Town & Country Planning *https://jtcp.ut.ac.ir/*
Vol. 13, No. 2, Autumn & Winter 2021-2022 *Print ISSN: 2008-7047*
Manuscript Type: Research Paper *Online ISSN: 2423-6268*
DOI: 10.22059/jtcp.2020.313025.670169

An Analysis of the Continuity and Cohesion of Urban Ecologic Network Through a Graph Theory Model

Rasol Gorbani[1], Shahrivar Rostaei[2], Pooran Karbasi[3*]

1. Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. PhD of Geography and Urban Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received: October 4, 2020; Accepted: December 13, 2020)

Abstract

Nowadays, problems related to the environment, society, and identity of cities derives from their expansion and the increasing penetration of natural space by human-made space. Green spaces are deemed not only as a green patch at the disposal of the masses, but also as a factor for the improvement of citizens' life. On the other hand, the destruction and removal of homogeneity and continuity of natural infrastructures and green networks threatens the biological diversity and brings about limitations for development. Therefore, continuity of the urban green spaces provides habitats and corridors that help the preservation of biological diversity. To develop green space networks, increase continuity, and revive biological diversity, urban planners have used landscape ecology principles. Adopting a descriptive-analytical method and review of the scientific resources, this study investigated landscape connections and their importance for the preservation of biological diversity. Maragheh city green space network was modeled in GIS according to Graph theory. Then, the ecologic continuity analysis was carried out through Conefor software along with Integral Continuity (IIC) measure and point picking algorithm, and the urban green patches were valuated. At the end, the potential corridors in Maragheh city were identified using the least cost method, which then developed and improved the green space networks. The results of this study reveal that the majority of the built corridors are located around the city like a green belt. The main reason for this is the positioning of the main habitats in the city outskirts. Moreover, the green space network developed based on Graph theory made the complex landscape simpler and more organized, and helped with the identification of green space and the guidance of urban planning for the protection of biological diversity.

Keywords

ecological networks, continuity, Graph theory, Maragheh.

* Corresponding Author, Email: poorankarbasi@gmail.com

آمایش سرزمین
دورهٔ ۱۳، شمارهٔ دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صفحات ۳۰۹-۲۸۱ (پژوهشی)

Print ISSN: 2008-7047
Online ISSN: 2423-6268
http://jtcp.ut.ac.ir

تحلیلی بر تداوم و پیوستگی شبکهٔ اکولوژیک شهری با مدل تئوری گراف

رسول قربانی[۱]، شهریور روستایی[۲]، پوران کرباسی[۳*]

۱. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳. دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۳ ـ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳)

چکیده

امروزه مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی و هویتی شهرها ناشی از وسعت گرفتن آن‌ها و نفوذ هر چه بیشتر فضاهای انسان‌ساخت به فضاهای طبیعی است. فضاهای سبز نه‌فقط به مثابهٔ لکه‌ای سبز در برابر توده‌ها بلکه به منزلهٔ عاملی برای ارتقای زیست شهروندان شناخته می‌شوند. از طرف دیگر تخریب و از بین بردن تجانس و پیوستگی زیرساخت‌های طبیعی و شبکه‌های سبز تنوع زیستی را تهدید می‌کند و محدودیت‌هایی برای توسعه به وجود می‌آورد. ازین‌رو، پیوستگی به وسیلهٔ فضاهای سبز شهری زیستگاه‌ها و کریدورهایی را فراهم می‌آورد که به حفظ تنوع زیستی کمک می‌کند. برنامه‌ریزان شهری برای توسعهٔ شبکه‌های فضای سبز و افزایش پیوستگی و حفظ و احیای تنوع زیستی از اصول اکولوژی چشم‌انداز استفاده کرده‌اند. در این پژوهش با روش توصیفی- تحلیلی و مرور منابع علمی ارتباطات سیمای سرزمین و اهمیت آن برای حفظ تنوع زیستی بررسی شد. بر اساس تئوری گراف، شبکهٔ فضای سبز شهر مراغه در محیط GIS مدل‌سازی شد. سپس آنالیز پیوستگی اکولوژیک شهر با استفاده از نرم‌افزار Conefor همراه کاربرد سنجهٔ انتگرال پیوستگی (IIC) و الگوریتم برداشت نقطه صورت گرفت و لکه‌های سبز شهری ارزش‌گذاری شدند. در نهایت کریدورهای بالقوه در شهر مراغه با استفاده از روش کمترین هزینهٔ مسیر شناسایی شدند و شبکه‌های فضای سبز را توسعه و بهبود دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد عمدهٔ کریدورهای ایجادشده همانند یک کمربند سبز در اطراف شهر کشیده شده‌اند؛ که دلیل اصلی آن نیز قرارگیری زیستگاه‌های اصلی در حومهٔ شهر است. همچنین، شبکهٔ فضای سبز توسعه‌یافته بر اساس تئوری گراف چشم‌انداز پیچیده را ساده‌تر و منظم‌تر می‌سازد و به شناسایی فضای سبز و هدایت برنامه‌ریزی شهری برای حفاظت از تنوع زیستی کمک می‌کند.

کلیدواژگان

پیوستگی، تئوری گراف، شبکه‌های اکولوژیکی، مراغه.

---

* رایانامهٔ نویسندهٔ مسئول: poorankarbasi@gmail.com

مقدمه

توسعهٔ شهرها و دخل و تصرف صورت‌گرفته در آن‌ها باعث اختلال در منظر و بر هم خوردن توازن و تعادل بین شبکه‌های شهری و شبکه‌های طبیعی شده؛ طوری که شبکه‌های شهری در حال مسلط شدن بر شبکه‌های اکولوژیکی آسیب‌پذیرند (Cook & van Lier 1994). این مسئله به بازتعریف رابطهٔ نوین انسان و طبیعت در علوم مختلف از طریق صدور بیانیه‌ها و تبیین دستورالعمل‌های توسعهٔ پایدار انجامید؛ از جمله بیانیهٔ ریو که محور تحولات رابطه‌های جدید انسان با طبیعت و محیط پیرامون را بر مبنای شناخت جدی از قانونمندی‌های هر یک و نیاز این دو به یک‌دیگر مد نظر قرار می‌داد (آل‌هاشمی ۱۳۹۴) و همچنین دو رویکرد بوم‌شناختی مک هارگ (۱۹۶۹) و اکولوژیک شهری فورمن (۱۹۹۰) که عمدتاً به مفاهیم اکوسیستم توجه داشتند. در واقع از دههٔ ۸۰ میلادی محققان پیشنهاد کردند اکوسیستم‌ها باید به منزلهٔ نوعی زیرساخت مورد توجه قرار گیرند (Yu 2012).

شبکهٔ اکولوژیک یک شبکهٔ استراتژیک برنامه‌ریزی‌شده و مدیریت‌شده از پارک‌ها، فضاهای سبز، و اراضی ذخایر توسعه‌ای است که از گونه‌های بومی حمایت می‌کند و با حفظ پروسه‌های زیست‌محیطی طبیعی سبب ارتقای سلامتی و کیفیت زندگی جوامع می‌شود (Benedict & McMahon 2006). همچنین، این مفهوم در اکولوژی چشم‌انداز و به طور خاص در تعمیم نظریهٔ حفاظت زیست‌محیطی ریشه دارد که نتیجهٔ آن مدل لکه‌ها و متریک فورمن است؛ یعنی چشم‌اندازی از منظر است که در آن تکه‌های زیستگاه همگن توسط یک متریک کم‌وبیش غیرهمگن احاطه شده است (Foltête 2019: 392). از این مدل، روی الگوهای چشم‌انداز شبکهٔ اکولوژیک از منظر پیوستگی ساختاری و کارکردی و برنامه‌ریزی فضایی استفاده می‌شود (Boitani et al 2007). از طرفی شبکه‌های اکولوژیک با پیوستگی کارکردی نیز ارتباط نزدیکی دارد (Taylor et al 2006)؛ بنابراین، این شبکه چهار موضوع مهم را در یک سیستم اکولوژی مد نظر قرار می‌دهد: کل بودن یک سیستم، عملکرد آن، رشد مرحله‌ای، پیوستگی شبکه (SWA 2012).

پیوستگی شبکه‌های اکولوژیک، علاوه بر اتصال لکه‌ها و کریدورها، بر این نکته تأکید دارد که پیوستگی مفهومی لاینفک از ذات طبیعت است که در مرحلهٔ برنامه‌ریزی و تدوین زیرساخت به برنامه‌ای کل‌گرا تبدیل می‌شود و ضمن درنظرگیری برقراری انسجام و پیوند در کالبدِ ساختارهای

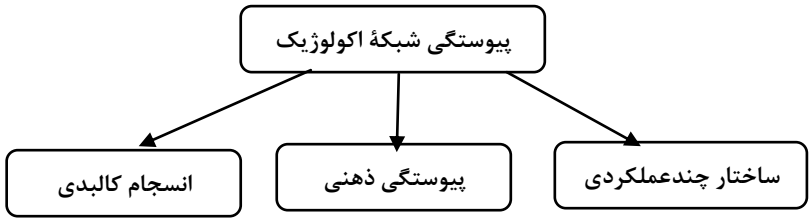
طبیعی، به طور هم‌زمان، پیوند چندوجهی با سایر لایه‌های شهر ایجاد می‌کند و هویت و پایداری معنایی آن را سبب می‌شود. این تعریف اساساً به نوعی از پیوستگی اشاره می‌کند که با هدف سازمان‌یافتگی و نظم یک پدیده به صورت یک کل یکپارچه، در قالب پیوستگی چشم‌انداز، درک می‌شود. برای قرارگیری ارتباطات در یک چارچوب گسترده‌تر، شبکه‌های اکولوژیک عملکردی، که تنوع زیستی را حفظ و استفاده پایدار از منابع طبیعی را فراهم می‌کنند، اغلب یکی از اهداف حفاظت و مدیریت سرزمین هستند. مفهوم شبکه‌های اکولوژیک به چند بخش کلیدی نیز اشاره می‌کند: ۱. مناطق حفاظت‌شدهٔ اصلی؛ ۲. کریدورها و اتصالات؛ ۳. مناطق پیرامونی و استفادهٔ پایدار از سرزمین‌های غیرحفاظتی (Bennett 2004). بنابراین یک شبکهٔ اکولوژیک سیستمی یکپارچه از پیکره‌بندی بخش‌های مختلف سیمای سرزمین طبیعی و نیمه‌طبیعی است و با هدف حفظ یا برگرداندن عملکردهای بوم‌شناختی و فراهم‌آوری فرصتی برای استفادهٔ پایدار از منابع طبیعی مدیریت می‌شود. تحلیل و مدل‌سازی پیوستگی اکولوژیک هدف اغلب برنامه‌ریزان توسعه‌ای، به‌ویژه بر بنیان اصول اکولوژی چشم‌انداز در کشورها، است (کرم و همکاران ۱۳۹۱: ۳) و در برخی موارد شبکهٔ اکولوژیک استونی (Sepp et al 1999) یا سیستم سرزمینی پایدار اکولوژیکی در اسلواکی و جمهوری چک (Kubes 1996) با رویکردهای عمل‌گرایانه برنامه‌ریزی ترکیب شده است. پیوستگی شبکه‌های اکولوژیک، ضمن ایجاد تعادل میان محیط طبیعی و انسان‌ساخت، ابزاری استراتژیک در برنامه‌ریزی‌ها به منظور افزایش کارایی و انرژی فضاهای شهری برای دست یافتن به شهرهای پایدار و نیز راهکاری هوشمندانه در جهت حفاظت از منابع هستند (Ahern 2007). همچنین باعث شکل‌گیری منظر یکپارچه در ذهن شهروندان از طریق پیوستگی میان اجزای شبکهٔ سبز و یکپارچگی وجوه کالبدی آن (لکه، کریدور، ماتریس سبز) و انطباق آن‌ها با سایر لایه‌های منظر شهر می‌شوند. شهر مراغه همچون سایر شهرهای ایران در سال‌های اخیر به دلایلی، همچون رشد سریع جمعیت و شهرنشینی و ساخت‌وسازهای بی‌رویه، موجب آشفتگی و گسستگی در اکولوژی شهر و بی‌نظمی در ساختار شهر و از بین رفتن محیط زیست شهری شده است و مسئلهٔ مهم‌تر در تدابیر مدیران شهری نبودِ یک ساختار همگن و پیوسته در شبکه‌های سبز است که باعث بروز پدیدهٔ خرددانگی و کاهش زیست‌پذیری منظر شهر شده است. پژوهش پیش رو بر آن است تا با پیوستگی

اکولوژیک شهری به منزلهٔ یکی از لایه‌های اصلی در زیرساخت‌های شهری و نقش ویژهٔ آن‌ها در ارتباط با دیگر ساختارهای شهر به ایجاد چشم‌اندازی پیوسته بپردازد و موجب کاهش گسستگی فضاهای سبز شهر مراغه شود.

چارچوب نظری

پیوستگی و اتصال دو ویژگی مهم سیمای سرزمین‌اند که به‌خوبی ارتباط میان ساختار و کارکرد سیمای سرزمین را شرح می‌دهند. در یک سرزمین اتصال درجهٔ ارتباط فیزیکی بین لکه‌ها را نشان می‌دهد و یک ویژگی ساختاری به شمار می‌آید؛ درحالی‌که پیوستگی یک پارامتر عملکردی است و فقط به ساختار سرزمین وابسته نیست. ممکن است بین دو لکه ارتباط فیزیکی وجود نداشته باشد، ولی از طریق عامل دیگری این ارتباط برقرار شود. به‌طورکلی پیوستگی نشان‌دهندهٔ آن است که سیمای سرزمین تا چه میزان موجب تسهیل یا مانع در برابر جریان انرژی، مواد معدنی، مواد مغذی، موجودات زنده، و انسان‌ها در پهنهٔ سرزمین می‌شود (مختاری و سیاح‌نیا ۱۳۹۶: ۱۵). به طور کلی پیوستگی شبکه‌های اکولوژیک به نظم سیستمی درونی و بیرونی و پیوند همه‌جانبه و چندبعدی با سایر لایه‌های شهر اشاره دارد و این پیوستگی اجزای درونی شبکه‌های سبز باعث انسجام کالبدی، ساختار چندعملکردی، و پیوستگی معنایی آن می‌شود. انسجام کالبدی، پیوستگی، و امتداد طبیعتِ خارج شهر به درون آن به وسیلهٔ راهکارهایی همچون کمربندهای سبز، گسترش لکه‌های سبز بزرگ، یا بهره‌گیری از دالان‌های طبیعی چون رودره‌ها و امتداد آن‌ها سبب پیوستگی فضاهای درون و بیرون شهرها می‌شود. از طرفی با اتصال لکه‌های سبز کوچک‌تر درون بافت شهرها به وسیلهٔ کریدورهای طبیعی و مصنوعی و همچنین جلوگیری از انقطاع دالان‌ها با گسترش و امتداد آن‌ها به سمت لکه‌های سبز می‌توان شبکهٔ سبز منسجمی را پدید آورد (Agency 2016: 2). از جنبه کارکردی، زیرساخت‌های سبز از روش‌های بسیار کارآمد برای حل مشکلات اقلیمی و زیست‌محیطی ناشی از پوشش گیاهی محدود در شهرهای فشرده با تراکم بالای ساخت است (Yuhong et al 2011). همچنین، فضاهای باز و سبز نقشی حیاتی در شکل‌گیری تعاملات و برخوردهای سازندهٔ اجتماعی ساکنان شهر ایفا می‌کنند (Tzoulas et al 2007: 169). علاوه بر این، شبکهٔ سبز این قابلیت را دارد تا با ایجاد کالبدی یکپارچه، از طریق انتظام در درون ترکیب خود و

در ارتباط با سایر ترکیب ها، سبب فهم و ادراک یکپارچه از پدیدهٔ شبکهٔ سبز شود. عناصر مفصلی شبکهٔ سبز، چه طبیعی چه مصنوعی، به مثابهٔ نقاط عطفی هستند که شهر را خوانا می‌کنند و مبنایی بر سازمان‌دهی سایر نقاط شاخص شهر واقع می‌شوند (آل‌هاشمی و مجتهدی ۱۳۹۲). بنابراین، انسجام درونی شبکهٔ اکولوژیک نه‌تنها شبکه‌ای منسجم از نقاط عطف سبز را شکل می‌دهد بلکه با سازمان‌دهی سایر نقاط عطف و تعریف حریم‌های واصلِ کالبدی و ذهنی زمینه را برای کنترل کیفیت مناظر شهری فراهم می‌آورد.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

اخیراً محققان علوم محیط زیست دریافته‌اند استفاده از تئوری گراف روشی مؤثرتر در اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیک است. تئوری گراف مفهومی ریاضی است متشکل از دسته‌ای نقاط و اتصالات و روشی مناسب جهت اندازه‌گیری میزان پیوستگی. این مفهوم را اولین بار هراری[1] در سال ۱۹۶۹ معرفی کرد. تئوری گراف تا کنون در علوم مختلف و رویکردهای متفاوت استفاده شده است؛ از جمله اکولوژی سیمای سرزمین. با وجود اینکه تئوری گراف پایه‌های ریاضی دارد، به‌خوبی در مطالعات اکولوژیک، مانند برنامه‌ریزی و حفاظت محیط زیست، به‌خصوص بررسی پیوستگی اکولوژیک، به‌کار رفته است. گراف، به طور موفق، سیمای سرزمین و اجزای آن و فرایندهای اکولوژیک حاکم بر آن را مدل می‌کند. همچنین تئوری گراف قادر است ارتباط بین ساختار و عملکرد سیمای سرزمین را مدل‌سازی کند (Dale et al 2010: 26). مطالعات مختلف نشان داده تئوری گراف پتانسیل لازم را برای کاربرد در آنالیز پیوستگی و جریان‌های اکولوژیک دارد (پودات و همکاران ۱۳۹۳: ۱۹۷).

1. Harary

پیشینهٔ پژوهش

اولین کاربرد تئوری گراف در حوزهٔ اکولوژی توسط کانت ول و فورمن در سال ۱۹۹۳ با شبیه‌سازی یک سیمای سرزمین نامتجانس انجام شد. سپس بان[1] و همکارانش تئوری گراف را برای سنجش پیوستگی سیمای سرزمین به کار بردند و از آن به بعد به طور روزافزون این تئوری در مطالعات پیوستگی به کار می‌رود. مجموعه مطالعاتی که در این زمینه انجام شده به‌تفصیل در تحقیق پودات و همکارانش تشریح شده است. غالباً تئوری گراف با هدف سنجش و اندازه‌گیری پیوستگی در مطالعات به کار رفته است (Bunn 2000؛ Pascual-Horta 2007) و ایدهٔ شبکه‌های اکولوژیک در بسیاری از شهرها، بسته به تفاوت‌های ژئوفیزیکی و سطوح مدیریتی، طرح‌هایی را ایجاد کرده است (Council of Europe 1996). اربن[2] و همکارانش (۲۰۰۹) پیوستگی کلی شبکهٔ زیستگاه‌ها را برای مجموعه‌ای از گونه‌های جانوری با زیستگاه‌های مشابه و قدرت حرکتی متفاوت سنجیده‌اند و لکه‌های زیستگاهی را بر اساس اهمیتی که در حفظ پیوستگی شبکه داشته‌اند اولویت‌بندی کرده‌اند. هارگروو[3] و همکارانش (۲۰۰۵) مدل تحلیل مسیرهای میان‌زیستگاهی را برای تعیین کریدورهای بالقوه در سرزمین‌های پیچیده ارائه کردند که خروجی این مدل شامل نقشهٔ مسیرهای پرتردد میان لکه‌ها، میزان تردد میان هر لکه با سایر لکه‌ها، و اولویت‌بندی لکه‌ها بر اساس درجهٔ اهمیت آن‌ها در تسهیل‌سازی جابه‌جایی حیات وحش است. کنگ[4] و همکارانش (۲۰۱۰) با استفاده از روش مسیر بهینه محتمل‌ترین کریدورهای ارتباطی را تعیین کردند و با استفاده از مدل جاذبه یک شبکهٔ پیوستهٔ اکولوژیک برای شهر جینان ارائه دادند. گالپرن[5] و همکارانش (۲۰۱۱) به بررسی لکه‌ها و اتصال این لکه‌ها در منظر با استفاده از نظریهٔ گراف پرداختند که روشی برای حفاظت این لکه‌ها در چشم‌انداز منظر است. سیو[6] و همکارانش (۲۰۱۷) بر اساس نقشه‌های بیوتوپ و نیاز اجتماعی شهر استکهلم لکه‌هایی را که باید با هم ارتباط داشته باشند شناسایی کردند. سپس با کمک تئوری گراف شبکه‌های فضای سبز بین لکه‌ها ایجاد شد و با آنالیزهای حداقل هزینه بهترین راه ارتباطی بین لکه‌های فضای سبز شهر

1. Bunn
2. Urban
3. Hargrove
4. Kong
5. Galpern
6. Xiu

استکهلم تعیین شد. ژانگ[1] و همکارانش (۲۰۱۹) برای افزایش ارتباط‌های اجتماعی و عملکردهای اکولوژیکی با آنالیز حداقل هزینه کریدورهای بهینه را برای اتصال لکه‌های سبز تعیین و سپس به کمک مدل کشش و تئوری گراف شبکهٔ اکولوژی شهر دترویت را ایجاد کردند. براتی و همکارانش (۱۳۹۶) به ارزیابی یکپارچگی مناطق حفاظت‌شدهٔ پارک ملی با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین و با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد در کل منطقه لکه‌های مرتع یکپارچه شده، ولی کاربری‌های شهری و کشاورزی به افزایش فاصله بین لکه‌ها و عدم ارتباط بین زیستگاه‌ها انجامیده است. صادق‌اوغلی و همکارانش (۱۳۹۸) به ارزیابی ساختار سیمای سرزمین در مناطق حفاظت‌شده پرداختند. آن‌ها با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس ازهم‌گسیختگی بخش‌های مختلف منطقه را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد قسمت‌های شمالی، شامل پارک ملی خجیر و سرخه‌حصار، پیوستگی بیشتری دارند؛ درحالی‌که قسمت‌های جنوبی به سمت ساختار ریزدانه می‌روند.

روش پژوهش

روش پژوهش در این تحقیق توصیفی- تحلیلی است. به منظور دستیابی به هدف تحقیق، ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای اسنادی و میدانی صورت گرفت. در گردآوری داده‌های مکانی و غیرمکانی مرتبط با تحقیق از جمله تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۶ تهیه شد. پس از پردازش تصاویر فضاهای سبز محدودهٔ مورد مطالعه با نرم‌افزار ENVI استخراج شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Conefor پیوستگی عملکردی و اولویت‌بندی لکه‌های سبز شهر مراغه اندازه‌گیری شد. در مرحلهٔ بعد، برای پیوستگی شبکهٔ فضاهای سبز شهری از اصول تئوری گراف، کوتاه‌ترین مسیر بهینه در سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد.

تحلیلگران از تئوری گراف برای ساده‌سازی سیمای سرزمین‌های پیچیده به اشکال فضایی قابل درک و الگوهای آشکار استفاده می‌کنند. در تئوری گراف لکه‌ها نشان‌دهندهٔ گره‌ها و مسیرهای جابه‌جایی بین لکه‌ها همان لینک‌ها هستند. بنابراین کیفیت و کارایی و پیوستگی شبکهٔ فضای سبز را می‌توان با استفاده از تئوری گراف ارزیابی کرد. در این پژوهش با استفاده از نقشهٔ پردازش تصاویر

1. Zhang

مهم‌ترین لکه‌های سبز و لایهٔ هزینه تهیه شد. برای شناسایی لکه‌های مهم از افزونهٔ مربوط به نرم‌افزار Conefor از سنجهٔ انتگرال پیوستگی (IIC) برای محاسبهٔ پیوستگی عملکردی استفاده می‌شود. سنجهٔ IIC را می‌توان با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه کرد:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_i - a_j}{1+nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (۱)$$

در رابطهٔ ۱، n تعداد کل لکه در سیمای سرزمین، a_i و a_j مساحت‌های لکه‌های i و j، nl_{ij} تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن بین لکهٔ j، i و A_L مساحت کل سیمای سرزمین است.

سپس به منظور تعیین میزان مشارکت هر یک از لکه‌ها در پیوستگی سیمای سرزمین از شاخص dIIC استفاده شد:

$$dIIC = \frac{IIC - IIC_k}{IIC} \times 100 \quad (۲)$$

در رابطهٔ ۲، IIC میزان پیوستگی شبکه پیش از برداشت نقطهٔ k و IIC_k میزان پیوستگی شبکه پس از برداشت نقطهٔ K را نشان می‌دهد.

لایهٔ هزینه یک لایهٔ رستری است که ارزش هر پیکسل در آن نشان‌دهندهٔ میزان مقاومت آن پیکسل در برابر جابه‌جایی در سیمای سرزمین است. جهت استفاده از این الگوریتم حداقل هزینه در تعیین مسیرهای حداقل هزینه برای هر یک از لکه‌ها باید یک‌لایهٔ وزن‌دار هزینه تهیه شود. این لایه نیز یک لایهٔ رستری است که در آن ارزش هر پیکسل نشان‌دهندهٔ هزینهٔ تجمعی از مرکز لکه تا آن پیکسل است. اگر برای همهٔ لکه‌ها مسیرهای حداقل هزینه به دیگر لکه‌ها تعیین شود، از ترکیب همهٔ مسیرها در کنار هم شبکهٔ بالقوه‌ای که در آن همهٔ لکه‌ها به هم مرتبط‌اند ارائه می‌شود. با محاسبهٔ میزان برهم‌کنش بین لکه‌ها و تعیین اولویت لینک‌ها و لکه‌ها می‌توان گزینه‌های مختلفی را برای توسعهٔ شبکهٔ فضای سبز ارائه داد و سپس با استفاده از شاخص‌های پیوستگی موجود در تئوری گراف و ضریب هزینه گزینهٔ بهینه را انتخاب کرد.

- **تحلیل برهم‌کنش گره‌ها در شبکه**

برهم‌کنش بین گره‌ها معمولاً با استفاده از مدل جاذبه ارزیابی می‌شود (Rudd et al 2002). میزان برهم‌کنش دو گره نشان‌دهندهٔ اهمیت گره‌ها و کارایی لینکی است که آن‌ها را به هم وصل می‌کند. برهم‌کنش بین گره‌ها با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{Gab} = \frac{\mathrm{NaNb}}{D_{ab}^2} \qquad (۳)$$

Na و طوری که Gab برهم‌کنش بین گره‌های a و Na ،b و Nb وزن گره‌های a و b، Dab مقاومت تجمعی نرمال‌شدهٔ کریدور بین گره‌های b و a است. وزن گره‌ها با استفاده از کیفیت و اندازهٔ نرمال‌شدهٔ آن به دست می‌آید (رابطهٔ ۴):

$$\mathrm{Ni} = \frac{1}{P_i} \times \ln(\mathrm{Si}) \qquad (۴)$$

که در آن Ni وزن گره i، Pi مقاومت گره i، و Si اندازهٔ نرمال‌شدهٔ گره i است. Dab نیز با استفاده از رابطهٔ ۵ تعیین می‌شود:

$$\mathrm{Dab} = \frac{L_{ab}}{\Sigma \mathrm{L}} \qquad (۵)$$

که در آن L_{ab} مقاومت تجمعی کریدور بین گره‌های a و b و ΣL مجموع مقاومت تجمعی بین گره‌هاست. بنابراین می‌توان معادله را به صورت رابطهٔ ۶ تعیین کرد:

$$\mathrm{Gab} = \frac{\mathrm{NaNb}}{D_{ab}^2} = \frac{\Sigma L^2 \ln(S_a S_b)}{L_{ab}^2 P_a P_b} \qquad (۶)$$

طوری که Gab برهم‌کنش گره‌های a و Na ،b و Nb وزن گره‌های a و b، D_{ab} مقاومت تجمعی نرمال‌شده بین گره‌های a و b، L_{ab} مقامت تجمعی بین گره‌های a و b، و ΣL مجموع مقاومت تجمعی بین گره‌هاست.

- **درجهٔ گردش شبکه**

پیچیدگی یک شبکهٔ فضای سبز را می‌توان با استفاده از مفاهیم درجهٔ گردش شبکه، نسبت لینک به گره، پیوستگی شبکه، نسبت هزینه و آنالیز ویژگی‌های گره و لینک اندازه‌گیری کرد (Zhang & Wang 2006). درجهٔ گردش شبکه به درجهٔ حضور حلقه در شبکه اشاره دارد و با استفاده از

شاخص α (نسبت تعداد حلقه‌های موجود در شبکه به تعداد حداکثر حلقه‌های ممکن) رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود:

$$a = \frac{L-V+1}{2V-5} \quad (۷)$$

که در آن L تعداد کریدورها و V تعداد گره‌ها یا لکه‌هاست. گسترهٔ شاخص a از ۰ (برای شبکه‌های بدون حلقه) تا ۱ (برای شبکه با حداکثر تعداد حلقهٔ ممکن) است. نسبت تعداد لینک به گره شاخص β نام دارد و هر چه بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ پیوستگی بیشتر شبکه است (Cook 2002).

$$\beta = \frac{N_l}{N_v} \quad (۸)$$

در این رابطه N_L تعداد کریدورها و N_V تعداد گره‌هاست. در این نسبت سه حالت ممکن است به وقوع بپیوندد: ۱. اگر حاصل از یک کوچک‌تر باشد، شبکه باز یا شاخه‌ای است؛ ۲. اگر حاصل مساوی عدد یک باشد، شبکه تک‌حلقه‌ای است؛ ۳. اگر حاصل از یک بزرگ‌تر باشد، شبکه پیچیده است.

- **شاخص پیوستگی شبکه**

شاخص پیوستگی شبکه از تقسیم تعداد لینک‌های شبکه بر حداکثر تعداد ممکن لینک به دست می‌آید و شاخص y نام دارد.

$$y = \frac{L}{L_{max}} = \frac{L}{3(v-2)} \quad (۹)$$

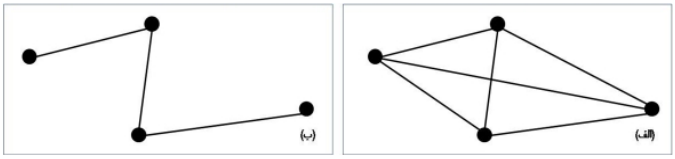
در این نسبت L تعداد کریدورهای شبکه و L_{max} حداکثر تعداد کریدورها در شبکه است.

- **تحلیل هزینه**

شاخص‌های α و $\boldsymbol{\beta}$ و y تنها ویژگی‌های فضایی لکه‌ها و کریدورها را بدون در نظر گرفتن کارایی هزینه بررسی می‌کنند (Kong 2010: 18). شاخص نسبت هزینه برای در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت شبکه به کار می‌رود.

$$\text{cost ratio} = 1 - \left(\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} L_i}\right) \quad (۱۰)$$

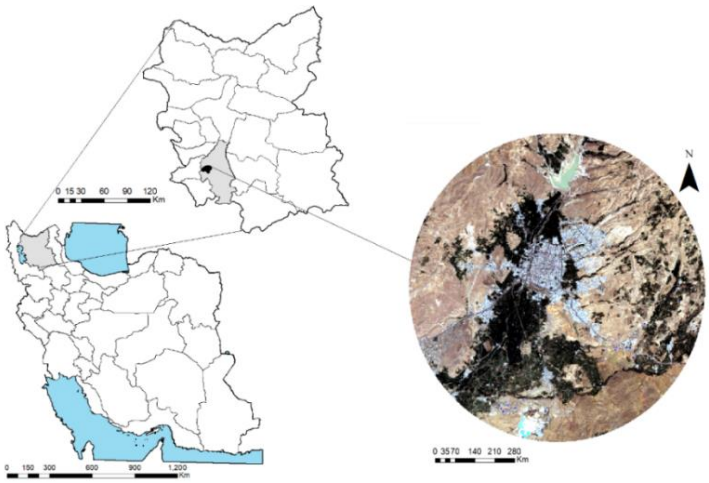
که در آن n تعداد لینک و Li مقاومت تجمعی کریدور i است.



شکل ۲. انواع شبکه: الف) شبکهٔ حداقل هزینه برای مصرف‌کننده؛ ب) شبکهٔ حداقل هزینه برای توسعه‌دهنده (Kong 2010)

محدوده و قلمرو پژوهش

شهر مراغه با مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقهٔ عرض شمالی در جنوب غرب استان آذربایجان شرقی واقع شده است. شهر مراغه از شمال به شهرستان تبریز، از شرق به شهرستان‌های بستان‌آباد و هشترود و چاراویماق، از غرب به شهرستان‌های اسکو و عجب‌شیر و بناب و ملکان، و از جنوب به استان آذربایجان غربی محدود می‌شود. جمعیت شهر مراغه در سال ۱۳۹۵ در حدود ۱۷۵۶۰۰ نفر بوده است و مساحت شهر در حدود ۳۰۴۱/۷ هکتار است. در شهر مراغه عدم تعادل بین رشد مساحت و جمعیت در هر دوره از رشد باعث شده الگوی توسعهٔ فضایی شهر از نوع الگوی گسترده و پراکنده باشد. این رشد شهری به صورت افقی باعث از بین رفتن مناظر طبیعی و باغات و جایگزین کردن آن‌ها با محله‌های مسکونی و ایجاد مناطق و غیره شده است.



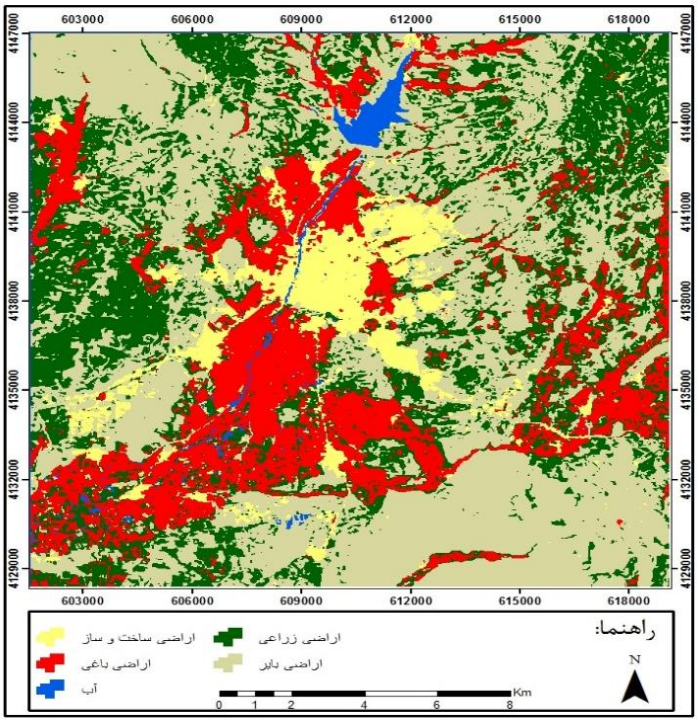
نقشه ۱. محدودهٔ مورد مطالعه (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

یافته‌های پژوهش

شکل ۲ بر اساس تصاویر طبقه‌بندی‌شدهٔ مساحت اراضی منطقه در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد اراضی بایر ۱۴۶۴۶ هکتار، اراضی ساخت‌وساز ۲۳۹۵ هکتار، اراضی باغی ۶۱۴۰ هکتار، و اراضی زراعی ۹۱۱۸ هکتار است.

جدول ۱. مساحت کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

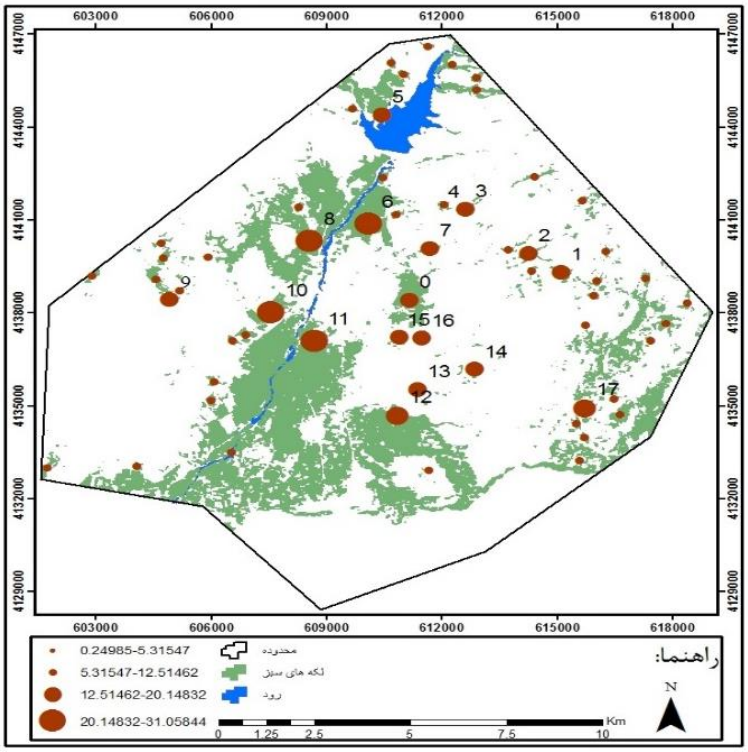
اراضی ساخت‌وساز	اراضی باغی	آب	اراضی زراعی	اراضی بایر
۲۳۹۵/۸۴۵	۶۱۴۰/۱۱۵	۳۹۴/۴۵۵	۹۱۱۸/۴۸۵	۱۴۶۴۶/۷۵



نقشهٔ ۲. کاربری اراضی در سال ۲۰۱۶ (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

سپس جهت ارزیابی پیوستگی عملکردی فضای سبز شهری از نرم‌افزار Conefor و با هدف حفظ و بهبود پیوستگی سیمای سرزمین و شناسایی و اولویت‌بندی لکه‌های مهم و حیاتی برای

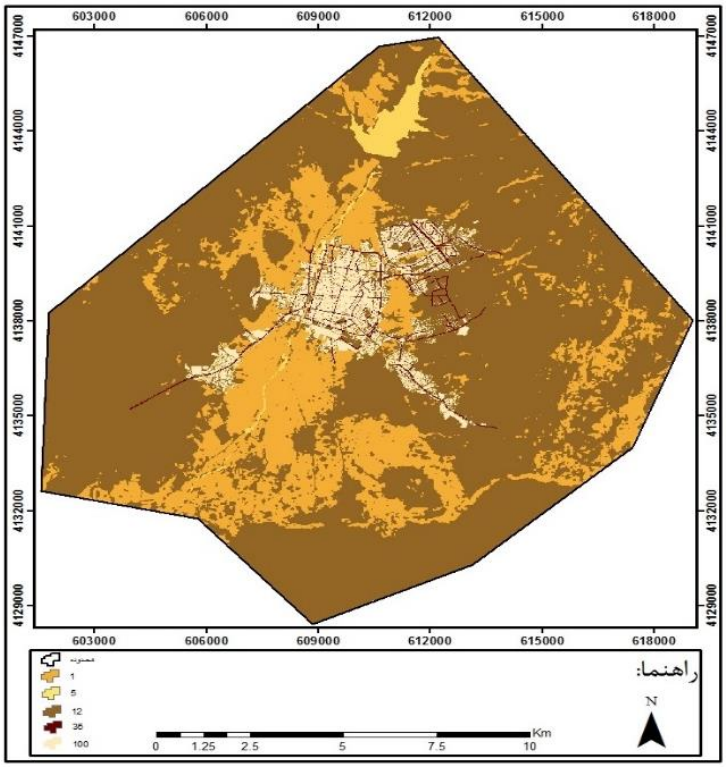
پیوستگی سیمای سرزمین از سنجهٔ انتگرال پیوستگی استفاده شد. این سنجه علاوه بر در نظر گرفتن پیوستگی بین لکه‌ها (شفیعی‌نژاد و همکاران ۱۳۹۷) در تشخیص لکه‌های بااهمیت‌تر از نظر موقعیت توپولوژیک و هم از نظر ارزش‌های درونی هر لکه به کار می‌رود. بر اساس نقشه، لکـه‌هـای ۶، ۸، ۱۰، و ۱۱ بیشترین اهمیت را در سیمای سرزمین مراغه دارند و همچنین نسبت به سایر لکـه‌هـا از پیوستگی بالایی برخوردارند.



نقشهٔ ۳. موقعیت مهم‌ترین لکه‌های سبز بر اساس شاخص dIIC (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

جهت حفظ و احیای پیوستگی، بعد از تعیـین بهتـرین لکـه‌هـا، بـه تعیـین مسـیر کریـدورهای اتصال‌دهندهٔ لکه‌ها با در نظر گرفتن فاصلهٔ بین لکه‌ها و همچنین موانع ناشی از انواع کاربری زمـین پرداخته می‌شود. بر همین اساس، فایل رستر محور موسوم به مقاومت (هزینـه) بـرای منظـر شـهری مراغه تهیه شد که ارزش هر پیکسل در آن نشان‌دهندهٔ میزان مقاومت آن پیکسل در برابر جابه‌جـایی

در سیمای سرزمین است. اعداد کوچک‌تر (نزدیک به عدد ۱) نشان‌دهندهٔ مقاومت کمتر و در واقع مربوط به لکه‌های ایده‌ال‌اند و اعداد بزرگ‌تر (نزدیک به ۱۰۰) حاکی از مقاومت بیشتر سلول و در نتیجه مانع در برابر ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی هستند. این اعداد نشان‌دهندهٔ میزان مقاومت پوشش سرزمین در برابر جابه‌جایی و ساخت شبکه‌اند.



نقشهٔ ٤. لایهٔ هزینه نشان‌دهندهٔ میزان درجهٔ مقاومت عوارض در برابر جابه‌جایی در سیمای سرزمین (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

از این الگوریتم برای همهٔ لکه‌ها مسیرهای حداقل هزینه به دیگر لکه‌ها تعیین می‌شود و از ترکیب همهٔ مسیرها در کنار هم شبکهٔ بالقوه‌ای که در آن همهٔ لکه‌ها به هم مرتبط‌اند به دست می‌آید. جدول ۲ هزینهٔ تجمعی میان لکه‌های سبز را با استفاده الگوریتم حداقل هزینه ارائه می‌دهد.

جدول ۲. هزینهٔ تجمعی جابه‌جایی میان لکه‌های سبز (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۰	۰	۵۵۳۵	۴۵۷۵	۵۳۰۳	۵۵۰۴	۹۵۷۳	۲۰۹۵	۳۴۱۴	۵۶۲۸	۸۱۳۶	۴۵۹۵	۴۳۴۶	۴۴۰۱	۳۵۶۲	۳۷۸۸	۱۹۲۸	۱۴۶۱	۷۹۰۲
۱		۰	۱۰۹۱	۴۰۲۷	۴۶۹۲	۱۲۸۴۳	۷۳۵۱	۲۹۳۱	۸۷۸۱	۱۳۱۷۳	۹۶۳۲	۹۳۳۳	۸۳۳۰	۷۵۰۲	۶۹۱۹	۶۹۶۱	۵۳۳۶	۱۱۰۳۰
۲			۰	۳۰۸۰	۳۶۴۲	۱۱۸۹۲	۶۴۰۱	۲۹۸۲	۷۹۳۱	۱۲۲۳۲	۸۶۹۵	۸۴۱۳	۷۳۹۵	۶۵۵۸	۵۹۷۵	۶۰۲۰	۴۴۹۰	۱۰۰۸۱
۳				۰	۵۹۵	۹۳۲۵	۳۶۳۷	۳۳۰۷	۵۲۶۵	۱۰۷۴۸	۷۴۷۲	۸۶۸۹	۸۱۵۹	۷۹۲۶	۸۰۳۹	۶۲۹۷	۶۵۵۵	۱۲۱۵۲
۴					۰	۸۶۹۵	۳۱۹۷	۲۰۹۷	۴۷۲۵	۱۰۲۰۸	۶۹۳۲	۶۷۹۹	۸۶۵۳	۷۸۱۵	۸۳۱۸	۶۱۸۰	۶۸۳۳	۱۲۳۳۱
۵						۰	۶۲۱۳	۸۱۶۶	۶۱۱۵	۱۱۵۹۹	۹۳۸۵	۱۰۰۷۹	۱۲۰۱۷	۱۳۹۵	۱۲۸۵۲	۱۰۲۶۶	۱۰۵۳۰	۱۶۹۶۷
۶							۰	۲۶۶۹	۲۲۴۹	۷۸۳۲	۴۴۴۸	۴۶۰۲	۷۲۴۲	۶۴۰۴	۷۳۶۱	۴۱۶۹	۵۰۳۹	۱۱۴۷۷
۷								۰	۴۲۰۳	۹۶۸۹	۶۷۶۹	۶۴۸۲	۶۵۶۱	۵۷۲۳	۵۹۴۳	۴۰۸۷	۴۱۸۷	۱۰۰۵۶
۸									۰	۵۴۵۲	۳۲۳۳	۲۹۳۱	۷۸۷۲	۷۳۴۹	۸۸۱۴	۵۵۳۳	۶۴۶۱	۱۲۰۹۹
۹										۰	۴۵۳۰	۵۶۳۹	۹۵۸۷	۹۰۵۳	۱۰۵۱۷	۷۲۸۵	۸۲۱۵	۱۳۹۹۹
۱۰											۰	۲۱۰۸	۶۰۳۴	۵۵۲۱	۶۹۸۶	۳۶۵۳	۴۶۸۳	۱۰۲۶۹
۱۱												۰	۴۱۳۵	۳۶۲۱	۵۰۸۵	۳۰۵۰	۲۶۳۴	۸۳۶۸
۱۲													۰	۱۱۳۴	۳۲۲۹	۲۷۵۹	۳۰۰۶	۶۵۱۳
۱۳														۰	۳۹۵	۱۹۲۴	۲۱۶۷	۵۶۷۸
۱۴															۰	۲۹۴۴	۲۲۸۵	۳۲۱۰
۱۵																۰	۱۲۰	۶۳۰۰
۱۶																	۰	۵۲۳۶
۱۷																		۰

جدول ۳ اولویت‌بندی اهمیت لکه‌ها بر اساس درجهٔ مقاومت لکه را نشان می‌دهد. درجهٔ مقاومت لکه به وسعت و تراکم لکه بستگی دارد که به کمک شاخص leaf area index مشخص شد. جدول ۴ مقاومت تجمعی نرمال‌شده بین لکه‌های سبز است.

جدول ۳. اولویت‌بندی اهمیت لکه‌های سبز (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	مساحت (هکتار)	مساحت نرمال‌شده	درجهٔ مقاومت لکه	وزن
۰	۱۰۸/۶۹	۰/۰۲۳۰	۳/۳	۱/۱۴۳
۱	۱۲/۷۳	۰/۰۰۲۷	۱/۸	۳/۲۸۷
۲	۷/۴۶	۰/۰۰۱۶	۲/۱	۳/۰۷۲
۳	۶/۲۹	۰/۰۰۱۳	۲/۵	۲/۶۴۹
۴	۵/۵۶	۰/۰۰۱۲	۲/۴	۲/۸۱۱
۵	۱۲۶/۵۴	۰/۰۲۶۸	۲/۸	۱/۲۹۳
۶	۱۵۵/۲۶	۰/۰۳۲۸	۲/۹	۱/۱۷۸
۷	۶/۱۷	۰/۰۰۱۳	۲/۴	۲/۷۶۷
۸	۵۷۸/۳۵	۰/۱۲۲۳	۳/۱	۰/۶۷۸
۹	۳۹/۱۱	۰/۰۰۸۳	۲/۶	۱/۸۴۴
۱۰	۵۴/۹۳	۰/۰۱۱۶	۳/۲	۱/۳۹۲
۱۱	۲۲۵۹/۳۱	۰/۴۷۷۹	۳/۱	۰/۲۳۸
۱۲	۵۹۸/۱۰	۰/۱۲۶۵	۲/۸	۰/۷۳۸
۱۳	۵/۹۲	۰/۰۰۱۳	۲/۴	۲/۷۸۵
۱۴	۷/۵۲	۰/۰۰۱۶	۲/۳	۲/۸۰۲
۱۵	۸/۲۳	۰/۰۰۱۷	۲/۸	۲/۲۶۹
۱۶	۶/۳۸	۰/۰۰۱۳	۲/۷	۲/۴۴۷
۱۷	۷۴۱/۱۳	۰/۱۵۶۸	۳/۱	۰,۵۹۸

جدول ٤. مقاومت تجمعی نرمال‌شده بین لکه‌ها (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۰	۰	۰.۰۰۰۸	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۸	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱۷	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۳۶
۱		۰	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۴۳	۰.۰۰۰۶۵	۰.۰۰۰۷۸	۰.۰۰۰۶۹	۰.۰۰۰۱۹	۰.۰۰۰۲۹	۰.۰۰۰۳۴	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۴۵
۲			۰	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۱۹	۰.۰۰۰۵۹	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۴۵	۰.۰۰۰۵۴	۰.۰۰۰۱۶۱	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۳۷	۰.۰۰۰۳۳	۰.۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۵۰
۳				۰	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۶۴	۰.۰۰۰۱۹	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۰۶۴	۰.۰۰۰۳۵۳	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۴۸	۰.۰۰۰۵۴	۰.۰۰۰۴۰	۰.۰۰۰۱۳۱	۰.۰۰۰۳۳	۰.۰۰۰۶۰
۴					۰	۰.۰۰۰۳۴	۰.۰۰۰۱۶	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۳۸	۰.۰۰۰۵۴	۰.۰۰۰۱۸	۰.۰۰۰۱۳۱	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۲۶
۵						۰	۰.۰۰۰۲۶	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۴۵	۰.۰۰۰۷۰	۰.۰۰۰۷۶	۰.۰۰۰۴۶	۰.۰۰۰۱۵۱	۰.۰۰۰۱۵۲	۰.۰۰۰۲۸
۶							۰	۰.۰۰۰۱۳	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۰۰۲۲	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۴۵	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۷۸	۰.۰۰۰۲۴	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۵۷
۷								۰	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۰۰۲۴	۰.۰۰۰۳۲	۰.۰۰۰۳۴	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۵۰
۸									۰	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۱۶	۰.۰۰۰۲۰	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۴۵	۰.۰۰۰۲۶	۰.۰۰۰۲۶	۰.۰۰۰۲۳	۰.۰۰۰۶۰
۹										۰	۰.۰۰۰۲۲	۰.۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۲۸	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۳۶	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۴۸
۱۰											۰	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۳۰	۰.۰۰۰۳۸	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۱۸	۰.۰۰۰۳۳	۰.۰۰۰۱۵۱
۱۱												۰	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۱۸	۰.۰۰۰۳۵	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۱۹	۰.۰۰۰۲۹
۱۲													۰	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۱۶	۰.۰۰۰۱۴	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۳۲
۱۳														۰	۰.۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۰۲۸
۱۴															۰	۰.۰۰۰۱۵	۰.۰۰۰۱۱	۰.۰۰۰۲۲
۱۵																۰	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۱۶
۱۶																	۰	۰.۰۰۰۷۸
۱۷																		۰

با استفاده از داده‌های جدول ۲ و ۴ میزان برهم‌کنش میان لکه‌ها تعیین می‌شود. هر چه میران برهم‌کنش میان دو لکه بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ اهمیت و کارایی بیشتر آن دو لکه و لینکی است که آن‌ها را به هم متصل می‌کند. بنابراین هر چه برهم‌کنش میان دو لکه بیشتر باشد اولویت احداث لینک اتصال‌دهندهٔ آن دو لکه بالاتر است.

جدول ۵. برهم‌کنش لکه‌های سبز (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۰	۰	۵۱۵۳۶۹	۴۴۱۶۹۳	۴۴۱۹۰۰	۴۴۰۷۳۷	۶۴۱۴۵	۳۳۶۶۱۴	۱۰۹۳۴۵۳	۹۸۸۴۶	۱۳۱۷۳۱	۳۰۰۷۶۷	۶۱۶۸۶	۱۷۴۴۸۴	۹۸۲۴۸۶	۸۸۷۱۷۱	۵۷۰۸۰۰۲	۴۴۹۳۸
۱		۰	۲۲۲۴۴۶۵۶	۲۱۷۶۸۱۶	۱۷۴۶۶۴۶	۱۰۳۷۶۲	۲۸۲۸۴۰	۲۲۳۳۱۸۲	۱۱۵۱۱۳	۱۴۴۴۶۱	۱۹۸۵۹۰	۳۶۹۷۱	۱۴۴۳۰۷	۶۶۸۶۸۵	۷۹۶۷۲۸	۶۰۸۸۳۳	۱۱۰۳۳۳۲	۶۴۹۷۹
۲			۰	۲۴۴۹۴۳۵	۱۶۱۳۴۰۵	۷۶۹۶۳	۳۳۸۳۶۱	۲۵۴۸۱۰۰	۹۲۳۶۱	۱۰۲۶۸۱	۱۵۵۹۸۸	۳۲۹۵۶	۱۱۱۶۹۷	۵۲۹۸۹۲	۶۴۵۰۸۳	۵۲۳۳۷۴	۱۰۴۷۵۵۹	۴۹۵۶۲
۳				۰	۸۲۷۳۷۱۰۰	۱۶۱۸۶۹	۸۶۴۴۱۱	۶۰۵۷۶۷۲	۲۶۵۶۸۴	۱۷۳۸۹۷	۲۶۹۳۵۰	۳۴۰۹۷	۱۰۰۹۷۹	۴۸۵۰۴۰	۴۶۳۹۰۶	۶۲۵۴۵۱	۵۹۵۲۳۴	۴۴۰۰۳
۴					۰	۱۹۶۵۷۲	۱۲۹۳۳۴۹۹	۷۷۷۸۰۳۷	۳۶۰۲۷۶	۱۹۹۲۸۸	۳۳۸۴۸۷	۵۷۸۱۷۴	۱۱۲۱۹۷	۵۱۴۷۰۳	۴۶۸۵۵۶	۶۶۳۷۰۰	۵۹۵۰۲۷	۴۲۳۳۰
۵						۰	۱۵۸۴۹۷	۲۱۲۸۳۳	۹۷۴۰۶	۷۰۸۷۷	۸۱۴۷۸	۱۳۳۰۹	۱۹۴۷۴	۸۰۲۱۸	۸۸۴۵۲	۱۱۲۷۹۶	۱۱۷۰۱۱	۱۰۹۵۸
۶							۰	۱۹۲۸۷۱۴	۶۶۰۰۶۹	۱۵۰۴۳۲	۳۳۸۷۹۷	۵۲۹۹۹	۶۷۰۸۱	۳۲۰۳۸۴	۲۴۱۱۰۷	۴۶۴۰۴۲	۴۶۱۲۱۱	۲۱۶۸۲
۷								۰	۴۲۵۴۰۳	۲۲۱۴۵۶	۳۳۳۱۸۹	۶۴۳۱۱	۱۸۷۵۱۶	۹۸۲۹۲۰	۸۶۱۴۵۹	۱۵۶۹۵۸۱	۱۵۳۵۳۴۰	۶۶۱۸۷
۸									۰	۱۷۱۵۰۰	۳۶۸۶۴۳	۴۰۳۴۱	۳۲۸۹۷	۱۴۵۶۹۷	۹۸۱۲۸	۲۱۱۰۲۶	۱۶۲۰۱۸	۱۱۲۶۲
۹										۰	۵۳۰۳۴۰	۵۵۹۷۹	۵۹۰۶۶	۲۵۳۶۰۷	۱۹۱۰۸۳	۳۲۲۸۴۲	۲۶۸۴۲۸	۲۲۱۶۱

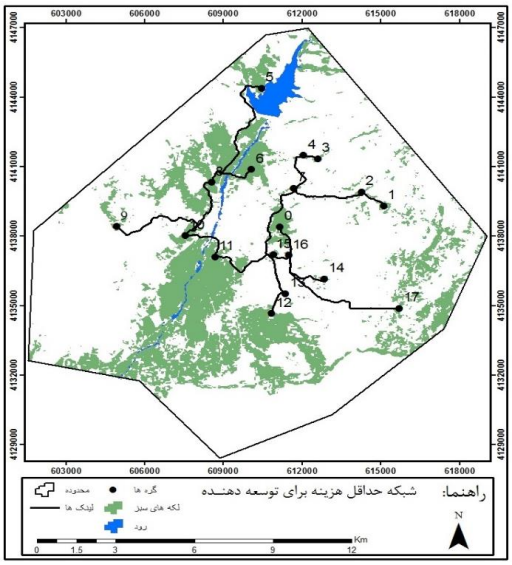
ادامه جدول ۵. برهم‌کنش لکه‌های سبز (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

گ	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۱۰											۰	۳۳۱۲۹۶	۱۱۴۱۴۴	۵۳۱۷۸۶	۳۱۸۳۹۹	۸۷۴۹۱۶	۶۴۳۸۹۹	۳۳۰۰۴
۱۱												۰	۳۹۸۲۹	۲۰۴۵۷۷	۱۰۶۷۰۰	۲۴۰۰۱۰	۱۶۱۳۲۶	۸۰۶۸
۱۲													۰	۵۷۰۹۲۵۰	۸۰۷۷۶۴	۸۵۴۳۴۸	۸۰۲۶۱۶	۴۳۰۹۸
۱۳														۰	۵۴۱۹۱۴۶	۶۳۱۹۱۶۵	۵۶۳۲۱۴۵	۲۱۲۲۲۷
۱۴															۰	۲۸۲۵۶۶۱	۵۶۶۶۵۲۴	۳۶۱۹۸
۱۵																۰	۳۲۷۰۱۵۱۹	۱۴۱۱۹۳
۱۶																	۰	۱۶۶۶۶
۱۷																		۰

شکل ۵ الگوی شبکه‌ای را نشان می‌دهد که در آن هزینه برای توسعه‌دهنده بـه حـداقل رسـیده است و گره‌ها با حداقل هزینهٔ ساخت به یک‌دیگر مرتبط شده‌اند. در واقع در این شـبکه شـاخص پیوستگی پایین و هزینهٔ ساخت حداقل است. گره‌ها به واسطهٔ ۱۷ لینک به یک‌دیگر متصل شده‌اند. ضریب آلفا در این شبکه ۰/۰۰ است که نشان‌دهندهٔ شبکهٔ بدون حلقه و ناپیوسته است. با مقایسـهٔ ضریب‌های آلفا و بتا و گاما در این شبکه می‌توان گفت این شبکه کمترین میزان پیوستگی با نسـبت هزینه (۰/۷۴۱) را دارد.

جدول ۶. شکل بهینهٔ لینک‌ها برای توسعه‌دهنده (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	به لکه	هزینهٔ تجمعی	برهم‌کنش گره‌ها	اولویت لینک‌ها
۰	۱۶	۱۴۶۱	۳۲۱۳۹۸۵	۸
۱	۲	۱۰۹۱	۲۶۵۲۸۵۰۸	۳
۲	۷	۲۹۸۲	۲۴۸۸۸۰۷	۹
۳	۴	۵۹۵	۴۴۱۹۹۶۲۵	۱
۴	۷	۲۰۹۷	۵۱۲۹۸۸۹	۴
۵	۸	۶۱۱۵	۵۹۲۲۳	۱۷
۶	۸	۲۲۴۹	۴۱۲۵۰۷	۱۱
۷	۱۵	۴۰۸۷	۱۰۳۰۶۵۸	۱۰
۸	۱۰	۳۲۳۳	۲۳۱۰۸۰	۱۳
۹	۱۰	۴۵۳۰	۳۲۶۷۶۰	۱۲
۱۰	۱۱	۲۱۰۸	۱۴۴۹۹۲	۱۵
۱۱	۱۵	۳۰۵۰	۱۲۴۳۷۲	۱۶
۱۲	۱۳	۱۱۳۴	۳۷۴۸۳۶۹	۶
۱۳	۱۵	۱۹۲۴	۴۹۳۷۲۱۲	۵
۱۴	۱۶	۲۲۸۵	۳۳۱۶۹۲۲	۷
۱۵	۱۶	۷۲۰	۳۲۸۰۹۸۰۰	۲
۱۶	۱۷	۵۷۳۶	۱۸۶۶۴۶	۱۴

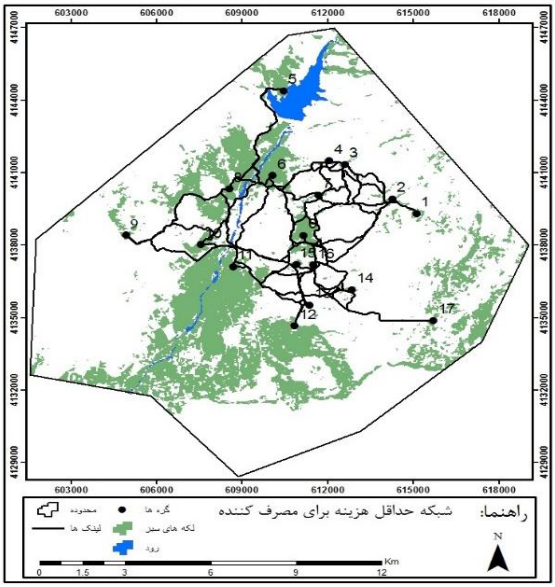


نقشهٔ ۵. شبکهٔ حداقل هزینه برای توسعه‌دهنده (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

شکل ۶ الگوی شبکه‌ای را نشان می‌دهد که در آن هزینهٔ ساخت برای سازنده به حداکثر رسیده است و گره‌ها با حداکثر هزینهٔ ساخت به یک‌دیگر مرتبط شده‌اند. در واقع در این شاخص پیوستگی بالا و هزینهٔ ساخت حداکثر است. گره‌ها به واسطهٔ ۴۷ لینک به یک‌دیگر متصل شده‌اند و ضریب آلفا در این شبکه ۰/۹۶۸ است که نشان‌دهندهٔ شبکه‌ای با حداکثر تعداد حلقهٔ ممکن است. با مقایسهٔ ضریب‌های آلفا و بتا و گاما در این شبکه می‌توان گفت این شبکه دارای حداکثر میزان پیوستگی با نسبت هزینهٔ ۱/۰۰ است. شاخص ضریب هزینه هر چه بیشتر باشد بالا بودن هزینهٔ ساخت و حداکثر ارتباط بین گره‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷. شکل بهینهٔ لینک‌ها برای مصرف‌کننده (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

لکه	به لکه	هزینهٔ تجمعی	برهم‌کنش گره‌ها	اولویت لینک‌ها	لکه	به لکه	هزینهٔ تجمعی	برهم‌کنش گره‌ها	اولویت لینک‌ها
۰	۲	۴۵۸۵	۴۴۸۰۳۵	۱۸	۵	۷	۸۱۶۶	۱۳۸۳۳۷	۳۱
۰	۳	۵۳۰۳	۲۷۵۲۳۹	۲۴	۵	۸	۶۱۱۵	۵۹۲۲۳	۴۱
۰	۴	۵۵۰۴	۲۷۴۷۵۵	۲۵	۵	۱۰	۹۳۸۵	۵۲۶۰۴	۴۲
۰	۵	۹۵۷۳	۴۱۴۰۸	۴۴	۵	۱۱	۱۰۰۷۹	۶۲۶۳	۴۷
۰	۶	۴۰۹۵	۲۱۲۱۴۴	۲۷	۵	۱۲	۱۴۰۱۷	۱۲۱۰۷	۴۶
۰	۹	۸۱۳۶	۸۴۳۱۷	۳۸	۵	۱۶	۱۰۵۳۰	۷۴۰۰۱	۳۹
۰	۱۴	۳۷۸۸	۵۶۲۹۲۷	۱۷	۶	۸	۲۲۴۹	۴۱۲۵۰۷	۲۰
۰	۱۶	۱۴۶۱	۳۲۱۳۹۸۵	۹	۷	۱۴	۵۹۴۳	۶۰۰۱۶۳	۱۶
۰	۱۷	۷۹۰۲	۴۴۹۳۸	۴۳	۷	۱۵	۴۰۸۷	۱۰۳۰۶۵۸	۱۴
۱	۲	۱۰۹۱	۲۶۵۲۸۵۰۸	۳	۸	۱۰	۳۲۳۳	۲۳۱۰۸۰	۲۶
۱	۳	۴۰۲۷	۱۴۳۰۷۵۲	۱۲	۸	۱۴	۸۸۱۴	۶۲۸۳۰	۴۰
۱	۴	۴۶۹۲	۱۱۱۵۹۲۱	۱۳	۸	۱۵	۵۵۳۳	۱۲۵۹۷۳	۳۲
۱	۱۲	۸۳۴۰	۱۰۴۵۹۲	۳۵	۹	۱۰	۴۵۳۰	۳۲۶۷۶۰	۲۲
۱	۱۳	۷۵۰۲	۴۲۷۷۸۳	۱۹	۱۰	۱۱	۲۱۰۸	۱۴۴۹۹۲	۳۰
۱	۱۶	۵۴۳۶	۷۴۳۳۷۰	۱۵	۱۱	۱۵	۳۰۵۰	۱۲۴۳۷۲	۳۳
۲	۷	۲۹۸۲	۲۴۸۸۰۷	۱۰	۱۱	۱۶	۳۷۳۴	۹۰۱۳۹	۳۷
۳	۴	۵۹۵	۴۴۱۹۹۶۲۵	۱	۱۲	۱۳	۱۱۳۴	۳۷۴۸۳۶۹	۶
۳	۷	۲۳۰۷	۳۵۵۰۱۹۲	۷	۱۳	۱۵	۱۹۲۴	۴۹۳۷۲۱۲	۵
۳	۹	۱۰۷۴۸	۱۱۲۱۰۰	۳۴	۱۴	۱۵	۲۹۴۴	۲۰۷۷۸۰۴	۱۱
۳	۱۰	۷۴۷۲	۱۷۸۵۱۰	۲۹	۱۴	۱۶	۲۲۸۵	۳۳۱۶۹۲۲	۸
۳	۱۴	۸۳۱۸	۳۰۵۴۸۶	۲۳	۱۴	۱۷	۴۴۱۰	۳۴۶۱۹۸	۲۱
۴	۷	۲۰۹۷	۵۱۲۹۸۸۹	۴	۱۵	۱۶	۷۲۰	۳۲۸۰۹۸۰۰	۲
۴	۱۱	۶۷۹۹	۳۱۳۳۹	۴۵	۱۶	۱۷	۵۷۳۶	۱۸۶۶۴۶	۲۸
۵	۶	۶۲۱۳	۱۰۰۷۰۲	۳۶					



نقشهٔ ۳. شبکهٔ حداقل هزینه برای مصرف‌کننده (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

شاخص ضریب هزینه هر چه بیشتر باشد بالاتر بودن هزینهٔ ساخت و حداکثر ارتباط بین گره‌ها را نشان می‌دهد و گویای ضریب هزینه به ازای هر واحد مسیر سبز است. با مقایسهٔ ضریب هزینه برای گزینه‌های طراحی‌شده می‌توان گزینه‌ها را از لحاظ افزایش هزینهٔ ساخت تحلیل کرد. جدول ۸ بیانگر میزان پیوستگی گزینهٔ بهینه برای توسعه‌دهنده و مصرف‌کننده است.

جدول ۸. آنالیز پیوستگی و هزینهٔ گزینه‌های توسعهٔ شبکهٔ اکولوژیک (منبع: یافته‌های پژوهش ۱۳۹۹)

گزینه‌ها	v	L	ضریب آلفا (α)	ضریب بتا (β)	ضریب گاما (γ)	cost ratio
بهینهٔ سازنده	۱۸	۱۷	۰/۰۰۰	۰/۹۴۴	۰/۳۵۴	۰/۷۴۱
بهینهٔ مصرف‌کننده	۱۸	۴۷	۰/۹۶۸	۲/۶۱۱	۰/۹۷۹	۱/۰۰۰

عمدهٔ کریدورهای ایجادشده همانند یک کمربند سبز اطراف شهر کشیده شده‌اند که دلیل اصلی آن نیز قرارگیری زیستگاه های اصلی در حومهٔ شهر است. همچنین قسمت مرکزی شهر از مقاومت بسیار بالایی برخوردار است و امکان ایجاد کریدورهای اکولوژیکی در این قسمت از شهر میسر نیست. با این حال با توسعهٔ شبکهٔ کریدورها بین فضاهای سبز باقی‌مانده و استفاده از امکانات

بالقوه در شهر می توان، ضمن ممانعت از تخریب بیش ازحد فضاهای اکولوژیک، اقـدامات مـؤثری جهت ارتقای پیوستگی اکولوژیکی این فضاها اتخاذ کرد.

نتیجه

یکی از دلایل بی‌کیفیتی فضاهای سبز شهرهای امروز در مقیاس خرد و کلان نبـودِ ارتبـاط مناسـب میان اجزای آن‌ها با سایر ساختارهای شهر است. به عبارت دیگر، رشد شهرها باعث بر هم خوردن تعادل و نسبت توده‌های مصنوعی و فضاهای سبز موجود در شهرها شده اسـت و از سـوی دیگـر رویکرد حاکم بر توسعهٔ این فضاها مبتنی بر رویکردهای بخشی، کمی‌گرا، و تک‌بعـدی اسـت کـه صرفاً بر افزایش مساحت فضاهای سبز تمرکز دارد. مطالعهٔ وارثی و همکارانش (۱۳۸۷) جهت رفع کمبود فضای سبز و بهینه‌سازی توزیع آن با توجه ارزش زمین معیارهای واقع شـدن در زمـین‌هـای بایر، نزدیکی به مراکز آموزشی، مراکز فرهنگی، مراکز جمعیتی، تأسیسات شهری، دسترسی به شبکهٔ ارتباطی و فاصله از پارک‌ها و فضای سبز موجود را در نظـر گرفتـه و از نتـایج حاصـل زمـین‌هـای محدودهٔ مورد مطالعه را برای فضای سبز اولویت‌بنـدی کـرده‌انـد. در مطالعـه‌ای دیگـر گنجـی‌پـور (۱۳۹۵) جهت رفع کمبود سرانهٔ فضای سبز و نیز پراکندگی نامناسب فضای سـبز شـهری پیشـنهاد مکان‌یابی و احداث بوستان‌های جدید را ارائه داده است و همچنین تملـک زمـین‌هـایی کـه دارای مقیاس نسبتاً بزرگ هستند، که در طرح تفصیلی با نام کاربری ذخیرهٔ توسعه و نوسـازی شـهری در نظر گرفته شده است، را مناسب دانسته است. شبکهٔ سبز شهرهای معاصر به گونه‌ای اسـت کـه نـه نشانی از پیوستگی میان اجزای آن‌ها یافت می‌شود نه با دیگر ساختارها و لایه‌های عملکـردی شـهر ارتباطی منسجم دارند. بنابراین، نبود انسجام و پیوستگی مانع بروز منافع زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی فضاهای سبز در شهرها خواهد شد. از پیوستگی فضاهای سبز شهری در تحقیق شـیعه و مشرف‌دهکری (۱۳۹۰) به منزلهٔ عامل افزایش کارایی فضاهای شهری و ارتقـای هویـت طبیعـی در شهر یاد شده است. عدم توجه به اصول پیوستگی فضاهای سبز ماهیت طبیعی و عملکردی آن‌هـا را دست‌خوش تغییر کرده است و به‌رغم تلاش‌هایی که در زمینهٔ افزایش یا حفـظ ایـن فضـاها انجـام می‌پذیرد، اغلب این فضاها کارآیی اصلی خود را از دست داده‌اند و پـس از مـدتی بـه نـواحی فاقـد پشتیبان و بی‌هویت تبدیل شده‌اند. همین مبحث در مطالعهٔ بهبهانی و برنجی (۱۳۹۰) مورد تأکید قرار

گرفته است. آن‌ها جست‌وجوی راهی برای ایجاد پیوستگی و حفاظت توسط مسیرهای سبز بین ساختارهای طبیعی و تاریخی می‌دانند؛ طوری که شبکه‌ای به‌هم‌پیوسته و مرتبط از ساختارهای طبیعی و تاریخی ایجاد شود. در این زمینه پژوهش با استفاده از روش تئوری گراف و مدل‌سازی حداقل هزینه جهت بررسی پیوستگی فضاهای سبز شهر مراغه انجام شد؛ بدین صورت که لکه‌های سبز شهری به مثابهٔ گره‌هایی از شبکهٔ فضای سبز در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از مدل جاذبهٔ برهم‌کنش لکه‌ها به صورت دوبه‌دو تعیین شدند و در نهایت با استفاده از شاخص‌های تعیین‌کنندهٔ پیوستگی و شاخص هزینه بهینه‌ترین طرح جهت توسعهٔ فضای سبز شهری صورت گرفت. نتایج پژوهش نشان‌دهندهٔ گسیختگی فضاهای سبز شهری در شهر مراغه بود. نتایج حاصل با تحقیقات براتی و همکارانش (۱۳۹۶) و صادق‌اوغلی و همکارانش (۱۳۹۸) مطابقت دارد؛ طوری که در همهٔ آن‌ها گسیختگی و عدم پیوستگی بین فضاها مشاهده می‌شود. بنابراین، با شناسایی لکه‌های با ارزش فضای سبز و پیوستگی آن‌ها، برنامه‌ریزی‌های شهری باید به سمت حفاظت از آن‌ها سوق داده شوند تا بیشترین سود با حداقل هزینه‌ها در جهت حفاظت از لکه‌های بااهمیت به دست آید تا بتوان پیوستگی و حفظ تنوع زیستی را به طور شایسته‌ای ضمانت کرد. در همین زمینه ابتدا سیمای سرزمین شهر مراغه در سال ۲۰۱۶ ارزیابی و نقشهٔ کاربری اراضی تهیه شد. جهت ارزیابی وضع موجود پیوستگی اکولوژیکی سیمای سرزمین شهر از شاخص‌های پیوستگی PC و IIC در محیط نرم‌افزار Conefor استفاده شد. سپس، با شناسایی و اولویت‌بندی لکه‌های مهم و حیاتی موجود در سیمای سرزمین، توسعهٔ شبکهٔ اکولوژیک شهر در نظر گرفته شد. در نهایت، بهینه‌ترین مسیرهای اتصالی بر اساس کمترین هزینهٔ ساخت به دست آمد که در آن ۱۸ لکه با ۱۷ لینک به یک‌دیگر متصل شده‌اند و یک شبکهٔ باز و شاخه‌ای صورت گرفته که هیچ حلقه‌ای در آن وجود ندارد و دارای کمترین میزان پیوستگی با نسبت هزینهٔ ۰/۷۴۱ است. همچنین مسیرهای اتصالی بهینه‌ترین مسیر برای مصرف‌کننده تعیین شد که در آن ۱۸ لکه با ۴۷ لینک به یک‌دیگر متصل شده‌اند و شبکهٔ پیچیده و حلقوی ایجاد کرده‌اند که دارای بیشترین میزان پیوستگی با نسبت هزینهٔ ۱ است. با توجه به دو شبکهٔ بهینه‌ترین مسیر برای مصرف‌کننده و سازنده گزینهٔ بهینه‌ترین مسیر برای مصرف‌کننده بهترین گزینه جهت توسعهٔ فضای سبز شهر مراغه در راستای بهبود پیوستگی و حفظ کارایی و تنوع

زیستی به شمار می‌رود. بنابراین، ضروری است با تغییر رویکردهای بخشی و الگوهای رایج به رویکردهای همه‌جانبه وحدت و پیوستگی را به فضاهای سبز شهرها بازگرداند. این الگو باید به صورت هم‌زمان ارتباطات کالبدی و عملکردی شبکه‌های سبز را با توجه به اصول معنایی و مفهومی آن‌ها در نظر گیرد و زمینه‌ساز وحدت منظر شهری شود. زیرا پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین یکی از راه‌های تأثیرگذار برای کاهش ازهم‌گسیختگی و کاهش تنوع زیستی است.

منابع

آل‌هاشمی، آیدا (۱۳۹۴). «رویکرد منظرین به زیرساخت‌های شهری، راهبردهای توسعهٔ شبکهٔ آبی تهران به عنوان زیرساخت منظرین شهر»، رسالهٔ منتشرشده دکترای معماری، تهران، دانشگاه تهران.

آل‌هاشمی، آیدا؛ بهار مجتهدی (۱۳۹۲). «انطباق و پیوستگی شبکهٔ نقاط عطف شهری با بستر طبیعی، گامی به سوی خوانایی منظر شهر»، قابل دسترس: http://zibasazi.ir/fa/commentarticle/item/4751- html

براتی، بهزاد؛ علی جهانی؛ لعبت زبردست؛ بهزاد رایگانی (۱۳۹۶). «رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین (منطقهٔ مورد مطالعه: پارک ملی و پناهگاه حیات وحش کلاه‌قاضی)»، *آمایش سرزمین*، د ۹، ش ۱، صص ۱۵۳ ـ ۱۶۸.

بهبهانی، هما؛ مریم برنجی (۱۳۹۰). «طراحی سبز راه‌های شهری برای ایجاد پیوستگی بین ساختارهای طبیعی ـ تاریخی درون‌شهری (مطالعهٔ شهرری)»، *مطالعات باستان‌شناسی*، د ۳، ش ۱، صص ۴۵ ـ ۶۴.

پودات، فاطمه؛ شهین‌دخت برق‌جلو؛ سید حامد میرکریمی (۱۳۹۳). «مروری تحلیلی بر چگونگی اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیک به منظور حفاظت از تنوع زیستی در شهرها»، *پژوهش‌های محیط زیست*، د ۵، ش ۱۰، صص ۱۹۵ ـ ۲۱۰.

شیعه، اسماعیل؛ حسین مشرف‌دهکردی (۱۳۹۰). «نقش پیوستگی فضاهای سبز در هویت‌بخشی طبیعی به شهر (مورد مطالعاتی: شهرکرد)»، *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ش ۹، صص ۳۱۵ ـ ۳۲۱.

صادق‌اوغلی، رقیه؛ علی جهانی؛ علیزادهٔ شعبانی؛ حمید گشتاسب (۱۳۹۸). «ارزیابی ساختار سیمای سرزمین، به منظور توسعه و یکپارچه‌سازی مناطق تحت حفاظت»، *آمایش سرزمین*، د ۱۱، ش ۱، صص ۵۷ ـ ۷۸.

کرم، امیر؛ شیلا حجه‌فروش‌نیا؛ حمیدرضا حکیمی (۱۳۹۱). «ارزیابی و تحلیل پیوستگی چشم‌انداز، رویکردی نوین در برنامه‌ریزی محیطی (مطالعهٔ موردی: ناحیهٔ کاشان ـ آران)»، *جغرافیا و مطالعات محیطی*، د ۱، ش ۳، صص ۲۹ ـ ۴۴.

گنجی‌پور، علی (۱۳۹۵). «ارزیابی سرانهٔ کاربری فضای سبز شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۸ شهرداری تهران)»، *آمایش محیط*، د ۹، ش ۳۵، صص ۷۱ ـ ۸۴.

مختاری، زهرا؛ رومینا سیاح‌نیا (۱۳۹۶). «مبانی مطالعه و کمی‌سازی ساختار سیمای سرزمین»، تهران، آوای قلم.

وارثی، حمیدرضا؛ جمال محمدی؛ احمد شاهیوندی (۱۳۸۷). «مکان‌یابی فضای سبز شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونهٔ موردی: شهر خرم‌آباد)»، *جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای*، د ۶، ش ۱، صص ۸۳ ـ ۱۰۳.

References

Ahern, J. (2007). "Green Infrastructure for cities: The spatial dimension", In Cities of the future, Towards integrated sustainable water and landscape management, ed. Novotny, V. London: IWA Publications.

Al-Hashemi, A. (1394). "Landscaping approach to urban infrastructure, Tehran water network development strategies as urban landscaping infrastructure", PhD thesis in Architecture, Tehran, University of Tehran. (in Persian)

Al-Hashemi, A. & Mojtahedi, B. (2013). "Adaptation and connection of the network of urban landmarks with the natural bed, a step towards the legibility of the city landscape", Available: http://zibasazi.ir/fa/commentarticle/item/4751- html

Barati, B., Jahani, A., Zebardast, L., & Rayegani, B. (2017). "Integration assessment of the protected areas using landscape ecological approach (Case Study: Kolah Ghazy National Park and Wildlife Refuge)", *Town and country planning*, 9(1), pp. 153-168. (in Persian)

Behbehani, H. & Berenji, M. (2010). "Provide continuity between natural and historical structures existed in the urban areas using green design of urban roads", 3(1), pp. 45-64. (in Persian)

Benedict, M. A. & McMahon, E. T. (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities, Washington, D.C.: Island Press.

Bennett, G. (2004). Integrating Biodiversity Conservation and Sustainable Use: Lessons Learned From Ecological Networks, IUCN. Gland, Switzerland & Cambridge, UK. 55 pp. Available at: http://data.iucn.org/dbtwwpd/edocs/2004-002.pdf.

Boitani, L., Falcucci, A., Maiorano, L., & Rondinini, C. (2007). "Ecological networks as conceptual frameworks or operational tools in conservation", *Conserv*, Biol, 21, pp. 1414-1422.

Bunn, A.G, Urban, D.L., & Keitt, T.H. (2000). "Landscape connectivity: A conservation application of graph theory", *Journal of Environmental Management*, 59(4), pp. 265-278.

Chicago Metropolitan Agency (2016). integrating green infrastructure: On to 2050 strategy paper. Available from: http://www.cmap.illinois.gov. Accessed 2 November 2016.

Cook, E. A. & Van Lier, H. N. (Eds.). (1994). Landscape Planning and Ecological Networks, Amsterdam: Elsevier.

Cook, E. A. (2002). "Landscape Structure Indices for assessing urban ecological networks", *Landscape and urban planning*, 58, pp. 269-280.

Council of Europe (1996). UNEP, European Center for Natural Conservation, the Pan European Biological & Landscape Diversity Strategy: A Vision for Europe's Natural Heritage.

Dale, M. R. T. & Fortin, M. J. (2010). "From Graph to Spatial Graph, the Annual Review of Ecology", *Evolution and Systematics*, 41, pp. 21-38.

Foltête, J. C. (2019). "How ecological networks could benefit from landscape graphs: A response to the paper by Spartaco Gippoliti and Corrado Battisti", *Land Use Policy*, 80, pp. 391-394.

Galpern, P., Manseau, M., & Fal, A. (2011). "Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation", *Biological Conservation*, 144, pp. 44-55.

Ganjipour, A. (2017). "Per capita green space assessment using GIS Case Study: district 8 of Tehran", *Environmental based territorial planning*, 9(35), pp. 71-84. (in Persian)

Hargrove, W. W., Hoffman, F. M., & Efroymson, R. A. (2005). "A practical map-analysis tool for detecting potential dispersal corridors", *Landscape Ecology*, 20(4), pp. 361-373.

http://zibasazi.ir/fa/commentarticle/item/4751-html. (in Persian)

Podat, F., Bargh Jaloo, S. D., & Mirkarimi, S.H. (2014). "Analytical review on how to measure ecological cohesion in order to protect biodiversity in cities", *Environmental Research*, 5(10), pp. 210-195. (in Persian)

Identification based on graph theory and gravity modeling, Landscape and urban planning, 95(1), pp. 16-27.

Karam, A., Hajjeh Foroshnia, S., & Hakimi, H. (2012). "Assessing and analyzing landscape continuity, a new approach in environmental planning Case study: Kashan-Aran area", *Journal of Geography and Environmental Studies*, 1(3), pp. 44-29. (in Persian)

Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation:

Konga, F., Yinb, H., Nakagoshic, N., & Zongb, Y. (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation:

Kubes, J. (1996). "Biocenters and Corridors in a cultural landscape: A critical assessments of the territorial system of the ecological stability", *landscape urban planning*, 35(40), pp. 231-240.

Mokhtari, Z. & Sayyahnia, R. (2017). *Principles of studying and quantifying the structure of the land image*, Tehran, Avaye Ghalam. (in Persian)

Pascual-Hortal, L. & Saura, S. (2007). "Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity", *Landscape and Urban Planning*, 83(2-3), pp. 176-186.

Sadegh Oghli, R., Jahani, A., Alizade Shabani, A., & Goshtasb, H. (2019). "Evaluation of Landscape Structure for Development and Integration of the Protected Areas", *town and country planning*, 11(1), pp. 57-78. (in Persian)

Sepp, K., Palang, H., Mander, U., & Kaasik, A. (1999). "Prospects for nature and landscape protection in Estonia", *landscape urban planning*, 46, pp. 161-167.

Shieh, E. & Moshref Dehkordi, H. (2010). "The roll of Green space continuity in natural identity of urban", *Architechture and urnanism of utopia*, 9, pp. 315-321. (in Persian)

SWA group (2012). Landscape infrastructure: Case studies, Basel: Birkhäuser Architecture.

Taylor, P. D. (2006). Landscape connectivity: A return to the basics, Connect. Conserv, pp. 29–43.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Ka´zmierczak, A., Niemela, J., &

James, P. (2007). "Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review", *Landscape and Urban Planning*, 81(3), pp. 167–178.

Urban, D. L. (2009). "Graph models of habitat mosaics", *Ecology Letters*, 12(3), pp. 260-273.

Varesi, H. R., Mohammadi, J., & Shahivandi, A. (2007). "Urban green space Site selection using geographical information system", *Geography and regional development*, 10(6), pp. 83-103. (in Persian)

Xiu, N., Ignatieva, M., Boch, C., Chai, Y., Wang, F., Cui, T., & Yang, F. (2017). "A socio-ecological perspective of urban green networks: The Stockholm case", *Urban Ecosystem*, 20, pp. 729-742.

Yu, K. (2012). Ecological infrastructure leads the way: the negative approach and landscape urbanism for smart preservation and smart growth, In Richter, M., Weiland, U. (Eds.), Applied Urban Ecology: A Global Framework. Oxford: Black well Publishing.

Yuhong, T., Jiaomei, L., & Chiyung, J. (2011). Landscape planning of the green network in Tai Po Industrial Estate in Hong Kong, International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. 19, 20 Feb.2011. Changsha: IEEE.

Zhang, L. & Wang, H. (2006). "Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis", *Landscape and Urban Planning*, 78(4), pp. 449-456.

Zhang, Z.H., Meroow, S., Newell, J., & Lindquist, M. (2019). "Enhancing Landscape Connectivity through Multifunctional green infrastructure corridor modeling and design", 38, pp. 305-317.