Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 4, Winter 2021

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Optimization of Landscape Structure Based on Ecological Network Analysis and Graph Theory

Mahdis Sadat[1], Esmail Salehi [1*], Mohammad Javad Amiri[1], Amir Houshang Ehsani[2]

1 Department of Environmental Planning, Management and Education, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
2 Department of Environmental Design, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

DOI: 10.22059/JES.2021.323284.1008169

Document Type
Research Paper

Received
October 22, 2020

Accepted
Januaryr 11, 2021

Abstract

Over the last few years, extreme land degradation in the Northern provinces of Iran has led to extensive destruction to ecological systems in these areas. However, the connection of green spots and animal habitats is one of their most important features that allows the shift of animals and gene transfer among habitats. By applying landscape Ecology, the concepts in graph theory and ecological network, can simulate and analyze ecological and habitat networks and provide a decent plan to improve the structure, performance and conservation of biodiversity. The framework for setting up and improving ecological network structure in this study is based on morphological spatial pattern analysis model, graph theory (using Conefor 2.6 software) and path analysis with the least cost considering the amount of resistance and distance threshold for Phasianus colchicus species. In the ecological network, the small and limited natural corridors beside multitude core, illustrates the need of this network to devise corridors by experts and draftsmen. In addition, the small number of holes inside the cores confirms the optimal state of the network in terms of internal cohesion of the cores. Thus, in this research, a pattern of identification and planning is explicated, which will definitely be helpful in modeling the landscape and spatial planning of ecological networks.

Keywords: Ecological network, Graph theory, Habitat, Corridor, Phasianus colchicus.

* Corresponding author Email: tehransaleh@ut.ac.ir

Extended abstract

Introduction

Landscape fragmentation reduces the patch area of internal habitat, hinders the operating and regulating ability of normal landscape ecological processes, and damages ecological corridors. Therefore, connecting isolated broken ecological patches and stepping stones through potential corridors within the borders can improve the impact of fragmented landscapes on biodiversity and the connectivity of landscape and promote the exchanges of genetic material and species between patches, which would effectively improve the service functions of natural ecosystems and have an important ecological significance. Basically correct landscape pattern requires ecological network and ecological system. Ecological network helps planners to increase the landscape connectivity between habitat patches. Network optimization is mainly based on the improvement in network connectivity, including the optimization of corridors and nodes. The optimization of corridors mainly refers to the increase in the number of corridors and the repair of ecological breakpoints in the corridors based on the degree of connectivity. Corridor connectivity should be increased in areas with low landscape connectivity. In recent years, the morphological spatial pattern analysis (MSPA) approach, which mainly focuses on structural connectivity, has been increasingly applied in ecological network analysis. This model is mainly used for the analysis of structural connectivity and can be used to accurately distinguish between landscape types and structures. The MSPA method applies four parameters, namely "connectivity", "edge width", "transition" and "intext" to classify landscape. Landscape connectivity can be used as a quantitative indicator of how facilitating a source landscape patch is for species migration, as a high degree of connectivity facilitates biodiversity protection and the maintenance of landscape ecological functions. The connectivity of the landscape and the importance of the various landscape patches to landscape connectivity can be reflected under graph.In northern Iranian provinces like Gilan province, cities have experienced irregular and horizontal urban sprawls during recent decades due to the existence of Hyrcanian Forests, special climatic setting, presence of green areas and adjacency to Caspian Sea, high population density, and the development of economic activities across the region. As a result of land-use change, urban growth and land degradation, the distributions of some terrestrial species have changed in recent years. Phasianus colchicus is one of the focal species in this region. The maximal dispersal distance of the Phasianus colchicus 3.2. The species prefers forests with canopy cover of 5–25% because these forests are largely covered by shrubs and bushes, which common pheasant use as a refuge. Pheasants live out their lives within a home range of about one square mile (640 acres), requiring all habitat components (nesting cover, brood habitat, winter cover and food plots) to be in close proximity. Ideally, a minimum of 30-60 acres (about 5-10 percent) of this range should be nesting cover. In this study, seeking to make a more comprehensive assessment of landscape connectivity, the core habitats and corridors will be identified according to the habitat type and dispersal distance of the focal species.

Material and Methods

The study area in this study is located in the two watersheds of Lahijan Chabaksar (49° 12′ to 50°05′ E, 37° 07′ to 37° 25′ N) and Astaneh- Kuchesfahan (50°21′ to 50° 26′ E, 37° 02′ to 37° 06′ N), in the east and center of Gilan province, respectively.

In the first step to classify the land cover in this study, the total Landsat 8 images in the period 01/01/2019 to 31/12/2019, which had a cloud cover below 10%, were used. Then, using Google Earth Engine and the products and instructions of vegetation index (NDVI) which related to the four seasons in 2019, urban lands, tree canopy cover to identify forest areas with trees height above 30 meters and finally the data removed from the ground and entered into the system by the user Land cover was classified into eight categories: forest land, rangeland, farmland, water, built up area, and tea farmland, garden and open space. According to the classified map of NDVI and land cover index and finally the identification of rangelands, gardens, forest lands with canopy cover less than 30%, agricultural lands and tea cultivation on the one hand and on the other hand considering the minimum area, elevation (Less than 1200 m above sea level) and slope (low to medium) required for the habitat of this species, the habitats of pheasant species in the region were identified. Then, MSPA analysis was used to form the ecological network and obtain core area. So forest land is extracted to be the foreground, and other land

as the background, a series of image processing methods are used to divide the foreground into seven non-overlapping categories (namely, core, bridge, edge, branch, loop, islet and preformation), and then categories that are important for maintaining connectivity are identified, which increases the scientific nature of the ecological source and ecological corridor selection. The level of landscape connectivity in a region can quantitatively characterize whether a certain landscape type is suitable for species exchange and migration, which is of great significance for biodiversity protection and ecosystem balance. In this study, in the aspect of landscape connectivity evaluation, the integral index of connectivity (IIC), the probability of connectivity (PC), the delta of PC (dPC) and the delta of IIC (dIIC) are commonly used as the important indicators of landscape pattern and function, which can reflect well the degree of connection between core patches in the regional level and are calculated by Conefor 2.6 software. As the dispersal ability of different species varies, we assigned the dispersal distance 3.2 km and ring-necked pheasant, respectively. Finally, the top 8 patches with value of dPC above 4 were chosen as the most important habitats. The using least-cost path the corridors between them were determined. The least-cost path is often used to optimize a grid module. The resistance value of a grid describes its facilitating or impeding influences on dispersal processes of species. The resistance value is attached to each land cover unit to calculate the connectivity between two habitats (Table 1). The least-cost path model makes it possible to calculate the minimum cumulative link (corridors) between the target patch and the nearest source patch (habitat). We calculated the path of least resistance for the organism to migrate along and obtained the potential corridors between source patches using the "cost path" analysis in ArcGIS. The different resistance values of each land cover class were the key factors affecting the result.

Table 1. Landscape resistance value

Land Cover Class	Resistance Value	Land Cover Class	Resistance Value
Forest	1	farmland	5
Open space	30	tea farmland	10
rangeland	10	Built up area	1000
garden	20	water	100

Discussion of Results

According to the output of the classified map by Google Earth Engine, the largest area of the studied district is Hyrcanian forests and agricultural lands. In the studied area, pheasant habitat has been identified in areas that have appropriate slope and canopy cover percentage as well as the capability to provide a safe space for nesting and the potential to provide food for this species. It should be noted that due to land use changes over the past years and the forest spots destruction, pastures and agricultural lands, the habitat has been scattered irregularly. The ecological network modeling results of these habitats display that 6347.32 square kilometers of the studied area comprise pheasant habitat. The main areas, known as the habitat core, are concentrated in the central part of the region and north of the Hyrcanian forests with an almost connected spatial pattern. The number of main cores is relatively unequally distributed and accounts for 51.17% of the total network area. in this ecological network, bridges which act as connecting corridors and facilitate species migration among habitats, occupied 29.38812 hectares of the total habitat network. Of course, this type of structure is more visible in the western half of the region than the eastern one because of the core disintegration. Also, the holes inside the core of the habitats, accounting for 2.77% of the total network, demonstrate the relatively interconnected conditions of the core. The presence of islands as isolated spots that have no relation to other habitats in this area is very low and overall occupies 888.63 hectares of total area.In the next step, the results of Conefore 2.6 model, which is used to evaluate the connection of pheasant habitat core, shows the sum dPC and dIIC in the studied area is above 0.002, which indicates the existence of isolated and insignificant habitats in the area. As mentioned previously, the top 8 patches with a dPC value above 4 were selected as the most important habitats in this study as a field for further analysis. Cores 5100, 5224, 4657, 536 and 1314 have been selected as the most important habitat cores. Finally, the optimal corridors between the two habitats have been determined using the analysis method of minimum cost with considering a maximum distance of 3500 meters. Regarding to the resistance of land cover, these

corridors with a length of 35.9 km, mainly forest lands or tea farms, are mixed with the pastures that have the ability to improve the desired ecological network (Figure1).

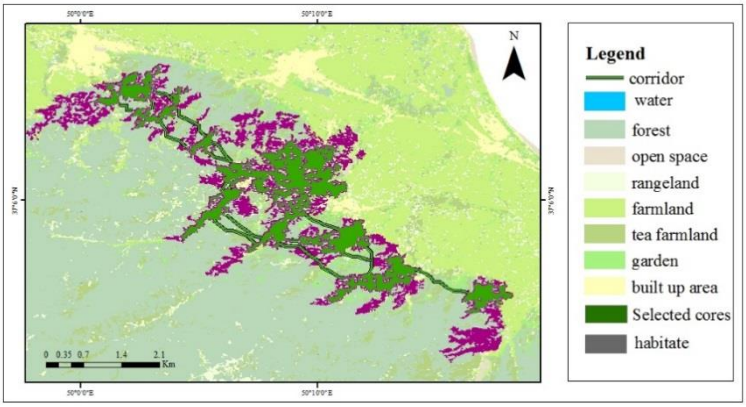


Figure 1. The most importance *Phasianus colchicus* habitats and potential corridors

Conclusion

In recent years, how to create ecological networks and plan to improve their structure has become a solution for habitat protection. Among the ecological network structure, corridors are one of the main components that facilitate species migration by increasing the structural continuity of habitats. In this study, a method based on constructing an ecological network rest on MSPA and graph theory (using Conefor 2.6 software) and analyzing the minimum cost to identify the ecological network, its coherence and improving its structure, is elucidated. The results of this study represent that a large part of the pheasant habitat is concentrated in a relatively good condition in point of continuity view, in the central part of the study area and north of the Hyrcanian forests. However, the existence of few bridges as corridors connecting habitats in this ecological network, along with the large number of cores, indicates the need of this network to scheme corridors by planners. In this research, after determining 8 habitat cores with high priority in the region that play a more significant and strategic role for network connectivity, important and optimal corridors were obtained to establish a connection between them. According to the findings, the method used in this work can be used in studies with different scales to identify potential corridors. This method is also efficient for habitats management according to the needs and sensitivity of the species, the resistance of each user and the ability of the species to move among habitats. In conclusion, it is suggested that besides preserving the bridges and loops in the ecological network, the proposed corridors as the best pheasant migration routes among habitat cores should be thoroughly examined and protected against cover changes. In addition, raising awareness of indigenous communities about aggress this species makes marginal and inter-habitat agricultural lands effective as stepping stones for pheasant migration.

محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ٤، زمستان ۱۳۹۹، صفحهٔ ۶۲۵- ٦٤٤

بهینه‌سازی ساختار سیمای سرزمین با رویکرد تجزیه تحلیل شبکه اکولوژیک و تئوری گراف

مهدیس سادات[۱]، اسماعیل صالحی*[۱]، محمدجواد امیری[۱]، امیر هوشنگ احسانی[۲]

۱ گروه برنامه ریزی،مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲ گروه طراحی محیط، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: : ۱۳۹۹/۸/۱ تاریخ پذیرش مقاله: : ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

چکیده

تخریب شدید اراضی طبیعی در استان‌های شمالی منجر به خسارات زیادی به سیستم‌های اکولوژیکی این مناطق گشته است. این در حالی است که پیوستگی لکه‌های سبز و زیستگاه‌های گونه‌های جانوری یکی از مهم‌ترین ویژگی آن‌هاست که حرکت جانوران و انتقال ژن‌ها را در بین زیستگاه‌ها میسر می‌سازد. با به‌کارگیری اصول اکولوژی سیمای سرزمین، مفاهیم موجود در تئوری گراف و شبکه اکولوژیک می‌توان به شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل شبکه‌های اکولوژیکی و زیستگاهی پرداخت و طرح مناسبی را برای بهبود ساختار، عملکرد و حفظ تنوع زیستی ارائه کرد. چارچوب ساخت و بهبود ساختار شبکه اکولوژیکی در این مطالعه مبتنی بر مدل تجزیه و تحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی، تئوری گراف (به‌وسیله نرم‌افزار Conefor 2.6) و تجزیه وتحلیل مسیر با کمترین هزینه توأم با در نظر گرفتن مقدار مقاومت و آستانه فاصله برای گونه قرقاول (*Phasianus colchicus*) است. در این شبکه اکولوژیک میزان محدود کریدورهای طبیعی در کنار تعداد زیاد هسته‌ها، نشان‌دهنده نیاز این شبکه به تدبیر کریدورهایی از سوی متخصصین است. به علاوه میزان کم منافذ درون هسته‌ها مؤید وضعیت مطلوب شبکه از حیث پیوستگی درونی هسته‌ها می‌باشد. لذا در این پژوهش، یک الگوی شناسایی و برنامه‌ریزی تبیین می‌گردد که قطعاً در مدل‌سازی سیمای‌سرزمین و برنامه‌ریزی فضایی شبکه‌های اکولوژیک کمک‌کننده خواهد بود.

کلیدواژه

شبکه اکولوژیک، تئوری گراف، زیستگاه، کریدور، قرقاول

سرآغاز

پیوستگی اکولوژیک یک ویژگی ساختاری سیمای سرزمین است که عموماً به‌عنوان درجه‌ای از توانایی سیمای سرزمین در تسهیل حرکت جانوران در بین زیستگاه‌هایشان تعریف (شفیعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و یک عنصر حیاتی برای ماندگاری ژنتیکی گونه شناخته می‌شود (Liu et al., 2018). اساساً الگوی سیمای سرزمین پایدار به شبکه و سیستم اکولوژیکی نیاز دارد (Zhao et al., 2019). شبکه‌های اکولوژیکی به‌طور معمول به‌عنوان مجموعه‌ای از هسته‌های زیستگاهی متصل شده توسط مناطق بافر، راهروها و گذرگاه‌های موقت که امکان حرکت گونه‌ها را فراهم می‌کنند، تعریف‌شده است (Bennett et al., 2006; Lawton et al., 2010). شبکه اکولوژیکی سیمای سرزمین به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا ارتباط عناصر سیمای سرزمین را

* نویسنده مسئول: Email: tehransaleh@ut.ac.ir

DOI: 10.22059/JES.2021.323284.1008169
DOR: 20.1001.1.10258620.1399.46.4.3.8

در مناطق تحت تأثیر فعالیت و تخریب انسان افزایش دهند (Chi et al., 2019). درنتیجه، شبکه‌های اکولوژیکی با هدف استفاده از زمین مورد استفاده و بحث قرار می‌گیرند و از آنجا که ایجاد این شبکه‌ها توانایی اتصال و تلفیق زیستگاه‌های از هم‌گسیخته و تکه‌تکه شده را دارد، ابزاری مهم در جهت حفاظت از زیستگاه‌ها و گونه‌ها و به‌طورکلی افزایش کیفیت اکوسیستم‌های طبیعی است (Yang et al., 2017). زیرا عدم اتصال لکه‌های موجود در یک سیمای سرزمین و جداشدگی تکه‌های زیستگاه و درنتیجه تخریب ساختار سیمای سرزمین، می‌تواند در عملکردهای اکولوژیکی مانند گرده‌افشانی، انتقال بذر، جریان ژن، مهاجرت و تولیدمثل حیات‌وحش اختلال ایجاد کند (Ye et al., 2020). بنابراین ایجاد شبکه‌های اکولوژیکی می‌تواند به‌عنوان روشی برای ارتقا ساختار و عملکرد اکولوژیکی در نظر گرفته شود و اکنون در بسیاری از کشورها عامل اصلی سیاست‌گذاری است (Opdam et al., 2006 Lawton et al., 2010; Worboys et al., 2010;). تجزیه و تحلیل شبکه اکولوژیکی یک روش تحلیلی برای مطالعه تعاملات و روابط بین اجزای سازنده از طریق کریدورها و شناسایی خصوصیات ذاتی اکوسیستم است. این روش، ویژگی‌های ساختاری و روابط عملکردی اکوسیستم را برجسته می‌کند و نقش مهمی در طراحی اکوسیستم و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین دارد (Dos Santos et al., 2020; Zhao et al., 2019).

در سال‌های اخیر، رویکرد تجزیه و تحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی[1](MSPA)، که عمدتاً بر اتصال ساختاری متمرکز است، به‌طور فزاینده‌ای در تجزیه و تحلیل شبکه اکولوژیکی استفاده‌شده است (An et al., 2020). این رویکرد یک روش پردازش تصویر است که توسط Vogtو Soille در سال ۲۰۰۹ ایجاد شده است. این روش قابلیت اندازه‌گیری، شناسایی و تفکیک الگوی فضایی تصاویر رستری را بر اساس چهار عملیات اساسی مورفولوژی ریاضی، یعنی "خردگی[2]"،"انبساط[3]"، "باز شدن[4]" و "بسته شدن[5]" دارد. تجزیه‌وتحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی۱ عمدتاً برای تجزیه و تحلیل اتصال ساختاری استفاده می‌شود و می‌تواند برای تشخیص دقیق بین انواع سیمای سرزمین و ساختارها مورد استفاده قرار گیرد (Soille and Vogt, 2009). از این‌رو این مدل برای شناسایی تکه‌ها و کریدورهای مهم زیستگاهی که در سطح پیکسل نقش مهمی در اتصال چشم‌انداز دارند کاربرد دارد (Ye et al., 2020).

یکی از روش‌هـای متداول برای بررسی و اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیکی، استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین است. سنجه‌های سیمای سرزمین ابزارهای مفیدی برای اندازه‌گیری ترتیب اجزای منظره در زمان و مکان هستند و از آن‌ها برای توصیف الگوهای مکانی استفاده می‌شود (Zhou and Li, 2015; Frazier et al., 2019). نقدی کـه محققـان بر استفاده از سنجه‌های اکولوژیک دارند این است که غالب این سنجه‌ها مساحت درون لکه‌ها را به‌عنوان فضایی پیوسته در نظر نمی‌گیرند (پودات و همکاران، ۱۳۹۳). به‌عبارت‌دیگر بر اساس محاسبات این سنجه‌ها، هرچه تعداد لکه‌ها بیشـتر باشد، میزان پیوستگی محاسبه‌شده از طریق این سنجه‌ها بیشتر خواهد بود (شفیعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷). اگر چه تئوری گراف دارای جایگاه قدیمی در حفاظت از محیط‌زیست است، اخیراً محققان علوم محیط‌زیست دریافتند که رویکرد تئوری گراف روش مؤثرتری در اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیک و ارزیابی اتصال عملکردی و اندازه‌گیری میزان پیوستگی اسـت و می‌تواند نقش عناصر کلیدی سیمای سرزمین را شناسایی و سهم آن‌ها را در اتصال کلی سیمای سرزمین کمی‌نماید (Liu et al., 2018; Zhang et al., 2019; Baranyi et al., 2011; Pirnat et al., 2016).

Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۹، Liu و همکاران در سال ۲۰۱۸، Xiao و همکاران در سال ۲۰۲۰، Cui و همکاران در سال ۲۰۱۸، Ye و همکاران در سال ۲۰۲۰، Dai و همکاران در سال ۲۰۲۱، Foltête و همکاران در سال ۲۰۱۴ و شفیعی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۷در پژوهش‌هایی، پتانسیل تئوری گراف در اندازه‌گیری سنجه‌های سیمای سرزمین در جهت آنالیز پیوستگی آن را اثبات نموده‌اند.

برنامه‌ریزی مناسب کریدورها، ارتباطات سیمای سرزمین را افزایش داده و حرکت گیاه و جانور را در یک بستر ناهمگون میسر می‌سازند. کریدورها یکی از مهم‌ترین اجزاء شبکه‌های کارکردی بوم‌شناختی هستند. تمرکز اولیه حفاظت از کریدورها معمولاً در حمایت از حرکت‌های اساسی حیات وحش برای بقای طولانی‌مدت جمعیت آن‌ها است. کریدورهای حیات‌وحش، برای اتصال مناطق اصلی زیستگاه و تسهیل جابه‌جایی مهم بوده و بدین‌سان، اثرات منفی تکه‌تکه شدگی زیستگاه را کاهش داده و انعطاف‌پذیری بیشتری را برای مواجه با تنش‌ها فراهم می‌کنند. در واقع اهمیت کریدورها برای حفظ جمعیت‌های حیات‌وحش در سیمای سرزمینی که در حال تخریب و تکه‌تکه شدن بیش از سایر عوامل مهم، مؤثر و ضروری هستند و از منزوی شدن جمعیت‌های کوچک موجودات جلوگیری می‌کنند. آنالیز مسیر کمترین هزینه[۶] (LCPA) برای طراحی کریدورهای ارتباطی میان مناطق حفاظت‌شده بیشترین استفاده را داشته است. اساس این روش شناسایی مسیری است که یک گونه با صرف کمترین میزان هزینه ممکن برای رفتن از یک منطقه به منطقه دیگر می‌پیماید (عبدالهی و ایلدرمی، ۱۳۹۶). این روش مسیرهای جابه‌جایی احتمالی جانوران را بر اساس هزینه تجمعی جابه‌جایی ارزیابی می‌کند (Chetkiewicz and Boyce, 2009). ازجمله مزایای این روش می‌توان مقایسه کمی مسیرهای احتمالی حرکتی جانوران، توانایی یکی سازی مدل‌های ساده یا پیچیده اثرات زیستگاه بر جابه‌جایی جانوران و عدم محدودیت مدل‌های ارتباطات ساختاری به‌واسطه مدل‌سازی ارتباطات موجودات در سیمای سرزمین را برشمرد (Taylor et al., 2006).

همچنین Ling و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی ساختار اکولوژیکی و مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی شهر نپینگ در کشور چین با استفاده از مدل تجزیه‌وتحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی و نرم‌افزار InVEST پرداختند. در گام بعدی پس از شناسایی مهم‌ترین هسته‌های زیستگاهی، ارتباط بین آن‌ها را از طریق کریدورهای اتصالی برقرار نمودند. به‌علاوه Ye و همکاران در سال ۲۰۲۰ با در نظر گرفتن منطقه میراث طبیعی جهانی Tomur به‌عنوان منطقه مورد مطالعه، از روش تجزیه و تحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی و سنجه‌های سیمای سرزمین برای استخراج مناطق اکولوژیکی با اهمیت زیاد استفاده نمودند. سپس با استفاده ازآنالیز مسیر حداقل هزینه کریدورهای زیست‌محیطی را استخراج و سرانجام، با توجه به مدل جاذبه، کریدورهای مهم منطقه مورد مطالعه را طراحی نمودند. Guo و همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ از طریق MSPA و اعمال قانون هشت همسایه، سنجه احتمال اتصال و تجزیه‌وتحلیل مسیر با کمترین هزینه ، لکه‌های حیاتی و کریدورهای متصل‌کننده سیمای سرزمین منطقه Haidian پکن را برای دو گونه راکون (Nyctereutes procyonoides) و قرقاول گردن حلقه ای (Phasianus colchicus) به عنوان گونه‌های کانونی منطقه مشخص نمودند. به علاوه Dai و همکاران در سال ۲۰۲۱، An و همکاران در سال ۲۰۲۰، Xiao و همکاران در سال ۲۰۲۰، Ye و همکاران در سال ۲۰۲۰ و Shi و Qin در سال ۲۰۱۸ نیز از روش تجزیه و تحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی به منظور ارائه شبکه اکولوژیکی در پژوهش های خود استفاده نموده و به‌کارگیری از این مدل را جهت تعیین شبکه های اکولوژیک مثمر ثمر دانسته اند. موحد و طبیبیان در سال ۱۳۹۷ مطالعه‌ای را با هدف تبیین جایگاه و اهمیت توجه به شبکه اکولوژیک شهر در برنامه‌ها و طرح‌های توسعه شهری در راستای دستیابی به تاب‌آوری اکولوژیکی۷ انجام دادند. در این راستا از طریق تحلیل و تفسیر بصری عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای شهر مشهد به‌عنوان نمونه موردی، عناصر شبکه اکولوژیک استخراج و روند تغییرات آن‌ها در طی دوره ۶۰ ساله و تأثیرات آن‌ها بر تاب‌آوری اکولوژیکی تبیین گردید. صادقی بنیس نیز در سال ۱۳۹۴، در پژوهشی عناصر تشکیل‌دهنده ساختار شبکه اکولوژیک شهر تبریز شامل لکه‌ها و کریدورهای طبیعی و مصنوعی را با استفاده از متریک‌های منظر به‌طور کمی بررسی نموده و بدین ترتیب لایه‌های اکولوژیکی طبیعی و مصنوع آن را با استفاده

از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنجه‌های سیمای سرزمین مورد شناسایی و آنالیز قرار داده و با رویهم‌گذاری این لایه‌ها شبکه اکولوژیکی منطقه مورد را تحلیل نمودند.

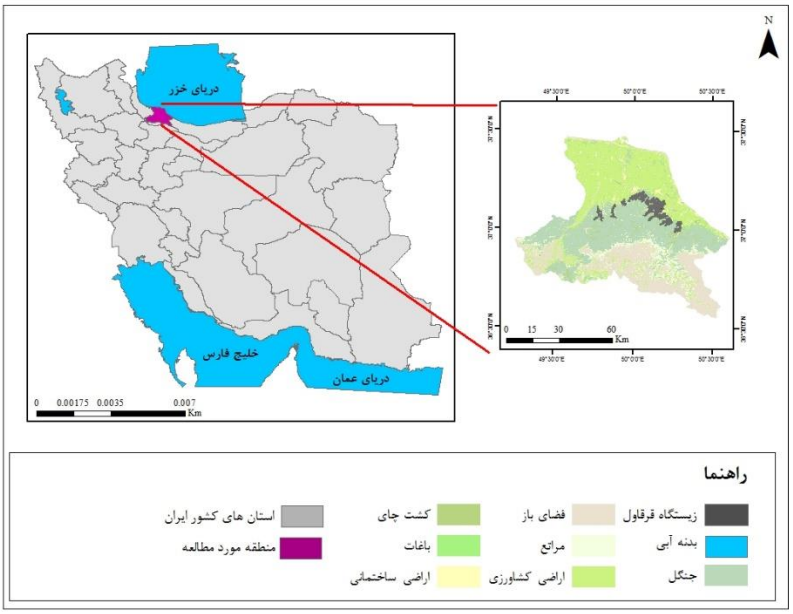
استان گیلان یکی از سریع‌ترین استان‌ها در زمینه استفاده از زمین (تبدیل جنگل به زمین کشاورزی) در ایران است (Nohegar et al., 2015). درنتیجه تغییر کاربری زمین، رشد شهری و تخریب زمین، توزیع برخی از گونه‌های خشکی در سال‌های اخیر تغییر کرده است (Ashoori, 2009). قرقاول معمولی[۸] یکی از پرندگان خاکی ساکن در این استان است که نام آن به‌عنوان گونه‌ای با کمترین نگرانی در فهرست سرخ اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت ذکرشده است. زیستگاه بهینه برای گونه قرقاول اراضی پوشیده از مراتع، زمین‌های چای، اراضی کشاورزی، باغات و جنگل‌های پهن‌برگ است که حداقل دارای مساحتی معادل ۶۴۰ هکتار باشد. از این مقدار ۵ الی ۱۰ درصد معادل ۳۰ الی ۶۰ هکتار آن باید پوشیده از مراتع و درختچه‌ها باشد (Ashoori et al., 2018; Upland habitat basic, 2021). مراتع و درختچه‌ها مکان امنی برای تخم‌گذاری و لانه‌سازی این پرنده است. این در حالی است که تراکم پوشش درختی بهینه برای این‌گونه ۵ الی ۲۵ درصد است. زیرا جنگل‌ها با تاج پوشش ۵ الی ۲۵ درصد تا حد زیادی توسط بوته‌ها پوشانده شده‌اند. از آنجا که رفتار تدافعی قرقاول معمولی در برابر شکارچیان پنهان شدن است، این‌گونه جانوری از حضور در جنگل‌های دارای تاج پوشش بیش از ۲۵٪ امتناع می‌کند زیرا به دلیل کمبود بوته، ممکن است پنهان شدن برایش امکان‌پذیر نباشد (Robertson, 1997; Li et al., 2009). بعلاوه، ازآنجاکه در شرایط اضطراری، گونه پرواز را برای جلوگیری از شکار انتخاب می‌کند، تراکم کمتر درخت می‌تواند به پرواز این پرنده کمک کند (Li et al., 2009). در پایان می‌توان گفت قرقاول‌های معمولی به جنگل و زمین‌های کشاورزی احتیاج دارند زیرا زمین‌های کشاورزی مواد غذایی و جنگل‌ها نیز پناهگاه گونه را تأمین می‌کنند (Ashoori et al., 2018).

چندین مطالعه که در مورد جمعیت‌شناسی و انتخاب زیستگاه توسط قرقاولان در جهان انجام‌شده است. پژوهش‌های Meriggi و همکاران در سال ۱۹۹۶ و Nelli و همکاران در سال ۲۰۱۲ در ایتالیا نشان داد که قرقاول‌های نر ترجیحاً در امتداد نوارهای گیاهی طبیعی یا خودرو (لبه‌های چوب، نرده‌ها، پرچین‌ها و ردیف‌های درختان) و در مناطقی که با تنوع زیستگاهی زیاد مشخص می‌شوند، حضور دارد. به‌علاوه قرقاول‌ها تکه‌های کوچک زیستگاه را با لبه‌های منظم‌تر ترجیح می‌دهند. به‌علاوه Li و همکاران در سال ۲۰۰۹ در مطالعه‌ای بیان می‌کنند که توپوگرافی، پوشش گیاهی، فاصله از منابع آب و حضور انسان متغیرهای مهمی در انتخاب زیستگاه‌های علوفه‌ای توسط قرقاول‌های رایج در هوانگ لونگ است. در ایران نیز مطالعه Ashoori و همکاران در سال ۲۰۱۸ با لحاظ فاکتورهای فیزیکی، انسانی، پوشش زمین و اقلیمی، مناطق دارای پتانسیل به‌عنوان زیستگاه این پرنده در استان گیلان را مشخص می‌نماید. در پژوهش حاضر، به دنبال ارزیابی جامعی از اتصال سیمای سرزمین، زیستگاه‌ها و کریدورهای اصلی و مهم با توجه به نوع زیستگاه و فاصله پراکندگی گونه قرقاول معمولی هستیم. انتخاب گونه و فاصله پراکندگی آن‌ها برای ارزیابی اتصال زیستگاه‌ها، حیاتی است. فاصله پراکندگی که خاص گونه است، یک فرایند حیاتی است که آستانه فاصله را تعیین می‌کند. گونه انتخاب‌شده دارای ویژگی‌هایی از جمله اتکا به فضای سبز، تهدید توسط گسترش شهری و دارای پراکندگی معمولی است. نکته مهم در این بین عدم انجام چنین روش جامعی در پژوهش‌های داخلی است. بدین معنا که شناسایی شبکه اکولوژیک به‌صورت بسیار محدود در پژوهش‌های داخلی با استفاده از طبقه‌بندی کاربری اراضی و یا استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین و تنها در محیط‌های شهری صورت گرفته است. همچنین در بسیاری از پژوهش‌های خارجی نیز عدم استفاده از گونه و یا نادیده گرفتن مقاومت[۹] کاربری‌های مختلف قابل‌مشاهده می‌باشد.

مواد و روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش تلفیق دو حوزه آبخیز لاهیجان چابکسر و آستانه-کوچصفهان، به ترتیب در شرق و مرکز استان گیلان قرار دارد (شکل ۱). حوزه آستانه-کوچصفهان با مساحت ۱۱۰۰ کیلومترمربع، بر روی مخروط خزر و دلتاهای رودخانه سفیدرود تشکیل‌شده است. مرزهای سطحی این حوزه، دریای خزر و دلتاهای رودخانه سپیدرود در قسمت شمال، جنگل‌های هیرکانی در جنوب، حوزه آبخیز لاهیجان- چابکسر در شرق و دشت فومنات در غرب می‌باشد. طول جغرافیایی این حوزه از ′ ۱۲ °۴۹ تا ′ ۵۰°۰۵ عرض شرقی و ′ ۰۷ °۳۷ تا ′ ۲۵ °۳۷ طول شمالی نوسان دارد. این حوزه دربرگیرنده بخش‌هایی از شهرستان‌های آستانه، رشت، سیاهکل، رودبار و لاهیجان می‌باشد. حوزه آبخیز لاهیجان چابکسر با مساحت ۳۰ کیلومترمربع بین ′ ۲۱ °۵۰ تا ′ ۵۰°۲۶ عرض شرقی و ′ ۰۲ °۳۷ تا ′ ۰۶ °۳۷ طول شمالی قرارگرفته است. مرزهای این محدوده از سمت شمال به دریای خزر، از شرق و غرب به ترتیب به رودخانه‌های خشکه‌رود و پلرود و از جنوب در برگیرنده بخشی از جنگل‌های هیرکانی می‌باشد. این حوزه نیز دربرگیرنده بخش‌هایی از شهرستان‌های لاهیجان، لنگرود، املش، رودسر، سیاهکل و بخش‌های کمی از رودبار می‌باشد.



شکل ۱. منطقه موردمطالعه

روش بررسی

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با چالش‌هایی ازجمله اطمینان از کیفیت ابرناکی تصاویر که در برخی از مناطق مانند استان‌های شمالی به‌شدت فراوان است، یافتن روشی بهینه برای تصحیح اتمسفریک و هندسی تصاویر و درنهایت استفاده از روشی بهینه برای پردازش و طبقه‌بندی آن‌ها پیش رو است (Liu et al, 2018). برای مقابله با این چالش‌ها در این پژوهش از سامانه Google Earth Engine برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده گردید. این سامانه یک پلتفرم مبتنی بر اینترنت است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۸ رونمایی شده است. این سامانه دسترسی به منابع محاسباتی با کارایی بالا را بدون نیاز به دانسته‌های نرم‌افزاری گسترده، برای پردازش مجموعه داده‌های بسیار بزرگ مکانی از مجموعه داده‌های جهانی و منطقه‌ای، به‌آسانی فراهم می‌کند (Xiong et al, 2017). بنابراین می‌تواند مهم‌ترین مشکلات

مربوط به تهیه نقشه‌های پوشش زمین را در مقیاس کلان حل کند (Phan et al., 2020). به علاوه کاربران Earth Engine، می‌توانند با دسترسی و تجزیه تحلیل داده‌های موجود در دستورالعمل‌های عمومی و شخصی موجود در اپراتورها به کار و پردازش بپردازند. این اپراتورها در یک سیستم پردازش موازی بزرگ پیاده‌سازی می‌شوند که به‌طور خودکار محاسبات را تقسیم و توزیع و قابلیت تجزیه‌وتحلیل با بازده بالا را فراهم می‌کند (Gorelick et al., 2017). دستورالعمل دادهای عمومی این سامانه، مجموعه‌ای متشکل از چند پتابایت از مجموعه داده‌های گسترده مکانی است که به‌طور گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد. بخش عمده‌ای از این دستورالعمل‌ها از تصاویر سنجش‌ازدور اخذشده از زمین، شامل کل بایگانی لندست و همچنین بایگانی کامل از داده‌های Sentinel-1 و Sentinel-2 تشکیل‌شده است (Shelestov et al., 2017). به‌علاوه شامل پیش‌بینی‌های آب و هوایی، داده‌های مربوط به پوشش زمین و بسیاری از مجموعه داده‌های زیست‌محیطی، ژئوفیزیکی و اقتصادی – اجتماعی می‌باشد (Gorelick et al., 2017). ازدیگر مزایای استفاده از این پلتفرم می‌توان به پردازش سریع، پردازش تصاویر دریافت شده جهت سهولت و کارایی بالا، دسترسی به حجم وسیعی از داده‌ها، این تصاویر دریافت شده در Earth Engine برای سهولت دسترسی سریع و کارآمد از قبل پردازش می‌شوند (Kumar and Mutango, 2018; Venter et al., 2020; Phan et al., 2020).

با توجه به موارد ذکرشده برای طبقه‌بندی پوشش زمین در این مطالعه از مجموع تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی ۲۰۱۹/۰۱/۰۱ الی ۲۰۱۹/۱۲/۳۱ که دارای ابرناکی زیر ۱۰ درصد بودند، استفاده گردید. سپس با استفاده از محصولات و دستورالعمل‌های شاخص پوشش گیاهی[10] مربوط به چهار فصل در سال ۲۰۱۹، اراضی شهری، پوشش درختی برای شناسایی مناطق جنگلی با درختان بالای ۳۰ متر،داده‌های تعلیمی برداشته‌شده از زمین و وارد شده به سامانه توسط کاربر و در نهایت استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان[11] (SVM) پوشش زمین به هشت طبقه جنگل، فضای باز، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی کشت چای، باغات، بدنه آبی و اراضی انسان‌ساخت شامل جاده‌ها و شهرها طبقه‌بندی گردید. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، یکی از روش‌های نظارت شده یادگیری ماشین است که به منظور طبقه‌بندی و همبستگی داده‌ها استفاده می‌شود. این الگوریتم از طریق مفهوم حاشیه به مشکل طبقه‌بندی نزدیک می‌شود که به عنوان کمترین فاصله بین مرز تصمیم‌گیری و هر یک از نمونه‌ها تعریف می‌شود. مرز تصمیم‌گیری به گونه‌ای انتخاب می‌شود که حاشیه برای آن به حداکثر برسد. حاشیه به عنوان فاصله عمود بین مرز تصمیم گیری و نزدیکترین نقاط داده تعریف می‌شود. حداکثر رساندن حاشیه منجر به انتخاب خاصی از مرز تصمیم‌گیری می‌شود. مکان این مرز توسط زیرمجموعه‌ای از نقاط داده تعیین می‌شود که به عنوان بردارهای پشتیبانی شناخته می‌شوند (Shelestov et al., 2017).

تعیین زیستگاه و بررسی ساختار شبکه اکولوژیک

با لحاظ نقشه طبقه‌بندی‌شده شاخص پوشش گیاهی و پوشش زمین و درنهایت تشخیص مراتع، باغات، اراضی جنگلی با تراکم کم‌تر از ۳۰ درصد تاج پوشش، زمین‌های کشاورزی و کشت چای از یک‌سو و در نظر گرفتن حداقل مساحت، ارتفاع (کمتر از ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) و شیب (کم تا متوسط) موردنیاز برای زیستگاه این‌گونه از سوی دیگر، پس از رویهم اندازی این نقشه‌ها، مهم‌ترین زیستگاه‌های دارای پتانسیل زیست گونه قرقاول در منطقه شناسایی گردید. سپس با استفاده از مدل تجزیه‌وتحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی، مؤلفه‌های مختلف شبکه اکولوژیکی زیستگاه این‌گونه در منطقه موردمطالعه شناسایی شد.

طبقه‌بندی در مدل MSPA با شناسایی مناطق اصلی، بر اساس قوانین تعریف‌شده توسط کاربر برای تعریف اتصال و عرض لبه شروع می‌شود. وجه تمایز این روش با روش سنتی در این است که در روش سنتی، ذخایر طبیعی یا پارک‌های جنگلی مستقیماً به‌عنوان تکه‌ها یا راهروها انتخاب می‌گردند

ولی در روش مدرن، از MSPA برای شناسایی تکه‌های مهم زیستگاه و مناطقی که نقش کلیدی در اتصال سیمای سرزمین در سطح پیکسل دارند، استفاده می‌شود (Ye et al, 2019). درنتیجه پس از انتخاب زیستگاه‌ها، آن‌ها به‌عنوان پیش‌زمینه و سایر اراضی به‌عنوان پس‌زمینه انتخاب و وارد نرم‌افزار شدند. تنظیم عرض لبه که نشان‌دهنده اندازه اثر لبه تولید شده توسط لکه‌ها است، می‌تواند بر تعداد سلول‌های تعریف شده به‌عنوان منطقه هسته تأثیر بگذارد. اثرات لبه فرآیندهای اکولوژیکی مهمی هستند که ارتباط نزدیکی با حفاظت زیستگاه‌ها، پویایی جامعه و ترمیم اکولوژیکی دارند (Loveridge et al., 2010; Paton, 1994; Fagan et al., 1999). در این پژوهش برای ساخت شبکه اکولوژیکی، عرض لبه به مقدار پیش‌فرض ۳۰ متر تنظیم‌شده است ، که می‌تواند نیازهای قرقاول در منطقه را فراهم کند. با توجه به تصاویر اولیه، اندازه سلول ۳۰ ×۳۰ متر عناصر اصلی سیمای سرزمین منطقه موردمطالعه را حفظ می‌کند تا نیازهای صحت داده‌ها را برای تحقیق برآورده کند (An et al., 2020). در نهایت با استفاده از قانون هشت همسایه در این مدل، هفت کلاس الگوی غیر همپوشانی به دست آمد (European Commission, 2021) (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی الگوی مدل تجزیه‌وتحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی و معانی اکولوژیکی آن‌ها

طبقه الگو	معنی اکولوژیکی
هسته[۱۲]	تکه‌های بزرگ زیستگاه که می‌توانند به‌عنوان منبع مورداستفاده قرار گیرند و زیستگاه‌ها یا مکان‌های مهاجرت را برای حیات وحش فراهم کنند
جزیره کوچک[۱۳]	تکه‌های کوچکی که به‌صورت ضعیف به یکدیگر متصل هستند و مکانی را برای گسترش و ارتباط گونه‌ها فراهم و جریان مواد و انرژی را تقویت می‌کنند
سوراخ شدگی[۱۴]	منطقه انتقال بین منطقه هسته و سایر مناطق غیر سبز: لبه وصله داخلی ، که دارای اثرات لبه است
لبه یا حاشیه[۱۵]	منطقه انتقال بین منطقه اصلی و منطقه بستر سیمای سرزمین ؛ دارای اثرات لبه است و از محیط‌زیست محافظت می‌کند
پل[۱۶]	راهرو متصل‌کننده دو هسته مجاور ؛ مسیرهای لازم برای انتشار گونه‌ها و تبادل انرژی بین تکه‌های مجاور مناطق اصلی را فراهم می‌کند
پیچ[۱۷]	منطقه متصل‌کننده راهروهای داخلی یک هسته هستند؛ دسترسی به انتشار گونه‌ها و تبادل انرژی در هسته را فراهم می‌کنند
شاخه[۱۸]	مناطقی هستند که تنها ازیک‌طرف به لبه ، پل ، پیچ یا سوراخ شدگی، متصل هستند

محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

پیوستگی سیمای سرزمین و نقش هر یک از لکه‌ها را در این پیوستگی می‌توان از طریق تئوری گراف محاسبه نمود. بدین منظور پس از تشکیل شبکه اکولوژیک و تشخیص هسته‌های زیستگاهی، جهت تهیه شبکه ارتباطات هسته‌ای از نرم‌افزار Conefor2.6 استفاده گردید. به‌این‌ترتیب شبکه‌ای متشکل از هسته‌های زیستگاه به همراه ارتباط همسایگی میان آن‌ها ساخته شد، که درواقع هرکدام از این ارتباطات یک اتصال نام دارد. اتصال‌ها بر اساس فاصله لبه به لبه هریک از لکه‌ها نسبت به یکدیگر سنجیده و برحسب میزان فاصله بین لکه‌های هسته وزن داده شدند. سپس اطلاعات حاصل در قالب دو فایل متنی بر اساس مشخصات هر لکه، مسافت‌های بین آن‌ها و احتمال یا عدم احتمال اتصال آن‌ها به‌عنوان داده‌های اولیه به نرم‌افزار وارد شد. بر اساس تحقیقات Leif بر روی ۹۵ قرقاول نر در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ میانگین پراکندگی در این جانوران ۰/۳ ± ۳/۲ کیلومتر می‌باشد. لذا بر این اساس در این مطالعه، آستانه فاصله اتصال هسته‌ها ۳/۲ کیلومتر تعیین‌شده است که می‌تواند مهاجرت موفقیت‌آمیز این‌گونه را تضمین کند.

Conefor یک بسته نرم‌افزاری است که بر اساس تئوری گراف توسعه داده‌شده است و به محققان امکان را می‌دهد تا اهمیت زیستگاه‌ها و اتصالات را برای حفظ و یا بهبود پیوستگی سیمای سرزمین و همچنین ارزیابی تأثیرات زیستگاه و تغییر کاربری زمین بر اتصال پچ‌ها را تعیین کنند.

در نتیجه به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی تصمیم‌گیری در حفاظت از محیط‌زیست و برنامه‌ریزی سیمای سرزمین، از طریق شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های مهم برای اتصال اکولوژیک، متصور می‌شود. این نرم‌افزار به دلیل دارا بودن سنجه‌های پیوستگی عملکردی جدید، در مقایسه با سایر نرم‌افزارها و شاخص‌ها دارای عملکرد بهتری است (Saura et al., 2011). در حال حاضر، ازنظر ارزیابی پیوستگی سیمای سرزمین سنجه احتمال پیوستگی[19] و دلتای احتمال پیوستگی[20] که مبتنی بر یک مدل اتصال احتمالی هستند و انتگرال پیوستگی[21] و اهمیت لکه[22] که مبتنی بر یک مدل اتصال باینری می‌باشند، به‌عنوان شاخص‌های مهم الگو و عملکرد مورداستفاده قرار می‌گیرند که قادرند میزان پیوستگی کلی سیمای سرزمین، میزان ارتباط بین پچ‌ها و اهمیت آن‌ها را در سطح منطقه‌ای را منعکس نمایند (Cook, 2002; Ye et al., 2020; Xiao et al., 2020; Saura and Pascual-Hortal, 2007; Dai et al., 2021; Cui et al, 2018). لازم به ذکر است که دو سنجه اول جهت مطالعه حرکت گونه‌های مختلف و دو سنجه دوم برای بررسی توپولوژی شبکه کاربرد دارند (Qi et al., 2017; Bodin and Saura, 2010).

سنجه احتمال پیوستگی علاوه بر اینکه توصیف‌کننده میزان پیوستگی سیمای سرزمین به‌صورت کمی است، می‌تواند لکه‌هایی که دارای اهمیت بالایی ازنظر احتمال اتصال و پیوستگی هستند را نیز شناسایی کند. این سنجه با رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود (۰<PC<۱):

$$PC=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1\neq j}^{n} p^{*}_{ij}a_i a_j}{A^2_L} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، a_i و a_j مساحت لکه‌های i و j، p_{ij} حداکثر احتمال پیوستگی بین لکه‌های i و j و AL مساحت کل سیمای سرزمینی است.

دلتای احتمال پیوستگی می‌تواند سهم هر پچ را به اتصال کلی شبکه زیست‌محیطی موردنظر محاسبه کند. همچنین این شاخص توانایی شناسایی مهم‌ترین پچ‌ها را افزایش پیوستگی دارد. این سنجه طبق رابطه شماره ۲محاسبه می‌شود:

$$d_{pc} = 100\% \times \frac{PC-PC'}{PC} \qquad (۲)$$

در رابطه بالا PC پیوستگی کلی سیمای سرزمین و PC' پیوستگی کلی سیمای سرزمین پس از حذف یک لکه از سیمای سرزمین اصلی است. تغییرات پیوستگی کلی سیمای سرزمین به‌عنوان مقدار اهمیت لکه حذف‌شده در نظر گرفته می‌شود (Xiao et al., 2020).

شاخص انتگرال پیوستگی یکی از بهترین شاخص‌های شناخته‌شده بر ای آنالیزهای پیوستگی است که علاوه بر در نظر گرفتن مساحت لکه‌ها، فاصله فضایی بین آن‌ها و پیوستگی درونی لکه‌ها را نیز لحاظ می‌نماید. بنابراین، این سنجه از میان سنجه‌های مختلف در تشخیص لکه‌های بااهمیت‌تر ازنظر موقعیت توپولوژیک و هم ازنظر ارزش‌های درونی هر لکه موفق‌تر عمل می‌کند (شفیعی نژاد و همکاران، ۱۳۷۹). IIC طبق رابطه شماره ۳ محاسبه می‌شود:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_i.a_j}{1+anl_{ij}}}{A^2_L} \qquad (۳)$$

در این رابطه n تعداد کل لکه در سیمای سرزمین، a_i و a_j مساحت لکه‌های i و j، nl_{ij} تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن بین لکه‌های i و j و AL مساحت کل سیمای سرزمینی است. سنجه اهمیت لکه، نشان‌دهنده اهمیت گره موجود برای حفظ اتصال سیمای سرزمین با توجه به شاخص خاص انتگرال پیوستگی است.

$$dIIC = 100\% \times + \frac{IIC-IIC'}{IIC} \qquad (۴)$$

در این رابطه IIC مقدار شاخص کل است هنگامی‌که همه گره‌های موجود اولیه در چشم‌انداز وجود داشته باشند و IIC′ مقدار شاخص کلی پس از حذف آن گره منفرد از چشم‌انداز است (Cui et al., 2018).

پس از به دست آمدن مقدار سنجه‌ها برای هر هسته، ۸ پچ برتر با مقدار d_{PC} بالای ۴ به‌عنوان مهم‌ترین زیستگاه‌ها در این مطالعه و بستری برای تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی انتخاب شده‌اند.

تعیین کریدورهای اتصالی از طریق کوتاه‌ترین مسیر

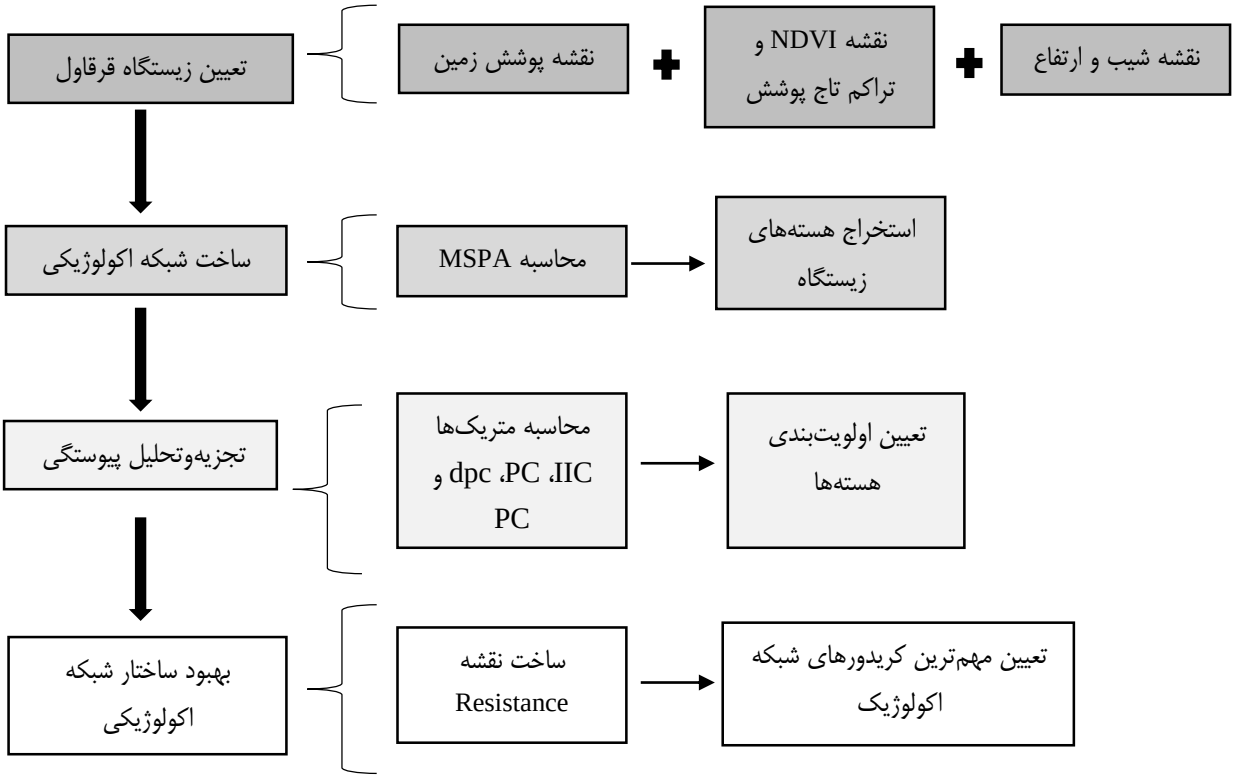
برای این منظور، در این پژوهش از تجزیه و تحلیل مسیر حداقل هزینه که یک روش مبتنی بر رایانه برای یافتن و

تجسم مسیرهای بهینه است، استفاده‌شده است. این روش هزینه کل انتقال از مبدأ به مقصد را در سطح هزینه تجمعی به حداقل می‌رساند (Etherington, 2016). از تجزیه تحلیل مسیر حداقل هزینه، اغلب برای بهینه‌سازی ساخت شبکه استفاده می‌شود. در این روش فرض بر این است گونه‌ها هنگام عبور از یک منطقه هزینه‌ای می‌پردازند، این هزینه که به آن مقاومت نیز گفته می‌شود و عبارت است از مقدار مقاومت برای محاسبه اتصال بین دو زیستگاه به هر واحد پوشش زمینی (Bunn et al., 2000) که می‌تواند نشان‌دهنده انرژی مصرف‌شده هنگام عبور از منطقه، خطر مرگ‌ومیر یا تأثیر بر توانایی بالقوه گونه‌ها برای تولیدمثل در آینده باشد (عبدالهی و ایلدرمی، ۱۳۹۶). در این پژوهش با استفاده از این الگوریتم، بهترین مسیر با حداقل هزینه برای گونه از بین مسیرهای بالقوه به‌عنوان کریدورهای متصل‌کننده دو زیستگاه، تعیین می‌گردد. جدول شماره ۲ مقدار مقاومت برای هر طبقه پوشش را که با توجه به مرور منابع و نظرات کارشناسی طبقه‌بندی‌شده است را نشان می‌دهد (Kong et al., 2010; Guo et al., 2018).

جدول ۲. مقدار مقاومت پوشش زمین برای گونه قرقاول

پوشش زمین	مقدار مقاومت
جنگل	۱
فضای باز	۳۰
مرتع	۱۰
اراضی کشاورزی	۵
زمین‌های کشت چای	۱۰
باغات	۲۰
شهر و اراضی ساخته‌شده	۱۰۰۰
بدنه آبی	۱۰۰

شکل ۲ روند تجزیه‌وتحلیل اطلاعات را به‌صورت خلاصه در این پژوهش نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار گام‌های روش کار در این پژوهش

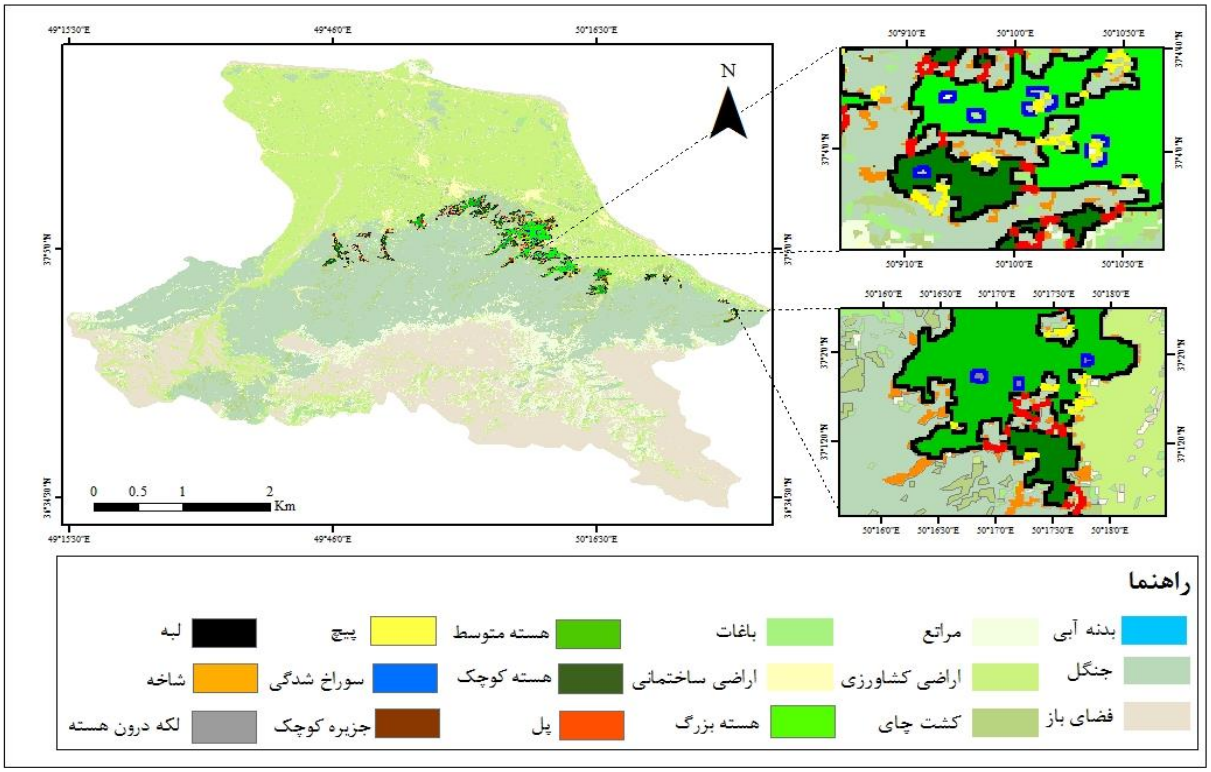
نتایج طبق خروجی نقشه طبقه‌بندی شده توسط سامانه Google Earth Engine با ضریب کاپای ۹۲/۲۴ درصد، بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه را جنگل‌های هیرکانی و اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهند که طی سال‌های گذشته

به دلیل افزایش مساحت اراضی شهری، مورد تعرض و در نتیجه از هم‌گسیختگی و سوراخ شدگی گشته است (جدول ۳).

جدول ۳. طبقات پوشش زمین و مساحت هریک

طبقه	مساحت (Km^2)	درصد مساحت از کل
جنگل	۱۸۵۴/۲۰۶	۲۹/۲۱
اراضی باز و فاقد کاربری	۱۴۰۸/۰۹۶	۲۲/۱۸
مرتع	۵۸۱/۸۴۵	۹/۱۶
کشاورزی	۱۹۷۱/۳۵۸	۳۱/۰۵
کشت چای	۲۶۱/۵۲۶	۴/۱۲
باغات	۱۶۳/۶۵۵	۲/۵۷
اراضی ساخته‌شده	۱۰۶/۶۴۲	۱/۶۸
بدنه آبی	۰/۵۲	۰/۰۵۴

با توجه به نقشه پوشش زمین، NDVI و معیارهای ذکرشده، زیستگاه‌های قرقاول گردید. این زیستگاه‌ها در مناطقی که دارای شیب و درصد تاج پوشش مناسب هستند و قابلیت تأمین فضای امن برای ساخت آشیانه و پتانسیل تأمین مواد غذایی را برای این‌گونه دارند، شناسایی گردیده است. لازم به ذکر است که به دلیل تغییرات کاربری صورت گرفته طی سالیان گذشته و تخریب لکه‌های جنگلی، مراتع و اراضی کشاورزی زیستگاه این‌گونه به‌صورت نامنظم پخش گشته است. با توجه به خروجی حاصل‌شده از این بخش همان‌گونه که اشاره شد، به ترتیب از زیستگاه قرقاول و سایر انواع پوشش زمین به‌عنوان داده‌های پیش‌زمینه و پس‌زمینه برای مدل تجزیه‌وتحلیل الگوی فضایی مورفولوژیکی استفاده‌شده است. نقشه شبکه اکولوژیک این زیستگاه‌ها از طریق اجرای مدل MSPA بدست آمده که در شکل ۳، قابل مشاهده است.



شکل ۳. شبکه اکولوژیک زیستگاه‌های منتخب برای قرقاول در منطقه موردمطالعه

نتایج نشان می‌دهد که ۶۳۴۷/۳۲ کیلومترمربع از برای به دست آوردن شوری آب کارون بوده است که مساحت منطقه موردمطالعه را زیستگاه قرقاول تشکیل می‌دهد. مناطق اصلی که به‌عنوان هسته زیستگاهی شناخته می‌شود، به‌صورت متمرکز در محدوده مرکزی منطقه و شمال جنگل‌های هیرکانی و با الگوی فضایی تقریباً پیوسته قرار دارد. توزیع

پراکنده‌تری از مناطق اصلی در قسمت شرقی و غربی منطقه به چشم می‌خورد که به دلیل حضور رودخانه سفیدرود، کاهش اراضی کشاورزی و تراکم بالای تاج پوشش درختی قابل توجیه است و سبب وجود کمتر زیستگاه‌ها و ازهم‌گسیختگی آن‌ها گردیده است. درمجموع می‌توان گفت تعداد هسته‌های اصلی نسبتاً نابرابر توزیع شده و ۵۱/۱۷ درصد از مساحت کل شبکه را تشکیل می‌دهد (جدول ۴). پل‌ها در این شبکه اکولوژیک که نقش کریدورهای اتصالی را داشته و مهاجرت گونه را بین زیستگاه‌ها تسهیل می‌کنند، ۲۹۳۸۸/۱۲ هکتار از کل شبکه را به خود اختصاص دادند. البته این نوع ساختار در نیمه غربی منطقه به سبب از هم‌گسیختگی هسته‌ها بیش از نیمه شرقی به چشم می‌خورد. همچنین سوراخ شدگی‌های درون هسته زیستگاه‌ها با اختصاص ۲/۷۷ درصد از کل شبکه، نشان‌دهنده شرایط نسبتاً به‌هم‌پیوسته هسته‌ها می‌باشد. میزان حضور جزایر به‌عنوان لکه‌های جداشده که با سایر زیستگاه‌ها ارتباطی ندارد در این منطقه بسیار کم بوده و درمجموع ۸۸۸/۶۳ هکتار از مساحت کل را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول شماره ۴. مؤلفه‌های شبکه اکولوژیک در منطقه موردمطالعه

نوع مؤلفه	مساحت (هکتار)	نسبت مساحت به کل مساحت زیستگاه (درصد)
هسته	۳۲۴۷۹۲/۷۷	۵۱/۱۷
پیچ	۹۳۹۴/۰۴	۱/۴۸
پل	۲۹۳۸۸/۱۲	۴/۶۳
جزیره کوچک	۸۸۸/۶۲	۰/۱۴
سوراخ شدگی	۱۷۵۸۲/۰۹	۲/۷۷
شاخه	۴۴۴۳۱/۲۹	۷
لبه	۲۰۸۲۵۵/۸۳	۳۲/۸۱

در گام بعد خروجی حاصل از نرم‌افزار Confore2.6، مقدار dPC و dIIC هر هسته زیستگاه با فاصله پراکندگی ۳/۲km محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که درمجموع میزان dPC و dIIC در منطقه مورد مطالعه بالای ۰/۰۰۲ میزان است که نشان‌دهنده وجود زیستگاه‌هایی ایزوله و کم‌اهمیت از میزان و احتمال پیوستگی در شبکه اکولوژیک زیستگاه قرقاول در منطقه می‌باشد. همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، ۸ پچ برتر با مقدار dPC بالای ۴ به‌عنوان مهم‌ترین زیستگاه‌ها در این مطالعه به‌عنوان بستری برای تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی انتخاب شده‌اند. آنجایی که اندازه فضای زیستگاه به‌عنوان یک عامل مهم در برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شود، سنجه‌های محاسبه‌شده و مساحت هر یک از هسته‌ها در جدول شماره ۱۰ قابل‌مشاهده است. هسته شماره ۵۱۰۰ با dPC برابر با ۷۶/۹ بااهمیت‌ترین هسته زیستگاهی برای قرقاول در بین زیستگاه‌های موردمطالعه است و به ترتیب هسته‌های شماره ۵۲۲۴، ۴۶۵۷، ۵۳۶ و ۱۳۱۴ به‌عنوان مهم‌ترین هسته‌های زیستگاهی گزینش شده‌اند.

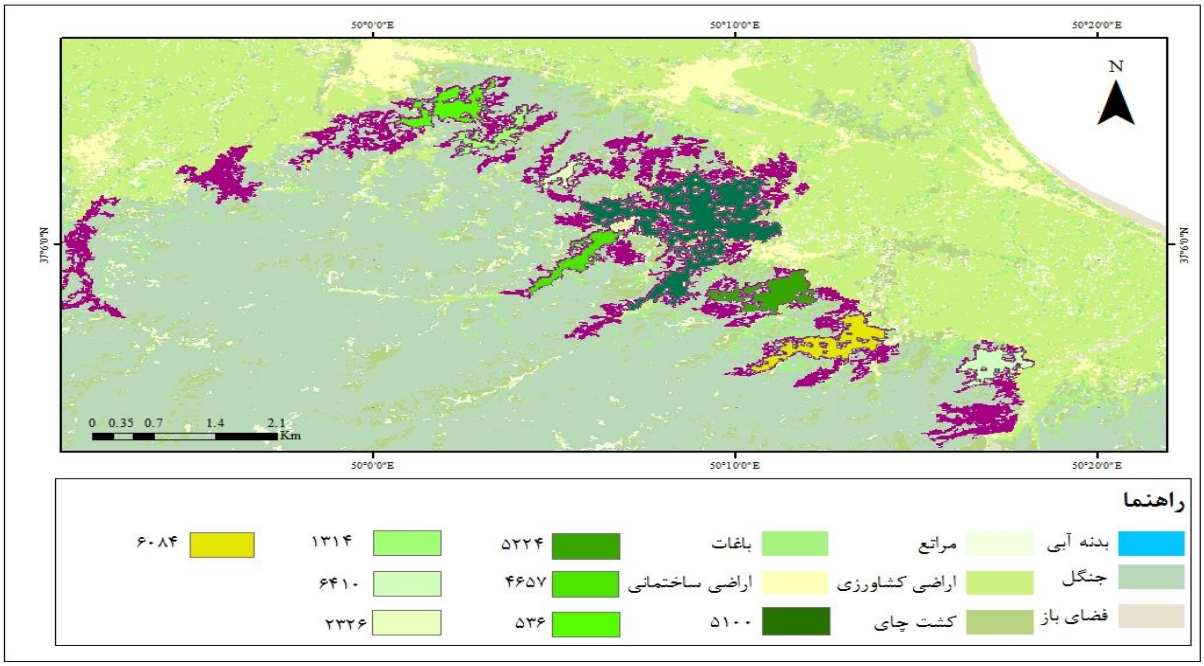
شکل ۴ نشان‌دهنده اولویت‌بندی ۸ هسته اولیه است. همان‌گونه که در این شکل و مشخص است، توزیع فضایی اتصال در منطقه، ضرورت بهبود اتصالات لکه‌ها را به دلیل وجود ازهم‌گسیختگی‌های مشهود، نشان می‌دهد. قسمت مرکزی منطقه موردمطالعه به دلیل فاصله مناسب از پهنه‌های مسکونی و دارا بودن اراضی کشاورزی و مراتع در حاشیه جنگل‌ها که پتانسیل تأمین غذای گونه قرقاول را داشته و مکان مناسبی برای لانه گزینی و زادآوری این‌گونه هستند، زیستگاه‌های مهم قرقاول را با بیشترین اتصال به خود اختصاص داده است. درنتیجه هسته‌های موجود در حاشیه غربی و شرقی به دلیل مساحت و dPC کمتر، از اولویت پایین‌تری برای تشکیل کریدور ارتباطی برخوردار هستند.

در نهایت کریدورهای بهینه میان دو زیستگاه با استفاده از روش تجزیه‌وتحلیل حداقل هزینه با احتساب حداکثر ۳۵۰۰ متر فاصله مشخص گردیده است. درمجموع طول این کریدورها به ۳۵/۹ کیلومتر می‌رسد (شکل ۵).

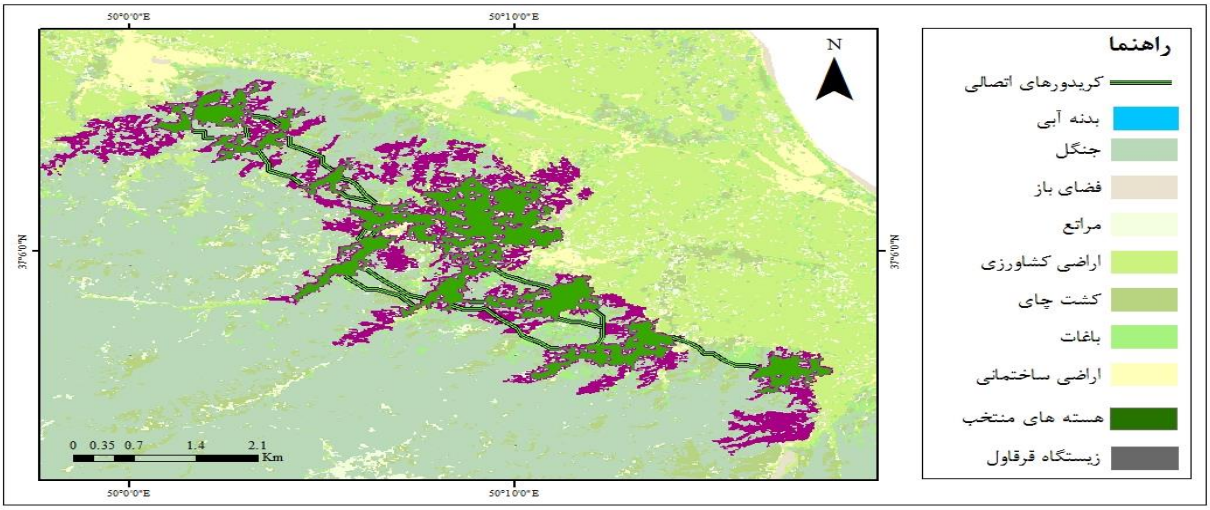
با توجه به مقدار مقاومت پوشش اراضی، این کریدورها عمدتاً زمین‌های جنگلی یا کشتزارهای چای، مخلوط با مراتع هستند که توانایی ارتقا و بهبود شبکه اکولوژیک موردنظر را دارند.

جدول ۵. هسته‌های دارای بالاترین اولویت در شبکه اکولوژیک زیستگاه قرقاول

الویت بندی هسته	کد هسته	dPC	dIIC	مساحت (هکتار)
۱	۵۱۰۰	۷۶/۶	۶۷/۹۳	۹۸۲/۲۸
۲	۵۲۲۴	۲۰/۱	۱۵/۸	۲۵۴
۳	۴۶۵۷	۱۴/۶	۹/۶	۸۶/۲۶
۴	۵۳۶	۷/۱۶	۹/۵۷	۱۵۹/۵۲
۵	۱۳۱۴	۶/۱	۶/۱	۶۸/۶۴
۶	۶۴۱۰	۴/۶	۱۸	۱۵۱/۴۲
۷	۲۳۲۶	۴/۲	۵	۷۵/۲۳
۸	۶۰۸۴	۴/۱	۱۱/۱	۲۳۱/۲۳



شکل۴. هسته‌های دارای بالاترین اولویت در زیستگاه‌های قرقاول



شکل ۵. کریدورهای بالقوه بین هسته‌های موردنظر

بحث و نتیجه‌گیری

در سالیان گذشته به دنبال رشد شتاب‌زده شهرها و تغییر پوشش زمین، زیستگاه‌های جانوران و گیاهان به‌تدریج تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرارگرفته و تخریب گشته‌اند. در این بین استان‌های شمالی نیز از این امر مستثنی نبوده و همواره با کاهش تنوع گونه‌ای روبه‌رو بوده است. بنابراین در سال‌های اخیر، چگونگی ساخت شبکه‌های اکولوژیکی و برنامه‌ریزی بهبود ساختار آن‌ها به یک راه‌حل برای مقابله با این بحران و محافظت از زیستگاه‌های گونه‌ای تبدیل گشته است. از بین ساختار شبکه اکولوژیکی، کریدورها یکی از مؤلفه‌های اصلی هستند که با افزایش پیوستگی ساختاری زیستگاه‌ها مهاجرت گونه‌ها را تسهیل می‌نمایند.

در این مطالعه، با روشی مبنی بر تجزیه و تحلیل شبکه اکولوژیکی مبتنی بر MSPA و تئوری گراف (به‌وسیله نرم‌افزار Confor 2.6)، به شناسایی عناصر سیمای سرزمین ساختاری موجود، تجزیه‌وتحلیل اتصال و بررسی ساختار شبکه اکولوژیکی، تبیین گشته است. این روش تلفیقی MSPA، تئوری گراف و تجزیه تحلیل مسیر حداقل هزینه، می‌تواند انتقال شبکه‌های اکولوژیکی را از اتصال ساختاری به اتصال عملکردی تبدیل کند و دارای اهمیت اکولوژیکی مهمی برای حرکت و مهاجرت قرقاول بین بخشی از زیستگاه‌های این‌گونه در منطقه موردمطالعه است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از زیستگاه قرقاول، به‌صورت متمرکز در محدوده مرکزی منطقه مورد مطالعه و شمال جنگل‌های هیرکانی قرار دارد. در بخش مرکزی این زیستگاه‌ها وضعیت نسبتاً مناسب‌تری را ازنقطه‌نظر پیوستگی دارند و هرچه از مرکز به سمت غرب و شرق محدوده به‌پیش می‌رویم، به سبب کاهش اراضی کشاورزی و مراتع که منبع اصلی تغذیه این‌گونه جانوری است و حضور آب، توزیع پراکنده‌تر و کمتری را از این لکه می‌بینیم. این در حالی است که وجود مقدار کم پل‌ها به‌عنوان کریدورهای متصل‌کننده زیستگاه‌ها در این شبکه اکولوژیک در کنار تعداد زیاد مؤلفه هسته، بیان‌کننده نیاز این شبکه به تدبیر کریدورهایی از سوی برنامه‌ریزان و متخصصان است. از سوی دیگر میزان کم منافذ درون هسته‌ها، مؤید وضعیت مطلوب شبکه از حیث پیوستگی درونی هسته‌ها می‌باشد. درنهایت در این مطالعه پس از تعیین ۸ هسته زیستگاهی با اولویت در منطقه که نقش مهم‌تر و استراتژیک برای پیوستگی شبکه را بر عهده دارند، کریدورهای مهم و بهینه جهت برقراری اتصال بین آن‌ها بدست آمد. با توجه به نتایج حاصل‌شده از این مطالعه، می‌توان گفت که روش مورداستفاده در این مطالعه می‌تواند در مطالعات مختلف با مقیاس‌های بزرگ و کوچک به کار گرفته شود تا کریدورهای بالقوه شناسایی و مدیریت گردند. همچنین این روش برای مدیریت زیستگاه‌ها با توجه به نیاز و حساسیت گونه، مقاومت هر کاربری و توانایی گونه برای حرکت بین زیستگاه‌ها، کارآمد می‌باشد. درنهایت به منظور افزایش کارکرد زیستگاه‌های قرقاول در منطقه، الزامی است تا در کنار حفظ پل‌ها و لکه‌های موجود در شبکه اکولوژیک،از پیشرفت و پهروشدگی سوراخ‌های ایجادشده در هسته‌ها جلوگیری گردد و همچنین کریدورهای پیشنهاد شده به‌عنوان بهترین مسیرهای مهاجرت قرقاول بین هسته‌های زیستگاهی، به‌طور کامل مورد بررسی و حفاظت در برابر تغییر پوشش قرار گیرند. به‌علاوه آگاهی بخشی به جوامع بومی برای عدم تهاجم به این‌گونه امری ضروری است که سبب می‌شود تا اراضی کشاورزی حاشیه و میان زیستگاه‌ها به‌صورت جزایری عمل کنند که سنگ پله‌هایی[۲۳] را برای مهاجرت قرقاول فراهم می‌آورند و قطعاً نقش به‌سزایی را در افزایش پیوستگی زیستگاه و تسهیل در مهاجرت بین زیستگاهی این‌گونه، خواهند داشت.

یادداشت‌ها

1. Morphological spatial pattern analysis
2. Erode
3. Dilate
4. Open
5. Close
6. Least cost path analysis
7. Ecological resistance
8. Phasanus colchicus
9. Resistance

10. NDVI
11. Support vector machine
12. Core
13. Islet
14. Perforation
15. Edge
16. Bridge
17. Loop
18. Branch
19. Probability of connectivity (PC)
20. Delta of probability of connectivity (dPC)
21. Integral index of connectivity (IIC)
22. Delta of Integral index of connectivity (dIIC)
23. Stepping stone

فهرست منابع

صادقی بنیس ، م، (۱۳۹۴). استفاده از متریک های منظر در بهسازی شبکه اکولوژیک شهری، باغ نظر، ۱۲(۳۲)، صص ۶۲-۵۳.

پودات، ف؛ برق جلوه، ش؛ میرکریمی، ح، (۱۳۹۳). مروری تحلیلی بر چگونگی اندازه‌گیری پیوستگی اکولوژیک به‌منظور حفاظت از تنوع زیستی در شهرها، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵ (۱۰)، صص ۲۱۰ -۱۹۵ .

شفیعی نژاد، س؛ پودات، ف؛ فرخیان، ف، (۱۳۹۷). ارزیابی پیوستگی اکولوژیک لکه‌های سبز شهری با استفاده از تئوری گراف، مطالعه موردی کلانشهر اهواز، بوم شناسی کاربردی، ۷(۱)، صص ۱۱-۱.

عبدالهی، ص؛ ایلدرمی، ع، (۱۳۹۶). ارزیابی چیدمان مکانی سیمای سرزمین به منظور دستیابی به اقدامات حفاظتی، محیط‌زیست و توسعه، ۸(۱۶)، صص ۵-۱۸.

موحد، س؛ طبیبیان، م، (۱۳۹۷). بررسی تغییرات شبکه اکولوژیک و نقش آن در تاب‌آوری اکولوژیکی کلانشهر مشهد، *محیط شناسی*، ۴۴ (۲)، صص ۳۹۴-۳۷۳.

An, Y., Liu, S., Sun, Y., Shi, F., & Beazley, R. (2020). Construction and optimization of an ecological network based on morphological spatial pattern analysis and circuit theory. *Landscape Ecology*, 1-18.

Ashoori, A. (2009). *Endangered and protected birds of Gilan province. Iran*. Katibeh Gil.

Ashoori, A., Kafash, A., Varasteh Moradi, H., Yousefi, M., Kamyab, H., Behdarvand, N., & Mohammadi, S. (2018). Habitat modeling of the common pheasant Phasianus colchicus (Galliformes: Phasianidae) in a highly modified landscape: application of species distribution models in the study of a poorly documented bird in Iran. *The European Zoological Journal*, 85(1), 372-380.

Baranyi, G., Saura, S., Podani, J., & Jordán, F. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecol. Indic. 11 (5)*, 1301–1310.

Bennett, A.F., Radford, J. Q., & Haslem, A. (2006). Properties of land mosaics: implication for nature conservation in agricultural environmets. *Bio Conserve, 133*, 250- 264.

Bodin, Ö., & Saura, S. (2010). Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Model, 221*, 2393–2405.

Bunn, A.G., Urban, D.L., & Keitt, T.H. (2000). Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *Environ. Manag, 59*, 265–278.

Chetkiewicz, C.L.B., & Boyce, M.S. (2009). Use of resource selection functions to identify conservation corridors. *Appl. Ecol*, 46, 1036–1047.

Chi, Y., Xie, Z., & Wang, J. (2019). Establishing archipelagic landscape ecological network with full connectivity at dual spatial scales. *Ecological Modelling*, *399*, 54-65.

Cook, E.A. (2002). Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. Landsc. Urban Plan. 58, 269–280.

Cui, N., Feng, C. C., Wang, D., Li, J., & Guo, L. (2018). The effects of rapid urbanization on forest landscape connectivity in Zhuhai City, China. *Sustainability*, *10*, 3381.

Dai, L., Liu, Y., & Luo, X. (2021). Integrating the MCR and DOI models to construct an ecological security network for the urban agglomeration around Poyang Lake, China. *Science of The Total Environment, 754*, 141868.

Dos Santos, A.R., Araújo, E.F., Barros, Q.S., Fernandes, M.M., de Moura Fernandes, M.R., Moreira, T.R., & de AlmeidaTelles, L.A. (2020). Fuzzy concept applied in determining potential forest fragments for deployment of a network of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecol. Indic, 115*, 106423.

Bio-Economy Unit. (2021). *Mspa guide*. European commission. https://ies-ows.jrc.ec. europa.eu/gtb/ GTB/ MSPA_Guide.pdf. Accessed 17 June 2021.

Etherington, T. R. (2016). Least-cost modelling and landscape ecology: concepts, applications, and opportunities. *Current Landscape Ecology Reports, 1(1)*, 40-53.

Fagan, W., Cantrell, R., Cosner, C. (1999). How habitat edges change species interaction. *Am Nat, 153(2)*, 165-182.

Foltête, J. C., Girardet, X., & Clauzel, C. (2014). A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning. *Landscape and Urban Planning*, *124*, 140-150.

Frazier, A. E., Bryan, B. A., Buyantuev, A., Chen, L., Echeverria, C., Jia, P., Liu, L., Li, Q., Ouyang, Z., Wu, J., Xiang, W. N., Yang, J., Yang, L & Zhao, S. (2019). Ecological civilization: perspectives from landscape ecology and landscape sustainability science. Landscape ecology, 34, 1-8.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment, 202*, 18-27.

Guo, S., Saito, K., Yin, W., & Su, C. (2018). Landscape connectivity as a tool in green space evaluation and optimization of the haidan district, Beijing. *Sustainability, 10(6)*, 1979.

Kong, F., Yin, H., Nakagoshi, N., & Zong, Y. (2010).Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landsc. Urban Plan, 95*, 16–27.

Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing, 10(10)*, 1509.

Lawton, J.H., Brotherton, P.N.M., Brown, V.K., Elphick, C., Fitter, A.H., Forshaw, J., Haddow, R.W., Hilborne, S., Leafe, R.N., Mace, G.M., Southgate, M.P., Sutherland, W.J., Tew, T.E., Varley, J., & Wynne, G.R.D. (2010). *Making space for nature: a review of England's wildlife sites and ecological network.* Report to Defra

Li, H. Q., Lian, Z. M., & Chen, C. G. (2009). Winter foraging habitat selection of brown-eared pheasant (Crossoptilon mantchuricum) and the common pheasant (Phasianus colchicus) in Huanglong Mountains, Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, *29*(6), 335-340.

Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Pei, F., & Wang, S. (2018). High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote sensing of environment*, *209*, 227-239.

Loveridge, A., Hemson, G., Davidson, Z., & Macdonald, D. (2010). African lions on the edge: Reserve boundaries as ''attractive sinks''. *Biol Conserv Wild Felids, 283*, 283–304.

Meriggi, A., Pandini, W., & Cesaris, C. (1996). Demography of the pheasant in relation to habitat characteristics in northern Italy. *Wildlife Research, 1*, 15–23.

Nelli, L., Meriggi, A., & Vidus-Rosin, A. (2012). Effects of habitat improvement actions (HIAs) and reforestations on pheasants Phasianus colchicus in northern Italy. *Wildlife Biology, 18*, 121–130.

Nohegar, A., Amiri, C.H.B., & Afrakhteh, R. (2015). Land use analysis on Gilan central district using landscape ecology approach. *Geography and Territorial Spatial Arrangement, 15*, 197–214.

Opdam, P., Steingrover, E., & van Rooij, S. (2006). Ecological networks: a spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes. *Landsc Urban Plan, 75*, 322–332.

Paton, P. (1994). The effect of edge on avian nest success: how strong is the evidence?. *Conserv Biol, 8(1)*, 17–26.

Phan, T.N., Kuch, V & Lehnert, L. W. (2020). Land cover classification using google earth engine and random forest classifier—the role of image composition. *Remote Sensing, 12*, 2411.

Pirnat, J., & Hladnik, D. (2016). Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning. *Landsc. Urban Plan, 153*, 129–139.

Qi, K., Fan, Z., Ng, C.N., Wang, X., & Xie, Y. (2017). Functional analysis of landscape connectivity at the landscape, component, and patch levels: A case study of Minqing County, Fuzhou City, China. *Appl. Geogr, 80*, 64–77.

Robertson, P. (1997). *A Natural History of the Pheasant.* Shrewsbury. Swan Hill Press.

Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. Landsc Urban Plann, 83(2), 91–103.

Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C. & Rodríguez-Freire, M. (2011). Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicators, 11*, 407-416.

Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring google earth engine platform for big data processing: classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science, 5*, 1-10.

Shi, X., & Qin, M. (2018). Research on the optimization of region green infrastructure network. *Sustainability, 10(12)*, 1-13.

Soille, P., & Vogt, P. (2009). Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters, 30*, 456–459.

Taylor, P. D. (2006). Landscape connectivity: a return to the basics. *Connectivity conservation*, 29-43.

Upland habitat basics. (2021). *Essential habitat components for pheasants*. https://www.pheasantsforever.org/Habitat/Pheasant-Facts/Upland-Cover-Basics.aspx Accessed 22 April 2021.

Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). *COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines with implications for public health risk*. medRxiv.

Worboys, G.L., Francis, W.L., & Lockwood, M. (Eds.). (2010). *Connectivity conservation management: a global guide*. Earthscan.

Xiao, L., Cui, L., Jiang, Q.O., Wang, M., Xu, L., & Yan, H. (2020). Spatial Structure of a Potential Ecological Network in Nanping, China, Based on Ecosystem Service Functions. *Land*, *9*(10), 376- 394.

Xiong, J., Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Poehnelt, J., Congalton, R. G., Yadav, K & Thau, D. (2017). Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing. *Photogrammetry and Remote Sensing, 126*, 225-244.

Yang, H., Chen, W., & Chen, X. (2017). Regional Ecological Network Planning for Biodiversity Conservation: A Case Study of China's Poyang Lake Eco-Economic Region. *Environmental Studies, 26(4)*, 1825-1833.

Ye, H., Yang, Z., & Xu, X. (2020). Ecological Corridors Analysis Based on MSPA and MCR Model—A Case Study of the Tomur World Natural Heritage Region. *Sustainability, 12(3)*, 959.

Zhao, S. M., Ma, Y. F., Wang, J. L., & You, X. Y. (2019). Landscape pattern analysis and ecological network planning of Tianjin City. *Urban Forestry & Urban Greening, 46*, 126479.

Zhou, Z.X., & Li, J. (2015). The correlation analysis on the landscape pattern index and and hydrological processes in the Yanhe watershed, China. Hydrology, 524, 417- 426.