University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem service capacity in the planning process Manasht and Ghalarang protected area

Fatemeh Mohammadyari✉

Corresponding Author, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mohammadyari.f@sku.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 02 November 2023

Received in revised form 24 November 2023

Accepted 27 November 2023

Published online 27 January 2024

Keywords:

Ecosystems Services mapping,

Land use,

Protected areas,

Service supply hotspots.

ABSTRACT

Assessment spatial distribution of the ecosystem services of nature reserves is necessary to the protection of ecological environment, promote conservation and development and land management. To that end, the present study aims to model the ecosystem services of carbon storage, habitat quality and nutrient export using the InVEST software and recreation software through the combination of several indicators in GIS software in the protected area of Maneshet and Qalarang. In addition, the service provisioning hotspots, was mapped for prioritize conservation measures, using Getis-ord Gi∗ statistics. in order to examine landscape pattern changes, landscape metrics were also used. The results Indicated that the suitability of carbon storage, habitat quality and recreation in the northern and eastern regions of the study area is more than the southern and western regions, while the nutrient exports is higher in the central regions than other regions. The highest carbon storage, habitat quality, and recreation were observed for the forest land. Likewise, it was the highest nutrient in agricultural land. Also, the results of the spatial distribution of all ecosystem services showed that hotspots are concentrated in areas with forest cover, which play the greatest role in supply ecosystem services. The results of this study, with information about the spatial distribution of services, provide the possibility of identifying the areas with the greatest benefits of ecosystem services, which can be useful in line with land use policies for sustainable development. Eventually, these results can provide some reference for Manasht and Ghalarang protected area and other nature areas to give consideration to both categories of environmental protection and development.

Cite this article: Mohammadyari, F. (2024). Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem service capacity in the planning process Manasht and Ghalarang protected area. *Journal of Natural Environment*, 76 (Special Issue), 307-318. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.367544.2617

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.367544.2617

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

مدل‌سازی توزیع فضایی ظرفیت خدمات اکوسیستمی چندگانه در فرآیند برنامه‌ریزی منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ

فاطمه محمدیاری✉

نویسنده مسئول، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mohammadyari.f@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

کلیدواژه‌ها:
کاربری اراضی، منطقهٔ حفاظت‌شده، نقاط داغ ارائه خدمات، نقشه‌برداری خدمات اکوسیستم.

چکیده

ارزیابی توزیع فضایی خدمات اکوسیستمی ذخایر طبیعی برای حفاظت از محیط‌زیست اکولوژیک، ترویج حفاظت و توسعه و مدیریت زمین ضروری است. در این راستا، مطالعهٔ حاضر با هدف مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و خروج مواد مغذی با استفاده از نرم‌افزار InVEST و خدمت تفرج از طریق ترکیب چند شاخص در نرم‌افزار GIS در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ انجام شده است. همچنین، نقاط داغ ارائهٔ خدمات، برای اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی، با استفاده از آمار Getis-ord Gi* نقشه‌برداری شد. به‌منظور بررسی تغییرات الگوی سیمای سرزمین، نیز از سنجده‌های سیمای سرزمین استفاده شد. نتایج نشان داد که تناسب ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و تفرج در مناطق شمالی و شرقی منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر از مناطق جنوبی و غربی است، در حالی که خروج نیتروژن در مناطق مرکزی بیشتر از سایر مناطق است. بیشترین ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و تفرج برای زمین جنگلی مشاهده شد. به‌همین ترتیب، بالاترین خروج مادهٔ مغذی در زمین‌های کشاورزی بود. همچنین نتایج توزیع فضایی کل خدمات اکوسیستمی نشان داد که تجمع نقاط داغ در مناطق با پوشش جنگلی است که بیشترین نقش را در عرضهٔ خدمات اکوسیستمی دارند. نتایج این مطالعه با اطلاعات در مورد توزیع فضایی خدمات، امکان شناسایی مناطق با بیشترین مزایای خدمات اکوسیستمی را فراهم می‌کند که می‌تواند در راستای سیاست‌های استفاده از زمین برای توسعهٔ پایدار مفید واقع شود. در نهایت، این نتایج می‌تواند مرجعی برای منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ و سایر مناطق طبیعی برای توجه به هر دو مقولهٔ حفاظت محیط‌زیست و توسعه باشد.

استناد: محمدیاری، فاطمه (۱۴۰۲). مدل‌سازی توزیع فضایی ظرفیت خدمات اکوسیستمی چندگانه در فرآیند برنامه‌ریزی منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (ویژه نامه)، ۳۱۸-۳۰۷.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.367544.2617

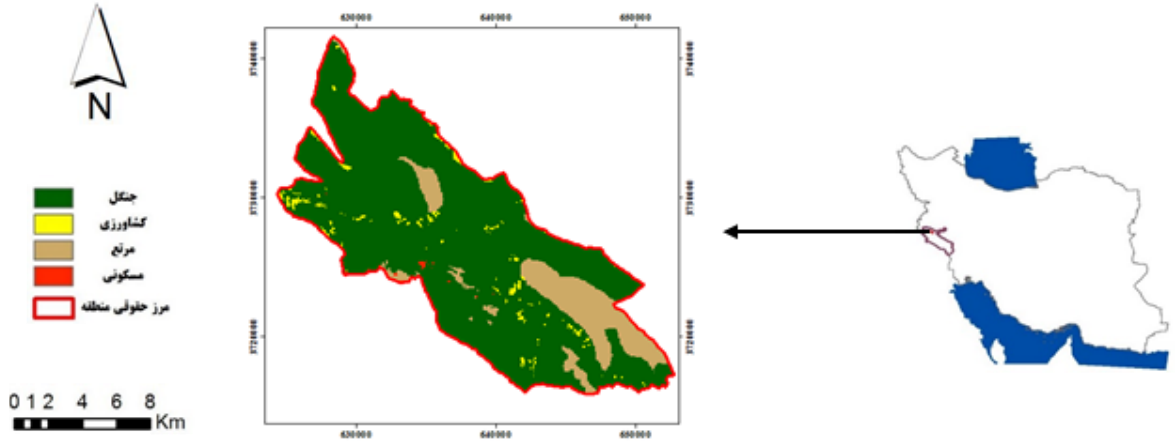
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

افزایش تهدیدهای جهانی مانند از دست دادن تنوع زیستی، تغییرات آب و هوایی، تخریب زمین و بیابان‌زایی، محیطزیست و رفاه جوامع انسانی را به‌خطر می‌اندازد (Díaz *et al*., 2019; Hu *et al*., 2021). در مقیاس جهانی، مؤثرترین روش برای حفظ تنوع زیستی، ارائهٔ کالاها و خدمات با ارزش محیطزیستی و حفظ سلامت اکوسیستم از طریق تعیین مناطقی با عنوان مناطق حفاظت‌شده است (Zhang *et al*., 2023). مناطق حفاظت‌شده، مناطقی هستند که در فضاهای جغرافیایی مشخصی تعریف شده‌اند و از طریق قانونی یا سایر ابزارهای مؤثر برای دستیابی به حفاظت طولانی مدت از محیطزیست طبیعی همراه با خدمات اکوسیستم مرتبط شناسایی و مدیریت می‌شوند (Zhao *et al*., 2023). این مناطق به‌عنوان یک استراتژی مهم در برابر افزایش نگرانی‌های جهانی در مورد تخریب محیطزیست در نظر گرفته می‌شوند که به حفاظت از تنوع زیستی و اکوسیستم‌های طبیعی و توسعهٔ اقتصادی سبز کمک می‌کنند (Zhang *et al*., 2020). اگرچه خدمات اکوسیستم محور استراتژی‌های مدرن حفاظتی است اما برنامه‌ریزی حفاظت بر گونه‌ها و مؤلفه‌های زیستگاه منابع طبیعی، بدون توجه به بسیاری از خدمات مهم اکوسیستمی ارائه‌شده توسط آن اکوسیستم طبیعی متمرکز شده است (Lin *et al*., 2017). خدمات اکوسیستم شامل خدمات تأمین، تنظیم، خدمات فرهنگی و حمایتی برای رفاه و سلامت انسان حیاتی است. با این حال، افزایش فشارهای انسانی عرضهٔ بسیاری از این خدمات را مختل می‌کند (Hatan *et al*., 2021). با پیشرفت علم و فناوری و توسعهٔ سریع اقتصادی–اجتماعی، منابع طبیعی دائماً توسط انسان‌ها تخریب می‌شوند. شدت و مقیاس دگرگونی طبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی روز به روز شدیدتر می‌شود که به‌طور جدی بر عملکردهای اکوسیستم تأثیر می‌گذارد و به‌نوبهٔ خود به رفاه انسان آسیب می‌رساند (Wang *et al*., 2022). با توجه به انبوه تقاضاهای انسانی، مناطق حفاظت‌شده برای تداوم گونه‌ها و اکوسیستم‌هایی که توسط تغییر کاربری اراضی و از دست دادن زیستگاه تهدید می‌شوند، حیاتی هستند (Graves *et al*., 2019). در این راستا، نقشه‌برداری از خدمات اکوسیستمی می‌تواند از سیاست‌های ایجاد پایداری و حفاظت حمایت کند و به حل تعارضات بین حفاظت از تنوع زیستی و تغییرات انسانی در کاربری اراضی کمک کند (Urbina-Cardona *et al*., 2023). مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور خدمات اکوسیستمی در مناطق حفاظت‌شده را مدل‌سازی کردند. نقشه‌برداری خدمات اکوسیستمی در منطقهٔ حفاظت‌شده سرولات و جواهردشت (Zarandian *et al*., 2017)، اثر تغییر کاربری اراضی بر ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در سرزمین جنگلی هیرکانی (Badamfirooz *et al*., 2021)، مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن در منطقهٔ حفاظت‌شده جهان‌نما (Fadaei *et al*., 2020,) و مدل‌سازی خدمت آبزی‌پروری در اکوسیستم تالاب قره‌قشلاق (Rezapour Andabili *et al*., 2022) از نمونه مطالعات داخلی هستند. همچنین از مطالعات خارجی می‌توان به مدیریت خدمات اکوسیستمی مناطق حفاظت‌شده انگلستان (Vallecilo *et al*., 2019)، ارزیابی و پیش‌بینی ترسیب کربن در منطقهٔ جنگلی ساریسکا (Babbar *et al*., 2021)، نقشه‌برداری از جریان خدمات اکوسیستم از سه منطقهٔ حفاظت‌شده در مناظر هیمالیا (Shakya *et al*., 2021)، ارزیابی ارزش خدمات اکوسیستم و تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری ذخایر طبیعی ملی چین (Zhang and Li, 2023) و تحلیل خدمات اکوسیستمی فرهنگی پارک‌های ملی ایالت متحده (Kong *et al*., 2023) اشاره کرد.

منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ به‌دلیل برخورداری از منابع آب غنی و داشتن شرایط خاص پستی و بلندی و دارا بودن بیشه‌زارها، صخره‌ها، تپه‌ماهورها، دشت‌ها و دره‌های عمیق، طیف متنوعی از زیستگاه‌ها و رویشگاه‌ها را فراهم کرده است. این منطقه خدمات اکوسیستمی متعددی مانند تولیدی (تولید چوب، تولید غذا، زنبورداری، گیاهان دارویی، تولید آب)، تنظیمی (کنترل سیل، ترسیب کربن)، فرهنگی (گردشگری، زیبایی‌شناختی، ارزش آموزشی و پژوهشی) و حمایتی (کیفیت زیستگاه، چرخهٔ مواد مغذی) را به جوامع محلی و مناطق مجاور ارائه می‌دهد. علی‌رغم ارزش این اکوسیستم طبیعی، جاده‌سازی، ساخت و ساز در داخل منطقه، وجود خطوط انتقال نیرو، تغییر کاربری اراضی، عدم تعادل بین دام و مرتع، نابودی پوشش گیاهی مرتعی و جنگلی، شکار غیرمجاز، بیماری لورانتوس و قطع درختان برای سوخت عشایر از جمله تهدیداتی هستند که عرضهٔ خدمات اکوسیستم در این منطقه را با مشکل مواجه کرده است. این منطقه از مشکلاتی مانند برنامه‌ریزی غیرمنطقی و مدیریت ناکافی رنج می‌برد که توانایی ارائهٔ خدمات اکوسیستمی متعدد را محدود می‌کند. بنابراین، نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم در این منطقه برای افزایش آگاهی عمومی از ارزش خدمات اکوسیستمی و طراحی سیاست استفاده از خدمات اکوسیستم در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منطقه به‌عنوان یک استراتژی یکپارچهٔ اکولوژیک و اقتصادی–اجتماعی ضروری است. همان‌طور که در مرور منابع



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ مطالعاتی

مشاهده می‌شود، بیشتر ارزیابی‌های خدمات اکوسیستمی در مناطق حفاظت شده بر یک خدمت اکوسیستمی متمرکز شده است. برای تلفیق مؤثر خدمات اکوسیستمی در برنامه‌های موجود کاربری اراضی و حفاظت، تطبیق فضایی بین نواحی عرضهٔ خدمات اکوسیستمی چندگانه باید مورد شناسایی قرار گیرد و با نگاه وسیع‌تری ارزیابی شود. چنین ارزیابی مستلزم ارائهٔ بهترین سطح داده‌ها در مورد توزیع کارکردها و عرضهٔ خدمات اکوسیستمی چندگانه است که در مطالعهٔ حاضر با تلفیق خدمات اکوسیستمی چندگانه و پهنه‌بندی آن‌ها به‌منظور نشان دادن مناطق با عرضهٔ بالای خدمات اکوسیستمی چندگانه مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، مطالعهٔ حاضر با هدف مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه، تفرج و چرخهٔ مواد مغذی با ترکیب مدل‌های InVEST و توابع مختلف نرم‌افزارهای GIS و IDRIST TerrSet انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مانشت و قلارنگ از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۷۵ به‌مدت ۱۳ سال به‌عنوان منطقهٔ شکار ممنوع تحت کنترل سازمان حفاظت محیط‌زیست بود و سپس به‌منظور احیاء حیات وحش و پوشش گیاهی طی مصوبهٔ شمارهٔ ۱۵۴ شورای عالی محیط‌زیست مورخ ۱۳۷۵/۱۱/۲۷ با وسعت ۲۹۱۴۶ هکتار به‌عنوان منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ ارتقاء یافت و در فهرست مناطق چهارگانه سازمان حفاظت از محیط‌زیست قرار گرفت. این منطقه بین طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقهٔ شمالی در گسترهٔ چین‌خوردگی زاگرس میانی و در بین حوزهٔ استحفاظی سه شهرستان ایلام، سیروان و ایوان قرار دارد. با توجه به نقشهٔ کاربری اراضی تهیه‌شده در این مطالعه، ۸۶ درصد از مساحت منطقه دارای پوشش جنگلی است. ۱۲ درصد از منطقه را اراضی مرتعی و ۲ درصد از منطقه را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهد. همچنین اراضی مسکونی با ۴۸/۹ هکتار کمتر از یک درصد پوشش منطقه را به‌خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱). روستاهای سراب ایوان، گلزار و کله‌جوب در غرب، سراب کارزان، چشمه پهن، قنات‌آباد، چشمه رشید، چشمه خزانه و جوب دراز میرزابیگی در شمال، روستای حسن گاوداری در شمال شرق و روستاهای حیدرآباد، زردآلوآباد، داروند و طولاب در شرق منطقه واقع شده‌اند. همچنین در داخل منطقهٔ حفاظت‌شده به‌خصوص در نواحی چپه سورگه، دوقوله و میان‌تنگ عشایر متحرک وجود دارند که هرساله به‌منظور چرای دام، به این مناطق کوچ ییلاق می‌کنند و به فعالیت‌های کشاورزی، باغداری، زنبورداری و دامداری می‌پردازند. شهر ایلام در جنوب و شهر چوار در جنوب غرب منطقه از جمله نقاط شهری هستند که در حاشیهٔ منطقه قرار دارند. شهر ایلام اثرات زیادی بر محدودهٔ حفاظت شده می‌گذارد. اهالی این شهر عموماً از دره ارغوان، تنگ دالاب، میان‌تنگ و ارتفاعات منطقه برای استفاده تفرجگاهی و کوهنوردی بهره‌برداری می‌کنند. در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ گونه‌هایی مانند لاله واژگون، آویشن، قدومه، پونه، درمنه، چمن گندمی و چاودار کوهی یافت می‌شود که از نظر زیبایی‌شناسی و همچنین خواص دارویی و صنعتی بسیار قابل توجه هستند. همچنین تپه چالاب ویلنگ، پناهگاه سنگ قوچعلی، مجموعه نانوایی قدیم ویلنگ، محوطهٔ جنگلبانی ویلنگ و قلعهٔ اسماعیل خان، آثار تاریخی–فرهنگی داخل منطقه هستند.

جدول ۱- معیارهای منظر مورد استفاده در این مطالعه و توصیف آن‌ها

معیارها	واحد	توصیف	منبع
PD	هکتار	مشخص‌کنندهٔ تراکم لکه‌ها در سیمای سرزمین	(Yang, 2021; Ahmadi Mirghaed and Souri, 2022)
LPI	درصد	درصد کل مساحت سیمای سرزمین در بزرگترین لکه	(Zarandian *et al*., 2017; Yang, 2021; Duan and Yu., 2022)
COHESION	بدون واحد	اتصال فیزیکی نوع لکه مربوطه را نشان می‌دهد	(Tavakoli and Mohammadyari, 2023)
MESH	هکتار	براساس توزیع تجمعی ناحیهٔ لکه است و هنگامی که سیمای سرزمین به چند تکه تقسیم می‌شود، به‌عنوان اندازهٔ تکه‌ها در نظر گرفته می‌شود	(Li *et al*., 2023; Baude and Meyer, 2023)

ارزیابی الگوی سیمای سرزمین: تجزیه و تحلیل تغییر الگوی سیمای سرزمین از اهمیت زیادی در بررسی فرآیندهای اکولوژیک منظر و تغییرات عملکرد اکولوژیک برخوردار است (Shuangao *et al*., 2021). سنجنده‌های سیمای سرزمین شاخص‌های کمی هستند که حاوی اطلاعات متمرکز الگوی منظر هستند و ساختار فضایی مناظر را از نظر ترکیب و پیکربندی بررسی می‌کنند (Yang, 2021). در این مطالعه، پس از تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی، برخی از مهمترین معیارهای سیمای سرزمین با استفاده از مرور منابع (Zarandian *et al*., 2017; Yang, 2021; Duan and Yu, 2022; Ahmadi Mirghaed and Souri, 2022 و نظرات متخصصان شامل تراکم لکه (PD)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، شاخص پیوستگی لکه (COHESION) و MESH مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). معیارها در سطح سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار Fragstats محاسبه شدند.

مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی منتخب

خدمات تنظیمی (ذخیره کربن): چهار منبع خاک، زیست‌تودهٔ سطحی، زیست‌تودهٔ زیرزمینی و مواد آلی مرده برای تخمین ذخیرهٔ کربن براساس مدل کربن InVEST استفاده شد. نحوهٔ محاسبهٔ مدل به‌صورت زیر است (Sharp *et al*., 2020; Gong *et al*., 2021; Ahmadi Mirghaed *et al*., 2022):

$$C_t = C_a + C_b + c_d + C_s \quad (۱)$$

که در آن؛ C_t: مقدار کربن (Mg) ذخیره شده در هر پیکسل، C_a: ذخیرهٔ کربن زمینی، C_b: زیست‌تودهٔ زیرزمینی، c_d: مواد آلی مرده و C_s: منبع خاک است. اطلاعات بیوفیزیکی مورد نیاز برای تخمین ذخیرهٔ کربن در منطقهٔ مورد مطالعه براساس مرور ادبیات (Ma *et al*., 2021) و بازدید میدانی به‌دست آمد.

خدمات فرهنگی (تفرج): با توجه به مرور منابع و در دسترس بودن اطلاعات، سه پارامتر پتانسیل تفرج، جذابیت لنداسکیپ و دسترسی برای کمی‌سازی خدمت تفرج انتخاب و با ترکیب دستورها و توابع مختلف در نرم‌افزارهای GIS و IDRIST TerrSet نقشه‌سازی شدند. بر این اساس با استفاده از شاخص هومروبی پارامتر پتانسیل تفرج با نسبت دادن به هر کلاس پوشش زمین برآورد شد. در این شاخص تأثیر انسان بر روی مناظر و پوشش گیاهی از ۱ (طبیعی) تا ۷ (انسان‌ساخت) بررسی می‌شود (Mohammadyari *et al*., 2023). پارامتر جذابیت لنداسکیپ با تلفیق شاخص‌های تنوع ارتفاع، تنوع شیب و تنوع پوشش گیاهی به دست آمد. همچنین فاصله از جاده‌ها و فاصله از مناطق مسکونی ورودی‌های پارامتر دسترسی بودند که با استفاده از آنالیز فاصله

اقلیدوسی محاسبه شدند (Chaharahy *et al*., 2022). وزن‌دهی پارامترها برای تهیه لایه تفرج با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد (Luo *et al*., 2023).

خدمات حمایتی (کیفیت زیستگاه و چرخهٔ مواد مغذی): کیفیت زیستگاه با استفاده از لایه‌های نقشهٔ پوشش زمین، عوامل تهدید، منابع تهدید، دسترسی به منابع تخریب‌شده، نوع زیستگاه و حساسیت زیستگاه به منابع تهدید در نرم‌افزار InVEST مدل‌سازی شد (Duan and Yu, 2022). در این مدل کیفیت زیستگاه بهتر باعث تنوع‌زیستی منطقه‌ای بالاتر و اکوسیستم پایدارتر می‌شود (Lei *et al*., 2022). این خدمت با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ به‌دست آمد (Tavakoli and Mohammadyari, 2023).

$$Q_{xj} = H_j\left(1 - \frac{D_{Xj}^{Z}}{D_{Xj}^{Z}+K^{2}}\right) \quad (۲)$$

که در آن؛ Q_{xj}: کیفیت زیستگاه در شبکهٔ x، H_j: مناسب بودن زیستگاه در پیکسل x ، D_{xj}: میزان تخریب زیستگاه در پیکسل x ، z: مقیاس ثابت و K: نیمه‌اشباع ثابت است.

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^{R}\sum_{y=1}^{Yx}\left(\frac{\omega x}{\sum_{r=1}^{R}\omega r}\right) r_y\, i_{rxy}\beta_x s_{jx} \quad (۳)$$

که در آن؛ D_{xj}: تهدید کل در پیکسل x، wr: وزن تهدید r، ry: سطح تهدید در پیکسل y، irxy: تأثیر تهدید r بر پوشش کاربری، bx: سطح دسترسی در پیکسل x و s_{jx}: حساسیت پوشش کاربری به تهدید r است.

نسبت دریافت مواد مغذی مدل InVEST NDR برای نقشه‌برداری از منبع و فرآیند انتقال مواد مغذی طراحی شده است. توزیع فضایی مواد مغذی را می‌توان برای ارزیابی خدمات نگهداری پوشش گیاهی طبیعی مورد استفاده قرار داد (Yang *et al*., 2019). در این مدل فرض بر این است که بارهای مغذی که در یک پیکسل باقی نمی‌مانند به‌عنوان بار اضافی به پیکسل بعدی منتقل می‌شوند. احتباس مواد مغذی با تجمیع مقدار بارهای مواد مغذی (نیتروژن یا فسفر) ورودی به یک پیکسل منهای آن‌هایی که به پیکسل بعدی منتقل می‌شوند، برآورد می‌شود (Lin *et al*., 2017). در پژوهش حاضر مقدار نیتروژن به‌عنوان نمایندهٔ مواد مغذی کمی‌سازی شد. مقدار صادرات مواد مغذی برای یک حوضه به‌صورت رابطهٔ ۴ محاسبه شد (Sharp *et al*., 2020).

$$X_{expi} = load_{sur,i}\times NDR_{sur,i} + load_{sub,i}\times NDR_{sub,i} \quad (۴)$$

که در آن؛ X_{expi}: مقدار مواد مغذی (نیتروژن یا فسفر) در پیکسل i، $load_{sur,i}$ و $load_{sub,i}$: مقدار بار مادهٔ مغذی جابجایی شده در هر پیکسل، به‌ترتیب توسط جریان‌های سطحی و زیرسطحی و $NDR_{sur,i}$ و $NDR_{sub,i}$: نسبت تحویل مواد مغذی در پیکسل i که به‌ترتیب توسط جریان‌های سطحی و زیرسطحی جابجا شده است.

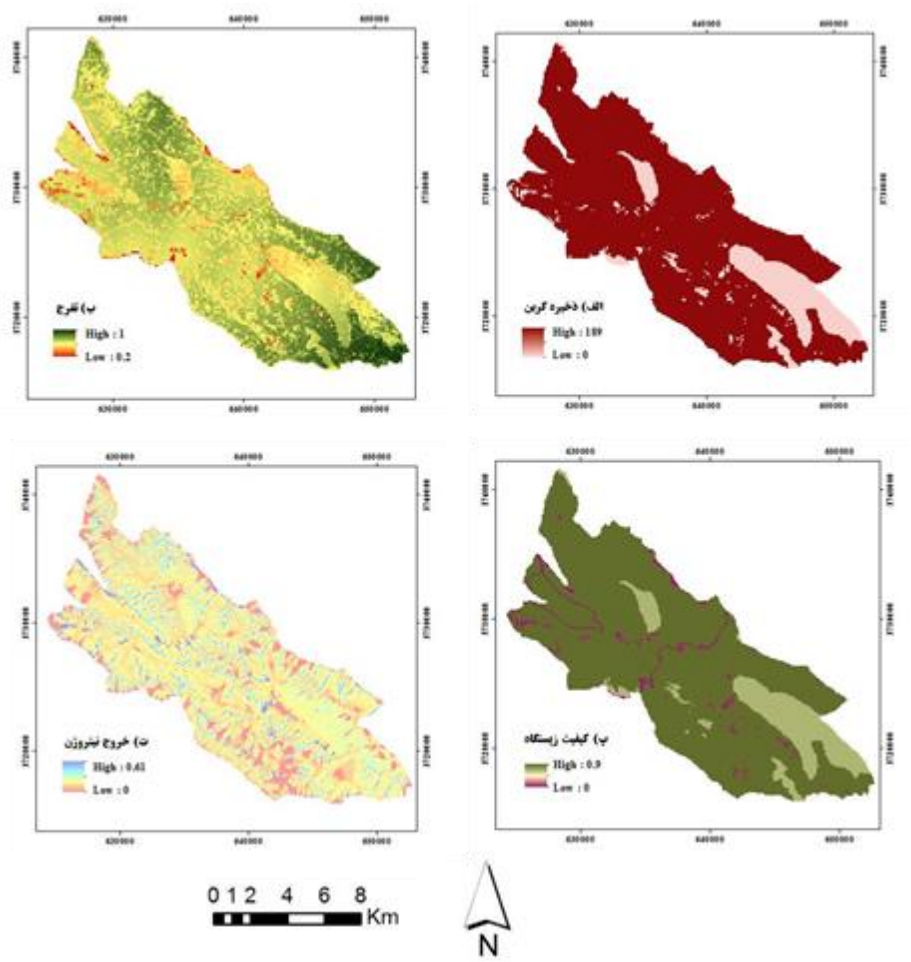
توزیع فضایی نقاط داغ (Hot spot) و سرد (Cold spot) کل خدمات اکوسیستم: توزیع فضایی نقاط مهم تدارک خدمات اکوسیستم در منطقه با ادغام خدمات اکوسیستمی منتخب (ذخیرهٔ کربن، تفرج، کیفیت زیستگاه و چرخهٔ مواد مغذی) با استفاده از آمار Getis-ord Gi* در نرم‌افزار GIS شناسایی شدند. این ابزار دقیقاً خوشه‌های فضایی مقادیر بالا (نقاط داغ) و مقادیر پایین (نقطهٔ سرد) را در شبکه اندازه‌گیری می‌کند و به اولویت اقدامات حفاظتی کمک می‌کند (Yohannes *et al*., 2021). توزیع فضایی نقاط داغ و سرد خدمات اکوسیستمی منتخب به‌ترتیب خوشه‌هایی از مقادیر بالا (بالاترین ظرفیت خدمات اکوسیستم) و مقادیر پایین (کمترین ظرفیت خدمات اکوسیستم) را نشان می‌دهد. مناطق با z-score بالا و *P*-value کوچک نقاط داغ و مناطق با z-score پایین و *P*-value کوچک نشان‌دهندهٔ نقاط سرد از نظر آماری هستند. نقاط داغ/نقاط سرد به‌عنوان دسته‌های مختلف تعریف می‌شوند تا شدت تغییرات مکانی کل خدمات اکوسیستمی را با استفاده از نرخ‌های مختلف منعکس کنند (Liang *et al*., 2021). آمار Getis-ord Gi* با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود (Mohammadyari *et al*., 2016).

$$(۵)\quad \mathbf{G_i^*} = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_{ij}x_j - \bar{X}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}}{S\sqrt{\frac{\left[n\sum_{j=1}^{n} w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\right)^2\right]}{n-1}}}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_j}{n} \quad (۶)$$

$$(۷)\quad S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n}} - (\bar{X})^2$$

که؛ G_i^*: خروجی آمار z-score؛ X_j: ارزش عارضه j؛ W_{ij}: وزن مکانی بین عارضه i و j و n تعداد کل عوارض است.



شکل ۲- نقشه‌های مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی منتخب

یافته‌های پژوهش

نتایج سنجنده‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد که مقادیر PD و LPI به‌ترتیب برابر با ۰/۴۴ هکتار و ۸۴/۷۱ درصد در سطح سیمای سرزمین منطقهٔ مورد مطالعه است. سنجنده PD تراکم کاربری اراضی را نشان می‌دهد و هر چه مقدار آن بالاتر باشد، تکه‌تکه شدن در سیمای سرزمین بیشتر است. از طرف دیگر، مقدار سنجنده LPI هر چقدر به ۱۰۰ نزدیک باشد حاکی از این است که در کل سیمای سرزمین فقط یک لکه وجود دارد. همچنین مقدار COHESION یا شاخص پیوستگی در منطقهٔ مورد مطالعه برابر با ۹۹/۵ است که اتصال و تجمع بالای لکه‌ها را نشان می‌دهد. در نهایت مقدار سنجنده MESH که نشان‌دهندهٔ توزیع تجمعی لکه در منطقه ۲۱۳۰۱ هکتار است. مقدار این سنجنده هر چه بیشتر باشند، تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین کمتر مورد انتظار است. نقشه‌های خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، تفرج، کیفیت زیستگاه و خروج مواد مغذی در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج، تناسب ذخیرهٔ کربن، تفرج و کیفیت زیستگاه در مناطق شمالی و شرقی منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر از مناطق جنوبی و غربی است، در حالی که خروج نیتروژن در مناطق مرکزی بیشتر از سایر مناطق است. ذخیرهٔ کربن و خروج نیتروژن به‌ترتیب ۵۰۱۰۵۳۹ مگاگرم در سال و ۸۳۷۴۱ کیلوگرم در سال برآورد شد.

نتایج همبستگی خدمات اکوسیستمی در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، بین ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و تفرج همبستگی مثبت در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. از طرف دیگر، خروج نیتروژن با ذخیرهٔ کربن همبستگی مثبت کم و با کیفیت زیستگاه و تفرج همبستگی منفی دارد. بدین‌معنی که افزایش خروج نیتروژن باعث کاهش کیفیت زیستگاه و تفرج می‌شود. براساس نتایج جدول ۳ بالاترین و کمترین ذخیرهٔ کربن در منطقه به‌ترتیب در جنگل‌ها (۴۶۹۲۱۱۴ مگاگرم در هکتار) و مناطق مسکونی (۴۹۶ مگاگرم در هکتار) مشاهده شد. این نتایج به‌طور مشابه در مورد خدمات اکوسیستمی کیفیت زیستگاه و تفرج نیز صدق می‌کند. به‌طوری که مناطق جنگلی مکان‌های با تجمع بالای تدارک این دو خدمت اکوسیستمی و مناطق مسکونی (شهری) مکان‌های با

کمترین عرضه این خدمات هستند. همچنین حداکثر و حداقل خروج نیتروژن به‌ترتیب در کاربری‌های کشاورزی و جنگل مشاهده شد. به‌منظور مقایسه و تجزیه و تحلیل بهتر تغییرات توزیع فضایی مقادیر چندگانهٔ خدمات اکوسیستم، از تجزیه و تحلیل نقاط داغ و نقاط سرد استفاده شد. براساس شکل ۳، بیشتر نقاط داغ در قسمت‌های شمال، جنوب و بخشی از شرق منطقهٔ حفاظت‌شده قرار دارند، در حالی که نقاط سرد در مرکز و غرب منطقه قرار دارند. شمال و جنوب منطقه به‌صورت همگن دارای پوشش جنگلی و شرق منطقه با پوشش غالب جنگلی است. این مکان‌ها فاقد مناطق مسکونی و دارای درصد بسیار کمی اراضی کشاورزی در شمال و جنوب است. همچنین این مکان‌ها بیشترین مکان‌های ارائهٔ خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه، تفرج و نگهداشت مواد مغذی هستند. به‌طور کلی، همان‌طور که به‌وضوح در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشتر منطقهٔ تحت پوشش نقاط سرد با ۴۹ درصد است و ۳۳ درصد از منطقه نقاط مهم و کانونی ارائهٔ خدمات اکوسیستم چندگانه هستند.

به‌منظور مقایسه و تجزیه و تحلیل بهتر تغییرات توزیع فضایی مقادیر چندگانهٔ خدمات اکوسیستم، از تجزیه و تحلیل نقاط داغ و نقاط سرد استفاده شد. براساس شکل ۳، بیشتر نقاط داغ در قسمت‌های شمال، جنوب و بخشی از شرق منطقهٔ حفاظت‌شده قرار دارند، در حالی که نقاط سرد در مرکز و غرب منطقه قرار دارند. شمال و جنوب منطقه به‌صورت همگن دارای پوشش جنگلی و شرق منطقه با پوشش غالب جنگلی است. این مکان‌ها فاقد مناطق مسکونی و دارای درصد بسیار کمی اراضی کشاورزی در شمال و جنوب است. همچنین این مکان‌ها بیشترین مکان‌های ارائهٔ خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه، تفرج و نگهداشت مواد مغذی هستند. به‌طور کلی، همان‌طور که به‌وضوح در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیشتر منطقهٔ تحت پوشش نقاط سرد با ۴۹ درصد است و ۳۳ درصد از منطقه نقاط مهم و کانونی ارائهٔ خدمات اکوسیستم چندگانه هستند.

جدول ۲- نتایج همبستگی پیرسون بین خدمات اکوسیستمی چندگانه

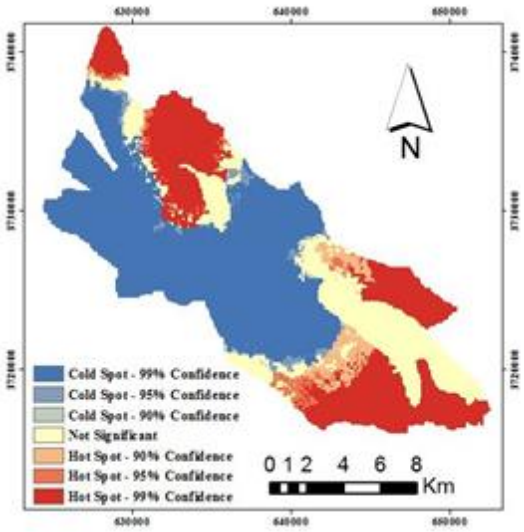
	ذخیرهٔ کربن	کیفیت زیستگاه	تفرج	خروج نیتروژن
ذخیرهٔ کربن	۱			
کیفیت زیستگاه	۰/۶۱**	۱		
تفرج	۰/۱۹**	۰/۳۲**	۱	
خروج نیتروژن	۰/۰۳**	-۰/۱۸**	-۰/۲**	۱

جدول ۳- میزان عرضه خدمات اکوسیستمی چندگانه در هر کدام از طبقات کاربری اراضی

کلاس‌های کاربری اراضی / خدمات اکوسیستم	جنگل	کشاورزی	مرتع	مسکونی
	مساحت (هکتار)			
	۲۴۹۶۵	۶۱۱	۳۵۰۲	۴۸
ذخیره کربن (مگاگرم)	۴۶۹۲۱۱۴	۴۰۱۶۵	۲۷۷۷۶۵	۴۹۶
تفرج	۱۶۲۶۳	۱۸۸	۲۲۶۱	۱۲/۵
کیفیت زیستگاه	۲۲۳۴۳	۰	۳۰۴۳	۰
خروج نیتروژن (کیلوگرم)	۶۶	۱۶۵	۱۴۸	۱۰۴

بحث و نتیجه‌گیری

تدارک خدمات اکوسیستم چندگانه از عوامل مهم در شناسایی مناطق حفاظت‌شده هستند. اگر چه به‌طور سنتی، رویکردهای برنامه‌ریزی حفاظتی صرفاً بر روی کیفیت زیستگاه متمرکز است (Lin *et al*., 2017) اما این مناطق پتانسیل بالایی در ارائهٔ سایر خدمات به‌خصوص خدمات تنظیمی و فرهنگی دارند. در این راستا، مطالعهٔ حاضر به ارزیابی و نقشه‌سازی عرضهٔ چهار خدمت اکوسیستمی: ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه، تفرج و خروج مواد مغذی (نیتروژن) در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ استان ایلام با استفاده از ترکیب نرم‌افزارهای IDRIST TerrSet-GIS-InVEST پرداخته است. نتایج بسیاری از مطالعات کارایی نرم‌افزار InVEST در ترکیب با سایر نرم‌افزارها به منظور ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات را تأیید کرده‌اند. با توجه به تجزیه و تحلیل خروجی‌های InVEST، می‌توان اطلاعاتی را برای سیاست‌گذاران ارائه داد که در آن همزمان به ارزیابی تغییرات در خدمات اکوسیستم، حفاظت از تنوع‌زیستی و سایر اهداف کاربری زمین پرداخته شده است (Zarandian *et al*., 2023). ارزیابی تغییرات



شکل ۳- توزیع فضایی نقاط داغ و سرد با سطح اطمینان متفاوت برای ارائهٔ خدمات اکوسیستمی چندگانه

کاربری اراضی با استفاده از سنجنده‌های منتخب در سطح سیمای سرزمین نشان داد که با توجه به نتایج سنجنده‌های LPI، COHESIONو EMS تکه‌تکه شدن در سیمای سرزمین منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ کم است. این سه سنجنده به‌ترتیب به تسلط، تداوم و توزیع تجمعی لکه‌ها در سیمای سرزمین اشاره دارند و هر چه مقدار آن‌ها کمتر باشد، تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین بیشتر است. علاوه بر این، با توجه به مقدار سنجنده PD در صورت توسعهٔ فعالیت‌های ساخت و ساز در منطقه، تکه‌تکه شدن روند صعودی خواهد داشت. تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین مانع گسترش جریان مواد و انرژی و تغییرات روند این فرآیندها در منطقه و در نتیجه تأثیر بر عملکرد و خدمات اکوسیستم می‌شود (Mohammadyari *et al*., 2018). بنابراین هرچه تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین بیشتر باشد، ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و تفرج کمتر اما خروج مواد مغذی بیشتر است که Ahmadi Mirghaed و همکاران (۲۰۲۲) نیز در مطالعهٔ خود به این نکته اشاره کردند. بر پایهٔ نتایج، مناطق جنگلی از پتانسیل بالایی برای عرضه و تدارک خدمات اکوسیستمی در منطقه برخوردار است. همچنین محل تجمع نقاط داغ که از پهنه‌بندی خدمات اکوسیستم چندگانه به‌دست آمده است در این طبقه از کاربری اراضی مشاهده شد. در واقع ارائهٔ خدمات اکوسیستمی در منطقه با توجه به تنوع الگوی کاربری اراضی متفاوت است. علاوه بر این، تغییرات خدمات اکوسیستمی منتخب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند جاده‌سازی، شهرک‌سازی و کشاورزی، به‌ویژه در بخش‌های شمال غربی و مرکزی منطقه رخ داده است. بالاترین عرضه ذخیرهٔ کربن، کیفیت زیستگاه و تفرج به‌ترتیب در بخش‌های شمالی، شرقی و جنوبی منطقه به‌دلیل پوشش جنگلی غالب و عدم فعالیت‌های انسانی در بخش‌های شمالی، شرقی و فعالیت کمتر در بخش‌های جنوبی است. در مقابل، بخش‌های مرکزی، غرب و شمال غرب محل تقابل فعالیت‌های انسانی با پوشش طبیعی است که باعث شده از غالبیت پوشش جنگلی در منطقه کاسته شده و تکه‌هایی از آن تحت پوشش جاده‌سازی، کشاورزی و ساخت و ساز قرار گیرد. به‌طور کلی ارزش و اهمیت کاربری‌ها برای خدمات ذخیرهٔ کربن، تفرج و کیفیت زیستگاه به‌ترتیب شامل کاربری‌های جنگل>مرتع>کشاورزی>مسکونی است. همچنین این ترتیب برای خروج نیتروژن به‌صورت کشاورزی>مرتع>شهری>جنگل است. این روند تأیید می‌کند که جنگل‌ها نقش مهمی در افزایش ذخیرهٔ کربن، تفرج و کیفیت زیستگاه دارند. از طرف دیگر، کاربری‌های مسکونی و کشاورزی خدمات اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن، تفرج و کیفیت زیستگاه را کاهش و باعث افزایش خروج نیتروژن می‌شوند. یافته‌های این مطالعه بر تأثیر الگوهای کاربری اراضی بر تغییرات خدمات اکوسیستمی تاکید دارد که با بسیاری مطالعات مطابقت دارد (Zarandian *et al*., 2017; Yang *et al*., 2019; Babbar *et al*., 2021; Shakya *et al*., 2021; Lei *et al*., 2022; Nie *et al*., 2023; Zhang and Li, 2023). نتایج نشان داد که همپوشانی بین دو خدمت اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن و کیفیت زیستگاه نسبت به سایر خدمات بالاست. اگرچه، کانون‌های خروج نیتروژن همپوشانی کمی با ذخیره‌سازی کربن و همبستگی منفی با کیفیت زیستگاه و تفرج دارند، که نشان‌دهندهٔ مبادله بین خدمات اکوسیستم است. همچنین نتایج توزیع فضایی کل خدمات اکوسیستمی نشان می‌دهد که تجمع نقاط داغ در مناطق با پوشش

جنگلی است که بیشترین نقش در ارائهٔ خدمات اکوسیستمی را دارند. در مقابل، نقاط سرد دارای ظرفیت کم برای ارائهٔ خدمات اکوسیستمی منتخب بود که با مطالعات (Plieninger *et al*., 2019; Tavakoli and Mohammadyari, 2022) همسو است. به‌طور کلی نتایج این تجزیه و تحلیل، مناطقی را شناسایی کرد که بالاترین سطح خدمات اکوسیستم چندگانه و نه انفرادی را ارائه می‌دهند که برای مدیریت کل خدمات اکوسیستم مفید است. این یافته همچنین نشان می‌دهد که سیاست‌های خدمات اکوسیستم در منطقه باید به گونه‌ای باشد که جلوگیری از توسعهٔ بی‌برنامه و تغییر کاربری و حفاظت از مناطق داغ در دستور کار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران قرار گیرد. همچنین در مناطق با تجمع نقاط سرد که دارای کمترین ارائهٔ خدمات اکوسیستمی منتخب هستند، باید سیاست‌های اکولوژیک مناسب را مدنظر قرار داد تا با بهبود این مناطق در آینده تغییرات مثبتی را در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ مشاهده کرد. بنابراین، نقشه‌برداری خدمات اکوسیستمی بینش قدرتمندی را برای بهبود ابزارهای برنامه‌ریزی فعلی، به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده در مجاورت شهرها فراهم می‌کند. برنامه‌های مناطق حفاظت‌شده بر مسائل حفاظت از طبیعت تمرکز دارند، در حالی که تمرکز برنامه‌های شهری بیشتر بر رشد اقتصادی و شهرنشینی است. ایجاد تضادها مانند تغییر کاربری، تخریب پوشش گیاهی و درختان جنگلی به‌منظور جاده‌سازی و احداث تونل در وسط منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ از این اولویت‌های برنامه‌ریزی متفاوت ناشی می‌شود. به‌طوری که در حال حاضر در منطقهٔ مورد مطالعه شاهد یک دوگانگی برنامه‌ریزی در مناطق شهری و مناطق حفاظت‌شده هستیم. برای پرداختن به این دوگانگی ترکیب جریان‌های خدمات اکوسیستمی برای توسعهٔ برنامه-ریزی‌های منسجم‌تر که جنبه‌های متعدد مانند حفاظت از عرصه‌های جنگلی و منافع جوامع محلی و سایر ذینفعان را در نظر بگیرد، ضروری است. با توجه به اینکه تصمیمات مدیریت زمین اغلب به سؤالاتی در مورد آرایش فضایی کاربری‌ها مربوط می‌شود که به بهترین وجه حفظ یا افزایش عرضهٔ خدمات اکوسیستمی را به‌دنبال خواهد داشت، نتایج این مطالعه با اطلاعات در مورد توزیع فضایی خدمات، امکان شناسایی مناطق با بیشترین مزایای خدمات اکوسیستمی را فراهم می‌کند که می‌تواند در راستای سیاست‌های استفاده از زمین برای توسعهٔ پایدار مفید واقع شود. در نهایت اجرای سیاست‌های حفاظت و احیای اکولوژیک برای جبران اثرات منفی توسعهٔ اقتصادی–اجتماعی در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ و هماهنگ کردن رابطهٔ بین توسعه و حفاظت تحت سیاست‌های حفاظت از مناطق جنگلی برای ارتقای توسعهٔ پایدار منطقه‌ای توصیه می‌شود.

References

Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., 2022. Effect of landscape fragmentation on soil quality and ecosystem services in land use and landform types. Environmental Earth Sciences 81(12), 330.

Babbar, D., Areendran, G., Sahana, M., Sarma, K., Raj, K., Sivadas, A., 2021. Assessment and prediction of carbon sequestration using Markov chain and InVEST model in Sariska Tiger Reserve, India. Journal of Cleaner Production 278, 123333.

Badamfirooz, J., zarandian, A., mousazadeh, R., Azimi, S., 2019. Land use change impacts and cost estimation of capacity loss of carbon storage and sequestration in the Hyrcanian forested landscape using InVEST model, *Forest Research and Development* 5(2), 293-316. (In Persian)

Baude, M., Meyer, B. C., 2023. Changes in landscape structure and ecosystem services since 1850 analyzed using landscape metrics in two German municipalities. Ecological Indicators 152, 110365.

Chaharahy, Z., Pourebrahim, S., Pejmman, A.H., 2022. Spatial Analysis and Prioritization of Cultural Ecosystem Services: Modeling the Suitability of Recreational Services. Town and Country Planning 14(1), 317-345. (In Persian)

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H., Chan, K.M. and Garibaldi, L.A., 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. Science 366(6471), eaax3100.

Duan, H., Yu, X., 2022. Linking landscape characteristics to shorebird habitat quality changes in a key stopover site along the East Asian–Australasian Flyway migratory route. Ecological Indicators 144:109490.

Fadaei, E., Mirsanjari, M.M., Amiri, M.J., 2020. Modeling of Ecosystem Services based on Land Cover Change and Land Use Using InVEST Software in Jahannama Conservation Area (Case: Carbon Sequestration Ecosystem Service), *Town and Country Planning* 12(1), 153-173. (In Persian)

Gong, J., Cao, E., Xie, Y., Xu, C., Li, H., Yan, L., 2021. Integrating ecosystem services and landscape

ecological risk into adaptive management: insights from a western mountain-basin aream China. Journal of Environmental Management 281: 111817

Graves, R.A., Williamson, M.A., Belote, R.T., Brandt, J.S., 2019. Quantifying the contribution of conservation easements to large-landscape conservation. Biological Conservation 232, 83-96.

Hatan, S., Fleischer, A., Tchetchik, A., 2021. Economic valuation of cultural ecosystem services: The case of landscape aesthetics in the agritourism market. Ecological Economics 184, 107005.

Hu, Y., Chen, Y. Wu, S.H., 2021. Synergy between the Convention on Biological Diversity and the UNFCCC in China. Advances in Climate Change Research 12(2), 287-295.

Kong, I., Sarmiento, F.O., Mu, L., 2023. Crowdsourced text analysis to characterize the US National Parks based on cultural ecosystem services. Landscape and Urban Planning 233, 104692.

Lei, J., Chen, Y., Li, L., Chen, Z., Chen, X., Wu, T., Li, Y., 2022. Spatiotemporal change of habitat quality in Hainan Island of China based on changes in land use. Ecological Indicators 145, 109707.

Li, B., Yang, Y., Jiao, L., Yang, M., Li, T., 2023. Selecting ecologically appropriate scales to assess landscape ecological risk in megacity Beijing, China. Ecological Indicators 154, 110780.

Lin, Y.P., Lin, W.C., Wang, Y.C., Lien, W.Y., Huang, T., Hsu, C.C., Schmeller, D.S., Crossman, N.D., 2017. Systematically designating conservation areas for protecting habitat quality and multiple ecosystem services. Environmental Modelling & Software 90, 126-146.

Liang, Y., Hashimoto, S., Liu, L., 2021. Integrated assessment of land-use/land-cover dynamics on carbon storage services in the Loess Plateau of China from 1995 to 2050. Ecological Indicators 120, 106939.

Luo, Q., Bao, Y., Wang, Z., Chen, X., Wei, W., Fang, Z., 2023. Vulnerability assessment of urban remnant mountain ecosystems based on ecological sensitivity and ecosystem services. Ecological Indicators 151, 110314.

Ma, S., Wang, L.J., Zhu, D., Zhang, J., 2021. Spatiotemporal changes in ecosystem services in the conservation priorities of the southern hill and mountain belt, China. Ecological Indicators 122, 107225.

Mohammadyari, F., Mirsanjari, M.M., Zarandian, A., 2018. Evaluating Ecological Networks of Urban Landscape (Case Study: Karaj Metropolis), Town and Country Planning10(2), 225-247. (in Persian)

Mohammadyari, F., Zarandian, A., Mirsanjari, M.M., Suziedelyte Visockiene, J., Tumeliene, E., 2023. Modelling Impact of Urban Expansion on Ecosystem Services: A Scenario-Based Approach in a Mixed Natural/Urbanised Landscape. Land 12(2), 291.

Mohammadyari, F., Tvakoli, M., Aghdar, H. 2016. Assessment and zoning of groundwater quality in agricultural areas of Mehran and Dehloran with geostatistical methods. Irrigation Sciences and Engineering 39(4), 71-83. (in Persian)

Nie, Y., Zhang, X., Yang, Y., Liu, Z., He, C., Chen, X., Lu, T., 2023. Assessing the impacts of historical and future land-use/cover change on habitat quality in the urbanizing Lhasa River Basin on the Tibetan Plateau. Ecological Indicators 148, 110147.

Plieninger, T., Torralba, M., Hartel, T. and Fagerholm, N., 2019. Perceived ecosystem services synergies, trade-offs, and bundles in European high nature value farming landscapes. Landscape Ecology 34, 1565-1581.

Rezapour Andabili, N., Mirsanjari, M.M., Zarandian, A., 2022. Aquaculture Services of Qarah Qeshlaq Wetland Ecosystem, *Physical Geography Research Quarterly* 54(3), 429-444. (in Persian)

Shakya, B., Uddin, K., Yi, S., Bhatta, L.D., Lodhi, M.S., Htun, N.Z., Yang, Y., 2021. Mapping of the ecosystem services flow from three protected areas in the far-eastern Himalayan Landscape: An impetus to regional cooperation. Ecosystem Services 47, 101222.

Sharp, R., Tallis, HT., Ricketts, T., Guerry, AD., Wood, SA., Chapin-Kramer. B., 2020. InVEST 3.8.0 user's Guide. The Natural Capital Project, Stanford

Shuangao, W., Padmanaban, R., Mbanze, A.A., Silva, J.M.N., Shamsudeen, M., Cabral, P., Campos, F.S., 2021. Using satellite image fusion to evaluate the impact of land use changes on ecosystem services and their economic values. Remote Sensing 13(5), 851.

Tavakoli, M., Mohammadyari, F., 2023. Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning. Urban Ecosystems 26(2), 459-478.

Urbina-Cardona, N., Cardona, V.O., Cuellar, S., 2023. Uncovering thematic biases in ecosystem services mapping: Knowledge shortfalls and challenges for use in conservation. Biological

Conservation 283, 110086.
Vallecilo, S., La Notte, A., Ferrini, S., Maes, J. 2019. How ecosystem services are changing an accounting application at the Eu level. Ecosystem Services 40, 1011-1018 .
Wang, Y.H., Ding, J.L., Li, X.H., Zhang, J.Y., Ma, G.L., 2022. Impact of LUCC on ecosystem services values in the Yili River based on an intensity analysis model. Acta Ecologica Sinica 42(8), 3106-3118.
Yang, Y., 2021. Evolution of habitat quality and association with land-use changes in mountainous areas: A case study of the Taihang Mountains in Hebei Province, China. Ecological Indicators 129, 107967.
Yang, X., Ji, G., Wang, C., Zuo, J., Yang, H., Xu, J., Chen, R., 2019. Modeling nitrogen and phosphorus export with InVEST model in Bosten Lake basin of Northwest China. PLoS One 14(7), e0220299.
Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M., Warkineh, B., 2021. Spatio-temporal changes in ecosystem service bundles and hotspots in Beressa watershed of the Ethiopian highlands: Implications for landscape management. Environmental Challenges 5, 100324.
Zarandian, A., Baral, H., Stork, N.E., Ling, M.A., Yavari, A.R., Jafari, H.R., Amirnejad, H., 2017. Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. Land Use Policy 61, 487-500.
Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M.M., Visockiene, J.S., 2023. Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran. Environmental Monitoring and Assessment 195(2), 273.
Zhang, K., Gao, J., Zou, C., Lin, N., Yu, D., Cao, B., Wang, Y., 2020. Expansion of protected area networks integrating ecosystem service and social-ecological coordination. Global Ecology and Conservation 24, e01298.
Zhang, B., Li, L., 2023. Evaluation of ecosystem service value and vulnerability analysis of China national nature reserves: A case study of Shennongjia Forest Region. Ecological Indicators 149, 110188.
Zhang, X., Liao, L., Huang, Y., Fang, Q., Lan, S., Chi, M., 2023. Conservation Outcome Assessment of Wuyishan Protected Areas Based on InVEST and Propensity Score Matching. Global Ecology and Conservation 45, e02516.
Zhao, Y., You, W., Lin, X., He, D., 2023. Assessing the supply and demand linkage of cultural ecosystem services in a typical county-level city with protected areas in China. Ecological Indicators 147, 109992.