فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۰

۲۳-۴۰

ارزیابی سنجه‌های ارتباطات سیمای سرزمین و کیفیت زیستگاه برای شناسایی لکه‌های زیستگاهی کلیدی قوچ و میش البرز مرکزی (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده ورجین، تهران)

نسیم خیرخواه قهی، بهرام ملک محمدی* و حمیدرضا جعفری

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۳

خیرخواه قهی، ن.، ب. ملک محمدی و ح.ر. جعفری. ۱۴۰۰. ارزیابی سنجه‌های ارتباطات سیمای سرزمین و کیفیت زیستگاه برای شناسایی لکه‌های زیستگاهی کلیدی قوچ و میش البرز مرکزی (مطالعه موردی : منطقه حفاظت‌شده ورجین، تهران). فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۳): ۴۰-۲۳.

سابقه و هدف: ارتباطات سیمای سرزمین نقش بسیار مهمی در مدیریت منطقه‌های حفاظت‌شده دارد. در منطقه حفاظت‌شده ورجین گونه غالب قوچ و میش البرز مرکزی است که جمعیت آن در ۲۰ سال گذشته به‌دلیل تخریب زیستگاه و تکه‌تکه شدن در حال کاهش بوده است. تاکنون مطالعات بسیاری در رابطه با ارزیابی اثرهای محیط زیستی توسعه نقاط شهری اطراف منطقه حفاظت‌شده ورجین صورت گرفته است، اما هیچ مطالعه‌ای در رابطه با وضعیت ارتباطات و کیفیت زیستگاه در این منطقه به‌صورت همزمان انجام نشده است. با توجه به موقعیت قرارگیری این منطقه حفاظت‌شده در البرز مرکزی، یکی از راهکارهای بسیار مهم در حفاظت زیستگاه‌های موردنظر، بررسی ارتباطات بین لکه‌های زیستگاهی و شناسایی کریدورهای جابجایی گونه است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل مسیرهای ارتباطی بین لکه‌های زیستگاه قوچ و میش در منطقه حفاظت‌شده ورجین و در نظرگیری کیفیت زیستگاه به‌عنوان یکی از عامل‌های تأثیرگذار بر حضور بیشتر گونه در لکه‌های منتخب است. با استفاده از این روش می‌توان لکه‌های زیستگاهی در منطقه را در راستای حفاظت بیشتر اولویت‌بندی نمود.

مواد و روش‌ها: تصویرهای ماهواره‌ای لندست هفت و هشت مربوط به سال ۱۳۸۱ و ۱۳۹۷ به‌عنوان دو نقشه پایه و زمان حال برای استفاده در مدل کیفیت زیستگاه و تحلیل ارتباطات در این پژوهش انتخاب شد. برای بررسی سنجه ارتباطات زیستگاهی در دو مقیاس لندسکیپ و لکه نیز سنجه‌های dBC و dPC محاسبه شد. نرم‌افزار مورداستفاده برای این ارزیابی، نرم‌افزار Graphab بوده که با استفاده از نظریه گراف به‌صورت شبکه‌ای از گره‌ها و مسیرها، ارتباط بین لکه‌های زیستگاهی را با درنظرگیری آستانه واردشده و برمبنای روش اقلیدسی محاسبه می‌کند. از سوی دیگر کیفیت زیستگاه با تأثیرگذاری عامل‌های انسانی روی کدهای زیستگاهی در دو بازه زمانی به‌عنوان خدمت اکوسیستمی منطقه حفاظت‌شده با استفاده از نرم‌افزار InVEST به‌دست آمد. درنهایت خروجی هردو نرم‌افزار وارد محیط ArcGIS 10.4 شده و با طبقه‌بندی نرمال، طبقات ارتباطات زیستگاهی و کیفیت زیستگاه به‌دست آمد.

* Corresponding Author: *Email Address*. Malekb@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.31778

نتایج و بحث: نتایج نشانگر این امر است که سنجه dPC در بازه‌ای بین ۰ تا ۰/۷۹۶ و سنجه dBC در بازه ۰ تا ۷/۵۸ E+۱۱ به‌دست‌آمده است. این مقادیر در محیط ArcGIS، به ۵ گروه متفاوت اهمیت تقسیم شدند و ۲۳ لکه زیستگاهی هرکدام درجه متفاوتی از اهمیت را به خود اختصاص دادند. دو لکه یک و چهار در سمت راست منطقه حفاظت‌شده اهمیت بسیار زیادی در حفظ دو سنجه dBC و dPC دارند. همچنین خروجی مدل InVEST نشان می‌دهد کیفیت زیستگاه در نواحی شمال و شمال شرقی منطقه در طبقات کم و در جنوب منطقه نیز در طبقه بسیار کم قرارگرفته است. با اولویت‌بندی دو نقشه ارتباطات و کیفیت زیستگاه، لکه‌های زیستگاهی دارای اولویت حفاظت به‌دست آمد که لکه‌های سمت شرقی و جنوبی منطقه را تشکیل می‌دهند.

نتیجه‌گیری: لکه‌هایی که ازلحاظ ارتباطات اهمیت ویژه‌ای داشته و همچنین دارای کیفیت زیستگاه بهتری نسبت به سایر لکه‌های دیگر است، در قسمت شرق و جنوب شرقی منطقه حفاظت‌شده ورجین قرار گرفت. این مطالعه با قدمی نوین و با استفاده از سنجه‌های ارتباطی در دو مقیاس لندسکیپ و لکه و با در نظرگیری خدمت اکوسیستمیِ کیفیت زیستگاه به شناسایی لکه‌های دارای اهمیت در طرح حفاظتی پرداخته و می‌تواند برای دیگرگونه‌های سنجه در مناطق حفاظت‌شده مورداستفاده قرارگیرد. به‌طورقطع با تغییر مقیاس مطالعه و در نظرگیری دو منطقه حفاظت‌شده لار و البرز مرکزی در دو سوی ورجین، نتایج مطالعات ارتباطات و درنهایت اولویت‌بندی تغییر خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات زیستگاهی، قوچ و میش البرز مرکزی، سیمای سرزمین، کیفیت زیستگاه، منطقه حفاظت‌شده ورجین

مقدمه

ارتباطات سیمای سرزمین، نقش بسیار مهمی در حفاظت و مدیریت تنوع زیستی بویژه در رابطه با گونه‌های سنجه محیطی و در حال انقراض دارد (García-Feced *et al*., 2011). وجود گذرگاه‌های مطلوب و امن برای گونه‌های دارای مهاجرت ذاتی همانند قوچ و میش بسیار حیاتی است و در صورت عدم جابجایی، انزوای گروه‌های جمعیتی، قطع جریان ژنتیکی و کاهش تنوع زیستی برای این‌گونه به‌وجود خواهد آمد (Mahfouzi and Goshtasb, 2015). قوچ و میش البرز مرکزی، عمده‌ترین گونه جانوری قابل‌توجه در منطقه حفاظت‌شده ورجین است. زیستگاه پرتراکم و حساس این‌گونه در سمت جنوب و جنوب غربی منطقه حفاظت‌شده ورجین، همانند کوه ورجین و اوشان کوه است (گزارش سازمان محیط‌زیست، ۱۳۸۲). این زیستگاه‌ها امروزه به‌دلیل نزدیکی به اوشان و فشم و همچنین منطقه لواسانات تحت‌فشار انسانی بسیار زیادی قرار دارد (Kheirkhah Ghehi *et al*., 2020). همچنین زیستگاه‌های کوهستانی در نقاط ارتفاعی هم‌جوار با منطقه لار و در مسیر تردد و کریدورهای مهاجرتی قوچ و میش قرار دارد، در دست دامداران مهاجر بوده و بازدهی لازم را در سمت شمال و شمال شرق منطقه ورجین ندارد (DOE, 2004). اطمینان از ارتباطات عملکردی بین لکه‌های زیستگاهی به‌عنوان جزء کلیدی در حفاظت تنوع زیستی شناخته‌شده است (Newbold *et al*., 2015). ارتباطات به معنای درجه‌ای است که لندسکیپ حرکت گونه را بین لکه‌های زیستگاهی در یک زیستگاه و برای یک‌گونه خاص تسهیل می‌سازد، یا بازمی‌دارد و می‌تواند توسط مدل‌های مختلف و با بررسی توانایی حرکت کمی سازی شود (Taylor *et al*., 1993). مدل‌های شبکه‌ای بسیاری در رابطه با اکولوژی سیمای سرزمین و فرا جمعیت‌ها صورت گرفته است که در بسیاری موارد به آن‌ها مدل‌های گراف نیز گفته می‌شود. این مدل‌ها احتمال حرکت گونه را بین لکه‌های زیستگاهی جدا از هم در لندسکیپی که ناهمگن است موردبررسی قرار می‌دهد (Keitt *et al*., 1997; Urban *et al*., 2009, Saura and Rubio, 2010; Urban and Keitt, 2011).

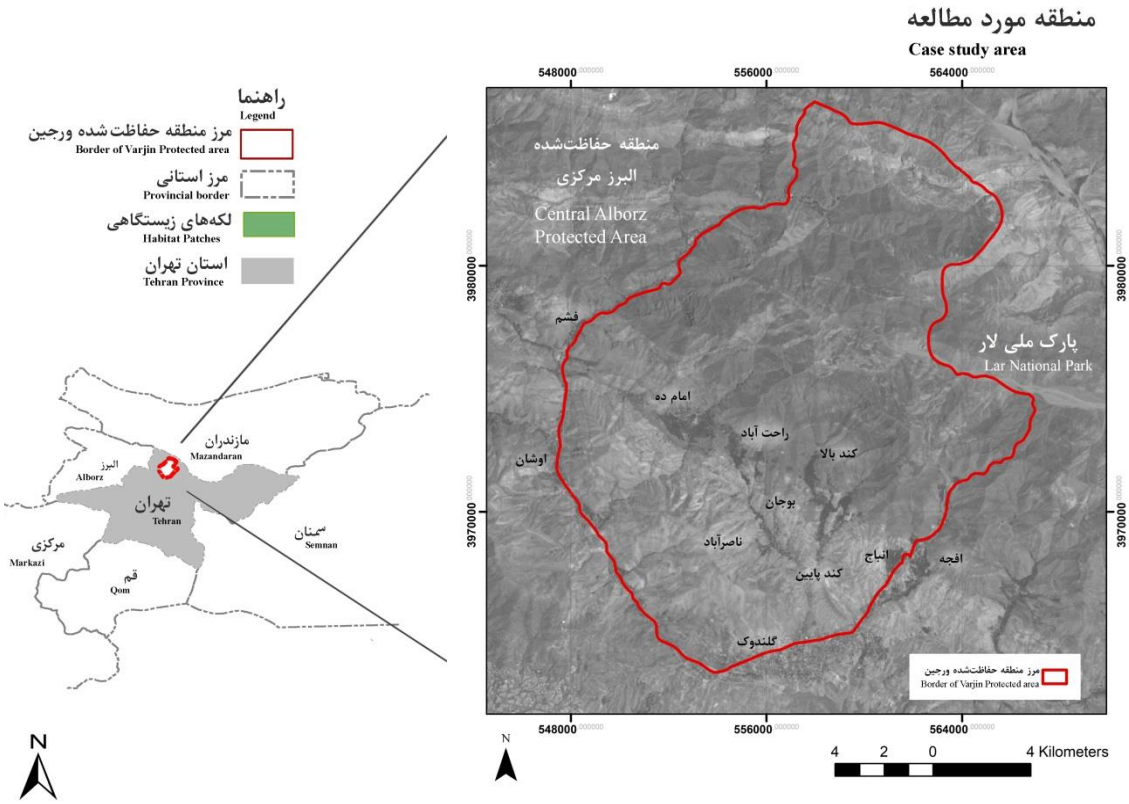
در این سبک از بررسی ارتباطات هر لکه زیستگاهی جداگانه به‌صورت گره و ارتباطات بین گره‌ها به‌صورت حاشیه شناخته می‌شود که احتمال حرکت بین لکه‌ها را بررسی می‌کند (Bodin and Saura, 2010; Foltête *et al*., 2012). البته بسیاری از مطالعات صورت گرفته در این بخش باهدف

برنامه‌ریزی حفاظتی سیمای سرزمین بوده و تنها به بررسی ارتباطات بین زیستگاه نپرداخته است (Pascual-Hortal and Saura, 2008; Liu *et al*., 2018). همچنین در این زمینه، مطالعاتی نیز در جهان صورت گرفته که ظرفیت رویکرد شبکه‌ای را موردبررسی قرار می‌دهد و فرآیندهای اکولوژیکی مرتبط و الگوهای ارتباطات لندسکیپ را توضیح می‌دهد (Andersson and Bodin, 2000). رویکردهای مبتنی بر شبکه که در اولویت‌بندی اهمیت لکه‌های زیستگاهی مورداستفاده قرار می‌گیرد به‌طور عمده می‌تواند در دودسته تقسیم شود. روش اول بدین‌صورت است که سنجه مشخصی برای محاسبه ارتباطات زیستگاهی انتخاب و محاسبه می‌شود و سپس لکه‌های زیستگاهی حذف‌شده و نتیجه آن بر میزان عددی سنجه منتخب بررسی می‌شود (برای نمونه: Saura and Pascual-Hort (2007)). در رویکرد دوم ویژگی‌های شبکه‌ای موردبررسی قرار می‌گیرد تا اهمیت هر لکه زیستگاهی به‌صورت جداگانه محاسبه شود (Bodin and Saura, 2010). در رویکرد دوم یکی از مباحث مهمی که موردبررسی قرار می‌گیرد مرکزیت شبکه است و در آن میزان تأثیرگذاری هر گره در شبکه محاسبه می‌شود. در این تحقیق از رویکرد دوم شبکه‌ای به معنای میزان تأثیرگذاری هر گره استفاده شد. در کنار مبحث ارتباطات، کیفیت زیستگاه نقش بسیار مهمی در غنای تنوع زیستی لکه‌های زیستگاهی دارد (Wettsten and Schmid, 1999; Zulka *et al*., 2014). کیفیت زیستگاه به معنی توانایی اکوسیستم در حمایت از شرایطی است که برای حیات گونه مطلوبیت دارد (Sharp *et al*., 2016) و کاهش در کیفیت زیستگاه منجر به کاهش در تنوع زیستی منطقه موردمطالعه می‌شود (Sun *et al*., 2019). اصلی‌ترین عاملی که روی کیفیت زیستگاه و ارتباطات مابین زیستگاهی تأثیرگذار است، تغییرات کاربری زمین‌ها است (Polasky *et al*., 2011; Theobald *et al*., 2011). تاکنون مطالعاتی نیز در ایران و جهان در رابطه باکیفیت زیستگاه و با استفاده از مجموعه مدل‌های یکپارچه ارزشیابی اقتصادی خدمات اکوسیستمی همانند InVEST صورت گرفته است (Di Febbraro *et al*., 2018; Sun *et al*., 2019). ارزیابی اثرهای کاربری زمین‌ها بر ارتباطات شبکه‌ای بین زیستگاه‌ها و کیفیت زیستگاه می‌تواند در اولویت‌بندی حفاظت لکه‌های زیستگاهی در منطق حفاظت‌شده تأثیرگذار باشد. در این مقاله، ارزیابی مکانی ارتباطات بین لکه‌های زیستگاهی با استفاده از رویکرد شبکه‌ای نظریه گراف صورت گرفت. در این رویکرد، لکه‌هایی که دارای بیشترین اهمیت در برقراری احتمال ارتباطات کل و ارتباطات مرکزیت بینابینی به‌عنوان زیستگاه‌های میان‌گذر هستند، شناسایی و رتبه‌بندی شدند. در مرحله بعد با روی‌هم گذاری نقشه ارزیابی کیفیت زیستگاه، لکه‌هایی که نه‌تنها اهمیت در جابجایی گونه قوچ و میش داشته بلکه دارای مطلوبیت بیشتری برای این‌گونه هستند، شناسایی و رتبه‌بندی شدند. فرض بر این است که در صورت برقراری ارتباط بین لکه‌ها، گونه، زیستگاهی را انتخاب می‌کند که کیفیت مطلوب‌تری دارد. این روش می‌تواند با ترکیب خدمات اکوسیستمی (کیفیت زیستگاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین خدمت اکوسیستمی مناطق حفاظت‌شده و مسیرهای ارتباطی (دیدگاه شبکه‌ای)، منجر به حفاظت لکه‌های زیستگاهی شود که برای حفظ و بقای گونه قوچ و میش در منطقه دارای اهمیت بیشتری است. هدف از این تحقیق تهیه و تدوین رویکردی است که در آن به‌طور همزمان مفاهیمی همانند مطلوبیت زیستگاه، کیفیت زیستگاه و ارتباطات در دو مقیاس لندسکیپ و لکه مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از این روش می‌توان رویکرد نوینی در راستای اولویت بندی حفاظت زیستگاه و حفظ تاب آوری منطقه در برابر فشارهای انسانی ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

محدوده موردمطالعه با عنوان منطقه حفاظت‌شده ورجین در محدوده جغرافیائی ˚۵۱-۳۱ˈ تا ˚۵۱-۴۴ طول شرقی و ˚۳۵-۴۹ تا ˚۳۶-۰۱ عرض شمالی و با وسعت حدود ۲۷۲ کیلومترمربع در شمال شرق تهران واقع گردیده است. رودخانه اصلی منطقه موردمطالعه جاجرود است که از ارتفاعات ۴۳۷۵ متری البرز میانی سرچشمه می‌گیرد . این منطقه به‌موجب مصوبه شماره ۸۹ شورای عالی حفاظت محیط‌زیست در تاریخ ۱۳۶۱/۶/۲۱، به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده اعلام گردیده و ازنظر تقسیم‌های کشوری در استان تهران و شهرستان شمیرانات قرار دارد. ازلحاظ قرارگیری بین پارک ملی لار و منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی، این منطقه نقش بسیار مهمی در حفظ جمعیت گونه قوچ و میش البرز مرکزی دارد. منطقه حفاظت‌شده ورجین دارای سیمایی کوهستانی بوده و بیشترین ارتفاع آن در داخل منطقه ۳۹۳۰، کمترین آن ۱۵۶۰ و ارتفاع متوسط آن ۲۶۶۴ متر محاسبه گردیده است و بیشترین وسعت ازنظر طبقه‌بندی ارتفاعی با قریب ۱۸/۷ کیلومترمربع مساحت (حدود ۷ درصد از کل مساحت منطقه)، مربوط به طبقه ارتفاعی ۲۳۰۰ - ۲۲۰۰ متر است. رشد شهری بویژه از سمت جنوب (منطقه لواسانات) و غرب منطقه (اوشان و فشم)، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و تغییرات کاربری زمین‌ها و چرای غیرمجاز مرتعداران سبب تغییرات گسترده در لکه‌های زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده ورجین شده است که این امر قطع ارتباطات زیستگاهی و انزوای جمعیت گونه‌های قوچ و میش را به‌دنبال خواهد داشت (DOE, 2004). شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت منطقه حفاظت‌شده ورجین در استان تهران است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه حفاظت‌شده ورجین در استان تهران

Fig. 1- Location of Varjin Protected Area, Tehran Province, Iran

روش‌شناسی

چهارچوب مفهومی مدل

روش انجام کار در این تحقیق به ۴ مرحله اصلی تقسیم می‌شود که در شکل ۲ قابل‌مشاهده و در ادامه توضیح داده شده است.

مرحله اول: محاسبه سنجه‌های ارتباطات

در اولین مرحله، براساس فایل رستری مطلوبیت زیستگاه به‌دست آمد. نقشه مطلوبیت زیستگاه براساس سنجه‌های شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از منطقه‌های مسکونی و جاده، دسترسی به آب و NDVI و کیفیت مراتع در محیط نرم‌افزار TerrSet به‌دست آمد (Eastman, 2015; Kheirkhah Ghehi *et al*., 2020). پس‌ازآنکه نقشه مطلوبیت زیستگاه به پنج طبقه کد مطلوبیت طبقه‌بندی شد، کدهای موردنظر در محیط نرم‌افزار Graphab انتخاب‌شده تا لکه‌های زیستگاهی به‌دست آید (Foltête *et al*., 2012). نسخه مورداستفاده از این نرم‌افزار، نسخه 2.4 است تا با استفاده از نظریه گراف و تحلیل شبکه گره‌ها و مسیرهای بهینه شناسایی شوند. پس‌ازآنکه گراف‌های ارتباطات زیستگاهی برمبنای آستانه حرکتی پیشنهادی شناسایی شد، متریک‌های مرتبط در دو مقیاس لکه و لندسکیپ برای زیستگاه‌های به‌دست‌آمده قوچ و میش البرز مرکزی محاسبه شد. آستانه انتخابی برای این مدل هزار متر در نظر گرفته شد. اگرچه این آستانه مقدار بسیار کمی برای حرکت گونه قوچ و میش در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی است، اما چون روش محاسبه مسیرهای ارتباطی، روش اقلیدوسی است و موانع حرکت در این مطالعه بررسی نشد، کمترین مقدار حرکت به‌عنوان آستانه ارتباطات انتخاب گردید. برای محاسبه متریک ارتباطات دو سنجه PC و BC برای تحلیل انتخاب شد. این دو سنجه، احتمال ارتباطات زیستگاهی را در مقیاس لندسکیپ و لکه مورد بررسی قرار دادند.

تحلیل متریک احتمال ارتباطات

احتمال ارتباطات یا سنجه PC سنجه‌ای برای بررسی ارتباطات زیستگاهی در مقیاس لندسکیپ است. این سنجه به معنای احتمال آنکه دونقطه به‌صورت تصادفی در یک لندسکیپ و در محدوده لکه‌های زیستگاهی با یکدیگر در ارتباط باشند، گفته می‌شود (این دونقطه با توجه به آستانه مشخص‌شده قابل‌دسترسی هستند (Saura and Pascual-Hortal, 2007). سنجه احتمال ارتباطات مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{PC} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i\, a_j\, p_{ij}^{*}}{A_L^2} \qquad (۱)$$

که در این فرمول ai و aj مساحت دو لکه زیستگاه، n تعداد لکه‌های زیستگاهی موجود در لندسکیپ و A مساحت کل منطقه و Pij، بیشترین احتمال تمامی مسیرهای بین لکه i و j (مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم) است. Pascual *et al* (2006). سنجه dPC را معرفی کردند که به‌معنای سهم نسبی یک لکه در ارتباطات کل زیستگاهی است. به معنای ساده‌تر، dPC تغییر نسبی در مقدار PC است، هنگامی‌که تغییر فضایی مکانی در لندسکیپ روی دهد، سهم نسبی لکه k در ارتباطات کل زیستگاه مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$dPC_k = 100 \times \frac{\mathrm{PC} - \mathrm{PCremove}}{\mathrm{PC}} \qquad (۲)$$

به‌بیان‌دیگر، اگر حذف لکه k در لندسکیپ صورت پذیرد، dPC نشان‌دهنده کاهش نسبی در مقدار PC ناشی از این حذف است. سنجه dPC به سه زیر سنجه تقسیم‌شده که از مجموع این سه زیر سنجه به‌دست می‌آید. بدین معنا که لکه k به سه صورت در ارتباطات لندسکیپی سهیم است (Saura and Rubio, 2010).

$$dPC_k = dPCintra_k + dPCflux_k + dPCconnector_k \qquad (۳)$$

زیر سنجه $dPCconnector_k$ نشان‌دهنده لکه زیستگاهی است که به‌صورت لکه بینابینی عمل می‌کند و دیگر لکه‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. هرچه عدد این سنجه بیشتر باشد، در صورت حذف آن، سنجه ارتباطات به‌شدت کاهش

خواهد یافت (Pascual-Hortal and Saura, 2006). $dPCintra_k$ به معنای مساحت ازدست‌رفته پس از حذف لکه زیستگاهی است. یا به‌بیان‌دیگر هرچه مساحت لکه بیشتر باشد، زیستگاه بیشتری برای جانداران در دسترس است (Fletcher and Fortin, 2018) و سنجه $dPCflux_k$ نشان‌دهنده تعاملات بین لکه زیستگاهی k با دیگر لکه‌های اطرافش است (Clauzel, Foltête *et al*., 2017). بین این سه زیر سنجه، dPCconnector به موقعیت مکانی لکه k بستگی دارد و سهم لکه k را به‌صورت زیستگاه میان‌گذر که ارتباطات را بین دیگر لکه‌ها برقرار می‌سازد، در نظر می‌گیرد (Bodin and Saura, 2010).

سنجه مرکزیت بینابینی

سنجه dBC سنجه‌ای در مقیاس لکه است و به معنای مجموع تمامی کوتاه‌ترین مسیرها بین لکه‌هایی است که به لکه k منتهی می‌شوند. براساس این تعریف، اگر مساحت لکه و احتمال حرکت گونه را بر این تعریف تأثیرگذار بدانیم این سنجه از فرمول زیر به‌دست می‌آید (Blazquez *et al*., 2014).

$$dBC = \sum_j \sum_k a_j^{\beta} a_k^{\beta} e^{-\alpha d_{jk}} \qquad (۴)$$

با توجه به تعریف سنجه مرکزیت بینابینی، این سنجه با dPC و از طریق dPCconnector همخوانی دارد. تغییرات این دو سنجه dBC و dPCconnector نیز با یکدیگر همسو بوده و قابل‌مقایسه است، اگرچه هرکدام به‌صورت متفاوتی محاسبه می‌شوند (Bodin and Saura, 2010).

در این مقاله، برای ارزیابی کیفیت زیستگاه از مدل InVEST استفاده شد (Sharp *et al*., 2016). در این راستا نقشه کاربری زمین‌ها پایه (تصویر ماهواره‌ای لندست هفت در سال ۱۳۸۰، سال قبل از شروع طرح حفاظت از منطقه) و تصویر لندست هشت در سال ۱۳۹۷ به‌عنوان نقشه کاربری زمین‌های کنونی انتخاب گردید. این مدل، کیفیت زیستگاه را براساس مطلوبیت زیستگاه و تهدیدات مرتبط با تنوع زیستی محاسبه می‌نماید. بنابراین تهدیدهای موردبررسی در این مدل، کشاورزی، رشد شهری، جاده کشی و مرتع‌داری غیرمجاز در نظر گرفته شد. هر تهدید به‌صورت یک نقشه رستری از نقشه کاربری زمین‌های سال ۱۳۹۷ (لندست هشت) در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. دامنه تأثیر، وزن، حساسیت انواع زیستگاه به هر تهدید و دیگر پارامترها براساس راهنمای نرم‌افزار InVEST و نظر کارشناسی به‌دست آمد. جدول ۱، نشان دهنده مقادیر ورودی اکسل مدل کیفیت زیستگاه در نرم افزار است. منظور از بیشترین فاصله، بیشترین فاصله‌ای است که تهدید مورد نظر بر کیفیت زیستگاه اثر خواهد گذاشت. وزن نیز اشاره به وزن اثر هر تهدید بر کیفیت نسبت به سایر تهدیدهای موجود در جدول است که بین بازه صفر (بدون اثر) تا یک (بیشترین اثر) تغییر می‌کند. نوع تخریب نیز به دو صورت خطی و تصاعدی انتخاب می شود (Terrado *et al*., 2016). تمامی مقادیر جدول با استفاده از نظر کارشناسی تهیه شد.

جدول ۱- مقادیر ورودی جدول تهدیدهای کیفیت زیستگاه در مدل InVEST

Table 1. Scoring threat values in Habitat Quality model, InVEST

تهدید Threats	حداکثر فاصله (کیلومتر) Maximum distance (km)	وزن Weight	نوع تخریب (خطی / تصاعدی) Type of destruction (Linear/Exponential)
کشاورزی Agriculture	2	0.2	تصاعدی Exponential
راه و جاده Roads	2	0.4	تصاعدی Exponential
مرتع داری غیرمجاز Illegal rangelanding	1	0.7	تصاعدی Exponential
توسعه شهری Urban growth	3	1	تصاعدی Exponential

فرض اصلی در این مدل این است که منطقه‌هایی که کیفیت زیستگاه بالاتری دارند، غنای گونه‌ای بیشتری را حمایت می‌کند. مقدار کیفیت زیستگاه برای هر رستر بنابر فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{xy} = H_j\left[1 - \left(\frac{D_{xy}^2}{D_{xy}^2}\right) + k^2\right] \quad (۵)$$

که در آن Q_{xy} کیفیت زیستگاه رستر x در لندسکیپ j است. D_{xy} سطح تهدید بر رستر x با کاربری زمین‌ها jاست. H_j نیز مطلوبیت زیستگاه با توجه به کاربری زمین‌ها jاست. K یا ضریب اشباع برابر با نیمی از حداکثر مقدار Dxy است.

مرحله سوم: تعیین اهمیت لکه‌های زیستگاهی

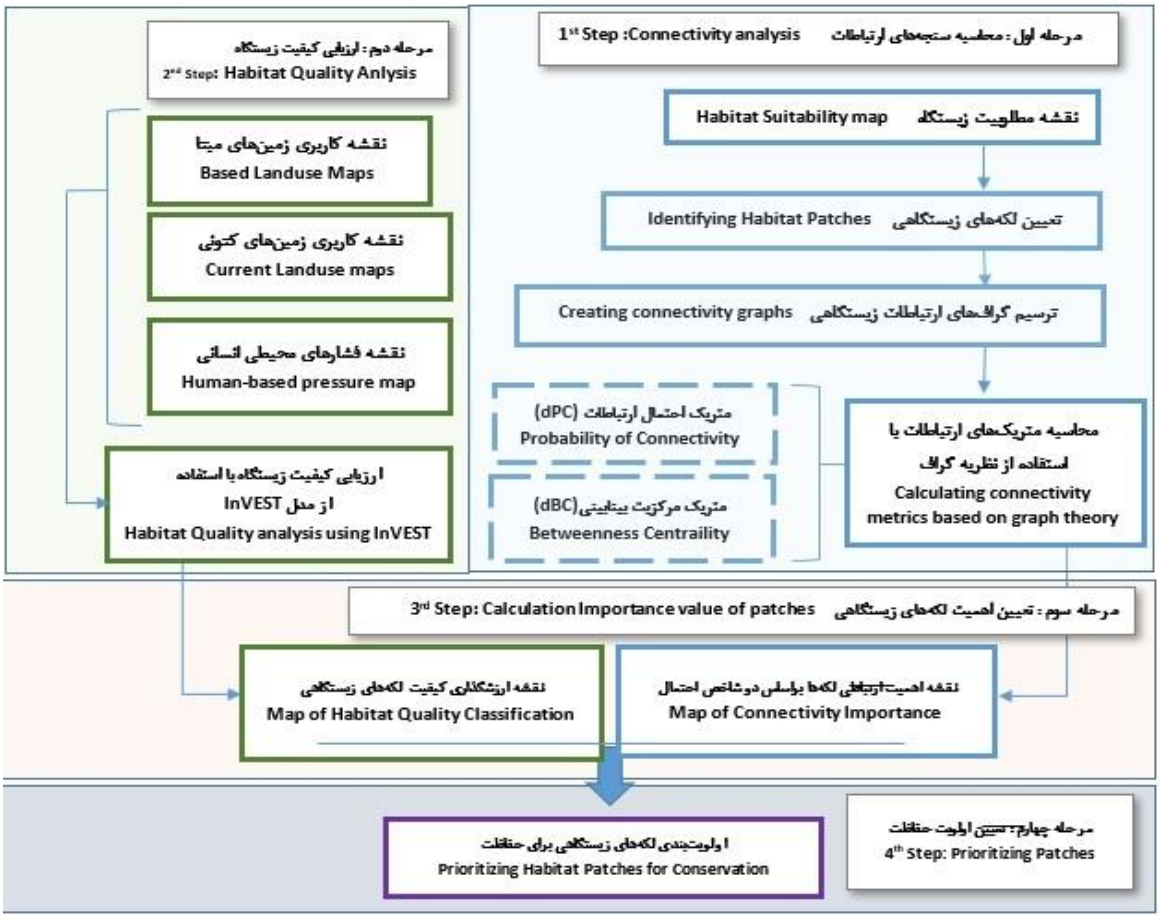
پس‌ازآنکه مقادیر dPC و dBC محاسبه شد، لکه‌های زیستگاهی روی نقشه به ۵ گروه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم می‌شوند. این فرآیند در رابطه با نقشه کیفیت زیستگاه به‌دست‌آمده از نرم‌افزار InVEST نیز اجراشده و نقشه‌ای با طبقه‌بندی ۵ گروه کیفیت زیستگاه به‌دست می‌آید.

مرحله چهارم : اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی برای حفاظت

دو نقشه آماده‌شده در مرحله قبل در محیط ArcGIS روی‌هم گذاری شده تا نقشه اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی براساس قوانین زیر به‌دست آید.

لکه زیستگاهی دارای مقادیر زیاد و یا بسیار زیاد برای متریک dPC و یا متریک dBC باشد (Bodin and Saura,2010).

لکه‌های شناسایی‌شده در مرحله قبل، دارای ارزش کیفیت زیستگاه متعلق به گروه زیاد و یا بسیار زیاد باشد (Zulka *et al.*, 2014).



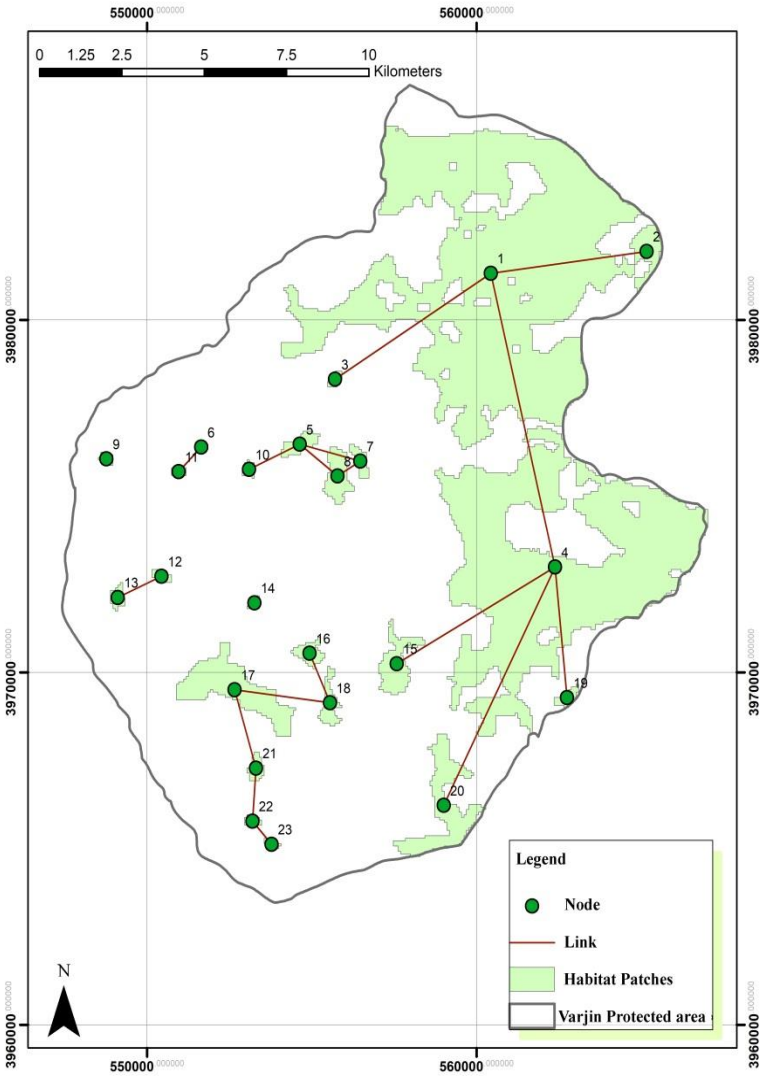
شکل ۲- چارچوب مفهومی اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی برای حفاظت قوچ و میش البرز مرکزی

Fig. 2- Conceptual framework of prioritizing habitat patches for conservation of *Ovis orientalis*

نتایج و بحث

مرحله اول: محاسبه سنجه‌های ارتباطات

در اولین قدم و با استفاده از نقشه مطلوبیت زیستگاه (با ۵ کد مطلوبیت اولیه) لکه‌های زیستگاهی در نرم‌افزار Graphab (Foltête *et al.*, 2012)، مطابق با شکل ۳ به‌دست آمد. مساحت کل منطقه موردمطالعه با کدهای مطلوبیت زیستگاهی چهار و پنج (از پنج کد موردبررسی) ۲۱۰/۱۹ کیلومترمربع است و مساحت لکه‌های زیستگاهی با شرط آنکه وسعتی با حداقل نُه هکتار داشته باشند،۸۶/۹۲ کیلومترمربع محاسبه شد. لکه‌های زیستگاهی با مطالعات انجام‌شده در رابطه با قوچ و میش البرز مرکزی (DOE, 2004; Yeganeh Keya., 2016) در منطقه البرز مرکزی موردبررسی قرارگرفته است تا صحت نقشه‌ها سنجیده شود.



شکل ۳- گره‌ها و مسیرهای ارتباطی بین لکه‌های زیستگاهی در منطقه حفاظت‌شده ورجین

Fig. 3 – Nodes and links between habitat patches in Varjin protected area

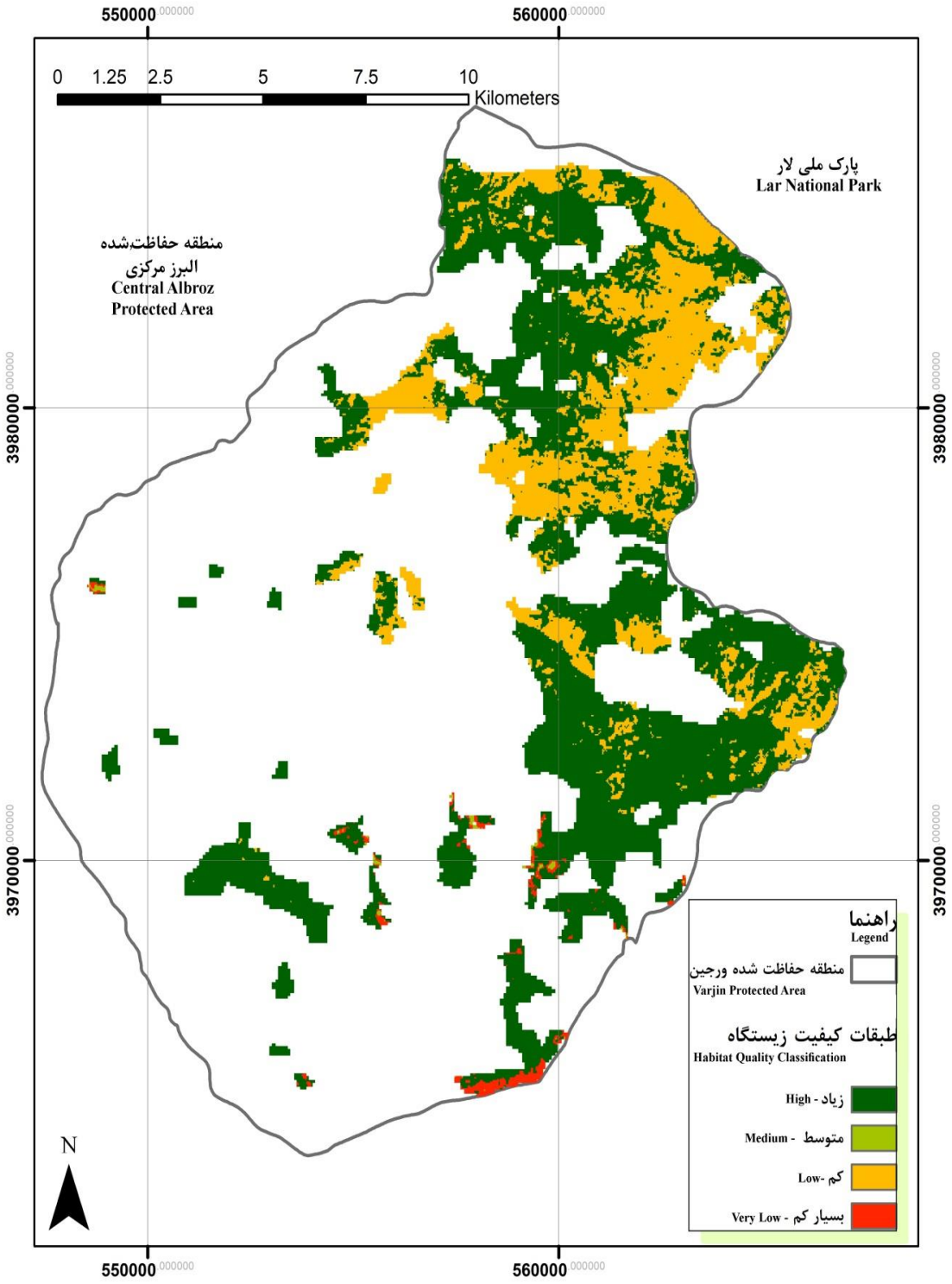
سنجه dPC به‌دست‌آمده برای این مطالعه بین ۰.۷۹۶۸۷ تا ۰ است و سنجه dBC نیز در بازه ۷/۵۸ E+۱۱ و 0 محاسبه شده است. جدول ۲ نشان‌دهنده مقادیر این دو سنجه بهمراه سه زیر سنجه dPC برای ۲۳ لکه زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده ورجین، با در نظرگیری آستانه حرکتی هزار متر است. ۰ ۲ نشان‌دهنده مقادیر متریک‌های ارتباطات و مساحت لکه‌های زیستگاهی در منطقه حفاظت‌شده ورجین است.

جدول ۲- مقادیر متریک‌های ارتباطات و مساحت لکه‌های زیستگاهی در منطقه حفاظت‌شده ورجین
Table 2. Values of connectivity metrics and habiat patch areas in Varjin protected area

شماره لکه	محیط لکه	متریک‌های ارتباطات				
		dBC	dPC	Intra	Flux	Connector
1	4.34E+07	7.58E+11	0.796875	0.335647	0.460958	2.70E-04
2	947348	0	0.015085	1.60E-04	0.014925	0
3	142376	0	0.001367	3.62E-06	0.001364	0
4	3.09E+07	8.48E+11	0.643235	0.170368	0.472565	3.02E-04
5	449032	2.78E+10	1.95E-04	3.60E-05	1.49E-04	9.92E-06
6	93092	0	3.81E-06	1.55E-06	2.26E-06	0
7	306656	0	1.38E-04	1.68E-05	1.21E-04	0
8	898064	4.92E+09	3.57E-04	1.44E-04	2.13E-04	3.98E-08
9	125948	0	2.83E-06	2.83E-06	0	0
10	131424	0	2.49E-05	3.08E-06	2.18E-05	0
11	98568	0	3.99E-06	1.73E-06	2.26E-06	0
12	164280	0	1.19E-05	4.81E-06	7.05E-06	0
13	224516	0	1.60E-05	8.99E-06	7.05E-06	0
14	104044	0	1.93E-06	1.93E-06	0	0
15	1270432	0	0.007537	2.88E-04	0.007249	0
16	438080	0	2.08E-04	3.42E-05	1.74E-04	0
17	3285600	4.35E+10	0.002656	0.001925	7.16E-04	1.55E-05
18	503792	2.96E+11	5.99E-04	4.53E-05	4.48E-04	1.06E-04
19	213564	0	0.0018	8.13E-06	0.001791	0
20	2721572	0	0.02024	0.001321	0.018919	0
21	284752	1.11E+11	2.85E-04	1.45E-05	2.31E-04	3.98E-05
22	114996	5.07E+10	5.54E-05	2.36E-06	3.50E-05	1.81E-05
23	120472	0	2.45E-05	2.59E-06	2.19E-05	0

مرحله دوم: ارزیابی کیفیت زیستگاه

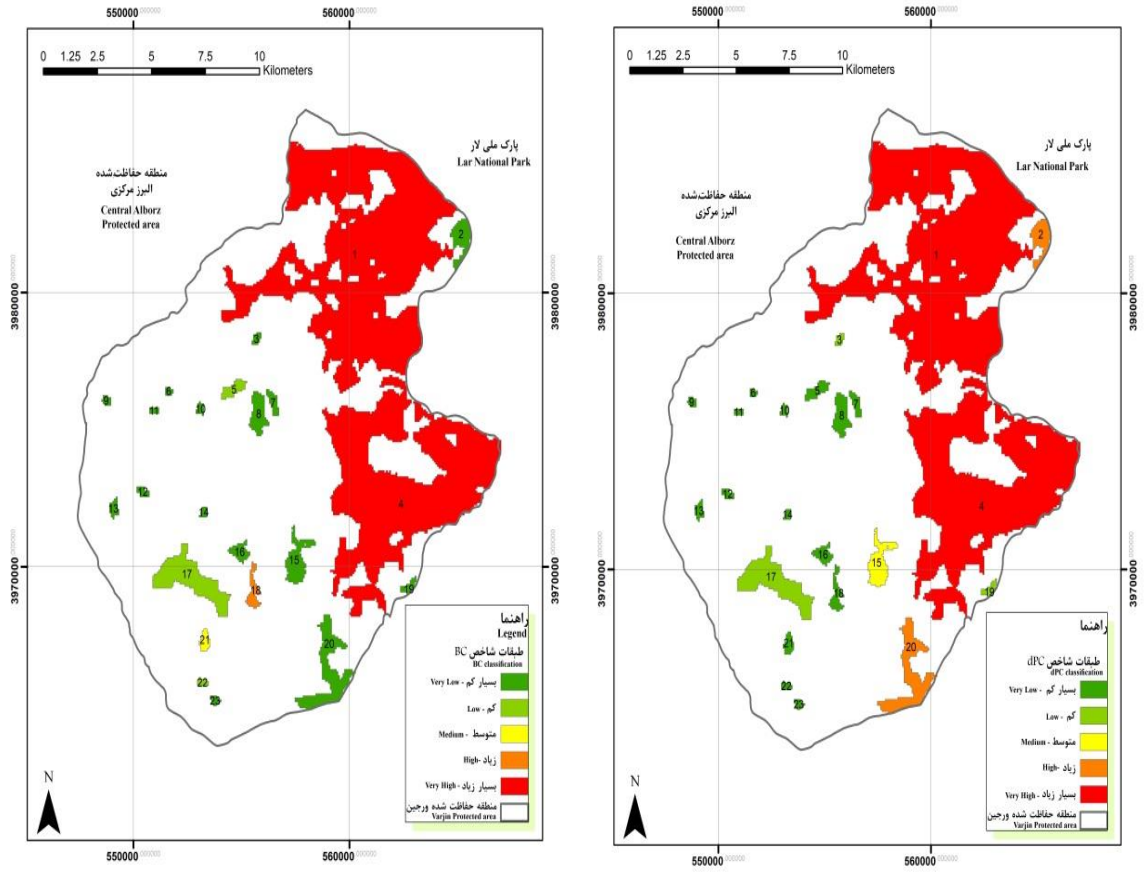
خروجی مدل InVEST نقشه کیفیت زیستگاه در مقیاس لکه‌های زیستگاهی است. به‌طورقطع عامل‌های زیادی چه انسانی و چه طبیعی بر تخریب زیستگاه قوچ و میش البرز در منطقه حفاظت‌شده ورجین تأثیرگذار است اما از مدل موردمطالعه در این مقاله حذف‌شده و تنها تأثیرات کاربری زمین‌ها بر کیفیت زیستگاه موردبررسی قرارگرفت. درنهایت، خروجی مدل نقشه کیفیت زیستگاه است که به ۵ گروه بسیار زیاد تا بسیار کم تقسیم می‌شود تا در مرحله نهایی با مقادیر به‌دست‌آمده از تحلیل ارتباطات زیستگاهی روی‌هم گذاری شده و اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی موردحفاظت به‌دست آید. ۰نشان‌دهنده نقشه خروجی این مدل یعنی لکه‌های زیستگاهی طبقه‌بندی‌شده برمبنای ارزیابی کیفیت زیستگاه است. همانطور که مشاهده می‌شود، لکه زیستگاهی ۲۰ در جنوبی ترین نقطه از منطقه حفاظت شده ورجین به‌دلیل نفوذ رشد شهری لواسانات به داخل منطقه دارای کیفیت زیستگاهی بسیار کم است. لکه‌های شمال و شمال شرقی نیز دارای کیفیت زیستگاه کم است.



شکل ۴- طبقات کیفیت زیستگاه در لکه‌های زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده ورجین

Fig. 4- Classification of habitat quality in habitat patches, Varjin protected area

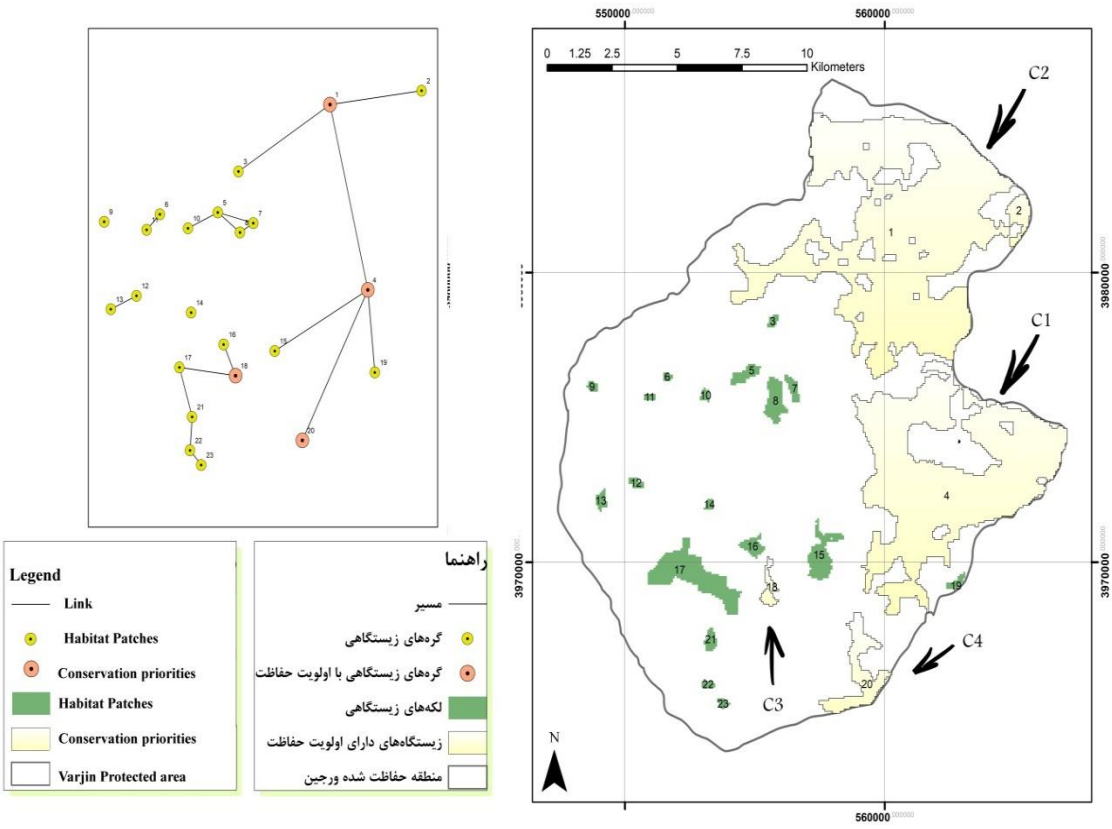
شکل ۵، نشان‌دهنده لکه‌های زیستگاهی طبقه‌بندی‌شده منطقه حفاظت‌شده ورجین براساس دو سنجه dPC و dBC است. همچنین شکل ۴ نیز نشان دهنده طبقات کیفیت زیستگاهی در منطقه است. هر سه نقشه به طبقات بسیار کم تا بسیار زیاد در ArcGIS طبقه بندی شدند تا در مرحله بعد روی‌هم گذاری شوند.



شکل ۵- طبقات سنجه dBC (تصویر سمت چپ) و سنجه dPC (تصویر سمت راست) در لکه‌های زیستگاهی منطقه حفاظت‌شده ورجین

Fig. 5- Connecvity metrics dBC (left) and dPC (right) in habitat patches, Varjin protected area

باروی‌هم‌گذاری نقشه‌های مرحله قبل، ۶۰ به‌دست‌آمده است نشان‌دهنده لکه‌هایی است که دارای بیشترین کیفیت زیستگاه بوده و همچنین ازلحاظ دو سنجه مرکزیت بینابینی و احتمال ارتباطات بیشترین اهمیت را در منطقه دارند. این لکه‌ها به‌عنوان اولویت‌های حفاظتی در منطقه حفاظت‌شده ورجین می‌بایست در نظر گرفته شود. همان‌طور که در ۶۰ نیز قابل‌مشاهده است، لکه‌های زیستگاهی به‌طور عمده در شرق منطقه حفاظت‌شده ورجین و نواحی جنوبی منطقه (لکه‌های ۱، ۴، ۱۸ و ۲۰) می‌بایست مورد اولویت‌بندی حفاظت قرار گیرد. این امر بدین معنا نیست که سایر منطقه-های موردحفاظت قرار نگیرد، اما ازآنجایی‌که فشارهای انسانی همانند جاده کشی و توسعه شهری موجب قطع ارتباطات زیستگاهی گونه قوچ و میش شده است، لکه‌هایی باید موردتوجه بیشتری باشند که ازلحاظ برقراری ارتباطات اهمیت بسزایی دارد. در این راستا، لکه‌های یک و چهار (دو لکه سمت شرقی منطقه) ازلحاظ برقراری احتمال ارتباطات دارای اولویت هستند و با روی‌هم گذاری با نقشه‌های کیفیت زیستگاه اولویت حفاظت را دارند. لازم به بیان است که گستره مورد مطالعه در این پژوهش محدوده منطقه حفاظت‌شده ورجین بوده است و به‌طورقطع با بالا بردن گستره مطالعاتی در حد لندسکیپی که دربرگیرنده پارک ملی لار و منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی است، اولویت‌بندی می‌تواند الگوی دیگری به خود اختصاص دهد که این امر بستگی به هدف مدیریتی در منطقه موردمطالعه دارد.



شکل ۶- اولویت‌بندی لکه‌های زیستگاهی برای حفاظت (تصویر سمت چپ) به همراه گره‌های زیستگاهی و مسیرهای ارتباطی (تصویر سمت راست)

Fig. 6- Prioritizing habitat patches for conservation (left), habitat nodes, and connectivity links (right)

لکه زیستگاهی یک در ضلع شمال شرقی منطقه به‌دلیل بالا بودن مقدار زیرسنجه Intra، یا همان وسعت لکه، مقدار بالایی از سنجه dPC را به خود اختصاص داده است .این بدان معنی است که از دست دادن لکه یک، سبب می‌شود تا مساحت بسیار زیادی از لکه زیستگاهی از بین رود. همچنین این لکه در مقیاس موردمطالعه (محدوده منطقه حفاظت‌شده ورجین) دارای اهمیت زیرسنجه dPCconnector است که نقش مشابهی همانند سنجه مرکزیت بینابینی یعنی dBC اجرا می‌کند. اگرچه این اهمیت در مقیاس لکه زیستگاهی به‌دست‌آمده است اما در مقیاسی وسیع‌تر نیز لکه زیستگاهی یک نقشه لکه گذرگاهی برای قوچ و میش‌هایی اجرا می‌کند که از پارک ملی لار به سمت منطقه حفاظت‌شده ورجین می‌آیند. هنگامی‌که لکه‌ای همانند لکه یک دارای مقادیر بالایی از dBC است، از دست دادن آن آسیب‌پذیری منطقه را نسبت به فشارهای محیطی بعدازآن بیشتر می‌کند. بدین معنا که از دست دادن لکه شماره ۱، نه‌تنها لکه ۲ را از ۴ جدا می‌سازد و منطقه به‌طور کامل تکه‌تکه می‌شود بلکه همان‌طور که توضیح داده شد، در مقیاسی فراتر از آن، ارتباط پارک ملی لار با منطقه حفاظت‌شده ورجین را نیز قطع می‌نماید و گونه در زیستگاه جداگانه ایزوله می‌شود. لکه‌های زیستگاهی یک و چهار که دارای مقادیر بالای dBC هستند به‌صورت زیستگاه‌های میان‌گذر بینابینی عمل کرده و هنگامی‌که فشار به محیط وارد می‌شود، نقش ستون فقرات لندسکیپ را برعهده‌دارند (Bodin and Saura, 2010;Blazquez-Cabrera *et al*., 2014). اما در رابطه با لکه چهارم، همان‌طور که از تصویر سمت راست شکل ۶ نیز قابل‌مشاهده است، این لکه ازلحاظ زیرسنجه dPCconnector و اتصال لکه‌ی یک با لکه‌های ۱۵، ۱۹ و ۲۰ دارای اهمیت در سنجه dPC است. بدین‌صورت که در صورت تخریب لکه

چهار، لکه‌های یک و دو در ناحیه شمالی منطقه ایزوله شده و راه دسترسی با کوه ورجین و زیستگاه‌های جنوبی منطقه قطع خواهد شد. در رابطه با لکه ۱۸، این گره تنها راه ارتباطی بین لکه‌های ۱۶ و ۱۷ در آستانه حرکتی یک کیلومتر است. به‌بیان‌دیگر در صورت از بین روی لکه ۱۸، تنها راه ارتباطی بین دو لکه ۱۶ و ۱۷ از بین رفته و منطقه به‌صورت تکه‌تکه و زیستگاه‌های ایزوله شکل می‌گیرد. در ادامه در این مطالعه فرض بر این موضوع بوده است که در صورت بالاتر بودن کیفیت زیستگاه، احتمال حضور گونه قوچ و میش در آن منطقه افزایش می‌یابد. بین لکه‌هایی که سنجه dBC و dPC بالاتری دارند، لکه‌های چهار و ۱۸ دارای بهترین کیفیت زیستگاه در میان لکه‌های راهبردی منطقه حفاظت‌شده ورجین است. در نهایت، درک مکانیسم‌های تأثیرگذار بر جمعیت گونه و ارتباطات گونه - زیستگاه و مقیاسی که این روابط در آن روی می‌دهد برای تهیه استراتژی های مدیریتی بسیار مهم است (Nagy-Reis *et al.*, 2019). منطقه حفاظت شده ورجین بین دو زیستگاه کلیدی قوچ و میش البرز، پارک ملی لار و منطقه حفاظت شده البرز مرکزی قرار گرفته است. این سه منطقه می‌تواند به‌صورت ابراکوسیستم در نظر گرفته شود. اگر لکه‌های زیستگاهی قوچ و میش در مقیاس وسیعتر مورد بررسی قرار گیرد، اهمیت لکه‌های کناری در دو سوی منطقه که dBC و dPC کمتری دارند تغییر خواهد کرد. بنابراین هنگام برنامه ریزی‌های حفاظتی بهتر است که مبحث ارتباطات در چندین مقیاس مورد بررسی قرارگیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه می‌تواند اثرهای مثبتی در امر حفاظت منطقه و طرح‌های مدیریتی آینده داشته باشد. با شناسایی لکه‌هایی که بیشترین کیفیت زیستگاه را داشته و مسیرهای ارتباطی مهمی از آن عبور می‌کند، هسته‌های حفاظتی در سطح لندسکیپ انتخاب شده و تحت حفاظت بیشتری قرار می‌گیرند. این‌گونه ارزیابی نه‌تنها به حفاظت وضع موجود کمک می‌کند، بلکه نقاط پیشنهادی دقیقی را برای توسعه زیستگاه‌های جدید پیشنهاد می‌دهد. لکه‌هایی که کیفیت زیستگاهی مناسبی دارند اما به‌صورت منفرد قرارگرفته‌اند، شناسایی می‌شود و هنگامی‌که یک لکه به‌صورت منفرد و تنها راه ارتباطی بین دو زیستگاه است، ایجاد لکه‌های زیستگاهی بیشتر در آن منطقه به سنجه P_{ij} لکه می‌افزاید و فشار را بین گره‌های بیشتری تقسیم می‌نماید. این مطالعه برای اولین بار از دو سنجه ارتباطات و کیفیت زیستگاه به‌طور هم‌زمان در اولویت‌بندی حفاظت استفاده کرده است. این روش و با در نظرگیری دو مقیاس مکانی و خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه به شناسایی لکه‌های دارای اهمیت در طرح‌های حفاظتی پرداخته و به‌عنوان روشی نوین می‌تواند برای دیگرگونه‌های سنجه و دارای اهمیت در منطقه‌های دیگر نیز مورداستفاده قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Landscape Connectivity
[2] Metapopulation
[3] Graph
[4] Node
[5] Edge
[6] Network based approach
[7] Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs
[8] Steppingstones
[9] Ovis orientalis × Ovis vignei
[10] Probability of Connectivity
[11] Fractions
[12] Betweenness Centrality
[13] Saturation Index
[14] Landscape Backbones
[15] Hotspot

منابع

Andersson, E. and Bodin, Ö., 2009. Practical tool for landscape planning? An empirical investigation of network based models of habitat fragmentation. Ecography. 32(1), 123-132.

Blazquez-Cabrera, S., Bodin, Ö. and Saura, S., 2014.

Indicators of the impacts of habitat loss on connectivity and related conservation priorities, do they change when habitat patches are defined at different scales? Ecological indicators. 45, 704-716.

Bodin, Ö. and Saura, S., 2010. Ranking individual habitat patches as connectivity providers, integrating network analysis and patch removal experiments. Ecological Modelling. 221(19), 2393-2405.

Clauzel, C., Foltête, J.-C., Girardet, X. and Vuidel, G., 2017. Graphab 2.0 user manual. Environmental Modelling & Software. 38, 316-327.

Di Febbraro, M., Sallustio, L., Vizzarri, M., De Rosa, D., De Lisio, L., Loy, A., Eichelberger, B.A. and Marchetti, M., 2018. Expert-based and correlative models to map habitat quality, which gives better support to conservation planning? Global Ecology and Conservation. 16, e00513.

DOE, 2004. Varjin Protected Area Comprehensive Management Plan. I. R. o. I. Department of Environment. 15. Tehran, Iran. (In Persian).

Eastman, J., 2015. "TerrSet: Geospatial Monitoring and Modeling Software." Clark Labs, Clark University, USA

Fletcher, R. and Fortin., M., 2018. Spatial Ecology and Conservation Modeling, Springer Nature Switzerland AG.

Foltête, J.C., Clauzel, C. and Vuidel, G., 2012. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. Environmental Modelling and Software. 38, 316-327.

García-Feced, C., Saura, S. and Elena-Rosselló, R., 2011. Improving landscape connectivity in forest districts, A two-stage process for prioritizing agricultural patches for reforestation. Forest Ecology and Management. 261(1), 154-161.

Keitt, T.H., Urban, D.L. and Milne, B.T., 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. Conservation Ecology. DOI:10.5751/ES-00015-010104.

Keya, Z.Y., Faryadi, S., Yavari, A., Kamali, Y. and Shabani, A.A., 2016. Habitat suitability and connectivity of Alborz wild sheep in the east of Tehran, Iran. Open Journal of Ecology. 6(06), 325.

Kheirkhah Ghehi, N., Malekmohammadi B. and Jafari, H., 2020. Integrating habitat risk assessment and connectivity analysis in ranking habitat patches for conservation in protected areas. Journal for Nature Conservation. 56, e125867.

Liu, S., Yin, Y., Li, J., Cheng, F., Dong, S. and Zhang, Y., 2018. Using cross-scale landscape connectivity indices to identify key habitat resource patches for Asian elephants in Xishuangbanna, China. Landscape and Urban Planning. 171, 80-87.

Mahfouzi, M. and Goshtasb, H., 2015. Designing Wild Sheep Migration Corridors in Varjin Protected Area. Environmental Science. Environmental Science Research Institute. 13(2), 121-128

Nagy-Reis, M.B., M.A., Lewis, W., Jensen, F. and Boycem M.S., 2019. Conservation Reserve Program is a key element for managing white-tailed deer populations at multiple spatial scales. Journal of Environmental Management. 248, 109299.

Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., Börger, L., Bennett, D.J., Choimes, A. and Collen, B., 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. Nature. 520(7545), 45.

Pascual-Hortal, L. and Saura, S., 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices, towards the

priorization of habitat patches and corridors for conservation. Landscape Ecology. 21(7), 959-967.

Pascual-Hortal, L. and Saura, S., 2008. Integrating landscape connectivity in broad-scale forest planning through a new graph-based habitat availability methodology, application to capercaillie (Tetrao urogallus) in Catalonia (NE Spain). European Journal of Forest Research. 127(1), 23-31.

Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D. and Johnson, K.A., 2011. The impact of land-use changes on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners, a case study in the state of Minnesota. Environmental and Resource Economics. 48(2), 219-242.

Rubio, L., Bodin, Ö., Brotons, L. and Saura, S., 2015. Connectivity conservation priorities for individual patches evaluated in the present landscape, how durable and effective are they in the long term? Ecography. 38(8), 782-791.

Saura, S. and 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. Landscape and Urban Planning. 83(2-3), 91-103.

Saura, S. and Rubio, L., 2010. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. Ecography. 33(3), 523-537.

Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S. and Olwero, N., 2016. InVEST User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, USA.

Sun, X., Jiang, Z., Liu, F. and Zhang, D., 2019. Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake basin, eastern China, from 1980 to 2015. Ecological Indicators. 102, 716-723.

Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, K. and Merriam, G., 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos. 68(3), 571-573

Terrado, M., Sabater, S., Chaplin-Kramer, B., Mandle, L., Ziv, G.and Acuña, V., 2016. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. Science of the Total Environment. 540, 63-70.

Theobald, D.M., Crooks, K.R. and Norman, J.B., 2011. Assessing effects of land use on landscape connectivity, loss and fragmentation of western US forests. Ecological Applications. 21(7), 2445-2458.

Urban, D. and Keitt, T., 2001. Landscape connectivity, a graph-theoretic perspective. Ecology. 82(5), 1205-1218.

Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A. and Schick, R.S., 2009. Graph models of habitat mosaics. Ecology Letters. 12(3), 260-273.

Wettstein, W. and Schmid, B., 1999. Conservation of arthropod diversity in montane wetlands, effect of altitude, habitat quality and habitat fragmentation on butterflies and grasshoppers. Journal of Applied Ecology. 36(3), 363-373.

Zulka, K.P., Abensperg-Traun, M., Milasowszky, M., Bieringer, N., Gereben-Krenn, G., Holzinger, B.W., Hölzler, G., Rabitsch, W., Reischütz, A. and Querner, P., 2014. Species richness in dry grassland patches of eastern Austria, A multi-taxon study on the role of local, landscape and habitat quality variables. Agriculture, Ecosystems and Environment. 182, 25-36.

Environmental Sciences Vol.19 / No.3 / Autumn 2021

23-40

Assessment of landscape connectivity indices and habitat quality to identify essential habitat patches for *Ovis orientalis* × *Ovis vignei* (a case study: Varjin Protected Area, Tehran)

Nasim Kheirkhah Ghehi, Bahram Malekmohammadi * and Hamidreza Jafari

School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2020.04.05 Accepted: 2020.08.03

Kheirkhah Ghehi, N., Malekmohammadi, B. and Jafari, H.R., 2021. Assessment of landscape connectivity indices and habitat quality to identify essential habitat patches for *Ovis orientalis* × *Ovis vignei* (a case study: Varjin Protected Area, Tehran). Environmental Sciences. 19(3): 23-40.

Introduction: Landscape connectivity plays an essential role in the conservation of protected areas. The Alborz wild sheep (*Ovis orientalis* × *Ovis vignei)* is the dominant species in Varjin Protected Area. The population of the species has been decreased during the last 20 years due to habitat loss and fragmentation. So far, many studies have been done on the environmental impact assessment of urban area developments on the protected area, but there is still a lack of habitat connectivity and quality analysis in the area. Based on the spatial location of Varjin Protected Area, connectivity analysis can help conservation planners to identify key patches and corridors that more than others, contribute to upholding species dispersal. The aim of this research is to prioritize habitat patches for conservation by analyzing the connectivity of the habitat patches and considering habitat quality as the second important factor in species distribution. Applying this method could lead to better conservation prioritization between habitat patches.

Material and methods: Landsat 7 and 8 satellite images have been used as inputs for the Habitat Quality model and Connectivity analysis. The connectivity metric was analyzed by calculating the probability of connectivity (dPC) and betweenness centrality (dBC) at different spatial scales of landscape and patch. All the analyses have been done in Graphab open-source software using graph theory and applying network analysis containing nodes and edges. The threshold was pre-defined for the species, and all the calculations were based on Euclidian distance. This research used the InVEST Habitat Quality model to analyze the spatial status of habitat quality. Finally, spatial analysis was performed by ArcGIS 10.4 and the maps were classified based on natural breaks.

* Corresponding Author: *Email Address*. Malekb@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.31778

Results and discussion: Results demonstrated that the value of dPC was between 0 to 0.796, and the value of dBC varied from 0 to 7.58E+11. Different importance values have been obtained for all 23 patches. This suggested that patches 1 and 4 showed the highest dBC and dPC metric values. The values of InVEST habitat quality decreased in the south and northeast of the area, respectively, due to proximity to urban areas and other threats. Patches with good performance in improving connectivity and higher habitat quality values were identified. By overlaying the output values of the maps, prioritized patches were recognized and suggested to be placed under protection.

Conclusion: Patches with a high level of connectivity and habitat quality were located in the east and southeast of the region. This research has taken a novel step toward conservation by using connectivity analysis and habitat quality as an ecosystem service in protected areas. Landscape and patch scales as two spatial indices can be used in other regions and for other essential species. As the Varjin Protected Area is located between two important ecological areas, Lar National Park and the Central Alborz Protected Area, the priority of patches would be changed by a great extent when taking those areas under consideration.

Keywords: Habitat connectivity, *Ovis orientalis, Ovis vignei*, Landscape, Habitat quality, Varjin Protected Area.