مقاله مستخرج از پایان‌نامه

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره چهارم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲(۵۱-۳۵)

سناریو بندی یکپارچگی شبکه اکولوژیک منظر شهری بر اساس مدل بهبودیافته جاذبه (در پهنه شمال شرق تهران)

سید حسین موسوی فاطمی[۱]

فرح حبیب[۲*]

srbiau.ac.ir@f.habib

پویان شهابیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۵

چکیده

زمینه و هدف: توسعه سریع کلان‌شهرها سبب ناپایداری محیط‌زیست شهری انسان‌ها و متعاقباً موجب تکه‌تکه شدن اکولوژی منظر شهری شده است در واقع شهرهای امروزی نیازمند مداخلاتی نو هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، برنامه‌ریزی و طراحی برای ایجاد پیوستگی اکولوژی منظر شهری است. با توسعه شبکه‌های سبز شهری در کلان‌شهرهای امروزی می‌توان از تنوع زیستی حفاظت کرد و درنهایت به‌وسیله پیوستگی اکولوژیکی عاملی برای جلوگیری از انزوا جمعیت‌ها و گونه‌ها شد. هدف این مقاله اتصال شبکه‌های اکولوژیک منظر شهری و درنهایت ارائه خدمات اکوسیستمی یکپارچه در شهرها و تولید کریدورهای بالقوه پیشنهادی و سناریو بندی آن‌ها است.

روش بررسی: در این پژوهش از مدل بهبودیافته جاذبه و توسعه سناریو و تجزیه‌وتحلیل شبکه در محیط نرم‌افزار GIS استفاده‌شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از لایه‌های هزینه، مقاومت و لکه‌های اصلی به مجموعه‌ای از کریدورهای پیشنهادی و اولویت‌بندی آن‌ها رسید؛ همچنین می‌توان سناریوهای مختلف را از طریق آنالیز شبکه کریدورها در پهنه موردمطالعه گسترش داد.

بحث و نتیجه‌گیری: بر مبنای لایه مقاومت، لکه اصلی و لایه هزینه به تولید اولویت‌بندی کاربردی کریدورهای پیشنهادی پرداخته شد تا به‌واسطه آن بتوان به توسعه سه سناریو بالقوه در پهنه شمال شرق تهران دست‌یافت. درنهایت از طریق تحلیل سه سناریو پیشنهادی، راهبردهای تصمیم‌گیری و تبیینِ یکپارچگیِ شبکه اکولوژیِ منظر شهری، مطلوب‌ترین سناریو معرفی شد. خروجی این تحقیق می‌تواند به‌عنوان نقشه‌ای پایه‌ای برای توسعه و بازنده سازی ساختارهای منظر اکولوژیک شهری مورداستفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سناریو بندی شبکه اکولوژیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، منظر اکولوژیک شهری، تئوری گراف، مدل جاذبه.

۱- گروه شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه ازاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- گروه شهرسازی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

J. Sus. Dev. & Env., Vol 4, No.1, Spring 2023, pp.35-51

Scenario planning of Integrated Urban Landscape Ecology Network based on the improved Gravity model
(Case study: Northeast area of Tehran)

Seyed Hossein Mousavi Fatemi[1]
Farah Habib[2*]
srbiau.ac.ir@f.habib
Pooyan Shahabian[3]

Admission Date:April 25, 2023 Date Received: March 16, 2023

Abstract

Background and Objective: The rapid development of cities has caused the unsustainability of the human urban environment and consequently fragmented the ecology of the urban landscape. Today, there is a need for a new conceptualization with which to approach ecological diversity, such as environmental planning and design for integrating the urban landscape ecology. The development of urban green networks is one of the essential factors to protect biodiversity and effectively prevent the isolation of populations and species. The purpose of this article is to connect ecological networks in the urban landscape and finally increase connectivity and provide ecosystem services in cities and presenting proposed potential corridors and their scenarios.

Material and Methodology: We produced the proposed scenarios by using the improved Gravity model and network analysis in GIS software.

Findings: We achieved the prioritize corridors in the northeast area of Tehran by using the cost layer, the impedance layer, and the core patches. In the final stage, three scenarios were developed in the studied area using corridor network analysis.

Discussion and Conclusion: Based on the impedance layer, core patches, and cost layer, the functional prioritization of the proposed corridors was discussed to develop and analyze the proposed corridors. This map leads to decision-making strategies and achieving the integration of the ecological networks in the urban landscape. The output of this paper can be used as a basic map for the development and revitalization of urban ecological landscape structures.

Keywords: Network analyses of corridors, GIS, Urban Ecological Landscape, Graph theory, Gravity model.

1- Ph.D. student in Urban development, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Professor, Department of Urban Development, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)
3- Associate Professor, Urban Planning and Design Department, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

توسعه سریع کلان‌شهرهای نوین، سبب ناپایداری انسان‌ها و محیط‌زیست شده است. شهرها در حال رشد بر روی سیستم های زنده زمین هستند و ذخایر طبیعی را از اکوسیستم‌های دور و نزدیک خود می‌بلعند که این امر موجب تکه‌تکه شدن اکولوژی منظر شهری شده است (۱). حفاظت و توسعه حرایم سبز، مسیرهای سبز و یکپارچه‌سازی فضاهای سبز درون‌شهری و پارک‌های طبیعی، راهکارهای اکولوژیکی برای حفظ تنوع زیستی درون شهرها هستند تا روند توسعه شهری را در جهت تعادل اکولوژیکی قرار بدهند (۲). برنامه‌ریزی کاربری اراضی با استفاده از روش‌های سنتی که انسان‌محور بوده است، دیگر نمی‌تواند پاسخگوی بحران‌ها و چالش‌های شهرنشینی امروزی باشد. فقدان نظام یکپارچه در مدیریت، برنامه‌ریزی و طراحی شهری در اسناد بالادستی، ضرورت استفاده از رویکرد یکپارچه-ی شبکه‌ی اکولوژیِ منظر شهری را می‌طلبد. امروزه شهرها نیازمند مداخلاتی نو هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، برنامه‌ریزی برای ایجاد پیوستگی اکولوژی منظر شهری است. توسعه شبکه‌های سبز شهری در کلان‌شهرهای امروزی یکی از ویژگی‌های مهم و لازم برای حفاظت از تنوع زیستی و عاملی برای جلوگیری از انزوا جمعیت و گونه‌ای است. رایج‌ترین و پرکاربردترین تئوری برای پشتیبانی از سنجش ساختار منظر اکولوژیک تئوری گراف است چراکه این مدل یک ابزار کارآمد و مفید برای ارزیابی شبکه اکولوژیک شهری محسوب می‌شود (۳). تئوری گراف ابتدا توسط هاراری در سال ۱۹۶۹ معرفی شد (۴) و در رشته‌های مختلفی ازجمله اکولوژی به کار گرفته‌شده است. کانت‌ول و فورمن اولین کسانی بودند که این تئوری را برای شبیه‌سازی ناهمگونی منظر به کاربردند (۵)، کیت و همکاران نیز از این تئوری برای ارزیابی پیوستگی در مناظر استفاده کردند (۶). از این زمان به بعد تئوری گراف به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات پیوستگی به کار گرفته شد (۷). کوریا و همکاران، ۱۶۲ نشریه را در مورد پیوستگی منظر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ موردبررسی قراردادند و دریافتند که بیش از ۵۰ نشریه از روش‌های مبتنی بر تئوری گراف استفاده کردند (۸) تا به امروز نظریه گراف عمدتاً برای پرداختن به دو جنبه پیوستگی در منظر به کار گرفته‌شده است؛ یکی نظارت بر وضعیت موجود پیوستگی و دیگری تولید راهکارهای پیشنهادی به جهت پیوستگی از طریق مدل‌های مشتق شده از آن مانند "پاندورا مدل" و "مدل جاذبه".

پاندورا مدل، یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب بین سناریوهای برنامه‌ریزی شهری است (۹) و مدل جاذبه که روش انتخاب‌شده این مقاله است، برای سنجش و پیشنهاد کریدورهای سبز شهری به کار می‌رود (۱۰). در شناخت شبکه پیچیده شهری تئوری گراف با ساده‌سازی خوانش عناصر و روابط بین آن‌ها کمک بسزایی در سنجش نقاط قوت و ضعف پیوستگی وضع موجود می‌کند. نهایتاً برنامه‌ریزان، مدیران و طراحان شهری با داشتن درک عمیق‌تر از شبکه‌های اکولوژیک منظر شهری و مناطقی که به تقویت پیوستگی کمک می‌کنند از این تحلیل سود می‌برند.

از طریق تئوری گراف ما به دنبال تحلیل ساختاری منظر و درنهایت رسیدن به انسجام بین عناصر ساختاری و ایجاد یکپارچگی هستیم. درهرصورت تحلیل ساختاری منظر برای ارزیابی شبکه اکولوژیک و ایجاد یکپارچگی از طریق تئوری گراف میسر نخواهد شد مگر با شناسی نقاط بالقوه و واجد پتانسیل در ساختار شهری. باید در نظر داشت خروجی تا این مرحله از طریق تئوری گراف سنجش و ارزیابی وضع موجود است و سپس از طریق مدل‌های مشتق شده می‌توان به پیشنهاد کرویدورهای بالقوه سبز شهری و درنهایت سناریو بندی آن‌ها در جهت توسعه و عملیاتی کردن پرداخت. انتخاب سناریوها در جهت حفظ یکپارچگی در یک سیستم سنتی بسیار پر خطا و پر ریسک است درصورتی‌که انجام این فرایند با استفاده از روش بهبودیافته جاذبه نه‌تنها سرعت کار را بالا می‌برد بلکه باعث کاهش خطا درروند تصمیم‌گیری سناریو بندی می‌شود.

1- PANDORA Model
2- Gravity Model

مواد و روش

مدل بهبودیافته جاذبه در مجموعه ابزار "آرک جی‌آی‌اس" برنامه‌ریزی‌شده است و برای نقشه‌برداری و اولویت‌بندی کریدورهای سبز بالقوه بکار می‌رود. ابزار مدل بهبودیافته جاذبه دو مدل فرعی را پیاده‌سازی می‌کند، مدل حداقل هزینه و مدل بهبودیافته جاذبه که نقشه فضایی واضح از کریدورهای سبز بالقوه و همچنین اثرات کریدورها بر لکه‌ها را تولید می‌کند (۱۱) که متعاقباً سناریو بندی کریدورهای پیشنهادی انجام می‌پذیرد.

مدل‌سازی حداقل هزینه: یک روش پرکاربرد برای طراحی کریدورهای اکولوژیک در مناظر شهری به جهت سنجش یکپارچگی، مدل‌سازی حداقل هزینه است (۱۲) و به‌طورمعمول به ارزان‌ترین مسیری که گونه‌ها می‌توانند از یک لکه به لکه دیگر حرکت کنند، اشاره دارد (۱۳). مدل‌سازی حداقل هزینه اغلب توسط دو جعبه‌ابزار در نرم‌افزار ArcGIS، ابزار فاصله هزینه[۲] و ابزار مسیر هزینه[۳] در ماژول تحلیل فضایی[۴] انجام می‌شود. بااین‌حال، صرف استفاده از این دو جعبه‌ابزار نمی‌تواند به پردازش دسته‌ای خودکار، از کریدورهای اکولوژیکی مدنظر، دست‌یافت (۱۴)؛ بنابراین، با جعبه‌ابزار مدل جاذبه ادغام شدند تا کمترین هزینه را به‌طور خودکار در یک‌لایه برداری[۵]ایجاد کنند. هدف از برداری کردن لایه‌ها، متفاوت از تحقیقات پیشین، به جهت بالا بردن دقت تحلیل است.

اولویت‌بندی کریدورهای جایگزین با استفاده از مدل بهبودیافته جاذبه: مدل جاذبه یک اصلاح ساده از معادله نیوتون برای گرانش است که قادر به سنجش میان کنش فضایی بین دو گره است که تعامل بین نقاط متصل شده توسط کریدورها، محل بیشترین اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر و مهم‌ترین اتصال ایجادشده را مشخص می‌کند (۱۵). این مدل معمولاً برای مطالعه اتصالات شهری در یک منطقه استفاده می شود و می توانند به شناسایی شبکه های سبز با اهمیت کمک کنند (۱۶). استفاده از آن ساده و آسان است و به طور گسترده ای در رفت آمد جریان منابع و تحقیقات فضاهای شهری کاربرد دارد (۱۷). مدل جاذبه به ترتیب در معادلات یک تا چهار دیده می‌شود (۱۸).

۱. در معادله نیوتن، گرانش با مجذور فاصله نسبت معکوس دارد. این مفهوم در مدل گرانشی برای شناسایی تعامل بین دو گره پذیرفته‌شده است (۱۹). G_{ab} تعامل میان نقاط a و b را نشان می‌دهد و N وزن نقطه مذکوراست D_{ab} مخفف مقاومت تجمعی بین گره a و گره b است.

$$1.\ G_{ab} = N_a N_b / D^2_{ab}$$

۲. وزن نقطه مذکور به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$2.\ N_a = \frac{S_a}{\sum_{f=1}^{F} P_f \times S_{af}}$$

که در آن S_a مساحت نقطه a و P_f مخفف مقدار مقاومت است. مقدار مقاومت یک‌تکه با انواع پوشش زمین تعیین می‌شود که ارزش آن‌ها بر اساس ارزیابی از میزان تلاش مضاعف موردنیاز برای تبدیل زمین به یک کریدور سبز تعیین می‌شود (۲۰) و S_{af} مساحت لکه‌های درون نقطه a با مقدار مقاومت D_{ab} است که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$3.\ D_{ab} = \frac{L_{ab}}{L_{max}}$$

۳. L_{ab} انباشتگی مقدار مقاومت یک کریدور در نقاط a و b است L_{max} حداکثر انباشتگی مقدار مقاومت در بین تمام کریدورها در منطقه موردمطالعه است.

۴. بر اساس معادلات (۲) و (۳)، درنهایت G_{ab} عبارت است از:

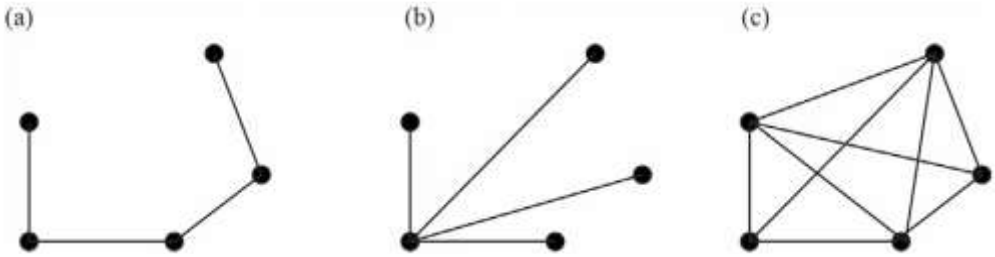
1- Arc GIS
2- The Cost Distance Tool
3- The Cost Path Tool
4- The Spatial Analysis
5- Vector

$$4.\ G_{ab} = N_a N_b / D_{ab}^2 = \frac{L_{max}^2 \times S_a \times S_b}{L_{ab}^2 \times \sum_{f=1}^{F} P_f S_{af} \times \sum_{f=1}^{F} P_f S_{bf}}$$

سناریو بندی: ابزار تجزیه‌وتحلیل شبکه در مدل بهبودیافته جاذبه، سناریوهای متعددی از شبکه‌های کریدور را بر اساس خواسته‌های کاربران ارائه می‌دهد.

هلموند سه نوع متداول از انواع اتصال شبکه را خلاصه می‌کند (۲۱):"کمترین هزینه برای سازنده"، "سلسله مراتبی " و "کمترین هزینه برای کاربر ".

"کمترین هزینه برای سازنده " (شکل a.۱)، یک درخت پوشا با کمترین اتصال است که می‌تواند هزینه سازندگان را به حداقل برساند، جایی که همه گره‌ها فقط یک‌بار به هم متصل می‌شوند. علاوه بر این، شبکه "سلسله مراتبی " (شکل b.۱)، کم-هزینه‌ترین شبکه برای کاربر است که در آن جریان همه نقاط از یک نقطه مرکزی عبور می‌کند. نوع شبکه‌ای بانام "کمترین هزینه برای کاربر " (شکل c.۱) وضعیت شبکه کریدوری ایده آلی را برای کاربر بیان می‌کند که همه گره‌ها یک‌به‌یک به هم متصل هستند. این نوع شبکه هزینه رابین دونقطه به حداقل می‌رساند.



شکل ۱- سه نوع رایج شبکه بر اساس نظریه گراف

Figure 1. Three common types of network typologies based on graph theory

بااین‌حال، سه ساختار فوق (شکل ۱) همیشه مناسب‌ترین شبکه‌های کریدور سبز شهری در حین برنامه‌ریزی نیستند (۱۹). مهم نیست که چه نوع شبکه‌هایی توسعه می‌یابند، راه-حل ایده آل به اهمیت نسبی هزینه‌های سازنده و کاربر در یک منظر واقعی بستگی دارد. ابزار تجزیه‌وتحلیل شبکه این مشکل را برطرف می‌کند، هنگامی‌که کاربران مکان گره‌ها و تعداد کریدورهایی را که می‌خواهند بسازند انتخاب می‌کنند، ابزار تحلیل شبکه بهترین راه‌حل یک شبکه کریدور را با حداکثر نسبت اثربخشی به هزینه به شرح ذیل ایجاد می‌کند.

ما فرض می‌کنیم که همپوشانی فضایی کریدورها بر شبیه‌سازی تأثیر نمی‌گذارد. نسبت اثربخشی به هزینه نشان‌دهنده کارایی یک شبکه است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$effectiveness - cost = \frac{G_{tot}}{L_{tot}}$$

G_{tot} مجموع تعاملی است که تمام کریدورهایی که یک شبکه ارائه می‌کند و L_{tot} تجمع مقدار مقاومت تمام کریدورهای این شبکه است. پس‌ازاینکه کاربر گره‌های انتخابی و تعداد کریدورها را وارد کرد. (به‌عنوان‌مثال اگر v تعداد گره‌های انتخاب‌شده و I تعداد پیوندها باشد، تعداد راه‌حل‌های جایگزین $C_{V(V-1)/2}^{I}$ خواهد بود.) ابزار تجزیه‌وتحلیل شبکه به‌طور هوشمند سناریویی را با حداکثر اثربخشی منهای هزینه[1] در میان همه راه‌حل‌های جایگزین پیدا می‌کند.

محدوده موردمطالعه (شکل ۲) :

این تحقیق بر روی پهنه شمال شرقی تهران و مناطق ۳،۱ و ۴ تهران تمرکز دارد.

منطقه یک شهر تهران، منطقه‌ای کوهستانی است که با جمعیت ۵۳۱۲۷۴ نفر و به وسعت تقریبی ۴۶۶۱ هکتار و دارای ۲۷ محله، در منتهی‌الیه شمالی شهر تهران قرار دارد (۲۲) که

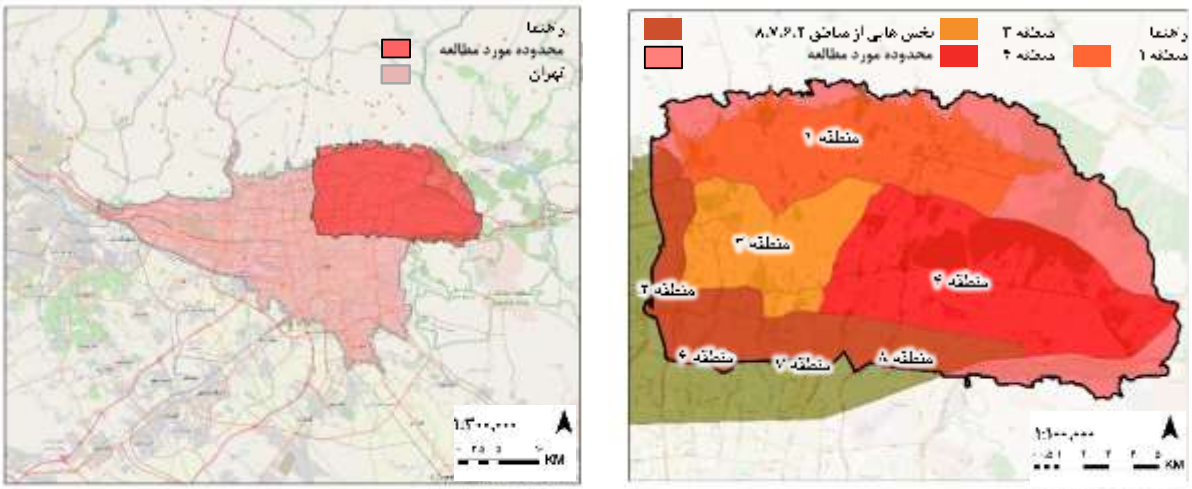
1- $effectiveness - cost$

به علت نزدیک بودن به ارتفاعات شمالی تهران واجد عناصر طبیعی است که درگذشته این بخش از تهران بستری از باغات شمیرانات و گلاب دره بوده است که هنوز با توجه به رشد متراکم شهری ما آثاری از لکه‌های باغات و بستر طبیعی را چه به‌صورت پارک‌های شهری و چه به‌صورت حاشیه رودخانه مشاهده می‌کنیم. این منطقه مهم‌ترین منطقه‌ای از تهران است که مستقیماً با بستر بکر طبیعی فرادست در ارتباط است.

منطقه سه شهر تهران با جمعیت ۳۶۹۵۰۲ نفر و به وسعت تقریبی ۲۹۲۱ هکتار، دارای ۱۲ محله در شمال شرقی تهران قرار دارد. این منطقه به بخش مرکزی شهر نزدیک است و کم-کم بافت متراکم شهری در حال حذف کردن شبکه‌های اکولوژیک است ولی هنوز در این منطقه ادامه عناصر طبیعی متأثر از منطقه یک را می‌شود مشاهده کرد. حضور لکه‌های مهمی چون مجموعه پارک ملت و اراضی عباس‌آباد در این منطقه پتانسیل‌های خوبی به‌عنوان زیرساخت‌های سبز شهری فراهم می‌کنند.

منطقه چهار شهر تهران با جمعیت ۹۹۰۱۴۶ نفر به وسعت تقریبی ۶۱۵۵ هکتار مربع و دارای ۲۰ محله شرقی‌ترین نقطه تهران است. منطقه چهار ازجمله مناطقی است که در آینده نزدیک از سمت شرق دستخوش تغییر سریع بافت اکولوژیکی خواهد بود این اتفاق به‌وسیله توسعه شهرک‌ها در طی دهه اخیر قابل‌مشاهده است. با رشد سریع شهرک‌های جدید ازجمله شهرک حکیمیه، شهرک شهید بهشتی و شهرک‌های موجود مانند شهرک امید لزوم حاکم شدن تفکر اکولوژیکی شهری برای پایدار شدن هرچه بیشتر شهر تهران و ارتقا کیفیت زندگی این منطقه در توسعه‌های جدید ضروری است. علاوه بر این حضور پارک جنگلی قوچک و لویزان در این منطقه برای تحقیق فوق ازلحاظ بستر اکولوژیک حائز اهمیت است.

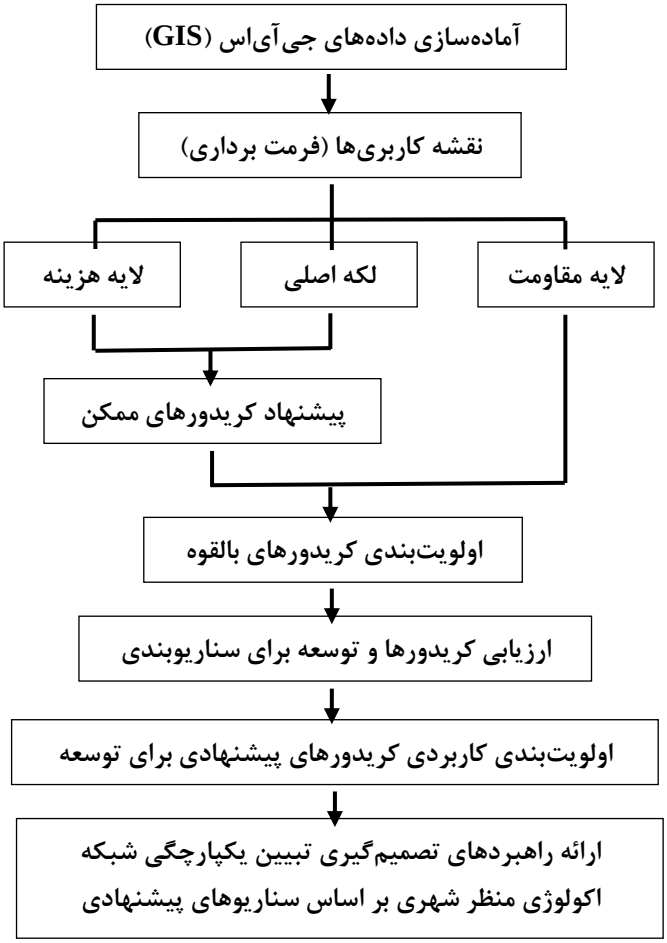
نظر به این‌که وقتی صحبت از یکپارچگی شبکه اکولوژیکی می‌شود، بهتر آن است که ما در یک دید کلان به ارتباطات بستر اکولوژیک توجه نماییم. لذا انتخاب بر اساس مرزبندی‌های مناطق شهری مناسب شناسایی ساختارهای اکولوژیک شهری نیست. ازاین‌رو در این تحقیق می‌بایست از بخشی از مناطق که در مجاورت مناطق یک، سه و چهار وجود دارد استفاده کنیم. به‌نحوی‌که در این گزینشِ بخشی به دنبال لکه‌هایی باشیم که بتوان ارتباط شبکه اکولوژیکی را به بخش مرکزی، غربی و جنوبی فراهم نماید. درنتیجه از لکه‌های مهمی چون پارک جنگلی سرخه‌حصار و رود دره درکه، بافت نارمک و محوطه سبز برج میلاد که در حاشیه مناطق مذکور (یک، سه و چهار) حضور دارند، نمی‌توان صرف‌نظر نمود. درنهایت بخش‌هایی از مناطق دو، شش، هفت و هشت به مناطق مذکور اضافه شود.



شکل ۲- محدوده موردمطالعه (پهنه شمال شرق تهران)

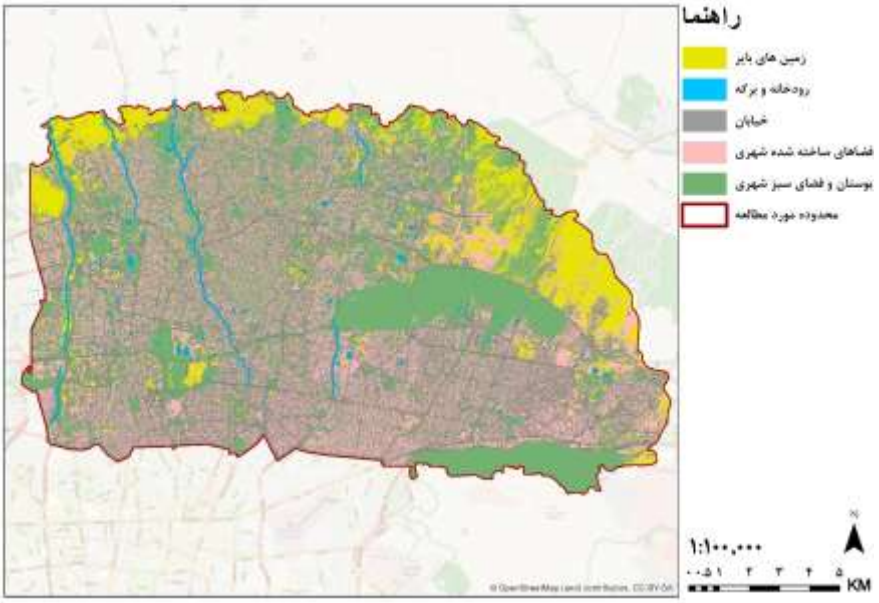
Figure 2. Case study: Northeast area of Tehran

سلسله‌مراتب روش تحقیق (شکل ۳): برای اینکه به فعال-سازی کریدورهای سبز اکولوژیک منظر شهری در پهنه شمال شرق تهران دست‌یابیم در ابتدا با استفاده از تئوری گراف و مدل پیشنهادی به کلاسه‌بندی اطلاعات ساختار شهر بر اساس سنجش یکپارچگی منظر اکولوژیک پرداختیم (شکل ۴) و سپس با ساده‌سازی این اطلاعات متناسب با ادبیات تصویری اکولوژی منظر به تولید لایه هزینه (شکل ۵) و لایه مقاومت (شکل ۶) و شناسایی لکه‌های اصلی دست‌یافتیم (شکل ۷ و جدول ۱). با استفاده از لکه‌های اصلی و لایه هزینه به کریدورهای پیشنهادی ممکن رسیدیم و با دخالت لایه مقاومت در آن، نقشه اولویت‌بندی کریدورهای پیشنهادی تولید شد. در انتها با تحلیل و بررسی از طریق ابزار جی‌آی‌اس به سناریوهای پیشنهادی دست‌یافتیم که در شکل ۳ روش انجام کار پژوهش به‌صورت دیاگرام مفهومی ارائه‌شده است (۲۳).



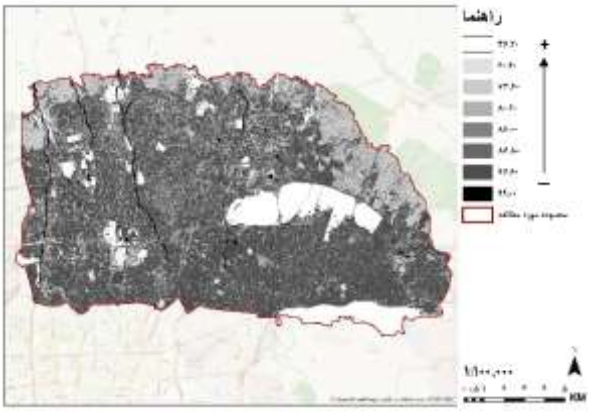
شکل ۳- مراحل روش تحقیق

Figure 3. Conceptual Process



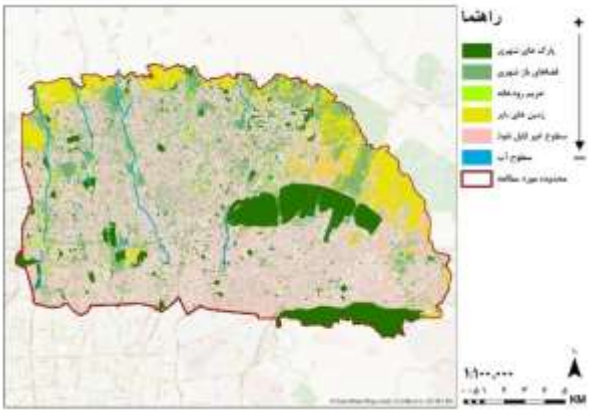
شکل۴- نقشه آماده‌سازی داده‌های مربوط به محدوده موردمطالعه

Figure 4. Data preparation



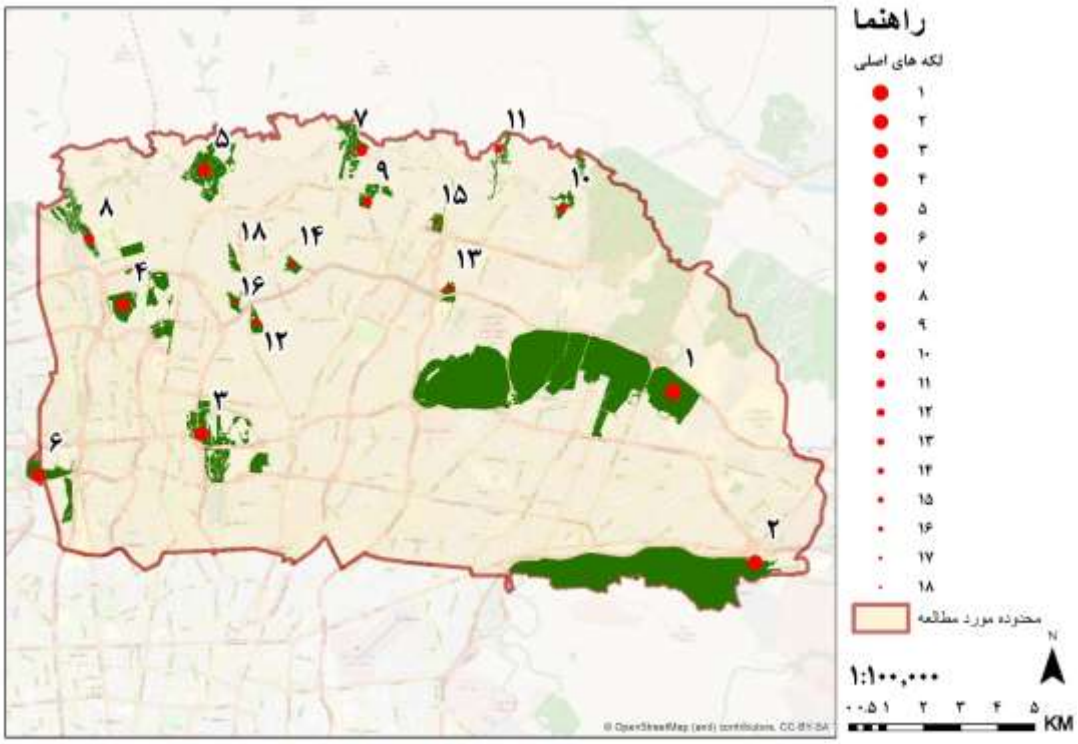
شکل۵- لایهٔ هزینه (عدد بیشتر نشان‌دهنده هزینه بیشتر است)

Figure 5.Cost layer



شکل۶- لایه مقاومت بر اساس مطلوبیت

Figure 6. Impedance layer



شکل ۷- لکه‌های اصلی؛ بر اساس تحقیق ژون و همکاران و کنگ و همکاران لکه‌های بزرگ‌تر از ۱۲ هکتار بدون لبه انتخاب‌شده است(۱۹).

Figure 7. Core patches

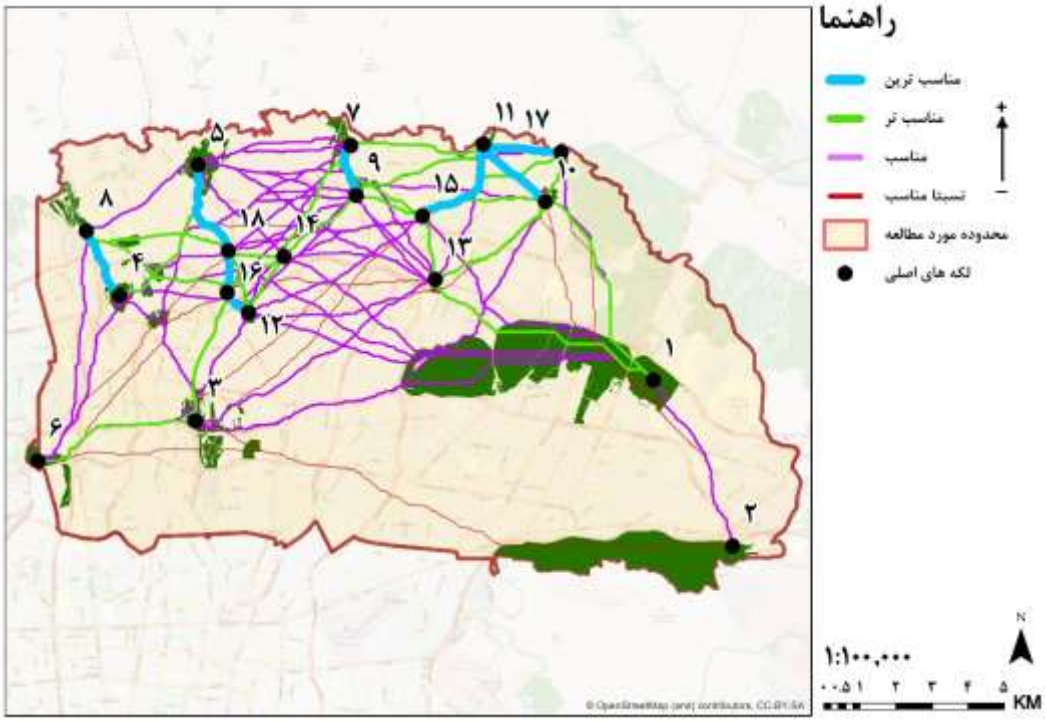
اولویت‌بندی کریدورها: نقشه اولویت‌بندی کریدورها (شکل ۸) یک شیپ فایل[1] چندنقطه‌ای است که موقعیت کریدورها و همچنین تعاملات آن‌ها را ارائه می‌کند. در محدوده موردمطالعه درمجموع ۱۵۳ کریدور در چهار گروه طبقه‌بندی‌شده است (مناسب‌ترین با ۹ کریدور، مناسب‌تر با ۲۵ کریدور، مناسب با ۷۷ کریدور و نهایتاً نسبتاً مناسب با ۴۲ کریدور) که عمدتاً از میان زمین‌های بایر، فضاهای سبز عمومی، شبکه‌های جاده‌ای و حریم درختان عبور می‌کند. با توجه به وضع موجود پهنه شمال شرق تهران و با توجه به توسعه‌های شهری سریع، زمین‌های بایر، یک امکان بسیار مناسب برای تغییر کاربری به فضاهای سبز به شمار می‌روند. این نقشه مشتمل بر کریدورهای پیشنهادی و اولویت‌بندی کریدورهای بین دو جفت گره است و با استفاده از آن برنامه‌ریزان و طراحان شهری می‌توانند به سناریو بندی چند کاربردی و ترکیبی از اولویت‌های مختلف دست یابند. هدف سناریوها انتخاب بهترین و کاربردی‌ترین پیشنهاد اجرایی با کمترین هزینه برای سازنده و محیط است.

1- ShapFile

جدول ۱- شناسایی لکه‌های اصلی بر اساس مساحت (هکتار)

Table 1. The identification of core patches base on area (ha)

کد لکه	شرح و نام لکه	مساحت
۱	جنگل‌های دست کاشت لویزان	۱۰۳۳ هکتار
۲	جنگل سرخه‌حصار	۵۷۲ هکتار
۳	اراضی عباس‌آباد و پارک جنگلی طالقانی	۱۳۱ هکتار
۴	بوستان ملت، صداوسیما، باشگاه انقلاب و نمایشگاه بین‌المللی	۱۱۸ هکتار
۵	کاخ سعدآباد	۸۹ هکتار
۶	برج میلاد	۵۸ هکتار
۷	بوستان جمشیدیه	۵۳ هکتار
۸	درکه	۵۱ هکتار
۹	بوستان نیاوران و کاخ نیاوران	۲۵ هکتار
۱۰	بوستان جنگلی سوهانک	۱۹/۵ هکتار
۱۱	تنگه یورد و مسیل ناصرآباد	۱۹ هکتار
۱۲	سفارت انگلیس	۱۵/۷ هکتار
۱۳	بوستان جهاد کشاورزی	۱۳/۵ هکتار
۱۴	پارک قیطریه	۱۳ هکتار
۱۵	لارک	۱۳ هکتار
۱۶	باغ سفارت روسیه	۱۲/۸ هکتار
۱۷	جنگل‌های دست کاشت ارتفاعات حدادیه	۱۲/۳ هکتار
۱۸	سفارت ترکیه و آلمان	۱۲/۱ هکتار



شکل۸- اولویت‌بندی کریدورهای بالقوه پیشنهادی

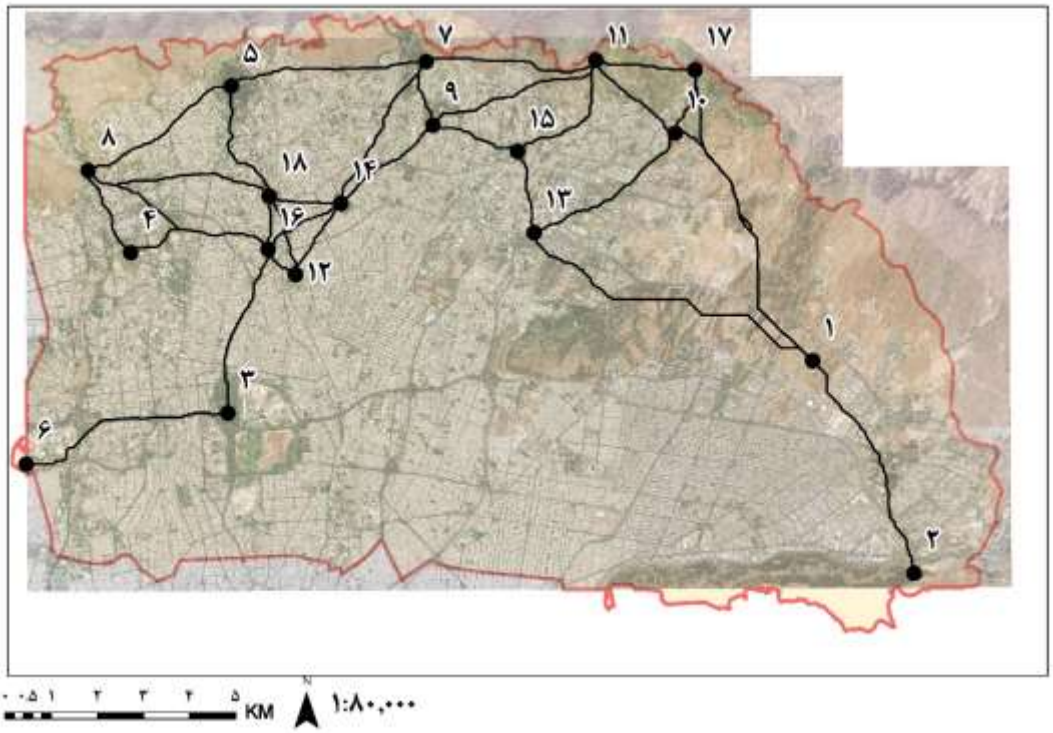
Figure 8. Prioritization of proposed potential corridors

یافته‌ها

توسعه سناریو و تجزیه‌وتحلیل شبکه: از تجزیه‌وتحلیل نقشه اولویت‌بندی کریدورها سه سناریو بر اساس نسبت بین تجمع مقدار مقاومتِ تمام کریدورها در شبکه[1]و مجموع تعاملی که تمام کریدورهای یک شبکه ارائه می‌دهند[2]در بین کریدورها توسعه دادیم. با شناخت وضع موجود و انطباق آن با تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از ابزار تحلیلی آنالیز شبکه‌ای کریدورها[3]و با توجه به گره‌های حائز اهمیت، تعداد و ضرورت کریدورها به خروجی سناریوهای پیشنهادی زیر دست‌یافتیم.

سناریو شماره یک (شکل ۹): شامل ۳۱ کریدور برتر با بالاترین شاخص گرانش است و درمجموع ۱۸ لکه اصلی را به‌صورت سلسله مراتبی و کمترین هزینه برای سازنده نشان می‌دهد که گره‌های حاشیه‌ای را به ترتیب ۵،۷،۱۱،۱۷،۱،۲ و ۸ به هم مرتبط می‌کند، یک تجمیع در میان گره‌های ۱۴، ۱۲، ۱۶ و ۱۸ نیز تشکیل‌شده است. لکه ۱۴ نقش فضای مفصلی بین گره‌های ذکرشده در بالا (۱۲،۱۶ و ۱۸) و گره‌های ۷ و ۹ را ایفا می‌کند.

1- L_{tot}
2- G_{tot}
3- Network analyses of corridors

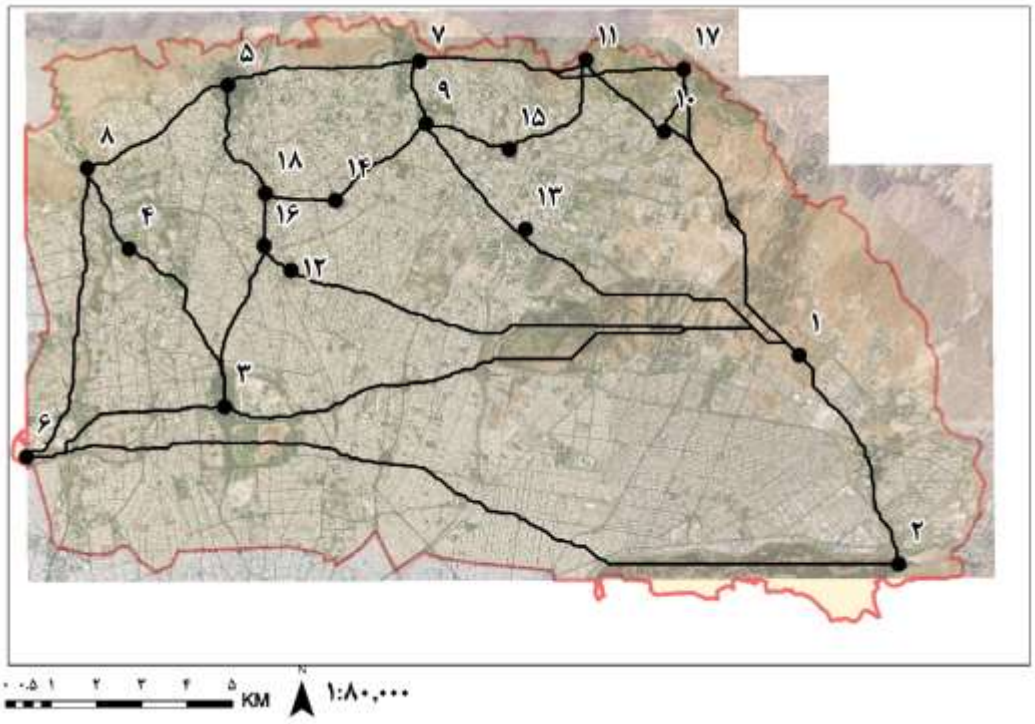


شکل۹- سناریو شماره یک

Figure 9. Senario No.1

این سناریو واجد ۹ کریدور از طبقه مناسب‌ترین (تمام کریدورهای این طبقه) ۱۸ کریدور از ۲۵ کریدور طبقه مناسب‌تر است و تنها ۴ کریدور از ۷۷ کریدور در طبقه مناسب و هیچ انتخابی از طبقه نسبتاً مناسب در این سناریو وجود ندارد. این بدان معناست که این سناریو بر اساس بهترین کریدورها ازنظر هزینه توسعه‌یافته است (سناریو کم‌هزینه برای سازنده). با گزینش این سناریو تنها می‌توانیم کریدورهای اصلی را با کمترین هزینه به یکدیگر ارتباط دهیم غافل از اینکه این ارتباط فقط معطوف به حاشیه شمال تهران است. درنتیجه توسعه این سناریو در آینده تنها پهنه شمال شرق تهران را در وضعیت موجود نگه خواهد داشت که این خود به‌گونه‌ای وضعیت داخلی پهنه را دچار عدم یکپارچگی منظر اکولوژیک در توسعه‌های آتی خواهد کرد.

سناریو شماره دو (شکل ۱۰): ساختار سناریوی شماره دو پیچیده‌تر از سناریوی شماره یک است. تعداد کل کریدورهای پیشنهادی در این سناریو ۲۵ عدد است. این سناریو واجد ۶ کریدور از خانواده مناسب‌ترین، ۸ کریدور از خانواده مناسب‌تر، ۱۰ کریدور در خانواده مناسب و ۱ کریدور از خانواده نسبتاً مناسب است.

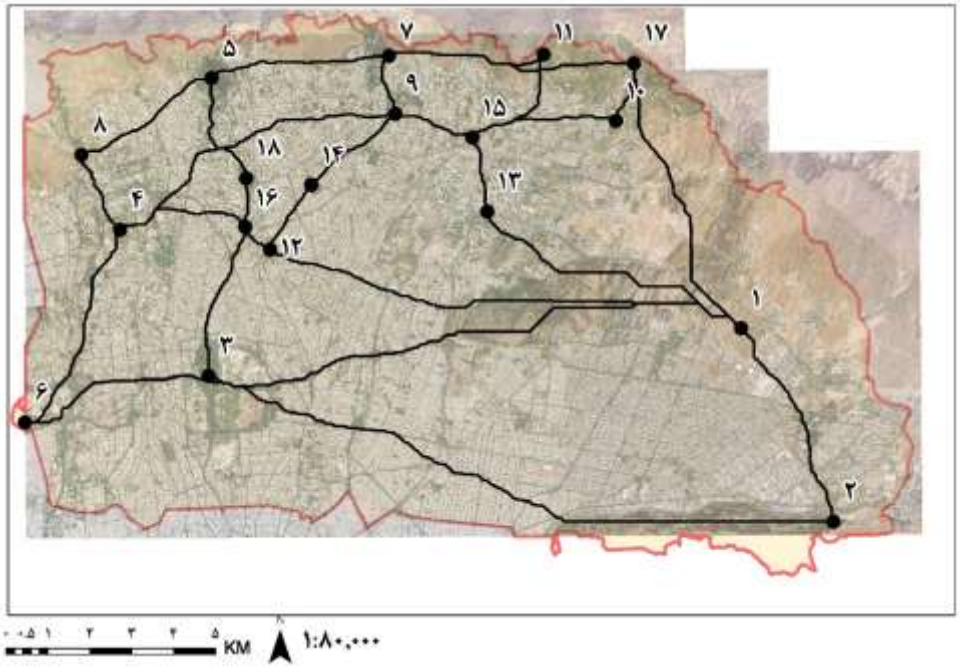


شکل۱۰ – سناریو شماره دو

Figure 10. Senario No.2

اشتراک اتصال لکه‌های ۵،۷،۱۱،۱۷،۱،۲ و ۸ نیز در این سناریو مانند سناریو قبل تکرار شده است. حضور کریدورهای اتصالی لکه‌های ۱۶،۱۲،۱ و کریدورهای ۶،۳،۱ همچنین کریدورهای ۶،۲ اتصال مرکزی در پهنه موردمطالعه را ایجاد کرده است ولی دیگر اتصال لکه ۱۸ به ۸ و ۱۶ به ۴ در این سناریو دیده نمی-شود. این سناریو هزینه سازنده و کاربر را به حداقل نمی‌رساند بدین معنی که کریدورهایی مانند کریدور ۶،۳،۱ و کریدور ۶،۲ جداگانه اتصال افقی را در منظر برقرار می‌کنند. همچنین سناریو فوق نسبت اثربخشی به هزینه را به حداکثر نمی‌رساند زیرا ارتباط‌هایی مانند ۱۶ به ۴ یا ۱۸ به ۸ در این سناریو پیشنهاد نشده است. به نظر می‌رسد که با پرداخت هزینه بیشتر می‌توان به ارتباطات همگن رسید درصورتی‌که علیرغم اینکه در این سناریو می‌بایست هزینه زیادی متحمل شد اما هنوز به پراکنش همگن کریدورها نمی‌رسیم. این نقص را می‌توان در متصل نشدن لکه‌های ۱۶ به ۴ و ۱۸ به ۸ و ۹ به ۴ به‌وضوح دید که هنوز به یک پراکنش ایده آل همگن برای یکپارچگی شبکه اکولوژیک منظر شهر نرسیده است.

سناریو شماره سه (شکل ۱۱): جمع کل کریدورهای پیشنهادی در این سناریو ۲۶ کریدور است و واجد ۷ کریدور در طبقه مناسب‌ترین، ۹ کریدور در طبقه مناسب‌تر، ۹ کریدور در طبقه مناسب و ۱ کریدور از طبقه نسبتاً مناسب است.



شکل۱۱ –سناریو شماره سه

Figure 11. Senario No.3

این سناریو اتصال‌ها را هم به‌صورت افقی و هم به‌صورت عمودی در ساختار منظر به وجود آورده است. برخلاف سناریو ۲ اتصال‌ها به‌وسیله پیشنهاد ۹ به ۴ و ۱۶ به ۴ جبران شده است. همچنین ما از اتصال لکه‌های ۱۴،۹، ۱۸ (سناریو شماره ۲) به ۱۲،۱۴،۹ تغییر داشته‌ایم که باعث تقویت ساختار عمودی شده است. همچنین اتصال لکه ۲ به ۶ (سناریوی ۲) از طریق اتصال ۲ به ۳ و سپس ۶ جایگزین شده است که پیشنهاد کریدور پرهزینه را به کمترین هزینه ممکن تغییر داده است. لازم به ذکر است اتصال لکه‌های ۱،۱۷،۱۱،۷،۵،۸ و ۲ مانند دو سناریوی قبلی تکرار شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه سه سناریو دارای کریدورها و ساختارهای توپولوژیکی متفاوتی بودند اما شباهت‌هایی در ایجاد یکپارچگی شبکه منظر شهری نیز دارند؛ که عبارت‌اند از:

- حضور کریدورهای پیشنهادی از لکه‌های ۵،۷،۱۱،۱۷،۱،۲ و ۸ که نشان‌دهنده لزوم و اهمیت کمربند سبز در جبهه شمالی و شمال شرقی شهر تهران است.
- اتصال لکه‌های ۳،۱۶،۱۸،۵ که اهمیت رود دره‌ها و ساختارهای رودخانه‌ای و حاشیه‌ای آن را در درون‌شهری را نشان می‌دهد. این کریدورها با شاخص‌های گرانش بالا نقش کلیدی در اتصال شبکه‌های ساختار سبز اکولوژیک شهری ایفا می‌کنند.

تجزیه‌وتحلیل این تحقیق از سه سناریو تمایز بین اثربخشی شاخص هزینه را بررسی کرده است به این معنا که اگرچه سناریوی اول شامل تمام کریدورهای طبقه مناسب‌ترین و تعداد قابل‌توجهی از خانواده مناسب‌تر (۱۸ عدد) بوده است اما این سناریو نتوانسته یکپارچگی را به وجود بیاورد (بااینکه شاخص اثربخشی در این سناریو کمترین حالت ممکن را برای سازنده داشت). لزوماً سناریو ارزان بهترین شبکه را به ما پیشنهاد نمی‌دهد. برای رسیدن به یکپارچگی می‌بایست در جست‌وجو رسیدن به پراکنش همگن کریدورها در ساختار فضایی شهری باشیم تا در منظر اکولوژیک شهری بتوانیم به یک منظر همگن شهری دست‌یابیم.

سناریوی سوم مطلوب‌ترین سناریوی پیشنهادشده است زیرا هم اتصال‌ها را افقی و عمودی دیده و هم سعی در کاهش هزینه

نسبت به سناریوی دوم برای سازنده داشته است. از خصوصیت بارز این سناریو پراکنش مطلوب در انتخاب از بین تمام کریدورهای پیشنهادی اولویت‌بندی شده در چهار طبقه است. این سناریو برای تکمیل اتصال‌های افقی به‌ناچار یک کریدور از طبقه کریدورهای نسبتاً مناسب را انتخاب کرده است بااین‌حال شیوه انتخاب در این طبقه نسبتاً مناسب بازهم الگوی کمترین هزینه را در بردارد (اتصال لکه‌های ۲ به ۳ و سپس ۶ به‌جای اتصال ۲ به ۶ در سناریو ۲). درنهایت می‌توان در نیمه جنوبی محدوده موردمطالعه که دارای بافت متراکم شهری است علاوه بر ایجاد کریدورها به ایجاد لکه‌های سبز اصلی (بیشتر از ۱۲ هکتار) پرداخت تا ساختار کریدورها یکپارچگی مطلوب‌تری را برای هرچه پایدارتر کردن ساختار شبکه اکولوژیک منظر شهری ایجاد کنند.

محققین به‌جز سه سناریوی پیشنهادشده و نقشه اصلی تمام سناریوها می‌توانند سناریوهای جایگزین دیگری را بر اساس خواسته‌های متعدد برنامه‌ریزان و تصمیم گیران شهری تولید نمایند. بهینه بودن شبکه و متعادل بودن هزینه توسعه آن در کنار عملیات حفاظت، احیا و بازنده سازی کریدورها همچنین میزان تأثیرگذاری بر یکپارچه‌سازی و افزایش شاخص انسجام در زیرساخت‌های سبز شهری ملاک انتخاب سناریو برتر می‌شود.

پیشنهادهایی برای پژوهشگران آتی:

- داده‌های اولیه تحقیق بسیار درروند تحلیل و نتایج اهمیت دارند. در اختیار نداشتن داده‌ها با دقت بالا برای تحقیقات مشابه، نتایج را از واقعیت دور می‌کند. این محدودیت می‌تواند با اخذ نقشه‌های دقیق جی‌آی‌اس از شهرداری‌ها به‌راحتی حل شود.
- در بررسی معیارهای شبکه اکولوژیک شهری مشاهده شد که فقدان داده‌های محیط‌زیست حیات‌وحش شهری از حلقه‌های گم‌شده بحث تئوری گراف در ایران است. باید در نظر داشت تئوری گراف در بررسی عملکردی و خوانش لکه‌های زیستی مهم وابسته به شناسایی گونه زیستی و قلمرو جانوری و گیاهی است. وجود داده‌های جی‌آی‌اس از زیستگاه‌ها، لکه‌های تولیدمثل و کریدورهای حرکتی گونه‌ها بر تحلیل و بررسی شناخت اکولوژی شهری بسیار اثرگذار است.
- وجود داده‌های تفکیکی پوشش گیاهی در دقت و نتیجه تحقیق بسیار اهمیت دارد، بااین‌حال که در تحقیق حاضر سعی شد تاج پوشش درختان اولویت بیشتری نسبت به فضاهای پوششی سبز پیدا کنند ولی اگر داده‌ها به تفکیک تاج پوشش و فاصله بن درخت و نوع گونه کاشته شده در اختیار محقق باشد، اولویت‌بندی و تولید لایه‌های هزینه و مقاومت باکیفیت بسیار بالاتری انجام می‌پذیرد.
- پیشنهاد می‌شود در کلان‌شهرهای دیگر در صورت استفاده از مدل جاذبه، محدوده موردمطالعه با توجه به ساختارهای اکولوژیک انتخاب شود، نه تقسیمات شهری موجود؛ انتخاب ساختارهای اکولوژیک به‌عنوان مرز، مانع حذف بسیاری از کریدورهای اکولوژیکی مهم شهری می‌شود. حریم اکولوژیکی شهر با تقسیمات شهری در بسیاری از بررسی‌های متداول هماهنگی ندارد.

References

1. Wu J. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. Springer; 2010. p. 1-4.
2. Steiner FR. The living landscape: an ecological approach to landscape planning: Island Press; 1991.
3. Bunn AG, Urban DL, Keitt TH. Landscape connectivity :a conservation application of graph theory. Journal of environmental management. 2000;59(4):265-78.
4. Harary F. Graph theory1969.
5. Cantwell MD, Forman RT. Landscape graphs: ecological modeling with graph theory to detect configurations

common to diverse landscapes. Landscape Ecology. 1993;8(4):239-55.
6. Keitt TH, Urban DL, Milne BT. Detecting critical scales in fragmented landscapes. Conservation ecology. 1997;1.(1)
7. Moilanen A. On the limitations of graph-theoretic connectivity in spatial ecology and conservation. Journal of Applied Ecology. 2011:1543-7.
8. Correa Ayram CA, Mendoza ME, Etter A, Salicrup DRP. Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications. Progress in Physical Geography. 2016;40(1):7.۳۷-
9. Gobattoni F, Pelorosso R, Lauro G, Leone A, Monaco R. A procedure for mathematical analysis of landscape evolution and equilibrium scenarios assessment. Landscape and urban planning. 2011;103(3-4):289-302.
10. Zhang Z, Meerow S, Newell JP, Lindquist M. Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. Urban forestry & urban greening. 2019;38:305-17.
11. Wanghe K, Guo X, Wang M, Zhuang H, Ahmad S, Khan TU, et al. Gravity model toolbox: An automated and open-source ArcGIS tool to build and prioritize ecological corridors in urban landscapes. Global Ecology and Conservation. 2020;22:e01012.
12. Etherington TR, Penelope Holland E. Least-cost path length versus accumulated-cost as connectivity measures. Landscape Ecology. 2013;28(7):1223-9.
13. Zhang Z. Enhancing landscape connectivity in detroit through multifunctional green corridor modeling and design 2017.
14. Zandbergen PA. Python scripting for ArcGIS: Esri press Redlands, CA; 2013.
15. Sklar FH, Costanza R. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: a review and prognosis. Ecological studies. 1991; 82: 239-88.
16. Wang F, Zhong D, Lu M, editors. Research on urban greenway planning in the old city of Jinan City based on GIS interpretation and Gravity model data. Third International Symposium on Computer Engineering and Intelligent Communications (ISCEIC 2022); 2023: SPIE.
17. Zhao Y, Zhang G, Zhao H. Spatial network structures of urban agglomeration based on the improved Gravity Model: A case study in China's two urban agglomerations. Complexity. 2021;2021:1-17.
18. Linehan J, Gross M, Finn J. Greenway planning: developing a landscape ecological network approach. Landscape and urban planning. 1995;33(1-3):179-93.
19. Kong F, Yin H, Nakagoshi N, Zong Y. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and Gravity modeling. Landscape and urban planning. 2010;95(1-2):16-27.
20. Davies C, McGloin C, MacFarlane R, Roe M .Green infrastructure planning guide project. Final Report. 2006.
21. Hellmund P. Quabbin to Wachusett wildlife corridor study. Harvard Graduate School of Design, Cambridge, MA. 1989.
22. Management and planning organization of Tehran province.

Statistical Yearbook of Tehran Province 2019. (In Persian)

23. Mousavi Fatemi S H, Habib F, Shahabian P. Gravity model, an automatic method for prioritizing urban landscape ecology corridors (Case study: Northeast area of Tehran). Haft Hesar Journal of Enviromental Studies. In-print. (In Persian)