



Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 1, Spring 2020

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Application of Graph and Least-Cost Theory to Urban Green Space Network Development and Enhancing Landscape Ecological Connectivity (Case Study: Tabriz city)

Document Type
Research Paper

Received
September 3, 2019

Accepted
March 2, 2020

Hasan Mahmoudzadeh*, Hasan Masoudi

Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.293566.1007951](https://doi.org/10.22059/JES.2021.293566.1007951)

Abstract

One of the challenges facing cities as the most complex landscapes is population growth and land use, followed by land use changes and fragmentation of urban lands, especially green and ecological spaces. The purpose of this study was to evaluate and enhance the ecological continuity of Tabriz city using modelling of urban ecological networks. At first, the ecological continuity status of the city was evaluated using connectivity indicators (Cohesion and IIC) and Fragstats and Conefor software. Both indicators prioritized the most important green spots in Tabriz metropolitan area while measuring the ecological continuity of landscape. Finally, with the most important green spots and land use maps, the optimal corridors were prepared based on the layer of land cover and graph techniques with minimum cost using Linkage Mapper software. The results of this study show that by applying the principles of land landscape ecology and concepts in graph theories and minimum cost together to simulate and analyse ecological networks and thus the optimal development of urban green networks.

Keywords: Ecological network, Graph theory, Landscape connectivity, Landscape fragmentation, Least-cost theory.

* Corresponding author

Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

Expanded Abstract

Introduction

Urban areas, including the most sophisticated landscapes and mosaics, consist of natural and artificial elements that accommodate different types of land use and are the main attraction of the human population due to the numerous services provided. Population growth and the need to meet human needs have led to the expansion of the use of natural resources and the conversion of ecosystems to urban areas, and by increasing urban construction, the demand for land has intensified in many countries, especially developing countries. The need for land and housing, which is constantly increasing today, leads to land use change and land fragmentation. Landscape disruption is a human process and a dynamic process over time involving changes in the type of land cover and the breakdown of a single habitat or ecosystem into discrete parts. Green spaces are recognized as part of urban landscape and remnants of natural habitats in the city that have numerous social, economic and environmental functions and benefits and play an important role in sustainable development and ecological integration in landscape. However, in recent decades, the expansion of cities and rapid urbanization have destroyed and transformed these spaces into smaller parts, which not only endangers the health of ecosystems, but also impacts the quality of life of citizens and residents of these areas. In this regard, various studies have found the most effective way to deal with the problems of urbanization and ecological cohesion is to strengthen the rational and sustainable relationship between human, city and nature resulting in the emergence of concepts such as ecological networks. The concept of ecological networks is used as a sustainable and appropriate approach to improve the ecological values of urban green spaces and generally through protecting existing green spaces, creating new spatial forms, repairing and maintaining existing connections between green patches, and constructing corridors or corridors. A new ecology is developing. Tabriz as the largest city in the northwest of the country, is the most important center of population attraction in this region of the country and is constantly expanding its physical reach. In recent decades, the city has witnessed many changes in the amount and type of urban uses, especially in the ecological arena, due to rapid population growth and urbanization. So, many of the city's gardens and landscapes have become over time demolished, fragmented, and reused. In this regard, this research has been designed with the aim of ecological analysis of landscape of Tabriz city and presenting solutions to improve its condition.

Materials and Methods

Tabriz city is located in the center of East Azarbaijan province in the northwest of Iran and is the largest city in the region with an area of 131 km² and a population of over 1.7 million people. The present study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in nature. In order to achieve the aims of the research, library studies were carried out and then based on the studies, the research framework and the required data were prepared and finally, the results and findings of the research were obtained. The conceptual model of research, based on the research background and the authors' studies, consists of two main steps: First, the ecological continuity assessment of Tabriz metropolitan landscape based on the continuity indices and identifying the most important urban green spots. Then, design the optimal corridors and build an ecological network based on the findings of previous steps using graph theories and minimum cost were done.

To evaluate the ecological continuity of Tabriz, two of the most important indices (Cohesion and IIC) at grade level and stain were measured and analyzed using Fragstats 4.2 and Conefor 2.6 software. The Cohesion Stability Index (Cohesion) calculates the degree of consistency and consistency of patches on the landscape based on measurements of the area and environment of the patches, which can be measured in Fragstats software. The Integrity Integrity Index (IIC) measures the functional consistency of the landscape using the concept of graph theory using Conefor software. Finally, by analyzing the results of the correlation indices, the most important green spots (core or core spots) of

Tabriz were identified. These spots play an important role in the creation of continuous green networks and consequently increase the connectivity of urban ecological spaces and promote the quality of urban environment.

In the second stage of research, using the most important green spots, using Linkage Mapper tool, based on graph and minimum cost concepts, the ecological continuity of Tabriz city and continuous network of corridors and ecological spots were improved. This requires three input data (patches or core habitats in vector format, resistance or cost layer, and Euclidean patches text file), obtained by various tools in ArcMap software. By calling all of the Linkage Mapper software input files and applying the appropriate settings, the lowest cost corridors are plotted, passing mainly the areas where the coverage is less resistant.

Discussion of Results and Conclusions

The results of Cohesion index measurement in Fragstats software, based on the type and nature of land use in the landscape of Tabriz metropolitan area indicate that the lands constructed in Tabriz metropolitan area have the highest correlation with 99/751 and the available ecological spaces (lands). Water, gardens and green spaces are the least correlated among land cover. The analysis of IIC index also shows the most consistency of spots 32, 33 and 34 in landscape of Tabriz city. Finally, analysing the results of the correlation indices analysis (IIC and Cohesion). Also, Google images of green spots of higher importance (based on the patch area and its location in landscape) in Tabriz were used. These spots, which are generally located on the outskirts of the city, play a key role in creating a continuous network of spots and corridors and improving environmental quality.

To improve the ecological connectivity of the landscape, a network of low-cost corridors may be proposed, which usually extend to areas with less land cover, less resistance to displacement and networking. For this purpose, the highest resistance (100 and 80) was made to urban areas and the least resistance (1-50) for green lands (parks, gardens and agricultural lands), vacant land and irrigated lands as the most suitable areas for networking. Given the weight intervals and cost layers, the corridor network only crosses the points of least resistance and connect from one habitat core to another. Finally, communication corridors based on the least cost and graph theory were identified by Linkage Mapper software, which connect the most important green spots in Tabriz metropolis.

Most of the corridors created were drawn around the city like a green belt, mainly due to the location of the main habitats in the suburbs. The central part of the city is also very resistant, so it is not possible to create ecological corridors in this part of the city. The main idea of this research is to create corridors, use of green lands, urban rivers, as well as waste and vacant land in the city that has been abandoned or owned by incompatible land uses. Proper utilization of vacant and waste land for the development of urban ecological networks can provide many ecosystem and social services to residents and improve the quality of urban environment.

Studies at the Tabriz metropolitan area show that the destruction of habitat and urban green patches has been the result of years of poor planning and land management, which would be even more difficult if continued. Therefore, based on the results of this research, using the principles of land landscape ecology and concepts in graph theory and the least cost can be used to simulate and analyse ecological networks and ultimately to provide optimal solutions and operational solutions and optimal development of urban ecological networks.

کاربرد مفاهیم گراف و حداقل – هزینه در توسعه شبکه فضای سبز شهری و بهبود پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین (مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز)

حسن محمودزاده*، حسن مسعودی

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 Fragstats و Conefor 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، کریدورهای 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.

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

۱. سرآغاز

موزاییکی متشکل از عناصر طبیعی و مصنوع هستند که در خود، انواع مختلف کاربری اراضی را جای داده‌اند (پریور و همکاران، ۱۳۹۲) 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

سیمای سرزمین، 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

Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول:

DOI: [10.22059/JES.2021.293566.1007951](https://doi.org/10.22059/JES.2021.293566.1007951)

DOR: [20.1001.1.10258620.1399.46.1.7.6](https://doi.org/20.1001.1.10258620.1399.46.1.7.6)

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

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^۳ سیمای سرزمین 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 (صادقی‌نیس، 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

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 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^۲ 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., 2016; Pierik et al., 2011). بنابراین برای کاهش آثار شهرنشینی، سیمای سرزمین نه تنها باید از نظر

عمدتاً به تحلیل تغییرات صورت گرفته در 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. رضوانی‌مهریان 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. خواجه‌برج سفیدی و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی به ارزیابی سناریوهای توسعه اتصال فضاهای اکولوژیک در شهر اهواز به منظور 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 محیط بلافصل شهر، یک راهبرد پابرجا در نظام برنامه‌ریزی و طراحی شهری محسوب می‌شود. تحلیل سطح یکپارچگی در شهر اهواز، برتری

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 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 (محمدی و رخشانی‌نسب، ۱۳۹۰). در همین راستا، مفاهیمی همچون شبکه‌های اکولوژیکی^۴ و سبز که از عناصر خطی (کریدورها یا راهروها) و غیرخطی (لکه‌ها)^۵ 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 بنیس، 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

سرزمین و برطرف کردن شکاف بین اکولوژی شهری با استفاده از اتصال مناظر، به ویژه 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 اکولوژیکی است، می‌تواند به صورت مؤثر در برنامه‌ریزی فضاهای سبز و آبی استفاده شود. Zhang (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای به ارائه راهکارهایی برای بهبود پیوستگی اکولوژیکی شهر دیترویت آمریکای شمالی از طریق مدل‌سازی و طراحی کریدورهای اکولوژیکی 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 حیات وحش 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 اقصی 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^۷ شهر شده است (رحیمی، ۱۳۹۲). بر اساس اسناد تاریخی، در ادوار گذشته در شهر تبریز باغ‌های متعددی وجود داشته و اغلب 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

سناریوی کریدور رودخانه را نسبت به کریدور خطرآهنگ در عامل راهبردی افزایش ارتباط فضاهای اکولوژیک نشان می‌دهد. شفیع‌نژاد 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 فضای 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. Mouggiakou و Photis (۲۰۱۴)، در یک بررسی به ارزیابی و برنامه‌ریزی شبکه فضای سبز شهری به منظور 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، به منظور ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه سبز شهری در مناطق شهری ساخته شده و مترام 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 اکولوژیکی از فضاهای سبز و کریدورهای بهینه طراحی شد. Xio (۲۰۱۷)، در رساله دکتری خود به بررسی چارچوبی اجتماعی - اکولوژیکی 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 - اکولوژیکی و شاخص‌های مؤثری را به کار گرفته و توسعه داده است که در نقاط جغرافیایی مختلف، متخصصان از آن استفاده کنند. این تحقیق با هدف کلی، کاهش تکه‌تکه شدن سیمای

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 به روزرسانی 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 به صورت 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 (مهندسین 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.

۲-۲. روش انجام تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی است. به منظور 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

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 پر اهمیت 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، به عنوان 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 به منظور توسعه مطلوب شهر و بهبود پیوستگی اکولوژیکی آن دارد.

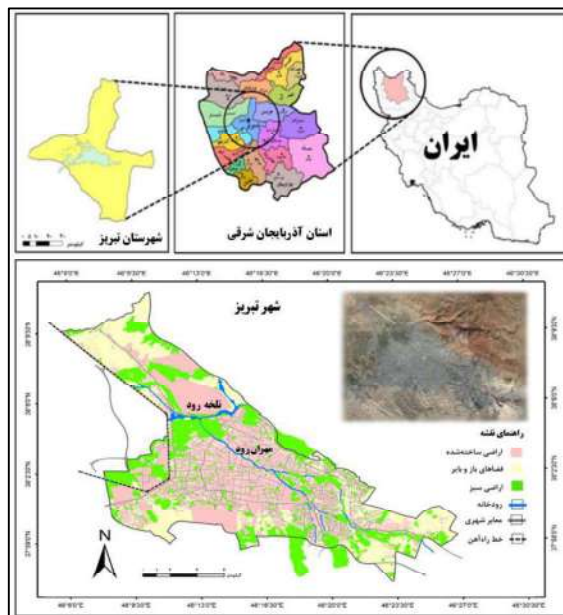
۲. مواد و روش‌ها

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 ملایم 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

قبل و با استفاده از تئوری‌های گراف و حداقل هزینه (شکل ۲).

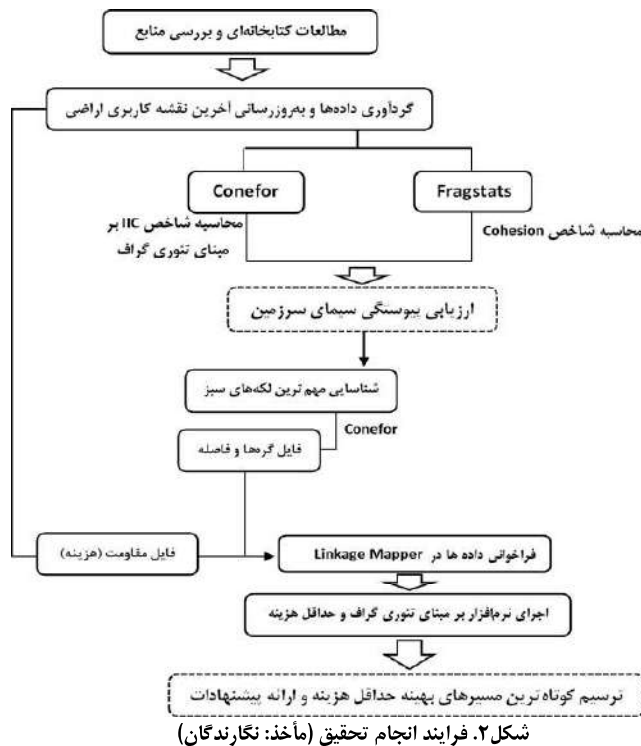
مهم‌ترین لکه‌های سبز شهری، سپس، طراحی کریدورهای بهینه و ایجاد شبکه اکولوژیکی بر اساس یافته‌های مراحل



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

اندازه‌گیری و بهبود پیوستگی در مطالعات سیمای سرزمین به‌کار 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 به‌کار 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 به‌عنوان یک سطح هزینه،

پودات و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی روش‌های مختلف اندازه‌گیری پیوستگی، کاربرد توأمان مدل‌سازی حداقل هزینه^۱ و تئوری گراف^۲ 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 به‌کار 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 (رضانی‌مهریان 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 مجموعه‌ای از متریک‌ها در سه سطح (لکه، کلاس و سیمای سرزمین) استفاده می‌شود (McGarigal, 2002). نرم‌افزار Conefor، پیوستگی عملکردی^{۱۱} 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

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 وزن دار هزینه (لایه مقاومت)^۸ تهیه شود. این لایه نیز یک لایه رستری است که در آن ارزش هر پیکسل نشان‌دهنده هزینه تجمعی از مرکز لکه تا آن پیکسل است. اگر برای تمام لکه‌ها مسیرهای حداقل هزینه^۹ 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 مهربان و فریادی، ۱۳۹۳).

بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی برای ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین وجود دارد که در این میان نرم‌افزارهای Conefor و Fragstats از مقبولیت بیشتری برخوردارند. نرم‌افزار Fragstats برای کمی کردن و تحلیل الگوی مکانی ساختار سیمای سرزمین (پیوستگی ساختاری)^{۱۰} با استفاده از

سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند که با استفاده از نرم‌افزار Conefor و بر مبنای مفهوم تئوری گراف به دست می‌آید.

پیوستگی لکه‌های متعلق به یک نوع کاربری خاص (برای مثال کاربری فضای سبز) نیز به کار می‌رود (Zhang, 2017). شاخص انتگرال پیوستگی (IIC)^{۱۲}، پیوستگی عملکردی

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

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

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

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 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،

این شاخص علاوه بر در نظر گرفتن پیوستگی بین لکه‌های زیستگاهی، تابعی از پیوستگی درون لکه‌های 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)^{۱۳} 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 حیات‌وحش کاربرد دارد. اما در این تحقیق، این ابزار برای ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی و طراحی کریدورهای

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.

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.

۳. یافته‌ها و نتایج

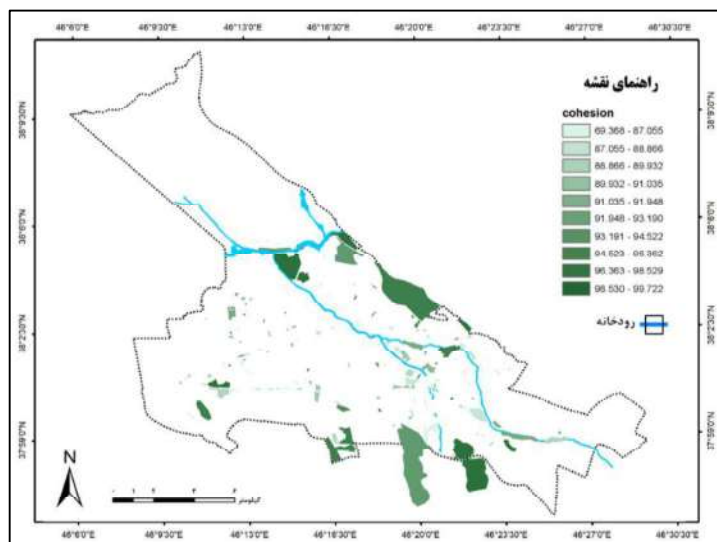
۳-۱. ارزیابی پیوستگی اکولوژیکی شهر تبریز و شناسایی مهم‌ترین لکه‌های سبز شهری

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

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

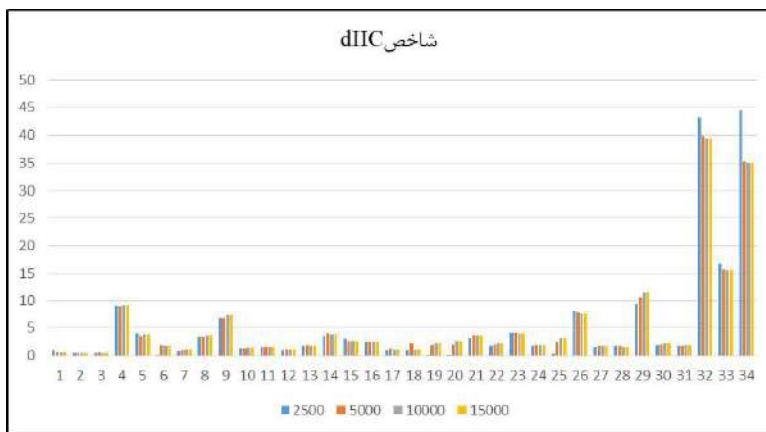
مأخذ: نگارندگان



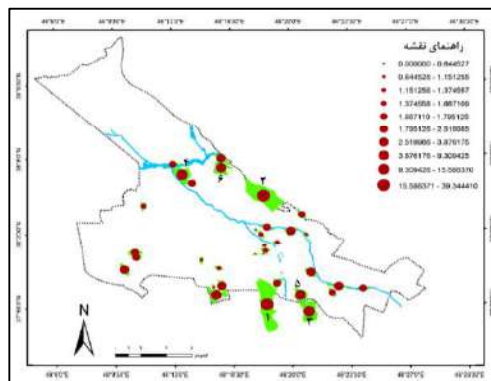
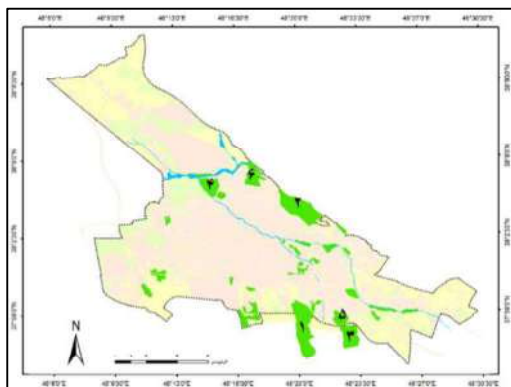
شکل ۳. مقادیر شاخص Cohesion برای اراضی سبز کلان‌شهر تبریز در سطح لکه‌ها (لکه‌های با رنگ تیره‌تر، پیوستگی بیشتری در مقایسه با لکه‌های کم‌رنگ‌تر دارند).

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 گوگل ارث، 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 عباس میرزا، 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 به‌عنوان زیستگاه‌های اصلی در توسعه شبکه‌های سبز لحاظ شوند.

شاخص انترگرال 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 لین 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).

لکه‌های سبز، شبکه پیوسته‌ای 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 ارزش گذاری 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 اکولوژیک شهر تبریز اعمال شده است. به‌طور 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 باغ‌لارباغی، 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.

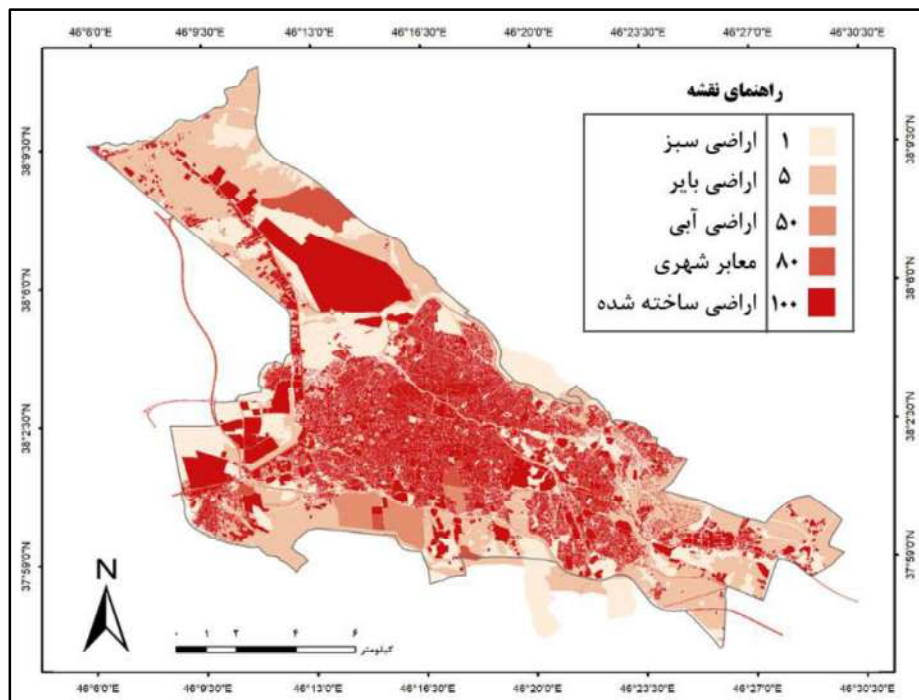
۳-۲. ترسیم کریدورهای بهینه و ارتقاء پیوستگی اکولوژیک سیمای سرزمین شهر تبریز

همان‌طور که نتایج نشان داد، سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز در عرصه اکولوژیک 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 اکولوژیک 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

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



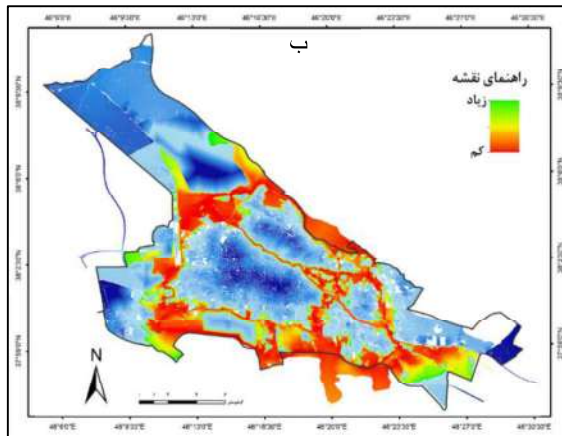
شکل ۶. نقشه لایه مقاومت/ هزینه برای هر کدام از کاربری اراضی شهر تبریز، اعداد درج شده در نقشه در واقع میزان مقاومت هر کدام از کاربری اراضی را نشان می‌دهند که بر اساس تحلیل‌های نویسنده‌گان به دست آمده‌اند (مأخذ: نگارندگان)

می‌یابد؛ بنابراین احتمال ایجاد کریدورهای نهایی در این قسمت‌ها بیشتر خواهد بود.

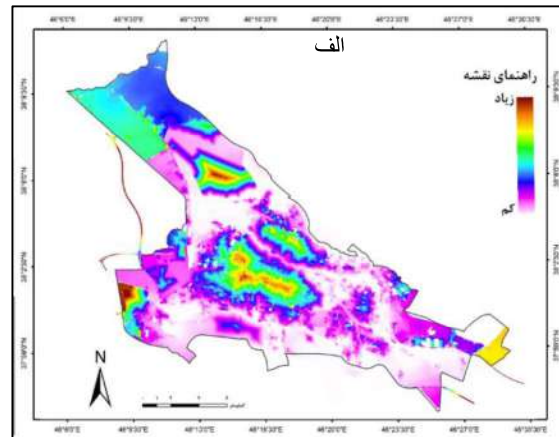
در نهایت، کریدورهای ارتباطی بر مبنای حداقل هزینه توسط نرم‌افزار شناسایی و ترسیم شد و راهروهای با هزینه بالاتر حذف شد (شکل ۸). کریدورهای ایجاد شده بر اساس لایه مقاومتی که به نرم‌افزار معرفی شده است؛ مهم‌ترین لکه‌های سبز کلان‌شهر تبریز را به یکدیگر متصل کرده‌اند. لذا هر قدر لایه مقاومت تهیه شده از دقت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

همان‌طور که در شکل شماره (۸) مشخص است، عمده کریدورهای ایجاد شده، همانند کمربند سبزی در پیرامون شهر کشیده شده‌اند؛ که دلیل اصلی آن نیز قرارگیری زیستگاه‌های 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

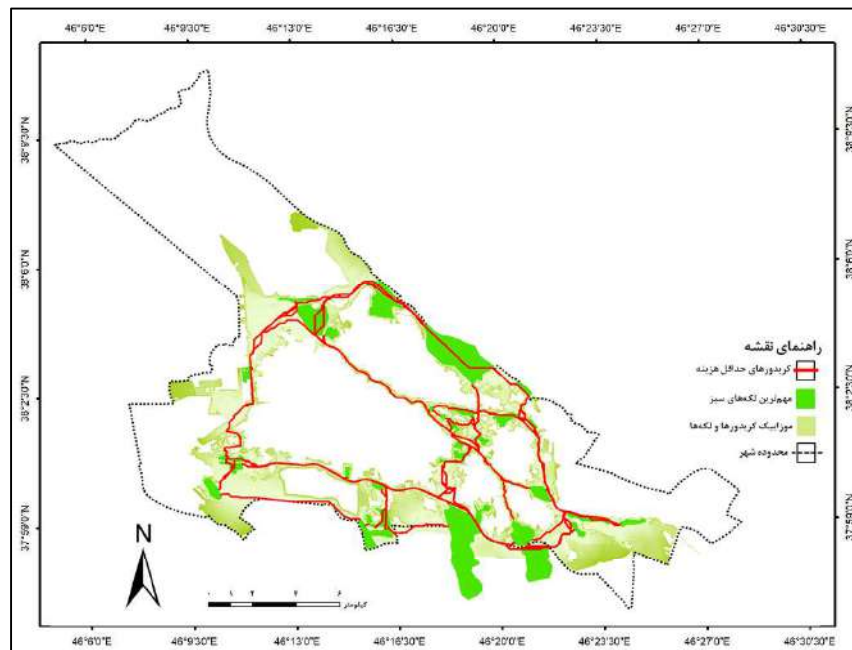
با در نظر گرفتن فواصل وزنی و لایه هزینه، شبکه کریدورها فقط از نقاطی عبور می‌کند که کم‌ترین مقاومت را دارند. از همین رو مسیرهای حداقل هزینه (مسیرهایی که در آنها کم‌ترین مقاومت وجود دارد) از هسته یک زیستگاه به هسته زیستگاه دیگر و بر اساس فواصل وزن‌دار هزینه‌ای ایجاد می‌شود (شکل ۷-الف). این مرحله به کاربران 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 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



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



شکل ۷. الف) نقشه فواصل وزن دار هزینه



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

ضمن ممانعت از تخریب بیش از حد فضاهای اکولوژیک، 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

امکان ایجاد کریدورهای اکولوژیکی تقریباً ناممکن بوده و تنها مسیر اکولوژیکی شهر در این بخش، رودخانه تلخه‌رود است که از شرق شهر تا غرب آن امتداد دارد و لکه‌های مستقر در مسیر را به هم متصل می‌کند. این امر بر این نکته تأکید می‌کند که حفاظت و توسعه لکه‌های حد واسط و فضاهای سبز باقی‌مانده در بخش‌های درونی شهر و نیز زمین‌های بایر و خالی بیش از پیش حائز اهمیت است و باید

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 آشفته‌گی 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 سرزمین شهر تبریز و طراحی شبکه‌های سبز شهری تدوین شده است تا از منظر علمی به این مسئله پردازد 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 فضاهای 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 فضاهای 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 به‌عنوان زیستگاه‌های اصلی شهر عمدتاً 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 به‌عنوان لکه‌های حدواسط در نظر گرفته شدند؛ لکه‌هایی که علی‌رغم مساحت کمی که دارند، 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

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 آشفته‌گی 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 سرزمین شهر تبریز و طراحی شبکه‌های سبز شهری تدوین شده است تا از منظر علمی به این مسئله پردازد 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

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 به‌منظور 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 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 به‌کارگیری نتایج این تحقیق، می‌تواند در توسعه شبکه‌های اکولوژیکی شهر تبریز کارآمد باشد.

یادداشت‌ها

1. landscape
2. fragmentation

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 اتصالی بر اساس مبانی تئوری گراف و حداقل هزینه ایجاد شدند؛ به صورتی که بهینه‌ترین مسیرهای اتصالی 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 مسیرها 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 در کلان‌شهر تبریز نیز گواه بر این مورد است و نشان می‌دهد تخریب زیستگاه‌ها و از هم‌گسیختگی 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

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

منابع

- پریور، پ.، فریادی، ش.، یاورى، ا.ر.، صالحى، ا. و هراتى، 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.، میکایلی تبریزی، ع.ر. و گوردن، ا. ۱۳۹۶. کاربرد تئوری گراف در مطالعات اکولوژی سیمای سرزمین نمونه موردی: سنجش پیوستگی زیستگاه‌های کلان‌شهر ملبورن، بوم‌شناسی کاربردی، 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.، طیبیان، 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 رخشان‌نسب، 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 زرندیان، 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 Gomasasca, 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.