Eds.). (2004). *Ecological networks and greenways: concept, design, implementation.* Cambridge University Press.

• Kabisch, N., Qureshi, S., & Haase, D. (2015). Human–environment interactions in urban green spaces—A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review, 50*, 25-34. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.007

• Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Journal of Landscape and Urban Planning, 95*(1-2), 16-27. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.11.001

• Kookhaie, T., & Masnavi, M. R. (2014). Environmental Design for Ecological Infrastructure of Urban Landscape through Aggregate with Outlier Principle (AWOP) in Order to Enhance the Quality of Urban Life; the Case of District Two, Tehran City. *Journal of Environmental Studies, 40*(3), 559-572. https://doi.org/10.22059/jes.2014.52205

• Kremen, C., & Merenlender, A. M. (2018). *Landscapes that work for biodiversity and people. Science, 362*(6412), eaau6020. https://doi.org/10.1126/science.aau6020

• Kupfer, J. A. (2012). Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography, 36*(3), 400–420. https://doi.org/10.1177/0309133312442522

• Lafortezza, R., Chen, J., Van Den Bosch, C. K., & Randrup, T. B. (2018). Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research, 165*, 431-441. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038

• Lavorel, S., Colloff, M. J., McIntyre, S., Doherty, M. D., Murphy, H. T., Metcalfe, D. J., Dunlop, M., Williams, R. J., Wise, R. M., & Williams, K. J. (2015). Ecological mechanisms underpinning climate adaptation services. *Global Change Biology, 21(*1), 12–31. https://doi.org/10.1111/gcb.12647

• Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of Environmental Quality, 45*(1), 119-124. https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567

• Lusting, A. Stouffer, DB. Roige, M. and Worner, SP. (2015). Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scale. *Ecological Indicator, 57*,11,21

• Mahmoudzadeh, H., & Masoudi, H. (2019). The Analysis of Structural Landscape Changes in Tabriz City Using Landscape Ecology Principles with an Emphasis on the Connectivity Concept. *Town and Country Planning, 11*(2), 179-204. https://doi.org/10.22059/jtcp.2019.288093.670019

• Masnavi, M. R., & Mohseni Fard Naghani, M. (2023). Environmental Revitalization of Distressed Urban Fabric Through Landscape Metrics Approach, the Case of District 9th Tehran City. *Environmental Researches, 14*(27), 253-266. https://www.magiran.com/p2617799

• Mobaraki, A., Nikoofam, M., & Mobaraki, B. (2025). The nexus of morphology and sustainable urban Form parameters as a common basis for evaluating sustainability in urban forms. *Sustainability, 17*(9), 3967. https://doi.org/10.3390/su17093967

• Mougiakou, E., & Photis, Y. N. (2014). Urban green space network evaluation and planning: Optimizing accessibility

based on connectivity and raster gis analysis. *European Journal of Geography, 5*(4), 19-46. https://www.researchgate.net/publication/275071168_Urban_green_space_network_evaluation_and_planning_Optimizing_accessibility_based_on_connectivity_and_raster_gis_analysis

• Movahed, S., & Tabibian, M. (2018). Investigating the changes of ecological network and its role in the ecological resilience of Mashhad city. *Journal of Environmental Studies, 44*(2), 373-394. https://doi.org/10.22059/jes.2018.236242.1007458

• Newmark, W. D., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., McNeally, P. B., & Halley, J. M. (2017). Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 114*(36), 9635-9640. https://doi.org/10.1073/pnas.1705834114

• Norouzi, M., & Bemanian, M. R. (2020). Analysis of the Effect of Urban Green Infrastructure on Promotion of Environmental Sustainability Components. *Journal of Architectural Thought, 3*(6), 175-189. https://doi.org/10.30479/at.2019.11641.1322

• Peng, J., Lyu, D., Zhang, T., Liu, Q., & Lin, J., (2019). Systematic cognition of ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands. *Acta Ecologica Sinica, 39*(23), 8755-8762.

• Pouso, S., Borja, Á., Fleming, L. E., Gómez-Baggethun, E., White, M. P., & Uyarra, M. C. (2021). Contact with blue-green spaces during the COVID-19 pandemic lockdown beneficial for mental health. *Science of the Total Environment, 756*, 143984. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143984

• Ramezani Mehrian, M., & Faryadi, S. (2014). Urban Green Space Network Development Using Landscape Ecology Principles and Graph Theory (Case Study: Region 1 Tehran, Iran). *Advanced Environmental Sciences, 12*(2), 99- 110. https://envs.sbu.ac.ir/article_97255.html?lang=en

• Ramírez-Delgado, J., Di Marco, M., Watson, J. E. M., Johnson, C. N., Rondinini, C., Corredor Llano, X., Arias, M., & Venter, O. (2022). Matrix condition mediates the effects of habitat fragmentation on species extinction risk. *Nature Communications, 13*(1), 595. https://doi.org/10.1038/s41467-022-28235-z

• Robert, H., & Edward, O. (2001). *The Theory of Island Biogeography[M]. Hanski, I., 1999. Metapopulation Ecology[M].* Oxford University Press.

• Saboonchi, P., Abarghouyi, H., & Motedayen, H. (2018). Green Landscape Networks;The role of articulation in the integrity of green space in landscapes of contemporary cities of Iran. *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar, 15*(62), 5-16. https://doi.org/10.22034/bagh.2018.66280

• Scolozzi, R., & Geneletti, D. (2012). A multi-scale qualitative approach to assess the impact of urbanization on natural habitats and their connectivity. *Environmental Impact Assessment Review, 36*, 9-22. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.03.001

• Shabani, N., Abarkar, M., Parivar, P., & Kouchekzadeh, M. (2011). Introducing and Applying Landscape Ecological Approach in City Scale (Case study: The City of Tehran). *Journal of Environmental Sciences and Technology, 12*(4), 185. https://www.magiran.com/p840390

• Shieh, E., Moshref Dehkordi, H. (2013). Role of Integration of Green Spaces in Bestowing Natural Identity to a City, Case Study: Shahrekord. *Armanshahr Architecture & Urban Development, 5*(9), 315-321. https://www.armanshahrjournal.com/article_33267.html?lang=en

• Soares, R. M. V., Lira, P. K., Manes, S., & Vale, M. M. (2024). A methodological framework for prioritizing habitat patches in urban ecosystems based on landscape functional connectivity. *Urban Ecosystems, 27*(1), 147-157. https://doi.org/10.1007/s11252-023-01431-y

• Soozanchi, K., & Tariveh, S. (2011). Re-design of Neighborhood Parks with an Emphasis on Social Relationship Development in the Neighborhood Communities. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 1*(1), 107-129. https://bsnt.modares.ac.ir/article_704.html?lang=en

• Su, J., Yin, H., & Kong, F. (2021). Ecological networks in response to climate change and the human footprint in the Yangtze River Delta urban agglomeration, China[J]. *Landsc. Ecol, 36*(7), 2095–2112. https://doi.org/10.1007/s10980-020-01129-y

• Truchy, A., Sarremejane, R., Muotka, T., Mykrä, H., Angeler, D. G., Lehosmaa, K., Huusko, A., Johnson, R., Sponseller R. & McKie, B. G. (2020). Habitat patchiness, ecological connectivity and the uneven recovery of boreal stream ecosystems from an experimental drought. *Global Change Biology, 26*(6), 3455-3472. https://doi.org/10.1111/gcb.15063

• Turner, M. G. (2005). Landscape ecology: what is the state of the science?. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 36*(1), 319-344. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614

• Wang, J., Zhao, W., Ding, J., & Liu, Y. (2025). Shifting research paradigms in landscape ecology: insights from bibliometric analysis. *Landscape Ecology, 40*(3), 1-20. https://doi.org/10.1007/s10980-025-02082-4

• Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and urban planning, 125*(1), 234-244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

• Wood, S. L., Martins, K. T., Dumais-Lalonde, V., Tanguy, O., Maure, F., St-Denis, A., Rayfield, B. Martin, A.E. & Gonzalez, A. (2022). Missing interactions: the current state of multispecies connectivity analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution, 10,* 830822. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.830822

• Wu, W., Xu, L., Zheng, H., Zhang, X. (2023). How much carbon storage will the ecological space leave in a rapid urbanization area? Scenario analysis from the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Resources, Conservation & Recycling, 189,* 106774. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106774

• Xiao, N. (2017). *Urban green networks: A socio-ecological framework for planning and design of green and blue spaces in Sweden and China* [Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences].

• Xiaoxia, L., Guozhu, X., Tao, L., Zhonglin, X., & Yao, W. (2022). Construction of Urban Green Space Network in Kashgar City, China. *Land, 11*, 1826. https://doi.org/10.3390/land11101826

• Yang, J., Zeng, C., & Cheng, Y. (2020). Spatial influence of ecological networks on land use intensity. *Science of the Total Environment, 7*17, 137.

• Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P., & Lindquist, M. (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green

infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening, 38*, 305–317. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.014

• Zhao, Y., He, L., Bai, W., He, Z., Luo, F., & Wang, Z. (2024). Prediction of ecological security patterns based on urban expansion: A case study of Chengdu. *Ecological Indicators, 158*, 111467. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111467

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the authors with publication rights granted to Manzar journal. This is an open access article disributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله

عثمان مصطفی، مهربان؛ ابراهیمی، حمیدرضا؛ جانی‌پور، بهروز و خان سفید، مهدی. (۱۴۰۵). ارزیابی پیوستگی شبکه اکولوژی شهری منطقهٔ ۲۲ تهران با استفاده از متریک‌های منظر. *منظر*، ۱۸ (۷۵)، ۴۸-۶۵.

DOI: 10.22034/manzar.2026.519896.2347
URL: https://www.manzar-sj.com/article_242500.html