

# کاربرد مفاهیم گراف و حداقل - هزینه در توسعه شبکه فضای سبز شهری و بهبود پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز)

حسن محمودزاده<sup>۱\*</sup>، حسن مسعودی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

Masoudihsn@gmail.com

۲. کارشناس ارشد، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۶/۱۲

## چکیده

از جمله چالش‌های اساسی پیش روی شهرها به‌عنوان پیچیده‌ترین سیمای سرزمینی، افزایش جمعیت و مصرف زمین و به دنبال آن تغییرات کاربری اراضی و تکه‌تکه‌شدگی زمین‌های شهری، به‌ویژه فضاهای سبز و اکولوژیک است؛ که علاوه بر کاهش پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین و به خطر انداختن سلامت اکوسیستم‌ها، کیفیت زندگی شهروندان را نیز تحت‌الشعاع قرار داده است. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و ارتقای پیوستگی اکولوژیکی شهر تبریز با استفاده از مدل‌سازی شبکه‌های اکولوژیک شهری تدوین شده است. نخست وضعیت پیوستگی اکولوژیکی شهر تبریز با استفاده از شاخص‌های پیوستگی (Cohesion و IIC) و نرم‌افزارهای Conefor و Fragstats ارزیابی شد. هر دو شاخص ضمن سنجش پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین، مهم‌ترین لکه‌های سبز کلان‌شهر تبریز را هم‌اولویت‌بندی کردند. در نهایت با در اختیار داشتن مهم‌ترین لکه‌های سبز و نقشه کاربری اراضی، کربدورهای بهینه بر اساس لایه مقاومت سیمای سرزمین و تکنیک‌های گراف و حداقل هزینه و با استفاده از نرم‌افزار Linkage Mapper تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با به‌کارگیری اصول اکولوژی سیمای سرزمین و مفاهیم موجود در تئوری‌های گراف و حداقل هزینه در کنار هم می‌توان به شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل شبکه‌های اکولوژیک و در نتیجه توسعه مطلوب شبکه‌های سبز شهری اقدام کرد.

## کلیدواژه

پیوستگی سیمای سرزمین، تئوری حداقل هزینه، تئوری گراف، تکه‌تکه‌شدگی سیمای سرزمین، شبکه‌های اکولوژیک.

## ۱. سرآغاز

و به دلیل ارائه خدمات متعدد، جاذب اصلی جمعیت انسانی هستند. شهرنشینی پدیده‌ای اقتصادی-اجتماعی است که به سرعت در بسیاری از مناطق جهان در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود همچنان به رشد شتابان خود ادامه دهد (Chan & Vu, 2017). به‌طوری که، در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و انتظار می‌رود این میزان در ۳۰ سال آینده به ۶۹ درصد افزایش یابد (UN, 2018). افزایش جمعیت و

سیمای سرزمین<sup>۱</sup>، الگوی جغرافیایی با کیلومترها گستردگی و ساختاری نامتناجس و متمایز با اطرافش است (Forman & Gordon, 1986) و محلی است که فعالیت‌های انسانی در آن رخ می‌دهند (Ndubisi, 2014). مناطق شهری، از جمله پیچیده‌ترین سیمای سرزمین و موزاییکی متشکل از عناصر طبیعی و مصنوع هستند که در خود، انواع مختلف کاربری اراضی را جای داده‌اند (پریور و همکاران، ۱۳۹۲)

Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

\* نویسنده مسئول:

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تحت عنوان «ارتقای پیوستگی چشم‌انداز شهری با استفاده از مدل‌سازی چند کارکردی شبکه‌های اکولوژیک (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز)» است؛ که با راهنمایی دکتر حسن محمودزاده به انجام رسیده است.

قرار دارد که از جمله ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین است و نقش مهمی در تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌ها دارد (Zhang et al., 2019). پیوستگی به‌ویژه در محیط‌های شهری از اهمیت بیشتری برخوردار است و علاوه بر فواید اکولوژیکی می‌تواند به ارائه عملکردهای اجتماعی، فرهنگی و زیبایی‌شناسی در قالب پیوند مردم و طبیعت و اتصال داخل و حومه شهر منجر شود (صادقی‌بنیس، ۱۳۹۴). بنابراین لازم است در ارزیابی و تحلیل سیمای سرزمین مفاهیم از هم‌گسیختگی و پیوستگی سیمای سرزمین مد نظر قرار گیرند.

فضاهای سبز و اکولوژیک شهری، بخشی از سیمای سرزمین شهری و باقیمانده زیستگاه‌های طبیعی در شهر شناخته می‌شوند (Jim & Chen, 2009) که کارکردها و مزایای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی متعددی داشته و نقش مؤثری در توسعه پایدار و اکولوژی شهری بر عهده دارند (Tian et al., 2014). این فضاها در کاهش انواع آلودگی‌ها، پیشگیری از سیل و فرسایش خاک، حفاظت از تنوع زیستی، ارتقاء سلامت و رفاه شهروندان مؤثر بوده و با ارائه ارزش‌های زیبایی‌شناختی و تفریحی، مزایای اقتصادی و اکوتوریسمی فراوانی به همراه دارند (Chan & Vu, 2017). با این حال در دهه‌های اخیر همان‌طور که اشاره شد، گسترش شهرها و شهرنشینی سریع، فضاهای سبز و اکولوژیک را با محدودیت مواجه کرده (Kong et al., 2010) و با افزایش تراکم جمعیت، به طور فزاینده‌ای موجب تخریب و تبدیل شدن این فضاها به قطعات کوچک‌تر شده است (Nor et al., 2017). تکه‌تکه شدن فضاهای سبز و اکولوژیک نه تنها سلامت اکوسیستم‌ها را به خطر می‌اندازد بلکه کیفیت زندگی شهروندان و ساکنان این مناطق را نیز تحت‌الشعاع قرار داده و مشکلات موجود در تحقق پایداری به‌ویژه در شهرهایی که با مشکلات عدیده‌ای دست و پنجه نرم می‌کنند، افزایش می‌دهد (Jaeger et al., 2008).

تغییر سیمای سرزمین و کاهش پیوستگی اکولوژیکی

ضرورت تأمین نیازهای انسانی، موجب گسترش استفاده از منابع طبیعی و تبدیل بسیاری از اکوسیستم‌ها به مناطق شهری شده (Ersoy et al., 2019) و با افزایش ساخت‌وسازهای شهری، تقاضا برای زمین را در بسیاری از کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه تشدید کرده است (Tannier et al., 2016). نیاز به زمین و مسکن که امروزه به‌طور مستمر رو به افزایش است، به تغییر کاربری اراضی و تبدیل زمین‌های غیر شهری و بایر به زمین‌های شهری و ساخت‌وساز شده می‌انجامد (محمدیاری و همکاران، ۱۳۹۷) که نتیجه آن به مصرف رسیدن زمین‌های بزرگ و تکه‌تکه شدن یا تقسیم آن‌ها به قطعات کوچک‌تر است (Su et al., 2010).

تکه‌تکه‌شدگی یا ازهم‌گسیختگی<sup>۲</sup> سیمای سرزمین شهری یک فرایند انسانی و روندی پویا در طی زمان است که شامل تغییر در نوع پوشش زمین و تفکیک یک زیستگاه یا اکوسیستم واحد و به هم پیوسته به قطعات جدا از هم است (Carvalho et al., 2009). این فرایند مستقیماً بر توسعه یا احیاء اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارد و توسط بسیاری از محققان به‌عنوان بزرگ‌ترین تهدید برای تنوع زیستی در نظر گرفته شده است (Noss, 1991). عوامل دخیل در فرایند ازهم‌گسیختگی سیمای سرزمین پیچیده هستند و یک پارامتر واحد برای توضیح آن کافی نیست؛ اما به‌طور کلی فعالیت‌های انسانی نظیر شهرنشینی، کشاورزی و احداث جاده‌ها، کانال‌ها و سدها که اغلب برای محیط‌های طبیعی و نیمه‌طبیعی مضر هستند؛ عوامل اصلی تغییرات سیمای سرزمین (مناظر) شهری در نظر گرفته می‌شوند، چرا که موجب کاهش یکپارچگی و پیوستگی آن می‌شوند (Tian et al., 2011 ; Pierik et al., 2016). بنابراین برای کاهش آثار شهرنشینی، سیمای سرزمین نه تنها باید از نظر اکولوژیکی، بلکه از نظر فعالیت‌های انسانی نیز درک شود و انسان‌ها باید به‌عنوان بخشی از سیستم‌ها در نظر گرفته شوند (Vuilleumier & Droux, 2002). در مقابل تکه‌تکه‌شدگی، مفهوم پیوستگی<sup>۳</sup> سیمای سرزمین

و ارزیابی پیوستگی اکولوژیکی یک شهر یا منطقه‌ای خاص پرداخته‌اند و در ارتباط با موضوع پژوهش مطالعات معدودی صورت گرفته است که عموماً نیز به بررسی جوامع جانوری و ارائه راهکارهایی در این زمینه پرداخته‌اند. لذا پژوهش حاضر با بررسی پیشینه تحقیق و به‌کارگیری تکنیک‌های متناسب با موضوع، سعی بر این دارد کمی فراتر رفته و راهکارهای عملیاتی در راستای اهداف تحقیق ارائه دهد. برخی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه عبارت‌اند از: مثنوی و کوخانی (۱۳۹۳)، در پژوهشی با عنوان «طراحی محیطی زیرساخت‌های اکولوژیک منظر شهری با استفاده از اصل پیوستگی با انشعابات (AWOP)»، بهبود ساختار اکولوژیک منطقه دو شهر تهران و در نهایت افزایش سطح کیفیت زندگی شهروندان را بررسی کردند. بر همین اساس با به‌کارگیری اصل AWOP، زیرساخت‌های اکولوژیک در سطح منطقه شناسایی و اقدامات استراتژیک در چارچوب طراحی اکولوژیک تدوین و در نهایت شبکه زیرساخت‌های اکولوژیک در منطقه مد نظر معرفی و طراحی شد. رمضانی‌مهریان و فریادی (۱۳۹۳)، در تحقیقی به مطالعه و تجزیه و تحلیل شبکه فضای سبز منطقه یک شهر تهران پرداختند. در این بررسی، نخست مسیرهای بالقوه برای اتصال مهم‌ترین لکه‌های سبز با استفاده از تحلیل مسیر حداقل هزینه تعیین شد. سپس با تجزیه و تحلیل شبکه و استفاده از مفاهیم موجود در تئوری گراف و همچنین مدل جاذبه طرح بهینه‌ای برای توسعه فضای سبز منطقه یک تهران ارائه شد. خواجه‌برج‌سفیدی و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی به ارزیابی سناریوهای توسعه اتصال فضاهای اکولوژیک در شهر اهواز به‌منظور ارتقای سطح خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارتقای ارتباطات عملکردی و فضایی بین زیستگاه‌های مختلف طبیعی و نیمه‌طبیعی در درون و محیطِ بلافاصله شهر، یک راهبرد پابرجا در نظام برنامه‌ریزی و طراحی شهری محسوب می‌شود. تحلیل سطح یکپارچگی

آن در ارتباط با شهرنشینی و گسترش شهرها، در طول نیم‌قرن گذشته مورد توجه بسیاری از متخصصان و اندیشمندان قرار گرفته است (Su et al., 2010) و در بسیاری از مطالعات خود، تقویت رابطه معقول و پایدار بین انسان، شهر و طبیعت را، یکی از مؤثرترین راه‌های مقابله با معضلات شهرنشینی دانسته‌اند (محمادی و رخشانی‌نسب، ۱۳۹۰). در همین راستا، مفاهیمی همچون شبکه‌های اکولوژیکی<sup>۴</sup> و سبز که از عناصر خطی (کریدورها یا راهروها) و غیرخطی (لکه‌ها)<sup>۵</sup> تشکیل شده‌اند، از سوی بسیاری از محققان برای کاهش آثار از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین و افزایش پیوستگی آن پیشنهاد شد (Zhang & Wang, 2006). شبکه‌های اکولوژیک در شهرها، غالباً مجموعه‌ای از فضاهای سبز، حوضچه‌های آب (لکه‌ها) و مسیرهای سبز، دره‌ها و کانال‌های آب (کریدورها) در نظر گرفته می‌شوند که هرچه لکه‌ها و کریدورها از لحاظ اندازه وسیع‌تر باشند؛ عملکرد شبکه به لحاظ محیط‌زیستی بهتر خواهد بود و هرچه به هم نزدیک‌تر باشند، کارایی اکولوژیکی بهتری خواهند داشت (لطفی و دانشپور، ۱۳۹۵). توسعه شبکه‌های اکولوژیک عموماً از طریق حفاظت از فضاهای سبز موجود، ایجاد فرم‌های جدید فضایی، ترمیم و نگهداری از اتصالات موجود میان تکه‌های سبز و احداث کریدورها یا دالان‌های اکولوژیکی جدید صورت می‌گیرد (Nor et al., 2017; Kong et al., 2010). به طور کلی مفهوم شبکه‌های اکولوژیکی و سبز در ارتباط با غلبه انسان بر محیط‌های طبیعی و تکه‌تکه شدن تدریجی آن نمایان می‌شود (میکائیلی و صادقی بنیسی، ۱۳۸۹) و طراحان و اکولوژیست‌های منظر، این مفهوم را به‌عنوان رویکردی پایدار و مناسب برای بهبود ارزش‌های اکولوژیک فضاهای سبز شهری و در مقیاس‌های مختلف استفاده می‌کنند (Kong et al., 2010).

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد، مطالعات انجام‌شده عمدتاً به تحلیل تغییرات صورت گرفته در سیمای سرزمین

در شهر اهواز، برتری سناریوی کریدور رودخانه را نسبت به کریدور خط‌راه‌آهن در عامل راهبردی افزایش ارتباط فضاهای اکولوژیک نشان می‌دهد. شفیعی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی پیوستگی لکه‌های سبز شهر اهواز را بر مبنای کاربرد تئوری گراف ارزیابی و با استفاده از نتایج حاصل، مناطق با اولویت حفاظت را شناسایی کردند. بر همین اساس شبکه فضایی سبز شهر اهواز در محیط GIS مدل‌سازی و پیوستگی اکولوژیک شهر اهواز با استفاده از نرم‌افزار Conefor آنالیز شد. بر اساس این مطالعه ناحیه چهار شهر اهواز با داشتن بزرگ‌ترین لکه سبز، بیشترین اهمیت را در پیوستگی شبکه سبز داشته و بیشترین میزان پیوستگی نیز متعلق به همین ناحیه و ناحیه پنج شهری است. Mougikou و Photis (۲۰۱۴)، در یک بررسی به ارزشیابی و برنامه‌ریزی شبکه فضایی سبز شهری به‌منظور بهینه‌سازی دسترسی بر پایه اتصال و تجزیه و تحلیل مبتنی بر GIS پرداختند. در این تحقیق بر اساس مبانی علمی و همراه با تجزیه و تحلیل فضایی در محیط GIS یک چارچوب روش‌شناختی کلی، به‌منظور ارزشیابی و بهینه‌سازی شبکه سبز شهری در مناطق شهری ساخته شده و متراکم ارائه شد. Li و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی به برنامه‌ریزی شبکه‌های اکولوژیک شهر Nanchang در چین پرداختند. در این مطالعه، نخست با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین، الگوهای سیمای سرزمین شناسایی و ارزیابی شدند و در ادامه بر اساس ارزیابی وضع موجود، شبکه‌ای اکولوژیک از فضاهای سبز و کریدورهای بهینه طراحی شد. Xio (۲۰۱۷)، در رساله دکتری خود به بررسی چارچوبی اجتماعی - اکولوژیک برای برنامه‌ریزی و طراحی فضاهای سبز و آبی در سوئد و چین پرداخته است. وی در پژوهش خود برای حل مسئله تقسیم و تکه‌تکه شدن منظر شهری، بر اساس تحلیل محتوای نظری و تجربی، چارچوب مبتنی بر شبکه، روش‌های اجتماعی - اکولوژیک و شاخص‌های مؤثری را به‌کار گرفته و توسعه داده است که در نقاط جغرافیایی مختلف، متخصصان از آن

استفاده کنند. این تحقیق با هدف کلی، کاهش تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین و برطرف کردن شکاف بین اکولوژی شهری با استفاده از اتصال مناظر، به‌ویژه فضاهای سبز - آبی و ایجاد شبکه‌های سبز در مناطق شهری سوئد و چین تدوین شده است. این پژوهش نشان داد، چارچوب شبکه‌های سبز شهری که مبتنی بر دیدگاه اجتماعی و اکولوژیک است، می‌تواند به‌صورت مؤثر در برنامه‌ریزی فضاهای سبز و آبی استفاده شود. Zhang (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای به ارائه راهکارهایی برای بهبود پیوستگی اکولوژیک شهر دیترویت آمریکای شمالی از طریق مدل‌سازی و طراحی کریدورهای اکولوژیک پرداخته است. در این تحقیق، با استفاده از مفاهیم جاذبه و حداقل هزینه کریدورهای بالقوه شناسایی و ترسیم می‌شوند و در پایان سطح پیوستگی سیمای سرزمین قبل و بعد از توسعه کریدورها ارزیابی می‌شود. Hofman و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی با استفاده از مفاهیم گراف و حداقل هزینه به طراحی شبکه‌ای حفاظتی از کریدورهای حیات‌وحش در شهر Belize پرداختند. در این تحقیق مجموعه‌ای از روش‌های موجود بررسی شد تا چارچوبی مناسب برای تجزیه و تحلیل و ارتقای پیوستگی ارائه شود. در نهایت با شناسایی مهم‌ترین زیستگاه‌ها و طراحی کریدورهای بهینه سعی بر اتصال آن‌ها و تسهیل در حرکت گونه‌ای خاص از گراز کردند.

تبریز، بزرگ‌ترین شهر منطقه شمال غرب کشور، از حوزه نفوذ گسترده‌ای برخوردار است، از همین رو مهم‌ترین مرکز جذب مهاجرین از اقصای نقاط شمال غربی کشور بوده و به طور مداوم بر گستره فیزیکی و جمعیتی آن افزوده می‌شود (محمودزاده، ۱۳۹۳). افزایش سریع جمعیت و دید اقتصادی به زمین، موجب گسترش بیشتر منطقه کلان‌شهری تبریز در اراضی غیرمستعد و تخریب اراضی زراعی و بایر و در نتیجه رشد اسپیرال<sup>۷</sup> شهر شده است (رحیمی، ۱۳۹۲). بر اساس اسناد تاریخی، در ادوار گذشته در شهر تبریز باغ‌های متعددی وجود داشته و اغلب

ملازم واقع شده است. جمعیت شهر تبریز بر اساس آخرین داده‌های موجود بیش از یک میلیون و ۷۷۳ هزار نفر گزارش شده است که نسبت به شش دهه گذشته (۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵) بیش از ۲۰۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد (مرکز آمار، ۱۳۹۵). در این تحقیق، برای شناخت شهر و نحوه پراکندگی فعالیت‌های شهری و کاربری اراضی آن، آخرین نقشه کاربری اراضی شهر به طور دقیق بررسی و با استفاده از تصاویر گوگل ارث به‌روزرسانی شد. بر همین اساس، سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز را بر مبنای ماهیت اراضی می‌توان به سه گروه کلی تقسیم‌بندی کرد: اراضی ساخته‌شده (ساختمان‌ها، تأسیسات، صنایع و شبکه‌معیاری)، فضاهای سبز و اکولوژیک (اراضی زراعی، باغ‌ها، فضاهای سبز و رودخانه‌ها) و اراضی بایر و باز. اراضی بایر و باز در واقع قطعات خالی موجود در سطح شهر هستند که برای کاربری شهری خاصی مورد استفاده قرار نگرفته و در سطح شهر به‌صورت قطعات کوچک و بزرگ پراکنده‌اند. این اراضی بر اساس برآوردها در حدود ۲۸ درصد از مساحت کل شهر را شامل می‌شوند و در عین حال از قابلیت نسبی برای تبدیل به اراضی سبز و باز شهری و در نتیجه توسعه‌های اکولوژیکی در شهر برخوردارند (مهندسين مشاور نقش محیط، ۱۳۹۴). علاوه بر قطعات سبز موجود، دو رودخانه تلخه‌رود و مهران‌رود از میان شهر تبریز عبور می‌کنند که دالان‌های طبیعی شهر شناخته شده و با توجه به ماهیت خطی خود از اهمیت فوق‌العاده‌ای در پیوستگی اراضی و توسعه شبکه‌های اکولوژیک شهری برخوردارند.

بافت‌های مسکونی این شهر با بستری از لکه‌های سبز و باغی احاطه شده بود؛ اما گسترش شهرنشینی از یک سو و افزایش جمعیت و تغییر شیوه‌های معیشتی از سوی دیگر، موجب توسعه شهر به سمت اطراف و بافت تاریخی مرکز و در نتیجه تخریب و تغییر اراضی موجود شده است (میکائیلی و صادقی‌بنیس، ۱۳۸۹). همچنین به دلیل افزایش قیمت زمین و پراهمیت شدن کاربری‌هایی همچون مسکونی و تجاری و نیز به دلیل توسعه‌های شهری طی دوران‌های مختلف توسط مدیران شهری و بی‌تدبیری آن‌ها و به بهانه توسعه کالبدی شهر و گاهی با عمل ناآگاهانه خود مردم، شهر تبریز قربانی تغییر کاربری از فضاهای سبز به سایر کاربری‌ها شده است تا جایی که همچنان نیز می‌توان شاهد تخریب و کاهش کمیت و کیفیت باغ‌ها و فضاهای سبز شهر بود. بروز تغییرات کمی و کیفی در سیمای سرزمین شهر تبریز و نابودی سرمایه‌های سبز شهر و کاهش پیوستگی اکولوژیکی آن، به‌عنوان تهدیدی برای توسعه پایدار؛ باعث به هم خوردن تعادل اکولوژیکی و محیط‌زیستی کلان‌شهر تبریز شده، تا حدی که اگر به همین منوال ادامه یابد وضع بغرنج‌تر نیز خواهد شد. لذا همه این عوامل سبب شکل‌گیری مسئله تحقیق در ذهن نگارندگان شد. پژوهش حاضر در راستای دغدغه محققان و مسائل مطروحه و اهمیت موضوع تدوین شده است و سعی بر تفهیم مسئله و ارائه راه‌کارهایی به‌منظور توسعه مطلوب شهر و بهبود پیوستگی اکولوژیکی آن دارد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. محدوده مورد مطالعه

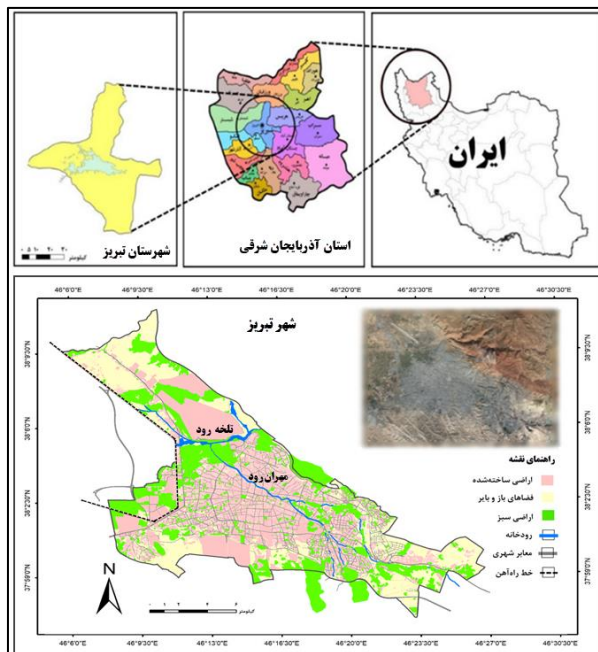
شهر تبریز، مرکز استان آذربایجان شرقی و شهرستان تبریز، در شمال غرب کشور و در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار مبدأ و در ارتفاع ۱۳۴۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. این شهر با وسعتی معادل ۱۳۱ کیلومترمربع در بخش شرقی جلگه تبریز و در محل مقاطع دره‌ها و شیب‌های

### ۲-۲. روش انجام تحقیق

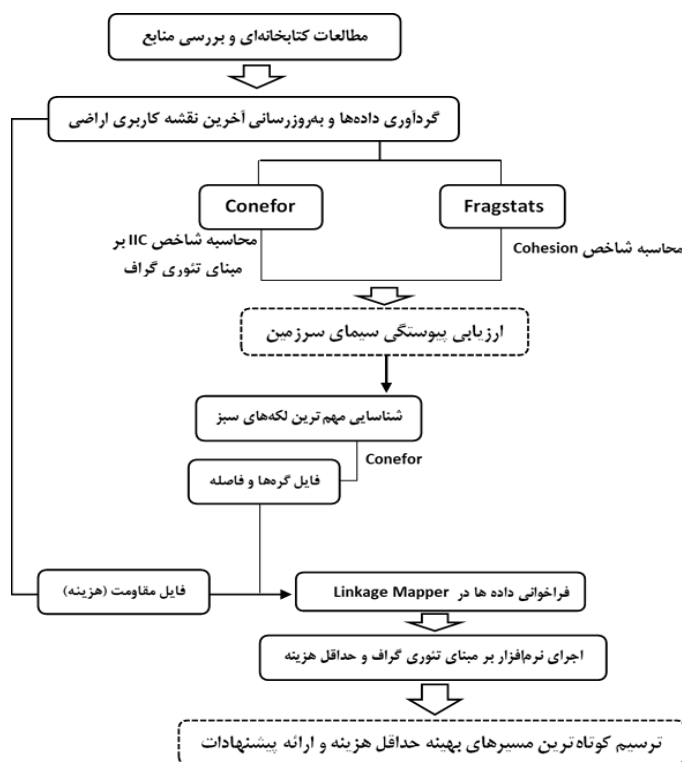
پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی است. به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، نخست با استناد به مطالعات کتابخانه‌ای و پیشینه تحقیق، چارچوب انجام پژوهش و داده‌های مورد نیاز گردآوری، تجزیه و تحلیل و در نهایت بر مبنای یافته‌های تحقیق، نتایج حاصل شد. فرایند انجام تحقیق کنونی براساس

بررسی پیشینه و مطالعات نگارندگان، شامل دو مرحله اصلی است: نخست، ارزیابی پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز بر اساس شاخص‌های پیوستگی و شناسایی مهم‌ترین لکه‌های سبز شهری. سپس، طراحی

کریدورهای بهینه و ایجاد شبکه اکولوژیکی بر اساس یافته‌های مراحل قبل و با استفاده از تئوری‌های گراف و حداقل هزینه (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه پراکنش طبقات اراضی کلان‌شهر تبریز



شکل ۲. فرایند انجام تحقیق (مأخذ: نگارندگان)

نشان‌دهنده هزینه تجمعی از مرکز لکه تا آن پیکسل است. اگر برای تمام لکه‌ها مسیرهای حداقل هزینه<sup>۹</sup> به دیگر لکه‌ها تعیین شود، از ترکیب همه مسیرها در کنار هم شبکه بالقوه‌ای که در آن تمام لکه‌ها به هم مرتبط‌اند ارائه می‌شود (رمضانی مهران و فریادی، ۱۳۹۳).

بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی برای ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین وجود دارد که در این میان نرم‌افزارهای Fragstats و Conefor از مقبولیت بیشتری برخوردارند. نرم‌افزار Fragstats برای کمی کردن و تحلیل الگوی مکانی ساختار سیمای سرزمین (پیوستگی ساختاری)<sup>۱۰</sup> با استفاده از اندازه‌گیری مجموعه‌ای از متریک‌ها در سه سطح (لکه، کلاس و سیمای سرزمین) استفاده می‌شود (McGarigal, 2002). نرم‌افزار Conefor، پیوستگی عملکردی<sup>۱۱</sup> سیمای سرزمین و اهمیت تکه‌های زیستگاهی را بر مبنای تئوری گراف اندازه‌گیری کرده و آثار تغییرات کاربری اراضی بر سیمای سرزمین و زیستگاه‌ها را ارزیابی می‌کند (Saura & Hortal, 2007). در همین راستا، برای اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین، دو مورد از مهم‌ترین شاخص‌های پیوستگی (Cohesion و IIC) در سطح کلاس و لکه برای وضع موجود شهر تبریز با استفاده از نرم‌افزارهای Fragstats4.2 و Conefor2.6 اندازه‌گیری و تحلیل شد (جدول ۱). شاخص پیوستگی لکه (Cohesion)، میزان انسجام و پیوستگی لکه‌های موجود در سیمای سرزمین را بر اساس اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری مساحت و محیط لکه‌ها محاسبه می‌کند. این شاخص که در نرم‌افزار Fragstats قابل اندازه‌گیری است، ضمن ارزیابی پیوستگی ساختاری طبقات اراضی در سطح سیمای سرزمین، برای اندازه‌گیری پیوستگی لکه‌های متعلق به یک نوع کاربری خاص (برای مثال کاربری فضای سبز) نیز به کار می‌رود (Zhang, 2017). شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)<sup>۱۲</sup>، پیوستگی عملکردی سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند که با استفاده از نرم‌افزار Conefor و بر مبنای مفهوم تئوری گراف به دست می‌آید.

پودات و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی روش‌های مختلف اندازه‌گیری پیوستگی، کاربرد توأمان مدل‌سازی حداقل هزینه<sup>۶</sup> و تئوری گراف<sup>۷</sup> را روش ارجح‌تر برای ارزش‌یابی پیوستگی در مقیاس منطقه شهری پیشنهاد کرده‌اند. تئوری (مدل) گراف، رایج‌ترین و گسترده‌ترین نظریه‌ای است که برای اندازه‌گیری ارتباطات و پیوستگی سیمای سرزمین به کار گرفته می‌شود و در جغرافیا، آنالیز اطلاعات و علوم کامپیوتری کاربرد دارد (Zhang, 2017). این مفهوم، سیستم‌های پیچیده را مجموعه‌ای از گره‌ها و لینک‌ها تعریف می‌کند (رمضانی مهران و فریادی، ۱۳۹۳) و به آسانی قابل تعمیم برای هر شبکه‌ای در واقعیت از جمله شبکه‌های اکولوژیکی و پیوندهای موجود در سیمای سرزمین است (Xio, 2017). اساساً تئوری گراف با دو هدف کلی: اندازه‌گیری و بهبود پیوستگی در مطالعات سیمای سرزمین به کار گرفته می‌شود و روشی سریع و کم‌هزینه برای تجزیه و تحلیل مطالعات اکولوژیکی شناخته می‌شود (پودات و همکاران، ۱۳۹۶). تئوری حداقل - هزینه یکی از روش‌های نو ظهور است که به تازگی در مطالعات اکولوژی منظر و پیوستگی سیمای سرزمین به کار گرفته می‌شود (Xio, 2017) و به طور معمول، به ارزان‌ترین مسیری اشاره می‌کند که گونه‌ها می‌توانند از یک تکه به تکه دیگر حرکت کنند. (Zhang, 2017). تابع مسیر حداقل - هزینه یک الگوریتم بهینه‌سازی رستر محور است که نخست از این الگوریتم برای تعیین کم‌هزینه‌ترین مسیر برای ساخت راه ارتباطی بین دو نقطه استفاده می‌شد، اما با در نظر گرفتن سیمای سرزمین به عنوان یک سطح هزینه، مدل‌سازی حداقل هزینه در کنار الگوریتم تئوری گراف برای محاسبه و یافتن مسیری با حداکثر کارایی و اتصال لکه‌های زیستگاهی به کار گرفته می‌شود (Xio, 2017). به منظور استفاده از این الگوریتم در تعیین مسیرهای حداقل هزینه، برای هر کدام از لکه‌ها یا طبقات اراضی باید یک لایه وزن‌دار هزینه (لایه مقاومت)<sup>۸</sup> تهیه شود. این لایه نیز یک لایه رستری است که در آن ارزش هر پیکسل

جدول ۱. شاخص‌های Cohesion و IIC به همراه فرمول ریاضی آن‌ها

$COHESION = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1} \quad (100)$	$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$
$p_{ij}$ : محیط لکه $i$ از نظر تعداد سطوح سلولی	$n$ : تعداد کل گره‌ها یا نقاط در سیمای سرزمین
$a_{ij}$ : مساحت لکه $i$ از نظر تعداد سلول‌ها	$a_i$ و $a_j$ : ویژگی خاص نقاط $i$ و $j$ (مثلاً مساحت)
$A$ : تعداد کل سلول‌های موجود در سیمای سرزمین	$nl_{ij}$ : تعداد کوتاه‌ترین مسیرها بین گره‌های $i$ و $j$
-	$A_L$ : مساحت کل سیمای سرزمین

(مأخذ: McGarigal et al., 2012 و Saura & Torné, 2009)

حداقل - هزینه استفاده می‌شود. برای اجرای این ابزار نیاز به سه داده ورودی است (لایه لکه‌ها یا زیستگاه‌های اصلی، لایه مقاومت یا هزینه و فایل متنی فواصل اقلیدسی لکه‌ها)، که توسط ابزارهای مختلفی در نرم‌افزار ArcMap به دست می‌آیند. فایل مقاومت یا هزینه لایه‌ای از پوشش اراضی با فرمت رستر است که در آن، سلول‌ها (پیکسل‌ها) با اعداد مثبت از ۱ تا ۱۰۰ مشخص شده‌اند. این اعداد در واقع درجه مقاومت لایه و کاربری اراضی مربوطه را در شبکه‌سازی نشان می‌دهند، که در آن ارزش هر پیکسل نشان‌دهنده میزان مقاومت سرزمین نسبت به جابجایی است. مقادیر این شاخص از طرق مختلفی به دست می‌آید که در این پژوهش مطالعات سایر محققان (محققان مختلف برای تعیین ارزش و امتیاز مقاومتی هر پیکسل از متخصصان مختلف بهره گرفته و مقادیر آن را به دست آورده‌اند) و بررسی‌های نگارندگان مبنای محاسبات در نظر گرفته شده‌اند. به طور معمول مقادیر کوچک‌تر این شاخص (نزدیک به عدد ۱)، از مقاومت کم‌تری در برابر جابه‌جایی و شبکه‌سازی برخوردار بوده و اعداد بزرگ‌تر، مقاومت بیش‌تری داشته و در نتیجه به‌عنوان مانع در برابر توسعه شبکه‌های اکولوژیک عمل می‌کنند. در پایان، با فراخوانی تمامی فایل‌های ورودی نرم‌افزار Linkage Mapper و اعمال تنظیمات مربوطه، کریدورهای حداقل هزینه ترسیم می‌شوند که عمدتاً از قسمت‌هایی که پوشش موجود در آن قسمت از مقاومت کم‌تری برخوردار است، عبور می‌کنند.

این شاخص علاوه بر در نظر گرفتن پیوستگی بین لکه‌های زیستگاهی، تابعی از پیوستگی درون لکه‌ای نیز است و عملکردی بهتر را در مقایسه با سایر شاخص‌های موجود از خود نشان می‌دهد (شفیعی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷).

در نهایت، با تحلیل نتایج حاصل از شاخص‌های پیوستگی، مهم‌ترین لکه‌های سبز (لکه‌های هسته یا اصلی) <sup>۱۳</sup> کلان‌شهر تبریز شناسایی شد. این لکه‌ها در ایجاد شبکه‌های سبز مرتبط و یکپارچه و در نتیجه افزایش پیوستگی فضاهای اکولوژیک شهری نقش مؤثری داشته و باعث ارتقاء کیفیت محیط‌زیست شهری می‌شوند.

در مرحله دوم تحقیق بعد از ارزیابی پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین شهر تبریز و شناسایی مهم‌ترین لکه‌های سبز موجود، با طراحی مجموعه‌ای از کریدورهای حداقل هزینه، شبکه‌ای به هم پیوسته از فضاهای اکولوژیک و سبز در شهر به دست آمد. تاکنون ابزارها و نرم‌افزارهای متعددی برای تجزیه و تحلیل و ایجاد کریدورهای زیستی و اکولوژیکی مطرح شده است. یکی از ابزارهای کاربردی در این زمینه، نرم‌افزار Linkage Mapper است که عمدتاً در تجزیه و تحلیل، ایجاد و اولویت‌بندی کریدورها در زیستگاه‌های حیات وحش کاربرد دارد. اما در این تحقیق، این ابزار برای ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی و طراحی کریدورهای ارتباطی در محیط‌های انسان‌ساخت و جوامع شهری استفاده شد. این نرم‌افزار از جمله ابزارهایی است که با الحاق به مجموعه GIS، برای ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی بر مبنای تئوری گراف و روش مدل‌سازی



### ۳. یافته‌ها و نتایج

#### ۳-۱. ارزیابی پیوستگی اکولوژیکی شهر تبریز و

#### شناسایی مهم‌ترین لکه‌های سبز شهری

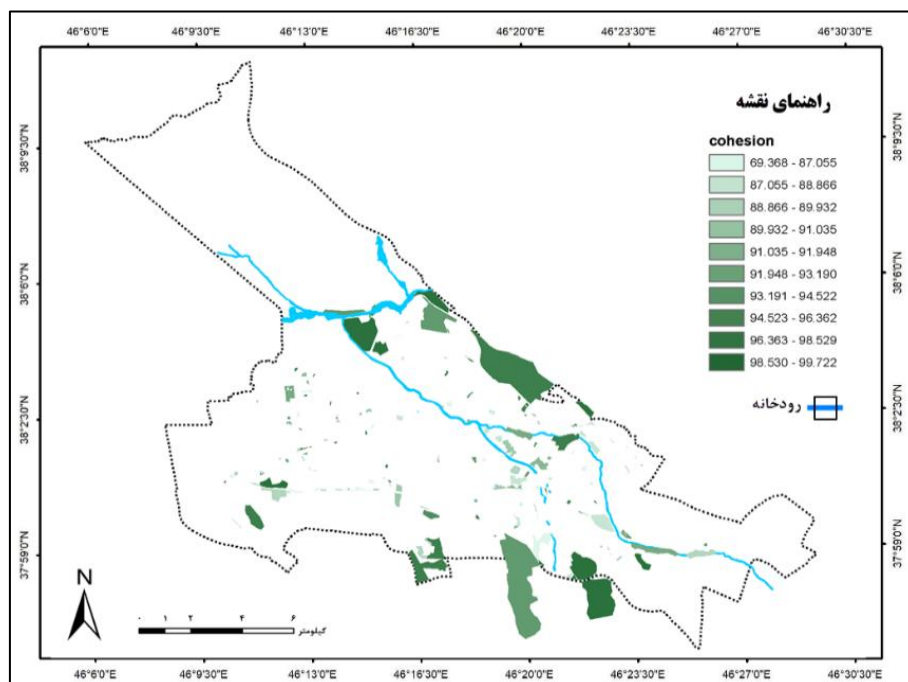
پیوستگی لکه‌های سبز شهری یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های اکولوژیک شهری و از الزامات حفاظت از تنوع زیستی است. با ارزیابی و تحلیل پیوستگی شبکه‌های سبز شهری، اقدامات مؤثری برای افزایش کیفیت و کارایی مناظر شهری و حفظ تنوع زیستی در شهرها صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص Cohesion در نرم‌افزار Fragstats، بر اساس نوع و ماهیت کاربری اراضی موجود در سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز در جدول (۲) آورده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل این شاخص (جدول ۲)، اراضی ساخته شده در کلان‌شهر تبریز، با میزان ۹۹/۷۵۱، بیش‌ترین پیوستگی را دارند و فضاهای اکولوژیک موجود (اراضی آبی، باغ و فضاهای سبز) از کم‌ترین پیوستگی در بین پوشش اراضی برخوردارند. شاخص Cohesion علاوه بر اندازه‌گیری پیوستگی در سطح سیمای سرزمین، پیوستگی یک طبقه خاص از اراضی را نیز اندازه‌گیری می‌کند که در این تحقیق مقادیر آن برای لکه‌های سبز کلان‌شهر تبریز اندازه‌گیری شد (شکل ۳). هر چه قدر مقادیر به دست آمده بزرگ‌تر باشند نشان از پیوستگی بیش‌تر (از هم‌گسیختگی کم‌تر) آن لکه در سیمای سرزمین است.

جدول ۲. مقادیر شاخص Cohesion (بدون واحد) بر اساس پوشش اراضی موجود در سطح کلان‌شهر تبریز

طبقه/کلاس	اراضی ساخته شده	باغ و فضای سبز	اراضی آبی	اراضی بایر
شاخص Cohesion	99.751	96.657	97.423	97.715

مأخذ: نگارندگان

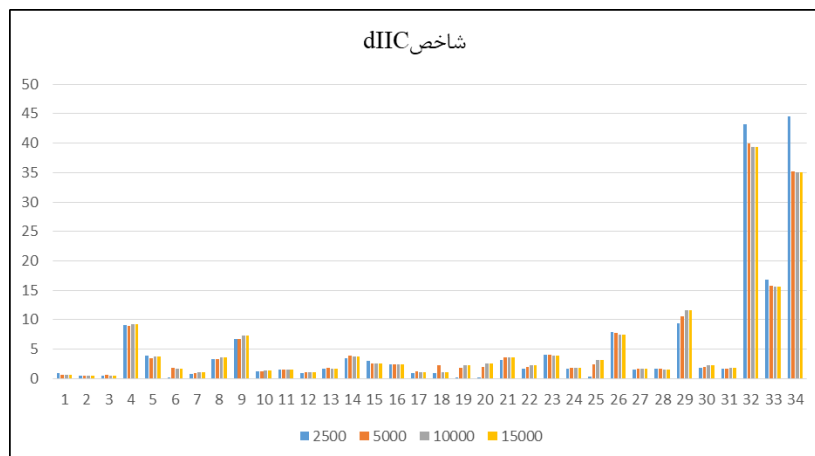


شکل ۳. مقادیر شاخص Cohesion برای اراضی سبز کلان‌شهر تبریز در سطح لکه‌ها (لکه‌های با رنگ تیره‌تر، پیوستگی بیشتری در مقایسه با لکه‌های کم‌رنگ‌تر دارا هستند).

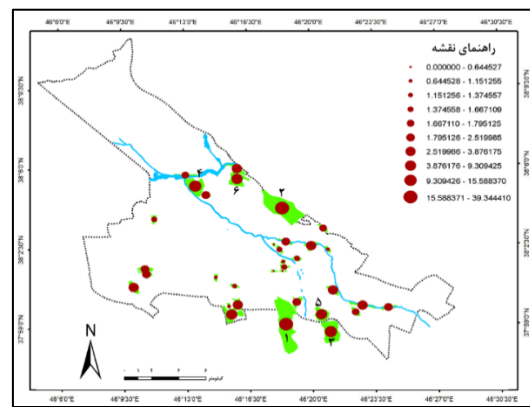
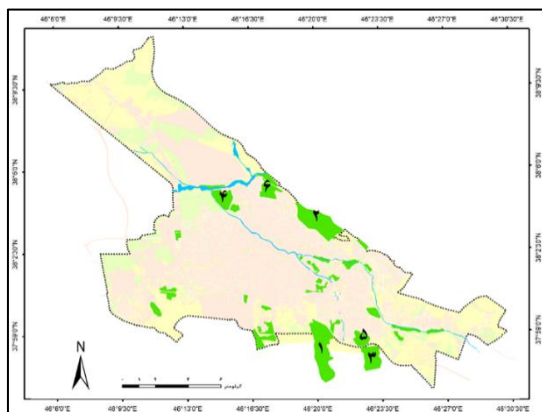
است؛ به گونه‌ای که لکه‌های با پیوستگی بیشتر، با اهمیت‌تر خواهند بود. بنابراین، با بررسی نتایج حاصل از تحلیل شاخص‌های پیوستگی (IIC و Cohesion) و نیز با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث، می‌توان لکه‌های سبز با اهمیت بالاتر (بر اساس مساحت لکه و جایگاه آن در سیمای سرزمین) را در سیمای سرزمین شهر تبریز شناسایی کرد (شکل ۵). بر اساس یافته‌ها، تفرجگاه جنگلی عباس‌میرزا، عون‌ابن‌علی، ائل‌باغی، پارک بزرگ آذربایجان، پارک ائل‌گولی و پارک ارم؛ جزء مهم‌ترین لکه‌های اکولوژیک کلان‌شهر تبریز هستند و اگر چه هنوز به وسعت نهایی خود نرسیده و در حال توسعه هستند؛ اما در برنامه‌ریزی‌های آتی شهر می‌توانند به عنوان زیستگاه‌های اصلی در توسعه شبکه‌های سبز لحاظ شوند.

شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)، از جمله شاخص‌های شناخته شده برای آنالیز پیوستگی است که در تشخیص لکه‌های با اهمیت‌تر از نظر موقعیت توپولوژیک نیز کاربرد دارد. در این تحقیق برای جلوگیری از طولانی شدن محاسبات، لکه‌های کوچک‌تر از پنج هکتار حذف شدند. همچنین برای بررسی تأثیرگذاری بعد مسافت، مقادیر این شاخص، در چهار مسافت مختلف، یعنی: ۲۵۰۰، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ متر بررسی شد (شکل ۴). ارقام و اعداد به دست آمده برای این شاخص، در واقع مبین میزان پیوستگی درون لکه‌ای و همین‌طور اهمیت هر لکه در شبکه اکولوژیکی هستند.

از نتایج مهم دیگر ارزیابی شاخص IIC، شناسایی مهم‌ترین و تأثیرگذارترین لکه‌های سبز در سیمای سرزمین



شکل ۴. نمودار مقادیر شاخص IIC (بدون واحد) برای لکه‌های سبز بزرگتر از ۵ هکتار در مسافت‌های ۲۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر (لکه‌های شماره ۳۲، ۳۴، ۳۳، ۲۹، ۴ و ۹ بیش‌ترین پیوستگی را در میان لکه‌های سبز شهر تبریز دارا هستند).



شکل ۵. مقادیر شاخص IIC برای لکه‌های سبز شهر تبریز (الف) و موقعیت مهم‌ترین لکه‌های سبز شهر تبریز بر اساس شاخص‌های پیوستگی (ب).

از لکه‌ها و کریدورهای اکولوژیک با استفاده از ابزار Linkage Mapper 2.0.0 ایجاد شد. در گام نخست، هر کدام از کاربری اراضی موجود با توجه به ویژگی‌های منحصر بفردشان و بر مبنای اطلاعات حاصل از پیشینه تحقیق (مطالعات پودات و همکاران (۱۳۹۶) و Zhang (۲۰۱۷) و همین‌طور محاسبات نگارندگان، از ۰ تا ۱۰۰ ارزش‌گذاری شد (جدول ۳)؛ که در این بین اراضی ساخته شده و معابر شهری بیشترین مقاومت را داشته و تقریباً نفوذناپذیر هستند؛ و در مقابل کم‌ترین مقاومت برای اراضی سبز (پارک‌ها، باغ‌ها و اراضی کشاورزی)، زمین‌های خالی - بایر و اراضی آبی به‌عنوان مناسب‌ترین فضاها برای شبکه‌سازی، تعلق گرفت.

در مرحله بعد، مقادیر مقاومت برای هر کدام از کاربری‌های اراضی کلان‌شهر تبریز اعمال و از لایه مقاومت مد نظر با فرمت رستر یک خروجی تهیه شد که حالت شبیه‌سازی شده این لایه در محیط GIS در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد در تهیه لایه مقاومت یا هزینه، برای هر کدام از پیکسل‌ها بر اساس نوع کاربری اراضی آن یک امتیاز و ارزش در نظر گرفته شد که ارزش آن نشان‌دهنده مقاومت منظر نسبت به تغییر و جابجایی است و مقادیر آن نیز بر اساس جدول (۳) در شبکه اکولوژیکی شهر تبریز اعمال شده است. به طور مثال اراضی آبی و رودخانه‌های شهری نسبت به معابر شهری از مقاومت کمتر، اما نسبت به اراضی سبز از مقاومت بیشتری برخوردار هستند؛ لذا بر اساس مطالعات دیگر محققان و بررسی نگارندگان امتیاز ۵۰ برای آن‌ها در نظر گرفته شد.

علاوه بر لکه‌های اصلی، برخی از لکه‌های سبز موجود در محدوده مرکزی شهر تبریز (از جمله: پارک ولیعصر، پارک باغلاریاغی، اراضی دانشگاه تبریز و پارک مینیاتوری) لکه‌های حد واسط هم شناسایی شدند، که به‌رغم مساحت کم به لحاظ توپولوژیک نقش مهمی در پیوستگی شبکه ایفا کرده و از نظر اکولوژیک نیز بسیار با ارزش هستند. این لکه‌ها به‌ویژه در مناطق مرکزی و فرسوده شهر که از تراکم بالای جمعیتی و مسکونی برخوردار است و به نوعی وجود لکه‌ها و زیستگاه‌های بزرگ در آن قسمت‌ها ممکن نیست، اهمیت دو چندان می‌یابند.

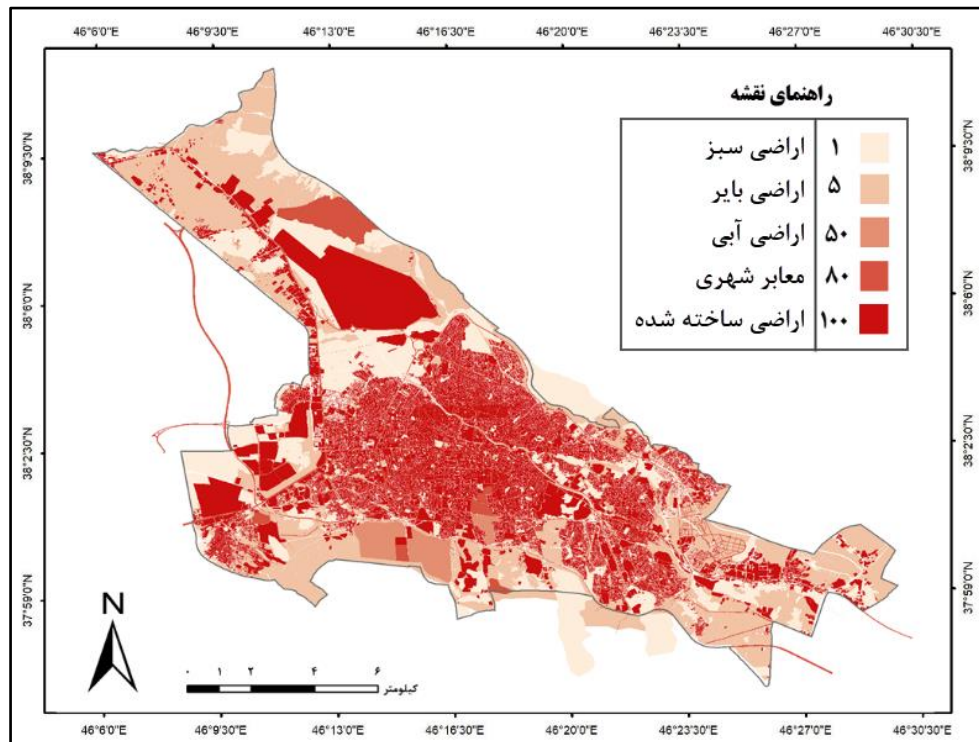
### ۲-۳. ترسیم کریدورهای بهینه و ارتقاء پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین شهر تبریز

همان‌طور که نتایج نشان داد، سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز در عرصه اکولوژیکی از پیوستگی لازم برخوردار نبوده و در میان کاربری‌های موجود حداقل پیوستگی را دارا است. لذا برنامه‌ریزان شهری پیشنهاد می‌کنند برای حفظ و احیاء پیوستگی سیمای سرزمین، نخست باید بهترین لکه‌های زیستگاهی (لکه‌های هسته) تعیین شود و سپس با در نظر گرفتن فواصل و موانع بین لکه‌ها، به ترسیم کریدورهای اتصال‌دهنده و توسعه مسیرها پرداخت (رمضانی‌مهریان و فریادی، ۱۳۹۳). توسعه کریدورهای اکولوژیکی عموماً از بخش‌هایی صورت می‌گیرد، که پوشش اراضی موجود در آن قسمت، از مقاومت (هزینه) کمتری در برابر جابه‌جایی و شبکه‌سازی برخوردار باشد. برای این منظور، با بررسی قابلیت‌ها و امکانات بالقوه شهر تبریز و با شناسایی مهم‌ترین لکه‌های سبز، شبکه پیوسته‌ای

جدول ۳. امتیازات اختصاص داده شده به هر کدام از کاربری‌ها برای تهیه فایل مقاومت

نوع کاربری اراضی	اراضی ساخته شده	معابر شهری	اراضی آبی	اراضی بایر	اراضی سبز
توصیف	ابنیه، تأسیسات و صنایع	جاده‌ها و معابر شهری	رودخانه‌ها و مسیل‌ها	زمین‌های خالی و بایر	اراضی کشاورزی، پارک و باغ
مقدار مقاومت ظاهری	۱۰۰	۸۰	۵-۵۰	۵	۱

مأخذ: نگارندگان و Zhang, 2017: 25

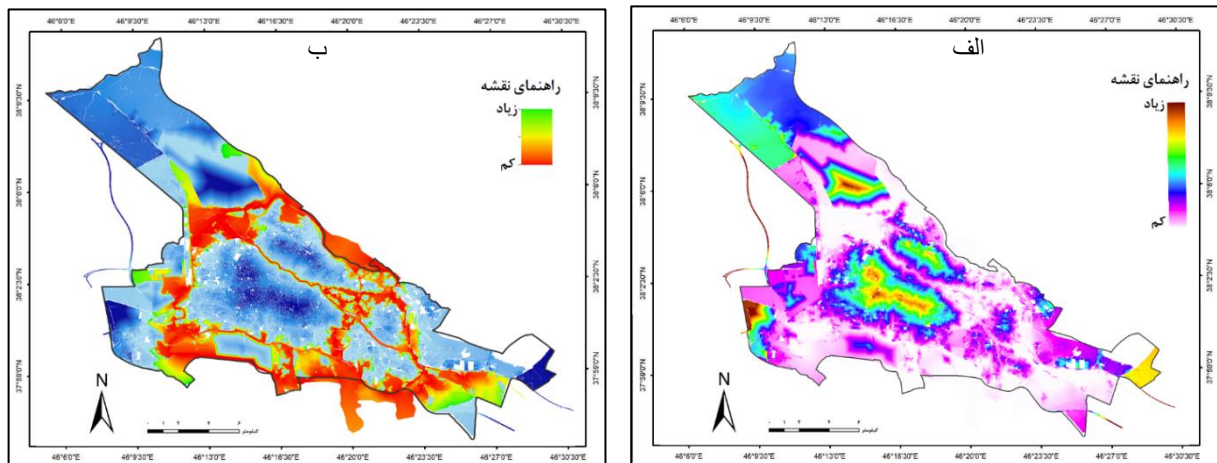


شکل ۶. نقشه لایه مقاومت/ هزینه برای هر کدام از کاربری اراضی شهر تبریز، اعداد درج شده در نقشه در واقع میزان مقاومت هر کدام از کاربری اراضی را نشان می‌دهند که بر اساس تحلیل‌های نویسندگان به دست آمده‌اند (مأخذ: نگارندگان)

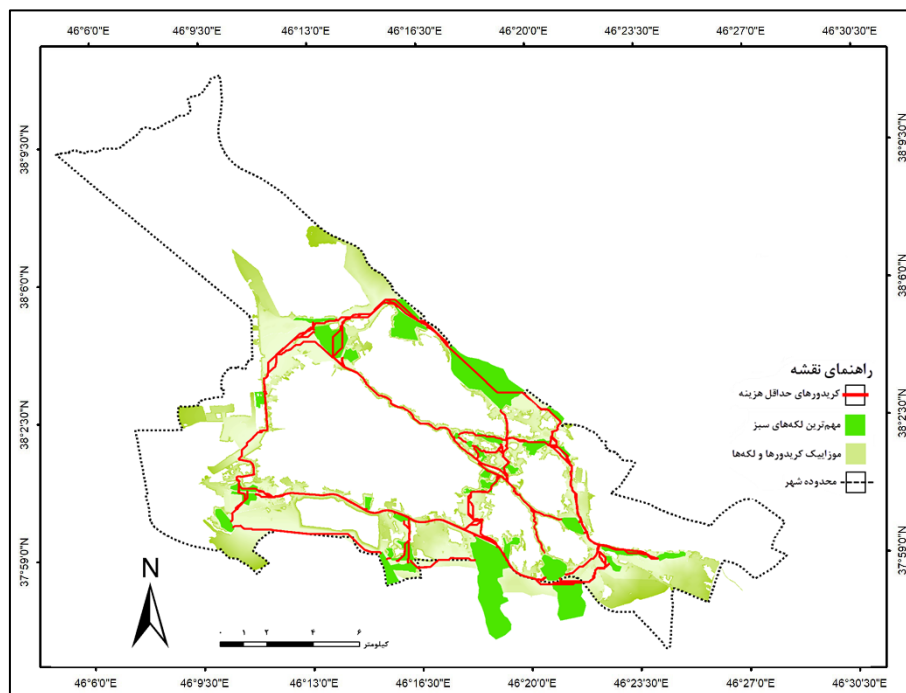
هزینه‌ای که از بین آن‌ها عبور می‌کنند و از مقاومت کم‌تری برخوردارند. بر اساس نقشه به دست آمده، هرچقدر به مرکز راهروها و لکه‌ها نزدیک می‌شویم (رنگ قرمز)، میزان مقاومت کاهش می‌یابد؛ بنابراین احتمال ایجاد کریدورهای نهایی در این قسمت‌ها بیشتر خواهد بود.

در نهایت، کریدورهای ارتباطی بر مبنای حداقل هزینه توسط نرم‌افزار شناسایی و ترسیم شد و راهروهای با هزینه بالاتر حذف شد (شکل ۸). کریدورهای ایجاد شده بر اساس لایه مقاومتی که به نرم‌افزار معرفی شده است؛ مهم‌ترین لکه‌های سبز کلان‌شهر تبریز را به یکدیگر متصل کرده‌اند. لذا هر قدر لایه مقاومت تهیه شده از دقت بیشتری برخوردار و به واقعیت موجود نزدیک‌تر باشد، مسیرهای ایجاد شده نیز دقیق‌تر خواهند بود و می‌توان در عمل از آن‌ها بهره گرفت.

با در نظر گرفتن فواصل وزنی و لایه هزینه، شبکه کریدورها فقط از نقاطی عبور می‌کند که کم‌ترین مقاومت را دارند. از همین رو مسیرهای حداقل هزینه (مسیرهایی که در آن‌ها کم‌ترین مقاومت وجود دارد) از هسته یک زیستگاه به هسته زیستگاه دیگر و بر اساس فواصل وزنی و هزینه‌ای ایجاد می‌شود (شکل ۷- الف). این مرحله به کاربران اجازه می‌دهد تا به طور خودکار ارتباطات را از محلی که مسیر عبوری، کم‌ترین هزینه را در بر دارد، ایجاد نمایند. مطابق شکل قسمت‌های کم‌رنگ، وزن کم‌تر و در نتیجه هزینه کمتری برای ایجاد راهرو خواهند داشت و قسمت‌های پررنگ‌تر مطابق با طیف رنگی (طیف‌های بالاتر) هزینه بیشتری را در بر می‌گیرند. در شکل (۷- ب)، موزاییکی از مسیرها و مناطق بالقوه نشان داده شده است که ترکیبی است از لکه‌های اصلی و کریدورهای حداقل



شکل ۷. نقشه فواصل وزن دار هزینه (الف) و موزاییک مناطق اصلی و کریدورهای حداقل هزینه (ب)



شکل ۸. نقشه نهایی حاصل از ترسیم کریدورهای حداقل هزینه. (مأخذ: نگارندگان)

اکولوژیکی شهر در این بخش، رودخانه تلخه رود است که از شرق شهر تا غرب آن امتداد دارد و لکه های مستقر در مسیر را به هم متصل می کند. این امر بر این نکته تأکید می کند که حفاظت و توسعه لکه های حد واسط و فضاهای سبز باقی مانده در بخش های درونی شهر و نیز زمین های بایر و خالی بیش از پیش حائز اهمیت است و باید ضمن ممانعت از تخریب بیش از حد فضاهای اکولوژیکی،

همان طور که در شکل شماره (۸) مشخص است، عمده کریدورهای ایجاد شده، همانند کمربند سبزی در پیرامون شهر کشیده شده اند؛ که دلیل اصلی آن نیز قرارگیری زیستگاه های اصلی در حومه شهر است. همچنین در قسمت مرکزی و بافت فرسوده شهر که از مقاومت بسیار بالایی نسبت به دیگر مناطق برخوردار هستند، امکان ایجاد کریدورهای اکولوژیکی تقریباً ناممکن بوده و تنها مسیر

تصمیمات مؤثری برای بهبود پیوستگی اکولوژیکی این فضاها اتخاذ شود.

ایده اصلی این تحقیق در ایجاد مسیرهای اکولوژیکی؛ استفاده از اراضی سبز، رودخانه‌های شهری و همین‌طور زمین‌های بایر و خالی موجود در شهر است که به حال خود رها شده‌اند یا متعلق به کاربری‌های ناسازگار هستند. استفاده مناسب از زمین‌های خالی و بایر برای توسعه شبکه‌های اکولوژیک شهری، می‌تواند خدمات اکوسیستمی و اجتماعی فراوانی را برای ساکنین فراهم آورد و باعث بهبود کیفیت محیط‌زیست شهری شود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

توسعه و گسترش شهرها، نه تنها باعث بروز مشکلات اقتصادی در مناطق کلان‌شهری می‌شود، بلکه موجب بروز بسیاری از مسائل محیط‌زیستی از قبیل تغییر کاربری اراضی، افزایش آلودگی‌ها و به هم خوردن تعادل اکولوژیکی- اجتماعی می‌شود. از سوی دیگر وجود سیاست‌ها و قوانین نامناسب در رابطه با شهر و زمین شهری، سبب آشتگی و رشد غیر اصولی شهرهای ایران و تخریب اراضی طبیعی و سبز شده است؛ که در این میان شهر تبریز، بزرگ‌ترین متروپل شمال غرب کشور از این قاعده مستثنی نبوده و در طول دهه‌های اخیر دست‌خوش تغییرات چشم‌گیری گشته است. تخریب و تحول شبکه‌های اکولوژیکی و تکه تکه شدن لکه‌های سبز، کاهش ارتباطات زیستی و اکولوژیکی، کاهش تنوع زیستی گیاهی و جانوری و به طور کلی تغییر در سیمای اکولوژیکی- اجتماعی شهر تبریز از مواردی است که باعث شکل‌گیری مسئله تحقیق در ذهن نگارندگان شد. از همین رو پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و بهبود پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین شهر تبریز و طراحی شبکه‌های سبز شهری تدوین شده است تا از منظر علمی به این مسئله بپردازد و با بررسی وضع موجود، قابلیت‌ها و پتانسیل‌های شهر؛ راهکارهای مؤثر از دیدگاه اکولوژیکی را ارائه دهد.

به همین منظور، نخست پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز، با استفاده از شاخص‌های پیوستگی Cohesion و IIC در محیط نرم‌افزارهای Fragstats و Conefor ارزیابی شد. شاخص Cohesion میزان انسجام و پیوستگی لکه‌های یک طبقه از کاربری اراضی را اندازه‌گیری می‌کند که یافته‌های تحقیق، حاکی از بیش‌ترین و کم‌ترین پیوستگی بر اساس این شاخص به ترتیب برای اراضی ساخته‌شده و فضاها اکولوژیک است. در واقع این بدان معناست که ساخت‌وسازهای شهری نسبت به سایر اراضی منسجم‌تر هستند؛ که این امر می‌تواند ماحصل رشد شهرنشینی و افزایش ساخت‌وسازهای شهری در طول دهه‌های گذشته باشد، که به دنبال آن فضاها سبز و اکولوژیک بیش از سایر اراضی دست‌خوش تغییرات قرار گرفته و به مرور زمان تکه‌تکه شده و پیوستگی آن‌ها کاهش یافته است؛ در مقابل ساخت‌وسازها یکپارچه‌تر شده‌اند، که مقادیر بالای پیوستگی برای این کاربری نیز خود دلیل بر این مدعاست. شاخص IIC، علاوه بر سنجش میزان پیوستگی، برای شناسایی و اولویت‌بندی لکه‌های مهم و حیاتی موجود در سیمای سرزمین به کار می‌رود که توسط نرم‌افزار Conefor محاسبه می‌شود. این شاخص پیوستگی درون لکه‌ای را در اولویت قرار داده و لکه‌ها را بر این اساس رتبه‌بندی می‌کند، که مقادیر بالای آن نشان از پیوستگی و اهمیت بیشتر آن لکه در سیمای سرزمین است. بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های پیوستگی در این دو نرم‌افزار، لکه‌های متعلق به تفرجگاه جنگلی عباس‌میرزا، عون‌ابن‌علی، ائل‌باغی، پارک بزرگ آذربایجان، پارک ائل‌گولی و پارک ارم؛ مهم‌ترین لکه‌های سبز کلان‌شهر تبریز شناسایی شدند. این لکه‌ها به عنوان زیستگاه‌های اصلی شهر عمده‌تاً در محدوده پیرامونی شهر قرار دارند و می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب از آن‌ها برای توسعه شبکه‌های اکولوژیک کلان‌شهر تبریز بهره گرفت. همچنین برخی از لکه‌های شناسایی شده به عنوان لکه‌های حدواسط در نظر گرفته شدند؛ لکه‌هایی که علی‌رغم مساحت کمی که دارند،

در کلان‌شهر تبریز نیز گواه بر این مورد است و نشان می‌دهد تخریب زیستگاه‌ها و از هم گسیختگی لکه‌های سبز شهری ماحصل سال‌ها برنامه‌ریزی و مدیریت نامناسب سیمای سرزمین بوده که در صورت ادامه‌دار بودن، از وضعیت کنونی نیز پیچیده‌تر خواهد شد. لذا با آگاهی از این مسئله و بررسی دقیق‌تر آن با ابزارها و فنون علمی، اقدام به طراحی شبکه‌های اکولوژیک شهری شد تا با بهره‌گیری از آن به سمت توسعه مطلوب‌تر و پایدارتر شهر تبریز گام برداشت. نتایج مطلوب این تحقیق در به‌کارگیری اصول اکولوژی سیمای سرزمین و مفاهیم موجود در تئوری‌های گراف و حداقل هزینه، حاکی از کارآمدی این روش‌ها در شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل شبکه‌های اکولوژیکی است که در نهایت از آن‌ها می‌توان برای ارائه راه‌کارها و راه‌حل‌های عملیاتی در راستای توسعه مطلوب و کاهش معضلات پیش روی شهرها بهره گرفت. با این وجود، ممکن است مواردی از عدم قطعیت در مطالعات اکولوژی سیمای سرزمین مشاهده شود که در واقع با واقعیت موجود در سیمای سرزمین مطابقت نداشته باشد. برای مثال یک مسیر شناسایی شده با حداقل هزینه بین دو لکه زیستگاهی، امکان دارد در عمل قابلیت اجرا شدن نداشته و شبکه‌سازی را با ابهام مواجه سازد. لذا نتایج تحلیل‌ها در این گونه مطالعات بستگی به داده‌ها و اطلاعات دقیق در ارتباط با سیمای سرزمین مورد مطالعه دارد تا بروز خطاهای احتمالی و عدم قطعیت‌ها تا حد امکان کاهش یابد. با بررسی یافته‌ها و نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد تفسیرهای صورت گرفته قابل اطمینان باشد؛ اما به منظور غنای بیشتر پژوهش و بهبود عملکردهای اکولوژیکی فضای سبز کلان‌شهر تبریز، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و به‌روزترین نقشه‌های کاربری اراضی و در مقیاس خردتر استفاده شود تا با در اختیار داشتن اطلاعات کامل و دقیق‌تری از وضع موجود، درصد خطاها تقلیل یابد. افزون بر این، بهره‌گیری از سایر مدل‌ها، ابزارها و رویکردهای

بسیار ارزشمند بوده و در کنار لکه‌های اصلی، نقش مؤثری در انسجام‌بخشی و افزایش پیوستگی شبکه زیستگاهی ایفا می‌کنند. نقش این لکه‌ها به‌ویژه در بخش مرکزی شهر که دارای تراکم بالای جمعیتی و مسکونی بوده و عملاً وجود زیستگاه‌های بزرگ ممکن نیست، اهمیت بیشتری دارد. لذا با شناسایی این لکه‌های با ارزش، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری باید به سمت حفاظت و توسعه آن‌ها سوق داده شود.

در نهایت در بخش پایانی تحقیق با استفاده از ابزار Linkage Mapper و نرم‌افزار ArcGIS کریدورهای بهینه برای ایجاد پیوند بین لکه‌های اصلی تهیه شد. این کریدورها و لینک‌های اتصال بر اساس مبانی تئوری گراف و حداقل هزینه ایجاد شدند؛ به صورتی که بهینه‌ترین مسیرهای اتصال بر اساس کم‌ترین هزینه‌ای که در قبال ساخت خواهند داشت به دست آمد. برای کسب نتایج مطلوب‌تر در این تحقیق، رودخانه‌ها و اراضی بایر و خالی موجود در شهر یک امکان بالقوه برای ایجاد شبکه‌های سبز و در نتیجه افزایش پیوستگی اکولوژیکی در نظر گرفته شدند. به گونه‌ای که مسیل‌ها و زمین‌های بایری که امکان تبدیل شدن به کریدورهای ارتباطی و اراضی سبز را دارند شناسایی و در کنار سایر امکانات و اراضی اکولوژیکی بالفعل برای شبکه‌سازی اکولوژیک استفاده شد. لذا از آن‌جا که این اراضی (رودخانه‌ها و زمین‌های خالی و بایر) عموماً نقاط پیرامونی را به مناطق مرکزی پیوند می‌دهند حائز اهمیت فراوانی بوده و حفاظت از آن‌ها نیز بایستی در اولویت برنامه‌ریزان و مدیران شهری قرار گیرد. چرا که با از بین رفتن و تغییر کاربری آن‌ها، دیگر زمینی برای توسعه اکولوژیک در شهرها باقی نمی‌ماند!

بر اساس نتایج و یافته‌های پژوهش حاضر، شبکه اکولوژیک شهر تبریز وضعیت مناسبی ندارد و بسیاری از اراضی سبز آن تخریب و تکه‌تکه شده‌اند که حاصل آن کاهش پیوستگی اکولوژیکی در این شهر و در نتیجه بروز مسائل و معضلات متعددی است. مطالعات صورت گرفته

### یادداشت‌ها

1. landscape
2. fragmentation
3. connectivity
4. ecological Network
5. patch
6. least-cost modelling
7. graph theory
8. resistance layer
9. least-cost corridor
10. structural connectivity
11. functional connectivity
12. Integral index of connectivity
13. core patches or Core area

ارائه شده در این زمینه که روز به روز هم در حال پیشرفت هستند در تکمیل و تدقیق هر چه بیشتر نتایج مؤثر خواهد بود. همچنین حفاظت از لکه‌ها و کریدورهای اکولوژیکی موجود و به کارگیری نتایج این تحقیق، می‌تواند در توسعه شبکه‌های اکولوژیکی شهر تبریز کارآمد باشد.

### منابع

- پریور، پ.، فریادی، ش.، یآوری، ا.ر.، صالحی، ا. و هراتی، پ. ۱۳۹۲. بسط راهبردهای پایداری اکولوژیک برای افزایش تاب‌آوری محیط‌زیست شهری (نمونه موردی: مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران). محیط‌شناسی، ۳۹(۱): ۱۲۳-۱۳۲.
- پودات، ف.، ارواسمیت، ک.، میکاییلی تبریزی، ع.ر. و گوردن، ا. ۱۳۹۶. کاربرد تئوری گراف در مطالعات اکولوژی سیمای سرزمین نمونه موردی: سنجش پیوستگی زیستگاه‌های کلان‌شهر ملبورن، بوم‌شناسی کاربردی، ۴: ۸۱-۹۴.
- پودات، ف.، برق‌جلوه، ش.د. و میرکریمی، ح. ۱۳۹۳. مروری تحلیلی بر چگونگی اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیکی به منظور حفاظت از تنوع زیستی در شهرها، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵(۱۰): ۱۹۵-۲۱۰.
- خواجه برج سفیدی، آ.، طبیبیان، م. و طغیانی، ش. ۱۳۹۵. ارزیابی سناریوهای توسعه اتصال فضاهای اکولوژیک در شهر اهواز به منظور ارتقاء سطح خدمات اکوسیستم و تنوع زیستی، محیط‌شناسی، ۴۲(۱): ۱۱۵-۱۳۳.
- رحیمی، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی توسعه فضایی-کالبدی با تأکید بر توسعه میان‌افزا، نمونه موردی تبریز، رساله دکتری در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما دکتر صدر موسوی، دانشگاه تبریز، تبریز.
- رمضانی‌مهریان، م. و فریادی، ش. ۱۳۹۳. طراحی شبکه پیوسته فضای سبز شهری با استفاده از تئوری گراف (مطالعه موردی: منطقه یک تهران). فصلنامه علوم محیطی، ۱۲(۲): ۹۰-۱۱۰.
- شفیعی‌نژاد، س.، پودات، ف. و فرخیان، ف. ۱۳۹۷. ارزیابی پیوستگی اکولوژیک لکه‌های سبز شهری با استفاده از تئوری گراف، مطالعه موردی کلان‌شهر اهواز، بوم‌شناسی کاربردی، ۱: ۱-۱۱.
- صادقی‌بنیس، م. ۱۳۹۴. استفاده از متریک‌های منظر در بهسازی شبکه اکولوژیک شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، باغ نظر، ۳۲(۱۲): ۵۳-۶۲.
- لطفی، ا. و دانشپور، ع. ۱۳۹۵. تحلیل و ارزیابی احیای اکولوژی شهر با تأکید بر متابولیسم شهری، طراحی مهندسی و اکولوژی منظر، ۱(۲): ۱-۱۲.
- مثنوی، م. و کوخانی، ط. ۱۳۹۳. طراحی محیطی زیرساخت‌های اکولوژیک منظر شهری با استفاده از اصل پیوستگی با انشعابات (AWOP) به منظور ارتقای کیفیت زندگی شهری، محیط‌شناسی، ۴۰(۳): ۵۵۹-۵۷۲.
- محمدی، ج. و رخشانی‌نسب، ح.ر. ۱۳۹۰. تحلیل رفتاری عوامل کمی و کیفی مؤثر بر جذب شهروندان به پارک‌های شهری در اصفهان،



فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، ۳۴: ۲۸-۴۸.

محمدیاری، ف.، میرسنجری، م. و زردیان، ا. ۱۳۹۷. ارزیابی شبکه‌های بوم‌شناختی سیمای سرزمین شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج)، مجله علمی آمایش سرزمین، ۱۰(۲): ۲۲۵-۲۴۷.

محمودزاده، ح. ۱۳۹۳. ارزیابی و تحلیل اکولوژیک توسعه فضایی کلان‌شهر تبریز، رساله دکتری در رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما دکتر قربانی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۵. نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵.

مهندسین مشاور نقش محیط، طرح جامع شهر تبریز. ۱۳۹۴. اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

میکائیلی، ع. و صادقی بنیس، م. ۱۳۸۹. شبکه اکولوژیکی شهر تبریز و راهکارهای پیشنهادی برای حفظ و توسعه آن، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱(۲): ۴۳-۵۲.

Carvalho, F.M., Júnior, P.D.M. and Ferreira, L.G. 2009. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological conservation*, 142(7): 1392-1403.

Chan, K.M. and Vu, T.T. 2017. A landscape ecological perspective of the impacts of urbanization on urban green spaces in the Klang Valley. *Applied Geography*, 85: 89-100.

Ersoy, E., Jorgensen, A. and Warren, P.H. 2019. Identifying multispecies connectivity corridors and the spatial pattern of the landscape. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40: 308-322.

Forman, R.T.T. and Gordon, M. 1986. *Landscape Ecology*—John Wiley. New York, 619.

Hofman, M.P., Hayward, M.W., Kelly, M.J. and Balkenhol, N. 2018. Enhancing conservation network design with graph-theory and a measure of protected area effectiveness: Refining wildlife corridors in Belize, Central America. *Landscape and urban planning*, 178: 51-59.

Jaeger, J.A., Bertiller, R., Schwick, C., Müller, K., Steinmeier, C., Ewald, K. C. and Ghazoul, J. 2008. Implementing landscape fragmentation as an indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (MONET). *Journal of environmental management*, 88(4): 737-751.

Jim, C.Y. and Chen, W.Y. 2009. Ecosystem services and valuation of urban forests in China. *Cities*, 26(4): 187-194.

Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N. and Zong, Y. 2010. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and urban planning*, 95(1-2): 16-27.

Li, H., Chen, W. and He, W. 2015. Planning of green space ecological network in urban areas: an example of Nanchang, China. *International journal of environmental research and public health*, 12(10), 12889-12904.

McGarigal. 2002. "Fragstats Help", University of Massachusetts, 15-168 pp.

McGarigal, K., Cushman, S. A. and Ene, E. 2012. FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.

Mougiakou Eleni, Photis yorgos N. 2014. Urban green space network evaluation and planing: optimizing accessibility based on connectivity and GIS based raster analysis, *European Journal of Geography*, 4:19-46

Nations, U. 2018. 2018 Revision of world urbanization prospects. In: United Nations Department of Economic and Social Affairs.

Ndubisi, E. F. 2014. *The ecological design and planning reader*. Washington, DC : Island Press.

Nor, A.N.M., Corstanje, R., Harris, J. A., Grafius, D. R. and Siriwardena, G.M. 2017. Ecological connectivity networks in rapidly expanding cities. *Heliyon*, 3(6): e00325.

Noss, R.F. 1991. *Landscape connectivity: different functions at different scales. Landscape linkages and biodiversity*. Island Press, Washington, DC, USA, 27-39.

- Pierik, M.E., Dell'Acqua, M., Confalonieri, R., Bocchi, S. and Gomasca, S. 2016. Designing ecological corridors in a fragmented landscape: A fuzzy approach to circuit connectivity analysis. *Ecological indicators*, 67: 807-820.
- Saura, S. and Torne, J. 2009. Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental modelling & software*, 24(1): 135-139.
- Saura, S., Hortal, L.P. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study", *Landscape and Urban Planning*, 83: 91-103.
- Su, W., Gu, C., Yang, G., Chen, S. and Zhen, F. 2010. Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China. *Landscape and Urban Planning*, 95(1-2): 61-67.
- Tannier, C., Bourgeois, M., Houot, H. and Foltête, J. C. 2016. Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs. *Land Use Policy*, 52: 76-91.
- Tian, Y., Jim, C. Y. and Wang, H. 2014. Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in a compact city. *Landscape and urban planning*, 121: 97-108.
- Tian, Y., Jim, C. Y., Tao, Y. and Shi, T. 2011. Landscape ecological assessment of green space fragmentation in Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2): 79-86.
- Vuilleumier, S. and Prélaz-Droux, R. 2002. Map of ecological networks for landscape planning. *Landscape and urban planning*, 58(2-4): 157-170.
- Xio Na. 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, Uppsala.
- Zhang, L. and Wang, H. 2006. Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis. *Landscape and Urban Planning*, 78(4): 449-456.
- Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P. and Lindquist, M. 2019. Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban forestry & urban greening*, 38: 305-317.
- Zhang, Zh. 2017. Enhancing landscape connectivity in detroit through multifunctional green corridor Modeling and design, Master's thesis, in the University of Michigan.