IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲/ صفحات ۱۱ تا ۲۳

ارزیابی کیفیت زیستگاه با استفاده از مدل InVEST و ارزشگذاری آن به روش جبران خسارت در استان کرمان

ملیحه عرفانی[۱*]، فاطمه جهانی‌شکیب[۲] و طاهره اردکانی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹)

چکیده

فعالیت‌های توسعه‌ای روزافزون منجر به کاهش کیفیت زیستگاه و از بین رفتن تنوع زیستی شده است. بهره‌گیری از ظرفیت‌های صنعتی، معدنی و توسعه زیرساخت‌ها از مهم‌ترین عوامل فروافت کیفیت زیستگاه در استان کرمان هستند. در مطالعه حاضر کیفیت و تخریب زیستگاه‌های استان کرمان با استفاده از روش ارزشگذاری یکپارچه خدمات اکوسیستم و همکنشی میان خدمات (InVEST) مدل‌سازی شد. نقشه کیفیت زیستگاه به روش هزینه جبران خسارت زوج‌سمان ارزشگذاری شد و از میانگین ارزش‌های کیفیت زیستگاه، به‌عنوان متغیر مستقل در تحلیل رگرسیونی برای پیش‌بینی ارزش اقتصادی زیستگاه استفاده شد. نتایج، بیشترین تخریب زیستگاه‌ها را در شمال‌غرب استان نشان داد، جایی‌که بیشترین تمرکز عوامل تهدید وجود دارد. در قسمت‌های شمال‌شرق استان کمترین تخریب رخ داده است، البته این مناطق عمدتاً از ارزش زیستگاهی کمتری برخوردارند. به‌عبارتی با کیفیت‌ترین و با ارزش‌ترین مناطق که ۴۲/۸ درصد استان را شامل می‌شوند، دارای بیشترین سطح تخریب زیستگاه هستند. این زیستگاه‌ها عمدتاً دارای پوشش اراضی جنگل و مرتع متراکم است. نتایج ارزشگذاری نشان داد که ارزش کل کیفیت زیستگاه برای زوج‌سمان بالغ بر ۲۴۳۷ میلیارد تومان است. نقشه ارزشگذاری زیستگاه به‌دست‌آمده را می توان به‌عنوان یکی از معیارهای تصمیم‌گیری در مدیریت محیط‌زیست نظیر جانمایی پروژه‌های توسعه‌ای، تعیین خسارات و بروزرسانی مرز مناطق حفاظت‌شده مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: رویکرد اکوسیستمی، مدل کیفیت زیستگاه، اثرات بوم‌شناختی، ارزشگذاری یکپارچه خدمات اکوسیستم و همکنشی میان خدمات

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maliheerfani@uoz.ac.ir

مقدمه

فرآیند تعیین ارزش واقعی کالاها، خدمات اکوسیستم و استفاده از آنها در تصمیمات مدیریتی مربوط به کاربری اراضی، به بهبود رفاه انسان کمک می‌کند (۲). لذا حفظ موثر خدمات اکوسیستم به‌منظور حفظ رفاه انسان‌ها یک نیاز جهانی است که مستلزم درک درستی از خدمات اکوسیستم‌ها و مکانی که مردم از این خدمات بهره‌مند می‌شوند، می باشد (۱۹). تاکنون دسته‌بندی‌های مختلفی برای خدمات اکوسیستم تدوین شده است، که یکی از این سیستم‌های طبقه‌بندی TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) است. در این سیستم خدمات اکوسیستم به چهار گروه اصلی شامل خدمات تأمین کننده، خدمات تنظیمی، خدمات زیستگاه و خدمات فرهنگی و رفاهی تفکیک شده است (۲۴). طبق این طبقه‌بندی، معیار خدمات زیستگاهی به دو زیر معیار حفظ چرخه زندگی و حفظ تنوع ژنتیکی تقسیم می‌شود. حفظ چرخه زندگی، آن دسته از ویژگی‌های محیط‌زیست فیزیکی است که چرخه زندگی گونه‌ها را حمایت می‌کند. حفظ تنوع ژنتیکی در قالب شناسایی نقاط داغ تنوع‌زیستی، زیستگاه گونه‌ها و مناطق تحت‌حفاظت در مدیریت و برنامه‌ریزی حفاظتی مورد توجه است (۱).

تا کنون در ایران همانند سایر کشورهای جهان، مطالعاتی درخصوص مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه با روش‌های مختلف بیشینه بی‌نظمی (Maximum Entropy Method) (۹)، آشیان اکولوژیک (Ecological Niche Modeling, ENM) (۵)، مدل رگرسیون (Regression Model) (۶) و مدل ارزشگذاری یکپارچه خدمات اکوسیستم و همکنشی میان خدمات (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs, InVEST) (۷، ۱۲، ۲۰ و ۲۱) انجام شده است. برخی از این روش‌ها متمرکز بر گونه‌ها هستند و برخی مانند مدل InVEST مبتنی بر زیستگاه است. مدل InVEST با هدف بررسی خدمات زیستگاهی، به مدل‌سازی کیفیت زیستگاه می‌پردازد (۲۳). در این حالت فرض بر این است که نواحی با کیفیت زیستگاهی بالاتر، از سطوح مختلف تنوع‌زیستی بهتر حمایت خواهد کرد (۲۳). در این مدل، زیستگاه عبارت است از منابع و شرایط موجود در یک ناحیه که استقرار یک موجود زنده (شامل بقاء و تولید مثل) را فراهم می‌کند (۷). از مطالعات انجام‌شده مبتنی بر زیستگاه در جهان با کمک مدل InVEST می‌توان به مطالعه ریمال و همکاران (۲۲) در نپال، ما و همکاران (۱۷) و وو و همکاران (۲۶) در مناطقی از چین، ین و همکاران (۲۷) و لی و همکاران (۱۶) در یک منطقه شهری اشاره کرد. این مطالعات با هدف بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت زیستگاه، اولویت‌بندی حفاظت و یا بررسی کارایی مدل در نشان دادن تغییرات تنوع‌زیستی انجام شده‌اند.

با وجود اینکه ارزشگذاری خدمات یا به‌عبارتی استناد به مقادیر کمّی و ریالی ارزش هر منبع، ابزاری کارآمد برای توجیه اهداف توسعه پایدار و حفاظت محیط‌زیست است (۳)، اما تاکنون مطالعات اندکی در حوزه ارزشگذاری خدمت زیستگاهی به انجام رسیده است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه خلیلی (۱۱) اشاره کرد که برای برآورد توام ارزش حفاظتی و زیستگاهی حوزه آبخیز سروآباد از روش ارزشگذاری مشروط استفاده نموده است. در مطالعه دیگری توسط عبادی و همکاران (۴) ارزش از بین‌رفته اکوسیستم تالابی هورالعظیم در اثر جنگ مورد توجه قرار گرفت. آنها میزان خسارت وارد شده را با روش انتقال منافع برآورد کردند. ارزش تنوع‌زیستی توسط قزنر (۸) در پارک ملی Hohe Tauern در اتریش با استفاده از روش ارزشگذاری مشروط بررسی شده است. در سال ۲۰۰۸، بسته نرم‌افزاری در ایالت متحد آمریکا به‌منظور برآورد فواید زیستگاه‌های حیات‌وحش تهیه گردید که برمبنای انتقال منافع (Benefit transfer) بود. این بسته نرم‌افزاری مشروط بر وجود داده‌های باکیفیت و همچنین مشابهت ویژگی‌های محل مطالعه و سایت مرجع ، می‌تواند اعتبار برآوردهای حاصل از روش انتقال منافع را تضمین کند (۱۴). همچنین در سال ۲۰۰۸، با استفاده از روش هزینه‌های جایگزینی (Replacement costs) زیستگاه‌های قرقاول در مناطق آلپی قیمت‌گذاری شد (۱۰). در پژوهش لانوته (۱۵) دو مطالعه موردی برای نشان دادن

روش‌های ممکن برای کمّی‌سازی از نظر بیوفیزیکی و ارزش‌گذاری پولی خدمات زیستگاهی به‌صورت مکانی ارائه شده است. ارزیابی کیفیت زیستگاه حرا با مدل InVEST و ارزشگذاری اقتصادی آن از طریق روش تمایل به پرداخت در اندونزی نشان داد که زیستگاه‌های با کیفیت این جنگل‌ها، ارزش اقتصادی بالایی نیز دارند (۱۸). کیم و ریا (۱۳) در یکی از جزایر مقصد گردشگری در کره جنوبی که به‌طور دائم تحت-توسعه قرار دارد، به مطالعه ارزش اقتصادی و مزایای تغییرات کیفیت زیستگاه توسط مدل کیفیت زیستگاه InVEST پرداختند. آنها از روش تمایل به پرداخت برای تغییرات ارزش اقتصادی کیفیت زیستگاه استفاده کردند.

به‌کارگیری مدل InVEST به‌عنوان مدلی اکوسیستم- پایه، جامع‌نگر بوده و قادر است همه جنبه‌های موثر بر کیفیت زیستگاه را بررسی کند (۲۳). با این‌وجود، ارزشگذاری اقتصادی نقشه کیفیت زیستگاه به‌دست آمده از طریق اجرای مدل InVEST، توسط تصمیم‌گیرندگان قابل درک‌تر است. چراکه ارزش‌های زیستگاهی با معیارهای پولی سنجیده می‌شوند که امکان مقایسه بین گزینه‌های مدیریت سرزمین را فراهم می‌آورد (۲۸). بنابراین آگاهی از ارزش پولی کیفیت زیستگاه بهتر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در اتخاذ تصمیمات منطقی‌تر و مستدل‌تر جهت جلوگیری از تخریب زیستگاه کمک نماید. بررسی منابع انجام‌شده در دو بخش مدل‌سازی کیفیت زیستگاه و ارزشگذاری آن نشان داد که ارزشگذاری مکانی نقشه کیفیت زیستگاه به‌دست آمده از مدل InVEST، به ویژه کیفیت زیستگاه زوج‌سمان، کمتر مورد توجه قرار است. تنوع اقلیمی و توپوگرافی در استان کرمان منجر به پیدایش زیستگاه‌های متنوع برای زوج‌سمان شده که با مداخلات انسانی، روز به روز بر مخاطرات و تهدیدهای آن افزوده می‌شود. فعالیت‌های صنعتی، معدنی و توسعه زیرساخت‌ها به تناسب افزایش جمعیت از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت زیستگاه در استان کرمان هستند. اما تا کنون خدمات کیفیت زیستگاه زوج‌سمان در استان کرمان مورد مطالعه قرار نگرفته است. پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی کیفیت زیستگاه زوج‌سمان و سپس ارزشگذاری اقتصادی آن با روش هزینه جبران خسارت در استان کرمان انجام شد. نتایج این پژوهش را می توان در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت محیط زیست به کار برد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

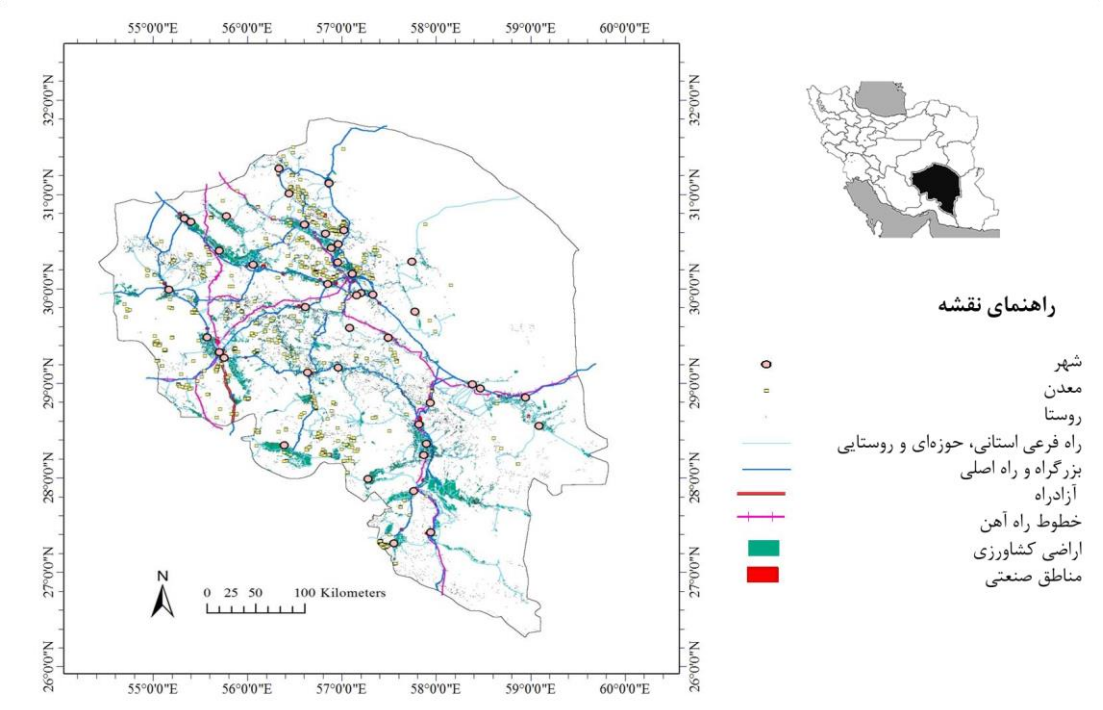
استان کرمان با وسعتی بالغ بر ۱۸۳ هزار کیلومتر مربع و جمعیتی حدود ۳ میلیون نفر در محدوده بین ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱).

این استان به لحاظ ویژگی‌های خاص جغرافیایی از قبیل تنوع توپوگرافی و اقلیمی، از تنوع‌زیستی غنی برخوردار است. بالغ بر ۳۳۴ گونه حیات‌وحش در این استان مشاهده شده است که در حدود ۲۴٪ از کل گونه‌های حیات‌وحش کشور را شامل می‌شود. همچنین ۷۰ گونه از حیات‌وحش استان تحت‌حمایت و در معرض خطر انقراض هستند. مناطق تحت‌مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست استان کرمان (۱۶ منطقه چهارگانه حفاظت‌شده، ۶ منطقه شکارممنوع و یک قرق اختصاصی) با مساحت نزدیک به ۲۸۱۴۲۲۹ هکتار، در حدود ۱۵/۳۵ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند (۲۵).

روش مطالعه

روش مدل‌سازی کیفیت زیستگاه زوج‌سمان

در این مطالعه به‌منظور بررسی کیفیت زیستگاه زوج‌سمان از مدل InVEST (۲۳) در نرم‌افزار TerrSet استفاده گردید. در این مدل اطلاعات مربوط به کاربری اراضی و منابع تهدید تنوع‌زیستی ادغام شده و نقشه تخریب و کیفیت زیستگاه به‌دست می‌آید. در این مطالعه، مهم‌ترین گونه‌های با ارزش حفاظتی استان شامل کل و بز، قوچ و میش، آهو و جبیر که از راسته زوج‌سمان هستند، مورد توجه قرار گرفت. به این ترتیب طیفی از کاربری‌های اراضی را می‌توان به‌عنوان زیستگاه این



شکل ۱. موقعیت استان کرمان و منابع تهدید زیستگاه

گونه‌ها با درجات مختلف مطلوبیت در نظر گرفت. به‌منظور نشان‌دادن حساسیت طبقات به عوامل تهدید، جدولی از انواع کاربری اراضی موجود در استان کرمان که می‌توان آنها را زیستگاه محسوب کرد تهیه گردید و حساسیت نسبی هر تیپ زیستگاه نسبت به هر تهدید مشخص شد. حساسیت تیپ زیستگاهی j نسبت به تهدید r را با S_{jr} نشان می‌دهند که در دامنه صفر تا یک قرار دارد ($S_{jr} \in [0,1]$).که با نزدیک‌شدن آن به عدد یک حساسیت بیشتر می‌شود و بالعکس اعداد نزدیک به صفر حساسیت کمی دارند (۲۳). مدل فرض می‌کند که حساسیت بیشتر یک تیپ زیستگاهی نسبت به یک تهدید، تخریب بیشتر آن تیپ زیستگاه را به دنبال خواهد داشت (۲۶). بنابراین، سطح تهدید کلی در پیکسل x با کاربری/ پوشش اراضی یا تیپ زیستگاهی j عبارت است از Dxj که با معادله ذیل محاسبه می‌شود (۲۳):

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^{R} \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{\omega_r}{\sum_{r=1}^{R} \omega_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \qquad (۱)$$

در این معادله Dxj تهدید کلی در پیکسل x با تیپ زیستگاهی j، R تعداد فاکتورهای تهدید، Yr مجموعه پیکسل‌ها در نقشه r، Wr وزن نسبی اهمیت هر تهدید نسبت به سایر تهدیدها است. ry اثر عامل تهدید r است که از پیکسل y منشا می‌گیرد که این اثر بر روی زیستگاه در پیکسل x را irxy نشان می‌دهد. همچنین Bx سطح دسترسی به پیکسل x بوده و Sjr دلالت بر حساسیت نسبی هر زیستگاه به تهدید مربوطه است.

در این معادله اگر Sjr =۰ باشد، Dxj تابعی از تهدید r نیست. میزان تخریب¬ پیکسل با استفاده از تابع نیم اشباع به کیفیت زیستگاه تبدیل می‌شود. هرچه میزان تخریب افزایش یابد، کیفیت زیستگاه کاهش می¬یابد. کیفیت زیستگاه در پیکسل x که در کاربری/ پوشش اراضی j قرار دارد با Qxj نشان داده می‌شود (۲۳):

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{x^j}^z}{D_{xj}^z + k^z} \right) \right) \qquad (۲)$$

در این معادله Qxj کیفیت زیستگاه پیکسل x در پوشش اراضی j، Hj مطلوبیت زیستگاه در پوشش اراضی j، $D_{x^j}^z$ سطح تهدید

زیستگاه برای پیکسل x در پوشش اراضی j، K ثابت نیم اشباع و z عدد ثابت ۲/۵ است.

اگر Hj=0 باشد، Qxj برابر با صفر خواهد بود. Qxj با Hj افزایش می‌یابد و با Dxj کاهش می‌یابد. Qxj هرگز بزرگتر از یک نمی‌شود.

لایه‌های پایه موردنیاز مدل از سازمان حفاظت محیط‌زیست در سال ۱۳۹۹ تهیه شدند که شامل لایه‌های کاربری اراضی و منابع تهدید (مناطق صنعتی، معادن، مناطق مسکونی، جاده‌ها و اراضی کشاورزی) است. همه این لایه‌ها به فرمت رستری و با اندازه پیکسل ۳۰ در ۳۰ متر تبدیل شدند. جدولی از تهدیدهای انسانی موجود در منطقه تهیه شد که شامل اهمیت نسبی یا وزن هر تهدید با دامنه وزنی از صفر تا یک است. فاصله اثر هر تهدید نیز در جدول وارد شد که عبارت است از حداکثر فاصله‌ای که هر تهدید، کیفیت زیستگاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این فاصله به‌صورت بافر در اطراف هر منبع تهدید در نظر گرفته شد که باتوجه به شعاع تاثیر بین ۱ تا ۱۰ کیلومتری بود. اثر یک عامل تهدید بر پیکسل x یک زیستگاه با معادله (۳) نشان داده می‌شود:

$$i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{r\,max}} \right) \qquad (۳)$$

در این معادله irxy اثر تهدید r (ry)، بر زیستگاهی در پیکسل x، dxy فاصله خطی بین پیکسل x و y و dr max حداکثر فاصله اثرگذاری تهدید r است.

لایه مناطق حفاظت‌شده استان نیز جهت نشان‌دادن میزان دسترسی در قالب لایه وکتوری وارد مدل شد. ثابت k، در مدل InVEST ثابت نیم اشباع است و توسط کاربر تعیین می‌شود. با اجرای مدل، میزان تخریب در هر پیکسل تعیین و نصف بیشترین میزان تخریب، ثابت k را مشخص می‌کند که در این پژوهش با اجرای مدل ثابت ۰/۱ در نظر گرفته شد (۲۳). این عدد میزان گسترش یافتن یا متمرکز بودن امتیازات کیفیت زیستگاهی را تعیین می‌کند و به‌صورت پیش‌فرض در عدد ۰/۵ تنظیم شده است (۲۳). خروجی‌های حاصل از اجرای مدل، نقشه کیفیت و تخریب زیستگاه است. جهت به‌دست آوردن مقادیر فاصله اثرگذاری هر یک از منابع تهدید، وزن منابع تهدید، میزان حساسیت هر تیپ کاربری اراضی به منابع تهدید و مطلوبیت زیستگاه هر تیپ کاربری اراضی از نظر کارشناسی خبرگان با رویکردی عینی استفاده شد. بدین منظور از ده متخصص با پیشینه مختلف مطالعات درخصوص بوم‌شناسی تجربی، مدل‌سازی بوم‌شناختی و ارزیابی اثرات بوم‌شناختی (۲۱) نظرسنجی شد.

روش ارزش‌گذاری کیفیت زیستگاه

به‌منظور ارزشگذاری اقتصادی خدمت زیستگاه از روش هزینه جبران خسارت استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این روش شامل آمار حیات‌وحش (زوج‌سمان)، مقدار جریمه شکار غیرمجاز حیات‌وحش و لایه کیفیت زیستگاه بود. داده‌های سرشماری گونه‌های زوج‌سمان (کل و بز، قوچ و میش، آهو و جبیر) در محدوده‌های مناطق تحت‌حفاظت سازمان محیط‌زیست در بازه زمانی آبان تا بهمن سال ۱۴۰۰ از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کرمان تهیه شد. آمار سرشماری زوج‌سمان در چهار منطقه حفاظتی شامل منطقه شکار ممنوع شهربابک، منطقه حفاظت‌شده جوپار، منطقه حفاظت‌شده سنگ مس و منطقه شکارممنوع نودرهنگ که دارای پوشش آماربرداری ۱۰۰ درصد بودند مورد توجه قرار گرفت. پراکنش و فاصله زیاد این مناطق احتمال شمارش مجدد زوج‌سمان را در مناطق مجاور به حداقل می‌رساند. مبلغ جریمه شکار غیرمجاز برای هر یک از گونه‌های مذکور طبق جریمه‌های مصوب شورایعالی محیط‌زیست، ۲۵ میلیون تومان در سال ۱۴۰۰ بود. میانگین ارزش‌های کیفیت زیستگاه برای هر یک از مناطق تحت‌حفاظت از لایه کیفیت زیستگاه به‌دست آمده با مدل InVEST استخراج شد. در ادامه میانگین ارزش‌های کیفیت زیستگاه به‌عنوان متغیر مستقل جهت پیش‌بینی ارزش حیات‌وحش (هزینه جبران ضرر و زیان وارده به کل زوج‌سمان آن منطقه) در تحلیل رگرسیون با کمک نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 20 وارد شد.

جدول ۱. منابع تهدید، فاصله اثر گذاری و وزن آنها

منابع تهدید	فاصله اثرگذاری (کیلومتر)	وزن	منابع تهدید	فاصله اثرگذاری (کیلومتر)	وزن
مناطق صنعتی	۸	۱	بزرگراه و راه اصلی	۳	۰/۶
معادن	۶	۱	راه فرعی استانی، حوزه‌ای و روستایی	۲	۰/۵
شهر	۱۰	۱	اراضی کشاورزی	۱	۰/۳
روستا	۵	۰/۵	خطوط راه آهن	۵	۰/۷
آزادراه	۶	۰/۸			

جدول ۲. میزان حساسیت هر تیپ کاربری اراضی به منابع تهدید و مطلوبیت زیستگاه

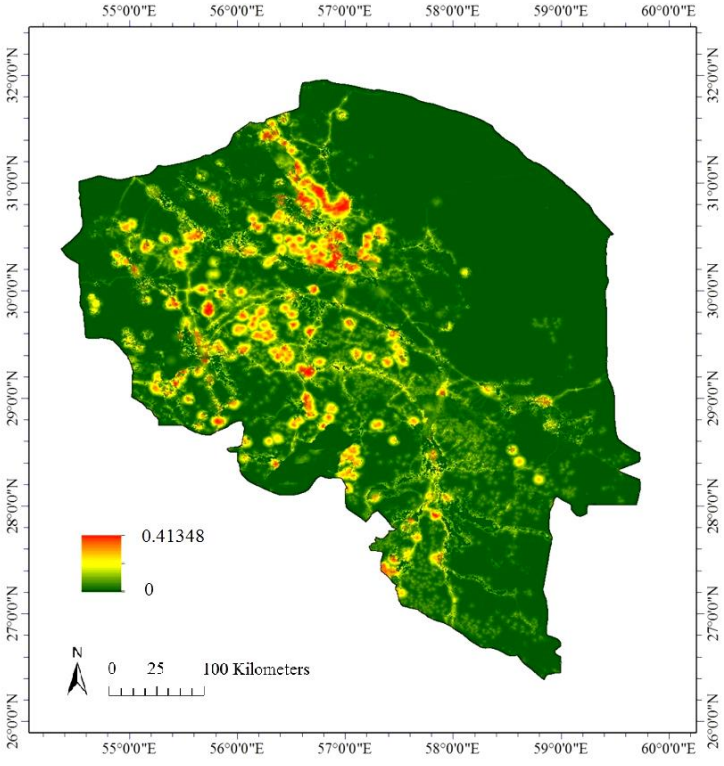
تیپ زیستگاه	منابع تهدید								مطلوبیت زیستگاه
	مناطق صنعتی	معادن	شهر	روستا	بزرگراه‌ها	جاده‌ها	اراضی کشاورزی	راه آهن	
دَق (پلایا)	۰/۲	۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۱	۰/۱
جنگل کم‌تراکم	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۰/۸	۰/۵	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۸
جنگل پرتراکم	۱	۱	۰/۸	۰/۸۵	۰/۷	۰/۵	۰/۸	۰/۷	۱
کشاورزی	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۳
شهر	۰/۸	۰/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۱
بایر	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰	۰	۰/۲
مرتع کم‌تراکم	۰/۷	۰/۸۵	۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۵
مرتع پرتراکم	۰/۸	۱	۰/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۶	۰/۹

برای برآورد درصد و مساحت مناطق با ارزش زیستگاهی زیاد و کم از روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی (Natural Breaks) براساس الگوریتم جنک (Jenks) استفاده شد (۲۶) در این روش آستانه‌های طبقه‌بندی (شکست‌های طبقات) به گونه‌ای تعیین می‌شوند که مقادیر مشابه در یک طبقه قرار گیرند و تفاوت بین طبقات به حداکثر برسد. در ادامه آماره‌های توصیفی هر یک از طبقات با ارزش زیستگاهی زیاد و کم نیز استخراج شد.

نتایج

عوامل تهدید انسانی موثر بر کیفیت زیستگاه زوج‌سمان در استان کرمان در نه گروه قرار گرفته‌اند (جدول ۱) که شکل ۱ توزیع فضایی این منابع را نشان می‌دهد. یکی از منابع تهدید زیستگاه‌های زوج‌سمان استان جاده‌ها است که در این مطالعه براساس حجم رفت‌وآمد و سرعت مبنا به سه طبقه تقسیم شدند: ۱) آزادراه، ۲) بزرگراه و راه اصلی و ۳) راه فرعی استانی، حوزه‌ای و روستایی. وزن و حداکثر فاصله اثرگذاری هر یک از تهدیدات بر کیفیت زیستگاه زوج‌سمان در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس بیشترین فاصله اثرگذاری را شهرها با ده و مناطق صنعتی با هشت کیلومتر دارند. کمترین فاصله اثرگذاری (یک کیلومتر) نیز متعلق به اراضی کشاورزی است. همچنین مناطق صنعتی، معادن و شهرها مهم‌ترین عوامل تهدید بوده و بنابراین دارای بیشترین وزن بودند. اراضی کشاورزی کمترین وزن را دارند و بنابراین نسبت به سایر عوامل تهدید کمتر موجب تخریب زیستگاه می‌شوند.

جدول ۲، حساسیت هر تیپ زیستگاهی را به منابع تهدید

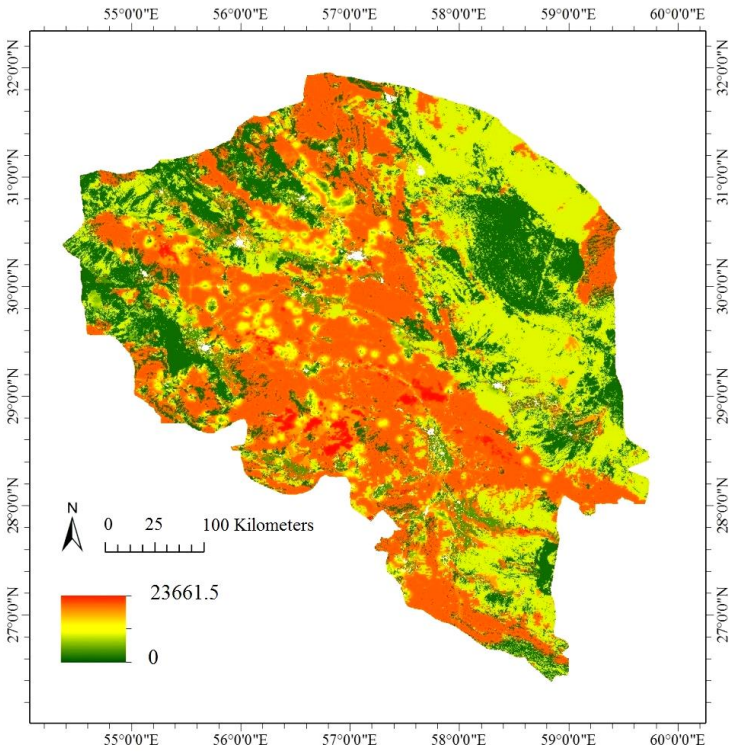


شکل ۲. سطح نسبی تخریب زیستگاه‌های زوج‌سمان در استان کرمان

موردنظر و مطلوبیت زیستگاه را نشان می‌دهد. ارزش بالاتر بیانگر حساسیت بیشتر هر تیپ زیستگاهی به منابع تهدید است. با توجه به جدول ۲ زیستگاه‌های مطلوب، بیشتر تحت اثرات منفی عوامل تهدید قرار دارند. همان‌طوری‌که جدول ۲ نشان می‌دهد حساسیت تمامی تیپ‌های زیستگاهی به مناطق صنعتی و معادن بیشتر از سایر عوامل تهدید است و پوشش‌های گیاهی طبیعی شامل مرتع و جنگل، بالاترین مطلوبیت زیستگاه را دارند.

میزان دسترسی به منبع تخریب‌کننده به‌صورت یک لایه پلی‌گونی از مناطق تحت‌حفاظت موجود در منطقه مورد مطالعه تهیه شد و برای استفاده در مدل InVEST به نرم‌افزار TerrSet وارد شد. فرض مدل بر این است که حمایت قانونی، سازمانی، اجتماعی و یا فیزیکی باعث می‌شود، مناطق تحت‌حفاظت کمتر تحت‌تأثیر منابع تهدید قرار گیرند. دامنه اثر عوامل تهدید بین صفر تا یک بوده که به‌ترتیب کمترین و بالاترین اثر منفی منابع تهدید را نشان می‌دهد (۲۳). بنابراین با توجه به نقش حمایتی مناطق تحت‌حفاظت در برابر منابع تهدید، ارزش‌های متفاوتی به آنها داده شد. به این ترتیب به پارک ملی و اثر طبیعی ملی با بیشترین حمایت قانونی به‌ترتیب اثر ۰/۰۱ و ۰/۱ اختصاص داده شد. این عدد برای منطقه حفاظت‌شده و پناهگاه حیات-وحش، ۰/۳ بوده و برای منطقه شکارممنوع و قرق اختصاصی به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۷ بود. به این ترتیب مناطق تحت‌حفاظت در مقابل اثر منفی منابع تهدید، ارزشی کمتر از یک دریافت کرده، درحالی‌که به سایر مناطق، ارزش یک به معنی دسترسی کامل تعلق گرفت.

براساس نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی خدمات زیستگاهی، نقشه‌های مربوط به سطح نسبی تخریب (شکل ۲) و کیفیت زیستگاه‌های زوج‌سمان استان کرمان که در ادامه ارزشگذاری شد، به‌دست آمد (شکل ۳). مطابق با راهنمای نقشه شکل‌های ۲ و ۳ مناطق با رنگ قرمز به‌ترتیب نمایانگر تخریب و کیفیت زیستگاه بالاتر هستند و رنگ‌های سبز ارزش‌های کمتر این دو نمایه را نشان می‌دهد. براساس شکل ۲ بیشترین تخریب در شمال‌غرب استان و کمترین تخریب در شمال‌شرق استان رخ



شکل۳. ارزشگذاری خدمت کیفیت زیستگاه زوج‌سمان در استان کرمان (تومان در پیکسل)

داده است. همچنین مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ نیز نشان می‌دهد که با کیفیت‌ترین مناطق زیستگاهی در معرض بیشترین سطح تخریب زیستگاه قرار دارند.

جهت ارزش‌گذاری لایه کیفیت زیستگاه به روش هزینه جبران خسارت زوج‌سمان، معادله رگرسیونی بین میانگین ارزش کیفیت زیستگاه و هزینه جبران خسارت زوج‌سمان در چهار منطقه حفاظت‌شده استان، به‌صورت ذیل به‌دست آمد:

$F_{1,\ 2} = 25.912,\ P = 0.036,\ R=0.964,\ R^2=0.928;$
$Y = -4253.271+27914.7704\ X \quad (4)$

که در آن Y همان هزینه مربوط به جبران خسارت (جریمه زوج‌سمان) و x ارزش کیفیت زیستگاهی هر پیکسل است. براساس معادله به‌دست آمده فوق در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 20 و اعمال آن بر روی لایه کیفیت زیستگاه با استفاده از تابع Image Calculator در نرم‌افزارTerrSet ، ارزش اقتصادی هر پیکسل به‌دست آمد (شکل ۳). جدول ۳ آماره‌های توصیفی تخریب، کیفیت و ارزش کیفیت زیستگاه را به تفکیک کاربری اراضی در سال پایه ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. مطابق با این جدول پایین‌ترین ارزش زیستگاهی را کاربری دَق (پلایا) دارد که به‌علت شرایط خاص ژئومورفولوژی خود فاقد هر گونه پوشش گیاهی و متعاقباً حیات جانوری است. همچنین بالاترین کیفیت، ارزش زیستگاه و میزان تخریب را جنگل و مرتع پرتراکم دارند و ارزش کل کیفیت زیستگاه‌های استان کرمان به روش به‌کار رفته در پژوهش حاضر بالغ بر ۲۴۳۷ میلیارد تومان در سال است (جدول ۳).

آستانه طبقه‌بندی مناطق با کیفیت زیستگاه زیاد و کم براساس روش شکست‌های طبیعی، ۱۲۹۹۰ تومان به دست آمد. جدول ۴ مساحت، درصد و آماره‌های طبقات کیفیت زیستگاه را نشان می‌دهد. بر این اساس ۴۲/۸ درصد از استان از ارزش زیستگاهی بالایی برخوردار است که بالغ بر ۱۷۴۲ میلیارد تومان ارزش دارد. همچنین هر پیکسل از طبقه کیفیت زیستگاهی زیاد، به‌طور متوسط ۲۰۰۷۳/۲۳ تومان ارزش دارد و ارزش مناطق با

جدول ۳. تخریب شوندگی، کیفیت و ارزش اقتصادی خدمت کیفیت زیستگاه زوج‌سمان به تفکیک طبقه کاربری اراضی

	تخریب زیستگاه		کیفیت زیستگاه		ارزشگذاری (تومان در سال ۱۴۰۰)		
کاربری اراضی	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	ارزش کل (تومان)
دق (پلایا)	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
جنگل کم‌تراکم	۰/۰۵۲	۰/۰۳۹	۰/۲۸۹	۰/۵۸۱	۲۰۵۵,۴۱	۱۷۰۸۵,۹۱	۷۳۴۴۹۱۲۹۴۶۶,۷۰
جنگل پرتراکم	۰/۰۴۴	۰/۰۳۶	۰/۲۳۳	۰/۷۶۷	۳۲۵۳,۵۷	۲۱۸۷۴,۹۸	۷۱۵۴۶۳۸۵۱۹۵,۱۰
کشاورزی	۰/۰۴۲۴	۰/۰۳۰۰	۰/۲۷۸	۰/۶۷۴	۸۷,۹۸	۴۱۰۱,۳۵	۲۳۳۳۴۰۱۰۳۲۰,۱۰
شهر	۰/۰۲۸	۰/۰۱۶۴	۰/۲۶۰	۰/۵۹۰	۳,۷۴	۰,۰۰	۸۶۸۴,۵۶
بایر	۰/۰۳۸	۰/۰۱۲۵	۰/۲۵۹	۰/۵۹۸	۲۴,۷۰	۱۳۲۵,۶۹	۶۱۷۸۶۳۰۱۰۸۰,۶۰
مرتع کم‌تراکم	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷۳	۰/۲۴۵	۰/۴۷۶	۵۴۸,۶۳	۹۵۸۳,۱۹	۵۵۸۶۲۶۱۴۱۳۶۱,۰۰
مرتع پرتراکم	۰/۰۲۴	۰/۰۱۲۰	۰/۲۵۱	۰/۵۲۸	۲۸۹۸,۲۲	۱۹۵۲۴,۴۵	۱۶۴۸۸۵۱۵۱۵۰۰۰,۰۰
کل منطقه							۲۴۳۷۶۳۸۵۱۹۴۱۹,۰۰

جدول ۴. مساحت، درصد و آماره‌های توصیفی طبقات کیفیت زیستگاه زوج‌سمان

طبقات کیفیت	آماره‌های توصیفی برای هر پیکسل ۳۰ در ۳۰ متر					مساحت	درصد از کل
زیستگاه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ارزش کل (تومان)	(هکتار)	استان
کم	۰	۱۲۹۹۰	۳۰۰۹/۹	۴۰۷۰/۲	۶۹۵۲۲۴۲۰۰۰۰۰	۱۰۴۷۳۱/۴	۵۷/۱۴
زیاد	۱۲۹۹۰	۲۳۶۶۱/۵	۲۰۰۷۳/۲۳	۱۷۱۲/۱۹	۱۷۴۲۵۳۲۰۰۰۰۰۰	۷۸۵۵۳/۶	۴۲/۸

کیفیت زیستگاه کم نیز بیش از ۶۹۵ میلیارد تومان است (جدول ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، عرضه خدمت زیستگاهی زوج‌سمان استان کرمان از نظر کیفیت زیستگاه‌های عرضه‌شده توسط اکوسیستم‌های مختلف و جنبه‌های مختلف تهدید بررسی شده است. از این‌رو جنبه‌های مختلف تهدید شامل شناسایی منبع تهدید، اثر هر تهدید، فاصله اثرگذار هر تهدید تا منابع زیستگاهی، حساسیت نسبی منابع زیستگاهی به هر تهدید و میزان دسترسی‌پذیری منابع مورد سنجش قرار گرفته است. درحالی‌که مطالعات گوناگونی مطلوبیت زیستگاه را برمبنای حضور و یا عدم‌حضور گونه خاصی مدل‌سازی نموده‌اند (۶ و ۸)، کیفیت زیستگاه در این تحقیق برمبنای اکوسیستم (بعد سوم تنوع‌زیستی) مدل‌سازی شد. لذا نتایج تحقیقات مذکور با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق ماهیتاً متفاوت است، اما مقایسه نسبی شرایط کلی زیستگاه‌ها، مشروط به اجرای آنها در گستره استان کرمان، سودمند خواهد بود.

از آنجا که حفظ بقای انسان مستلزم حفظ سرزمین و بهره‌برداری از کالاها و خدمات اکوسیستمی است، اما برآوردن نیازهای جمعیت روبه‌رشد، تغییرات کاربری اراضی و متعاقب آن تخریب زیستگاه را گریزناپذیر کرده است. به‌طوری‌که در استان کرمان مهم‌ترین عوامل تخریب زیستگاه زوج‌سمان به

ترتیب اهمیت، مناطق صنعتی، معادن، شهرها، انواع مختلف خطوط ارتباط زمینی، روستا و اراضی کشاورزی بودند. تاثیر منفی و جبران‌ناپذیر فعالیت‌های صنعتی استان کرمان که عمدتاً وابسته به معادن استان هستند و همین‌طور افزایش وسعت مناطق شهری از دلایل بالاتر بودن وزن این منابع تهدید است. اراضی کشاورزی که عمده آب مصرفی خود را از منابع آب‌های زیرزمینی تهیه می‌کنند، نیز با وجود اینکه خود منبع تهدید هستند، با مهیایی آب و غذا برای زوج‌سمان منطقه خصوصاً آهو و جبیر، وزن کمتری دریافت کردند. این نتایج توسط مطالعات دانشی و همکاران (۷)، نعمت الهی و همکاران (۲۱)، خیرخواه و همکاران (۱۲) و خلیلی (۱۱) تصدیق شده است. در مطالعات مذکور برای کاربری‌هایی که شدت وقوع دخالت‌های انسانی بیشتر داشته‌اند، کیفیت زیستگاه کمتری ذکر گردیده است. تمرکز بر روی کیفیت زیستگاه زوج‌سمان نیز وجه تمایز مطالعه حاضر با پژوهش دانشی و همکاران (۷)، خیرخواه و همکاران (۱۲) و خلیلی (۱۱) است، به نحوی که در مطالعات مذکور زیستگاه به صورت عام مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه نعمت الهی و همکاران (۲۰) و نعمت الهی و همکاران (۲۱) در اجرای مدل InVEST به ترتیب توجه به زیستگاه کل و بز و قوچ و میش معطوف بوده که با مطالعه حاضر از نظر تاکید بر گونه‌های حیات وحش کلیدی منطقه مورد مطالعه مشابه است.

استفاده از لایه مناطق تحت‌حفاظت جهت تعدیل اثر منفی منابع تهدید بر کیفیت زیستگاه در مدل InVEST منجر به تولید نتایج دقیق‌تر می‌شود (۱۶). اما این مساله در بسیاری از مطالعات مانند دهجی و همکاران (۶)، نعمت‌الهی و همکاران (۲۱) و وو و همکاران (۲۶) مورد غفلت قرار گرفته است. با وجود حمایت قانونی در مناطق تحت‌حفاظت، نمی‌توان این مناطق را در مقابل تهدیداتی نظیر آلودگی آب و یا هوا حفاظت کرد. از این‌رو در مطالعه حاضر، با توجه به جایگاه قانونی مناطق تحت‌حفاظت، با ضرایب مختلف، نرخ کاهش اثرات منفی منابع تهدید در نظر گرفته شد. توجه به نقش مناطق تحت‌حفاظت در کاهش اثر منفی منابع تهدید در مطالعه لی و همکاران (۱۶) نیز تاکید و در اجرای مدل InVEST به‌کار گرفته شده است.

بیشترین تخریب زیستگاه زوج‌سمان در شمال‌غرب استان جایی که بیشترین تمرکز عوامل تهدید وجود دارد، دیده می‌شود و قسمت‌های شمال‌شرق نقشه کمترین تخریب رخ داده است. البته قسمت‌های شمال‌شرقی استان عمدتاً از ارزش زیستگاهی کمتری برای زوج‌سمان نیز برخوردار هستند. پوشش اراضی غالب این مناطق، اراضی بایر، مرتع کم‌تراکم و دق (پلایا) است که به‌علت تمرکز پایین منابع تهدیدکننده کیفیت زیستگاه، از شدت تخریب کمتری برخوردارند. متاسفانه با کیفیت‌ترین و با ارزش‌ترین مناطق با پوشش اراضی مرتع و جنگل پرتراکم دارای بیشترین سطح تهدید و تخریب زیستگاه هستند. این یافته‌ها توسط مطالعات نعمت‌الهی و همکاران (۲۰ و ۲۱) و وو و همکاران (۲۶) تایید شده است. نعمت‌الهی و همکاران (۲۰ و ۲۱) نشان دادند که بخش‌هایی از استان چهارمحال بختیاری که مناسب‌ترین زیستگاه‌های کل و بز و قوچ و میش بودند، به شدت تحت تأثیر شبکه راه‌ها قرار دارند. وو و همکاران (۲۶) نیز نشان دادند که اکوسیستم‌های جنگلی دارای بالاترین ارزش کیفیت زیستگاهی در منطقه Guangdong در جنوب چین بوده که متاثر از گسترش مناطق مسکونی و تکه‌تکه شدن زمین‌های جنگلی قرار دارند. براساس نتایج به‌دست آمده بالاترین کیفیت و ارزش زیستگاه را جنگل و مرتع پرتراکم دارند. این دو نوع پوشش اراضی همچنین بالاترین میزان تخریب زیستگاه را نیز دارا می‌باشند. با توجه به اینکه مناطق با کیفیت زیستگاهی بالا از قابلیت بالا برای انواع توسعه نیز برخوردارند این نتایج قابل‌توجیه است. این نتایج توسط مطالعه لی و همکاران (۱۶) نیز تصدیق شده است. آنها در مطالعه خود نشان دادند که قابلیت بالای توسعه شهری منجر به افزایش سرعت شهری شدن مناطق و کاهش کیفیت زیستگاه پرندگان می‌شوند.

مقایسه درصد مساحت استان در هر یک از طبقات ارزش زیستگاهی با اعداد ارزش اقتصادی هر یک از این طبقات به خوبی نمایانگر این کارایی است. بر این اساس با ارزش‌ترین

زیستگاه‌های زوج‌سمان، ۴۲/۸ درصد از استان را با ارزشی بیش از ۱۷۴۲ میلیارد تومان را به خود اختصاص داده است. حال آنکه ارزش کل مناطق با کیفیت زیستگاهی کم که ۵۷/۱۴ درصد از استان را شامل می‌شود، در حدود ۶۹۵ میلیارد تومان به‌دست آمد. به عبارتی با وجود تفاوت کم در مساحت دو طبقه، ارزش‌های اقتصادی آنها بیشترین اختلاف ممکن را دارند. کارایی استفاده از روش شکست‌های طبیعی در طبقه‌بندی کیفیت زیستگاه توسط محققین دیگر نیز مانند وو و همکاران (۲۶) نیز مورد تایید قرار گرفته است. در این مطالعه طبقه‌بندی کیفیت زیستگاه با کمک روش شکست‌های طبیعی در سه طبقه کیفیت کم، متوسط و زیاد انجام شد. استفاده از ویژگی‌های ذاتی داده‌ها و تقسیم‌بندی آنها در گروه‌های همگن منجر به افزایش صحت طبقه‌بندی در روش شکست‌های طبیعی می‌شود (۲۶).

نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌تواند ابزاری برای مدیریت خردمندانه مناطق تحت‌مدیریت و بازنگری عالمانه مرزهای این مناطق در آینده باشد. لازم به‌ذکر است که روش به‌کار رفته در این پژوهش تنها بخشی از جنبه‌های ارزش کیفیت زیستگاه (ارزش زیستگاهی برای زوج‌سمان) را نشان می‌دهد و بنابراین ارزش‌های ارائه شده، حداقل ارزش کیفیت زیستگاه منطقه مورد مطالعه است، از این‌رو انجام مطالعات ارزشگذاری سایر جنبه‌های کیفیت زیستگاه از طریق روش‌هایی مانند هزینه فرصت از دست‌رفته (Opportunity cost) نیز در شناخت بیشتر ارزش این خدمت اکوسیستمی پیشنهاد می‌شود. بهره‌گیری از نتایج مطالعه حاضر به‌عنوان یکی از معیارهای مکان‌یابی پروژه‌های توسعه‌ای، تعیین خسارات، اصلاح مرز مناطق حفاظت‌شده و ترمیم اکوسیستم‌ها نیز برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌گردند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر، مستخرج از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۱۰/۱۳۱۶–۴۶ مورخ ۱۴۰۰/۰۳/۱۷ و با نظارت علمی و فنی دفتر اقتصاد و فناوری محیط‌زیست سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور بوده که بدین‌وسیله از کلیه دست‌اندرکاران سازمان حفاظت محیط‌زیست، اداره کل محیط‌زیست استان کرمان و دانشگاه زابل تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین بخشی از مقاله حاضر با حمایت مالی دانشگاه زابل و کد پژوهانه IR-UOZ-GR-4956 به انجام رسیده است.

منابع مورد استفاده

1. Asadolahi, Z., Z. Asadolahi and M. Keshtkar. 2019. Clarifying the Ecosystem Services Concept: A Solution to Avoid Double Counting in the Valuation of Ecosystem Services. *Environmental Researches* 9(18): 93-103. (In Persian).
2. Atkinson, G., I. J. Bateman and S. Mourato. 2014. Valuing Ecosystem Services and Biodiversity. pp. 101-134, In: D. Helm (ed.) and c. Hepburn (ed.), Nature in The Balance: The Economics of Biodiversity. Oxford University Press, Oxford.
3. Badam Firoz, J., and R. Mousa Zadeh. 2020. Providing a guide model for economic valuation and estimating the cost of damage to the ecological services of Iran's wetlands. *Environment and Interdisciplinary Development* 5(67): 73-94. (In Persian).
4. Ebadi Ghajari, S., N. Mobarghei and M. Keshtkar. 2021. Damage caused by the war on ecosystem services in Khuzestan province; HuralAzim wetland. *Natural Ecosystems of Iran* 12(2): 65-81. (In Persian).
5. Falahzadeh Bagheri, F., and A. Farashi. 2011. Wolf (*Canis Lupus*) habitat modeling in kola ghazi natural park by ecological niche factor analysis (ENFA). *Animal Sciences Journal* 92: 11-18. (In Farsi).
6. Daheji, F., M. Morovati and M. Zare. 2022. Identification of connections between habitat spots and modeling the habitat suitability of Persian leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in Yazd province. *Journal of Animal Research* 35(3): 217-232. (In Persian).
7. Daneshi, A., A. Najafinejad, M. Panahi and A. Zarandian. 2022. Projecting land use change effects on habitat quality of Narmab dam basin in Golestan province. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land* 1 (1): 120-131.

(In Farsi).
8. Getzner, M. 2000. Hypothetical and real economic commitments, and social status, in valuing a species protection programme. *Journal of Environmental planning and Management* 43(4): 541-559.
9. Ghorbani Ranjbari, N., H. Poorbagher, S. Eagderi, J. Feghhi and M. Mirzaei. 2022. Habitat suitability modelling of Nemipterus japonicus using MaxEnt in the Makran Sea. *Journal of Fisheries* 75(3): 419-434. (In Persian).
10. Grêt-Regamey, A., A. Walz and P. Bebi. 2008. Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions. *Mountain Research and Development* 28(2): 156-165.
11. Hanareh Khalili, J. 2015. Spatial valuation of Zagros forest ecosystem services and estimation of the future trend of value changes based on scenario planning, PhD Thesis, Faculty of Natural Resources, Tehran University. Tehran, Iran. (In Persian).
12. Kheirkhah Ghehi, N., B. Malek Mohammadi and H. Jafari. 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. (In Persian).
13. Kim, H. N., and H. Ryu. 2022. Estimating the economic value of change in ecosystem habitat quality in south Korea using an integrated environmental and economic analysis. *Land* 11(12): 2249.
14. Kroeger, T., Loomis, J., & Casey, F. (2008). Introduction to the Wildlife Habitat Benefits Estimation Toolkit. Available online at: https://www. researchgate. net/publication/254894247_Introduction_to_the_ Wildlife_Habitat_Benefits_Estimation _Toolkit. Accessed: 22March 2016.
15. La Notte, A. 2012. Mapping and valuing habitat services: two applications at local scale. International *Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 8(1-2): 80-92.
16. Li, D., W. Sun, F. Xia, Y. Yang and Y, Xie. 2021. Can habitat quality index measured using the InVEST model explain variations in bird diversity in an urban area?. *Sustainability* 13(10): 5747.
17. Ma, S., L. J. Wang, D. Zhu and J. Zhang. 2021. Spatiotemporal changes in ecosystem services in the conservation priorities of the southern hill and mountain belt, China. *Ecological Indicators* 122: 107225.
18. Marlianingrum, P. R., T. Kusumastanto, L. Adrianto and A. Fahrudin. 2021. Valuing habitat quality for managing mangrove ecosystem services in coastal Tangerang District, Indonesia. *Marine Policy* 133: 104747.
19. Mitchell, M. G. E., R. Schuster, A. L. Jacob, D. E. L. Hanna, C. O. Dallaire, C. Raudsepp-Hearne, E. M. Bennett, B. Lehner and K. M. A. Chan. 2021. Identifying key ecosystem service providing areas to inform national-scale conservation planning. *Environmental Research Letters* 16(1): 14038.
20. 20. Nematollahi, S., S. Fakheran, A. Jafari, T. Raeisi and S. Pourmanafi. 2020a. Landscape planning for conservation, based on the invest model of habitat quality and ecological impact assessment of road network in Chaharmahal & Bakhtiari Province. *Iranian Journal of Applied Ecology* 8 (4): 67-81. (In Farsi).
21. Nematollahi, S., S. Fakheran, F. Kienast and A. Jafari. 2020b. Application of InVEST habitat quality module in spatially vulnerability assessment of natural habitats (case study: Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment* 192: 1-17.
22. Rimal, B., R. Sharma, R. Kunwar, H. Keshtkar, N. E. Stork, S. Rijal, S. A. Rahman and H. Baral. 2019. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Koshi River Basin, Eastern Nepal. *Ecosystem Services* 38: 100963.
23. Sharp, E. R., R. Chaplin-Kramer, S. A. Wood and A. Guerry .2020. InVEST VERSION User's Guide. Available online at: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32693.78567. Accessed: March 2018.
24. TEEB. 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for National and International Policy Makers. Earthscan, London.
25. University Jihad of Kerman Province (UJKP). 2015. Collection of Studies of the Second Phase of the Land Use Planning of Kerman Province's Survey and Review of the First Phase. Fourth Season. Management and planning organization of Kerman province, Kerman, Iran. (In Persian).
26. Wu, L., C. Sun and F. Fan. 2021. Estimating the characteristic spatiotemporal variation in habitat quality using the invest model—A case study from Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay area. *Remote Sensing* 13(5): 1008.
27. Yin, L., W. Zheng, H. Shi and D. Ding. 2022. Ecosystem services assessment and sensitivity analysis based on ANN model and spatial data: A case study in Miaodao Archipelago. *Ecological Indicators* 135: 108511.
28. Zhang, R., P. Li, L. Xu and S. Zhong. 2023. Reconciling ecological footprint and ecosystem services in natural capital accounting: Applying a novel framework to the Silk Road Economic Belt in China. *Journal of Environmental Management* 330: 117115.

Habitat Quality Assessment Using InVEST Model and its Valuation Through Cost Compensation Method in Kerman Province

M. Erfani[1*], F. Jahanishakib[2] and T. Ardakani[3]

(Received: June 07-2023; Accepted: September 10-2023)

Abstract

Increasing development activities have led to a reduction in habitat quality and biodiversity loss. Utilization of industrial and mining capacities and the development of infrastructure are among the most important components of habitat quality decline in Kerman province. In this study, the quality and destruction of habitats in Kerman province were modeled using Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) model. The habitat quality map of the ungulates was valued using the cost compensation method, and the average habitat quality value was used as an independent variable in the regression analysis to predict the economic value of the habitat. The results showed the highest degradation of the habitats in the northwest of the province, where most of the threat factors are present. The northeastern parts of the province have experienced the least degradation. The highest-quality and most valuable areas, which cover 42.8% of the province, have the highest level of habitat degradation. These habitats are mainly cover by dense forests and rangelands. The total habitat value of Kerman was estimated at 2437 billion Tomans. The final habitat valuation map can be used as a decision-making criteria in environmental management for locating development projects, estimating damages, and updating the boundaries of protected areas.

Keywords: Ecosystem approach, Habitat quality model, Ecological impacts, Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)

1. Assist. Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Assist. Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Assist. Prof., Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: maliheerfani@uoz.ac.ir