University of Tehran Press

**Journal of Environmental Studies**
**Vol. 49, No. 1, Spring 2023**

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

# Modeling the Supply of Habitat Service and Spatial Data Mining of Hotspots in Arid Ecosystems

Neda Mohammadpour [1], Fatemeh Jahanishakib [2✉], Zahra Asadolahi[3]

1. Environmental Science Department, Faculty of Natural Resources and Environmental Studies, University of Birjand, South Khorasan Province, Birjand, Iran, nedamohamadpour@birjand.ac.ir
2. Corresponding Author, Environmental Science Department, Faculty of Natural Resources and Environmental Studies, University of Birjand, South Khorasan Province, Birjand, Iran. jahanishakib@birjand.ac.ir
3. Department of Environment and Fishery, Faculty of Natural Resources, University of Lorestan, Lorestan Province, Khoramabad, Iran, asadolahi.z@lu.ac.ir

## Article Info

**Research Article:**
Research Paper

**Article history:**
Received 28 May 2022
Received in revised from 25 April 2023
Accepted 20 May 2023
Publish online 21 May 2023

**Keywords:**
*Habitat quality*
*InVEST model*
*Getis-Ord Gi*
*Moran index*
*Habitat Hotspots*

## ABSTRACT

Human activities have increasingly threatened biodiversity and habitat services. With the intensification of fragmented habitats has affected their quality. In this regard, it is necessary to know the spatial pattern of habitat hotspots because it, in turn, causes environmental sustainability. In present research, habitat quality modeled in arid ecosystems of South Khorasan province using InVEST software based on human threats, impact, distance, relative sensitivity to threats, and accessibility of habitat sources. Then spatial data mining of hotspots was analyzed using Getis-Ord Gi, Moran and natural breaks methods. Also, the accuracy assessment of habitat hotspots extraction, through the ROC index, indicated accuracy more than 80% in the mentioned data mining methods, but the Getis-Ord Gi index had the highest accuracy (94.5%). The results of the spatial statistics of habitat hotspots overlapping with the protected areas of the province showed that Kamarsorkh Protected area contains the most (91.33%) and the Estand No-hunt area has the least (0.54%) habitat hotspots. Also, some areas of habitat hotspots were identified in free lands (9.34%). Therefore, the current protected areas do not cover a significant percentage of the hotspots in the free lands, so in sustainable conservation planning, the proposed methodology in research can apply to change and revise the borders of the protected areas.

**Cite this article:** Mohammadpour, N., Jahanishakib, F., Asadolahi, Z. (2023). Modeling the Supply of Habitat Service and Spatial Data Mining of Hotspots in Arid Ecosystems. Journal of Environmental Studies, 49 (1), 33- 49. DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.343520.1008322

© The Author(s).

**Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/JES.2023.343520.1008322

**Extended Summary**

**Introduction**

Human activities have increasingly threatened biodiversity and habitat services. With the intensification of fragmented habitats has affected their quality. In this regard, it is necessary to know the spatial pattern of habitat hotspots because it, in turn, causes environmental sustainability. Habitat quality refers to an ecosystem's ability to supply suitable conditions for access to resources for individuals and populations, and it is considered a concept that allows the identification of habitat hotspots. Ecosystem service hotspots refer to areas that provide large amounts of specific ecosystem services and are of critical and critical importance for the service in terms of management. Ecosystem service maps, as outputs of a model, are a powerful tool for the identification and spatial analysis of hot spots. Spatial analysis is a set of spatial data mining methods that evaluates the degree of spatial correlation between ecosystem services and identifies its statistical significance. One of the applications of spatial data mining is to identify habitat hotspots to identify priority protection areas. Therefore, the purpose of this research is to model habitat services with the InVEST model for the first time in South Khorasan province, as well as to evaluate the quality of habitats in the province to identify the priority protection areas and introduce the habitat hotspots of the province with spatial data mining methods.

**Materials and Methods**

The study's research area is the province of South Khorasan has seven protected areas, three wildlife refuges, and six no-hunting areas. This province contains a range of habitats that support an abundance of species in arid lands. In the present research, habitat quality was modeled in arid ecosystems of South Khorasan province using InVEST software based on human threats, impact, distance, relative sensitivity to threats, and accessibility of habitat sources. Then spatial data mining of hotspots was analyzed using Getis-Ord Gi, Moran, and natural breaks methods. Also, the accuracy of habitat hotspot extraction evaluated and comprised through the ROC index. Finally, the value of overlaping of hotspots and habitat degradation in the protected areas of the studied province was done with the Zonal Statistics tool in ArcMap software, in which the average and percentage of hotspots and degradation in the protected areas were evaluated.

**Discussion of Results**

Based on the cumulative effect of the total amount of identified threats in the province the map of the degree of habitat degradation was obtained. At final, the habitat quality map modeled through combining the information of the types of land use, biodiversity threats and the degree of habitat degradation. The results of the average and standard deviation of the habitat quality in the cities of the province indicated that in the cities with more density of pressure and threat, the quality of the habitat has decreased compared to others. Generally, the threats significantly change the land cover and have a negative impact on the target habitats through ecosystem pressures. Also, the assessment of spatial distribution patterns of hotspots with the Getis-Ord Gi index indicated the largest habitat hotspots in the province with a confidence level of 95% in the eastern and western parts of the province. Also, habitat hotspots with 99% confidence level were not observed in the province, which shows the possibility of maximum effect of threats to habitat service supply. Also, the accuracy assessment of habitat hotspots extraction, through the ROC index, indicated accuracy more than 80% in the mentioned data mining methods, but the Getis-Ord Gi index had the highest accuracy (94.5%). The results of the spatial statistics of habitat hotspots overlapping with the protected areas of the province showed that Kamarsorkh Protected area contains the most (91.33%) and the Estand No-hunt area has the least (0.54%) habitat hotspots. Also, some areas of habitat hotspots were identified in free lands (9.34%). Therefore, the current protected areas do not cover a significant percentage of the hotspots in the free lands, so in sustainable conservation planning, the proposed methodology in research can apply to change and revise the borders of the protected areas.

**Conclusions**

An effective step in sustainable landscape management is to identify homogeneous areas of ecosystem service supply and integrate the concept of these services in land use planning through spatial data mining approaches. This can be taken into consideration in redesigning and changing the borders of the conserved areas. On the other hand, due to the high quality in some areas and the habitat hotspots index, they can be used as corridors or stepping stone in the habitat ecological network. Also, a management strategy in the most critical habitat areas, i.e. where there are high quality habitats, but in terms of degradation index, they also include a high percentage, preserving the unique characteristics of the area through controlling threats and pressures.

نشـــریه محیـــط شناســـی
دوره ۴۹، شمـــاره ۱، بـــهار ۱۴۰۲
Journal Homepage: http://Jes.ut.ac.ir
۶۹۲۲- ۲۳۴۵ :شاپای الکترونیکی ۸۶۲۰- ۱۰۲۵:شاپای چاپی
University of Tehran Press

# مدلسازی عرضه خدمت زیستگاهی و داده‌کاوی فضایی نقاط داغ در اکوسیستم‌های مناطق خشک

ندا محمدپور[۱]، فاطمه جهانی‌شکیب[۲]✉، زهرا اسدالهی[۳]

۱. گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،رایانامه: nedamohamadpour@birjand.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، رایانامه: jahanishakib@birjand.ac.ir
۳. گروه محیطزیست و شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، رایانامه: asadolahi.z@lu.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۳/۷
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۲/۵
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۳/۲
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۳/۳

**کلیدواژه‌ها:**
*کیفیت زیستگاه، مدل InVEST گیتس_ارد جی، شاخص موران، نقاط داغ زیستگاهی*

**چکیده**

فعالیت‌های انسانی به‌طور فزاینده‌ای تنوع‌زیستی و خدمات زیستگاهی را مورد تهدید قرار داده‌اند. بطوری‌که با تشدید آن زیستگاه‌ها ازهم‌گسیخته و کیفیت آنها تحت تاثیر قرار گرفته است. در این راستا شناخت الگوی فضایی نقاط داغ زیستگاهی ضروری است زیرا به‌نوبه‌خود موجب پایداری محیطزیست می‌شود. در پژوهش حاضر، کیفیت زیستگاه در اکوسیستم‌های خشک استان خراسان‌جنوبی باتوجه به تهدیدهای انسانی، تاثیر، فاصله، حساسیت نسبی به تهدیدها و دسترسی‌پذیری منابع با نرم‌افزار InVEST مدلسازی گردید. سپس داده‌کاوی فضایی نقاط داغ با استفاده از روش‌های گیتس–ارد جی (Getis-Ord Gi)، موران (Moran) و شکست‌طبیعی تحلیل شد. همچنین ارزیابی دقت استخراج نقاط داغ زیستگاهی، ازطریق شاخص ROC حاکی از دقت بالای ۸۰ درصدی در روش‌های داده‌کاوی مذکور بود اما شاخص گیتس–ارد جی از بالاترین دقت (۹۴/۵ درصد) برخوردار بود. نتایج تحلیل آمار فضایی همپوشانی نقاط داغ زیستگاهی با مناطق تحت‌حفاظت استان نشان داد منطقه حفاظت‌شده کمرسرخ حاوی بیشترین (۹۱/۳۳ درصد) و منطقه شکار ممنوع استند کمترین (۰/۵۴ درصد) نقاط داغ زیستگاهی هستند. همچنین بخش‌هایی از نقاط داغ زیستگاهی در مناطق آزاد شناسایی شدند (۹/۳۴ درصد). لذا مناطق تحت‌حفاظت فعلی، درصد قابل توجهی از نقاط داغ موجود در مناطق آزاد را پوشش نمی‌دهند، لذا در برنامه‌ریزی حفاظت پایدار می‌توان از فرآیند پیشنهادشده در جهت تغییر و بازنگری خردمندانه مرز مناطق تحت‌حفاظت بهره برد.

**استناد:** محمدپور، ندا؛ جهانی‌شکیب، فاطمه؛ اسدالهی، زهرا (۱۴۰۲). مدلسازی عرضه خدمت زیستگاهی و داده‌کاوی فضایی نقاط داغ در اکوسیستم‌های مناطق خشک. نشریه محیط‌شناسی، ۴۹(۱)، ۳۳- ۴۹.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/JES.2023.343520.1008322
Dor: 20.1001.1.10258620.1402.49.1.7.7

**ناشر:** انتشارات دانشگاه تهران

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/ 10.22059/JES.2023.343520.1008322

## ۱. مقدمه

منافعی که افراد به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از اکوسیستم‌ها به‌دست می‌آورند (MEA, 2005) تحت عنوان خدمات اکوسیستم تعریف می‌شوند. مفهوم خدمات اکوسیستمی با ایجاد ارتباط بین نظام‌های طبیعی و اجتماعی- اقتصادی موجب درک بهتر همکنشی نظام‌های مذکور می‌شود و می‌تواند چارچوبی یکپارچه را برای مدیریت بهتر اکوسیستم‌ها فراهم نماید (Guerry et al., 2012). خدمات اکوسیستم به روش‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. یکی از طبقه‌بندی‌ها، ارزیابی اکوسیستم هزاره است که با هدف ایجاد ارتباط بین رفاه انسان و خدمات اکوسیستم، خدمات اکوسیستمی را در چهار طبقه تأمینی (مواد و یا انرژی خروجی اکوسیستم، از جمله مواد غذایی، آب و منابع دیگر)، تنظیمی (فاکتورهایی مانند کنترل سیل و بیماری که بر محیط زنده و غیر زنده تاثیر می‌گذارد)، فرهنگی (استفاده‌های غیرمادی مانند مزایای معنوی، تفریحی و فرهنگی) و حمایتی (مانند چرخه مواد مغذی و بهره‌وری اولیه که شرایط زندگی را بر روی زمین حفظ می‌کنند) طبقه‌بندی می‌کند (MEA, 2005). در طبقه‌بندی دیگر که توسط برنامه اقتصاد اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی (TEEB) ارائه شد، علاوه بر سه خدمت فراهمی، تنظیمی و فرهنگی، یک طبقه جدید و مجزا به‌نام خدمات زیستگاهی به‌عنوان جایگزین خدمات حمایتی معرفی شد که بیانگر اهمیت اکوسیستم‌ها در فراهم‌سازی زیستگاه‌های اکثریت گونه‌هاست (Asadolahi et al., 2018). زیستگاه عبارت است از منابع و شرایط موجود برای زیست یک موجود زنده از جمله ماندگاری و تولیدمثل که در بخش‌هایی از سرزمین ارائه می‌شود (Hall et al., 1997). کیفیت زیستگاه به قابلیت یک اکوسیستم در آماده‌سازی شرایط مناسب جهت دسترسی به منابع برای تداوم افراد و جمعیت‌ها اشاره دارد. در بسیاری از موارد، کیفیت زیستگاه به‌عنوان مفهومی در نظر گرفته می‌شود که امکان رتبه‌بندی و شناسایی نقاط داغ زیستگاهی را فراهم می‌کند (Johnson, 2007). تشخیص نقاط داغ از مطالعه توزیع نقاط یا آرایش فضایی آن‌ها تکامل یافته است (Chakravorty, 1995) و به طور گسترده برای اولویت‌بندی حفاظتی استفاده شده است. اصطلاح نقاط داغ خدمات اکوسیستمی برای اشاره به مناطقی استفاده می‌شود که نسبت‌های بزرگی از عرضه یک خدمت اکوسیستمی خاص را ارائه می‌دهند و برای خدمت مورد نظر از لحاظ مدیریتی دارای اهمیت در سطح بحرانی و حیاتی می‌باشند (Asadolahi et al., 2015). درک عرضه خدمات اکوسیستم علاوه بر میزان هرخدمت، به مکان و زمان تولید آن نیز بستگی دارد. بنابراین برای دستیابی به اهداف مدیریتی سیمای‌سرزمین لازم است که بدانیم چه خدمتی در کجا و در چه زمان و مقیاسی تولید می‌شود تا بدین وسیله بتوانیم خدمات اکوسیستم را پایش و مفهوم خدمات اکوسیستمی را در ارزیابی‌های حفاظتی وارد نماییم. نقشه‌برداری از خدمات اکوسیستم یکی از صریح‌ترین روش‌ها برای گنجاندن خدمات در ارزیابی‌های حفاظتی است. این امر با شناسایی و نقشه‌برداری از جمعیت‌ها، گونه‌ها و انواع زیستگاه‌ها که مسئول ارائه خدمات هستند امکان‌پذیر می‌باشد (Kremen, 2005) و مستلزم درک درستی از بوم‌شناسی خدمات و توزیع فضایی آنها، الزامات حفاظتی یا مدیریتی آن و همچنین مزایای آن برای انسان در فضا و زمان است (MEA, 2005; Kremen, 2005). تحلیل‌های فضایی مجموعه‌ای از روش‌های داده‌کاوی فضایی است که میزان همبستگی فضایی بین خدمات اکوسیستم را ارزیابی و اهمیت آماری آن را شناسایی می‌کند. این تحلیل‌ها بر نقش مکانی داده‌ها تمرکز کرده و به‌طور صریحی به تحلیل ارتباطات فضایی پدیده‌ها (خدمات اکوسیستم) نسبت به خود و یا نسبت به یکدیگر و تعیین استقلال مکانی و یا همبستگی آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهد. یکی از کاربردهای داده‌کاوی فضایی، شناسایی نقاط داغ خدمات اکوسیستم جهت شناسایی مناطق اولویت‌دار حفاظتی است. تجزیه و تحلیل نقاط داغ یک رویکرد تحلیل و نقشه‌برداری فضایی است که به مکان نقاط داغ خدمات اکوسیستم اشاره می‌کند و برای شناسایی نواحی همگن عرضه خدمات اکوسیستمی استفاده می‌شود و برای تصمیم‌گیری در مورد اقدامات حفاظتی آینده استفاده می‌شود. با توجه به روند تخریب محیط‌زیست در دهه‌های اخیر، محققان با استفاده از مفهوم خدمات اکوسیستم سعی در شفاف‌سازی اثر و صدمات جبران‌ناپذیر فعالیت‌های انسانی بر اکوسیستم‌ها داشته‌اند (Asadolahi et al., 2015) و از طرفی دیگر تاثیر الگوی توزیع فضایی نقاط‌داغ خدمات اکوسیستمی در عرضه هر کدام از خدمات منجر به پژوهش‌هایی با این محوریت و شناسایی مکان‌های مهم و با ارزش بالای خدمات اکوسیستم در برنامه‌ریزی‌های حفاظت و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها شده است.

## ۲. پیشینه پژوهش

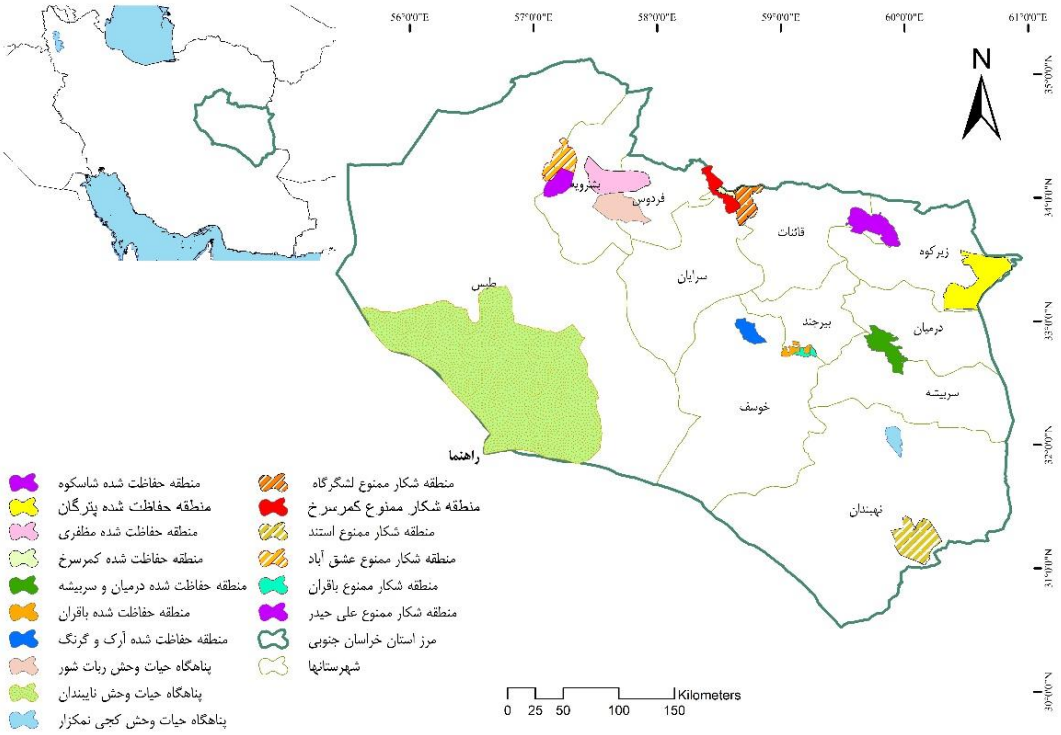
مطالعات زیادی با هدف مدلسازی خدمات اکوسیستم با مدل InVEST انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه Sallustio و همکاران (۲۰۱۷) اشاره نمود که با هدف ارزیابی کیفیت زیستگاه و با درنظر گرفتن الگوی فضایی شبکه مناطق حفاظت شده، رابطه بین کیفیت زیستگاه و نقاط داغ تنوع زیستی را در ایتالیا بررسی نمودند. در مطالعه ایشان پارامترهای تاثیرگذار در مدلسازی کیفیت زیستگاه شامل وزن اثر تهدیدها، میزان تناسب زیستگاه، دسترسی‌پذیری مناطق تحت حفاظت و غیره با جامعه آماری ۴۱ کارشناس مربوطه و امتیازدهی تجربی تعیین گردید. Hou و همکاران (۲۰۱۸) با مدلسازی خدمات اکوسیستم و استفاده از داده‌کاوی فضایی نقاط داغ به یافتن مناطق حفاظتی با اولویت بالا در حوزه آبخیز دریاچه دیانچی جنوب غربی چین پرداختند. بدین منظور شش خدمت اکوسیستمی بهره‌وری محصول، عملکرد آب، کیفیت زیستگاه، حفاظت خاک، حفظ مواد مغذی نیتروژن و فسفر و تفرج را مورد ارزیابی قرار دادند. در مطالعه Cong و همکاران (۲۰۲۰) سه خدمت اکوسیستمی تامین آب، حفاظت خاک و تصفیه آب توسط مدل‌های SWAT و InVEST ارزیابی و نقشه‌سازی شد. سپس تحلیل‌های الگوی مکانی این خدمات به وسیله آماره فضایی گیتس_ارد جی و روش خودهمبستگی فضایی انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد دو مدل می‌تواند چارچوب‌های مرجع مشابهی را برای مدیریت و سیاستگذاری فراهم کند که می‌تواند مبنای نظری را برای انتخاب مدل جهت مدیریت اکوسیستم منطقه‌ای ارائه کند. همچنین در برخی مطالعات دیگر، به ارزیابی وضعیت کیفیت زیستگاه و تغییرات مکانی و زمانی آن با اهداف مختلف و در مقیاس‌های متفاوت پرداخته شده است که در این میان می‌توان به (Wu et al., 2021; Yin et al., 2022; Yohannes et al., 2021) اشاره نمود. Zarandian و همکاران (۲۰۱۶) با کاربست دو مدل فضایی سناریو و تنوع‌زیستی (مدل‌های نرم‌افزار InVEST) و با هدف مدلسازی اثرات منابع تهدید و محرکه‌های بیرونی بر کیفیت زیستگاه به ارزشیابی اقتصادی خدمت کیفیت زیستگاه در محدوده جنگلی سرولات و جواهردشت پرداختند. در مطالعه‌ای دیگر، Nematollahi و همکاران (۲۰۲۰) کیفیت زیستگاه یک گونه اندمیک در استان چهارمحال و بختیاری را با مدل InVEST مدلسازی نمودند. نقشه‌های خدمات اکوسیستم به‌عنوان خروجی‌های یک مدل، ابزاری قدرتمندی در جهت شناسایی فضایی مناطق با عرضه بالای خدمات اکوسیستم می‌باشند. از این‌رو، مدلسازی خدمات زیستگاهی در راستای توسعه پایدار امری مهم تلقی می‌شود و ممکن است منجر به دستیابی به بسیاری از اهداف حفاظتی شود که در آن همپوشانی بین مناطق با ارزش بالای تنوع‌زیستی و مناطق با کیفیت بالا برای ارائه خدمات به‌عنوان نقاط داغ زیستگاهی وجود دارد. در این راستا، اطلاعات حاصل از مدلسازی خدمات اکوسیستم در بررسی چگونگی پراکنش نقاط داغ آن برای ارزیابی پایداری سیمای‌سرزمین در مقیاس‌های فضایی مختلف حائز اهمیت است (Bagstad et al., 2017). بنابراین هدف از این پژوهش مدلسازی خدمات زیستگاهی با مدل InVEST برای اولین بار در استان خراسان جنوبی و همچنین ارزیابی کیفیت زیستگاه‌های استان جهت شناسایی مناطق اولویت‌دار حفاظتی و معرفی نقاط داغ زیستگاهی استان با روش‌های داده‌کاوی فضایی است.

## ۳. روش شناسی پژوهش

### ۳-۱. منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی به‌عنوان دومین استان بیابانی کشور (Land use Planning of South Khorasan Province, 2019)، در شرق ایران بین ۵۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۴/۶ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی به مرکزیت شهر بیرجند قرار گرفته است (شکل ۱). خراسان جنوبی به لحاظ موقعیت جغرافیایی، اقلیمی و پستی و بلندی دارای طیف گسترده‌ای از اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌هایی است که موجب غنای جانوری آن در مناطق خشک شده است. اداره کل حفاظت محیط‌زیست خراسان جنوبی به‌منظور حفظ ذخیره‌گاه‌های زیستی ژنتیکی و حمایت از گونه‌های گیاهی و جانوری و ژن‌های بومی منطقه و برای انجام امور تحقیقاتی و بهره‌وری معقول و حفظ نسل گونه‌های مختلف و جلوگیری از تعرض انسان‌ها مناطقی را با توجه به شرایط خاص منطقه منجمله وجود گونه‌های نادر و با ارزش و کمیاب گیاهی و جانوری تحت پوشش قرار داده و از آنها حفاظت و حراست می‌نماید. این استان دارای هفت منطقه حفاظت شده، سه پناهگاه حیات‌وحش و شش منطقه شکار ممنوع است.

در استان خراسان جنوبی، ۴۴ گونه پستاندار شناسایی شده است (Mammals of South Khorasan, 2020) که بیشترین تعداد گونه مربوط به خانواده موشها ۱۰ گونه، خانواده گربه‌سانان ۶ گونه، خانواده سگ‌سانان ۵ گونه، خانواده خفاشان ۵ گونه، خانواده گاوسانان ۴ گونه است. مجموعا ۴۹ خانواده، ۲۲۸ گونه پرنده برای خراسان جنوبی شناسایی شده است (Brids of South Khorasan, 2020) که به‌طور خلاصه بیشترین گونه‌های پرندگان متعلق به خانواده توکاها با ۲۷ گونه، قوش‌ها ۱۹ گونه، سسک‌ها ۱۸ گونه، آبچلیک ۱۲ گونه، سهره‌ها ۱۲ گونه و اردک‌ها ۱۱ گونه است. بر طبق لیست IUCN، ۱ گونه جانوری در طبقه گونه‌های به‌شدت در معرض خطر انقراض (CR)، ۴ گونه جانوری در طبقه گونه‌های در معرض خطر انقراض (EN) و ۱۰ گونه جانوری در طبقه آسیب‌پذیر(VU) قرار دارند. در مجموع به دلایل متعددی که پیش‌تر بیان شد و حاکی از غنای تنوع‌زیستی بود و همچنین قرار داشتن در بیوم ایران تورانی، استان خراسان جنوبی به‌عنوان محدوده مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب گردید.




**شکل ۱.** موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

## ۳-۲. روش بررسی

### ۳-۲-۱. آماده‌سازی داده‌ها

روش پژوهش حاضر، توصیفی_تحلیلی است. ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای منابع موجود جهت کسب اطلاعات اولیه و متون و مقالات مرتبط با هدف مطالعه برای بررسی مفاهیم علمی و بررسی داده‌ها مرور گردید و پیشینه تحقیق بررسی شد. همچنین به منظور گردآوری داده‌های موردنیاز در فرآیند مدلسازی، آرشیو سازمانی (اداره کل حفاظت محیط‌زیست خراسان جنوبی) مورداستفاده قرار گرفته است. عوامل موثر در عرضه خدمت زیستگاهی نظیر وضعیت منابع تهدید، موقعیت و پراکندگی آنها با مرور مطالعات گسترده و بکارگیری دانش کارشناسی شناسایی و تعیین گردید. مقیاس مدلسازی در اندازه سلول‌های ۳۰ متر تنظیم شده است و تمامی نقشه‌ها در سیستم مختصات Lambert Conformal Conic تهیه شده است.

### ۳-۲-۲. مدلسازی کیفیت زیستگاه

نرم‌افزار InVEST با هدف بررسی خدمات زیستگاهی، به مدل‌سازی کیفیت زیستگاه می‌پردازد. مدل کیفیت زیستگاه InVEST ابزار جدیدی جهت ارزیابی کیفیت زیستگاه با توجه به تهدیدهای انسانی می‌باشد که می‌تواند وضعیت زیستگاه را برای هر مقیاسی از پوشش زمین تخمین بزند (Wu et al., 2021). مدل کیفیت زیستگاه InVEST، مدلی زیستگاه محور است که با هدف تولید نقشه کیفیت زیستگاه و حفاظت تنوع‌زیستی، داده‌های انواع کاربری و منابع تهدیدات زیستگاه را تلفیق و با مشخص‌کردن انواع مختلف کاربری اراضی به‌عنوان زیستگاه گونه‌های مختلف، نقشه کیفیت زیستگاه را تولید می‌کند. این مدل فرض می‌کند که زیستگاه‌های با کیفیت بالا، شانس بیشتری برای حفظ تنوع‌زیستی خود دارند. به منظور مدلسازی کیفیت زیستگاه، نقشه‌های کاربری اراضی و منابع تهدیدات در فرمت رستری، مناطق حفاظت شده محدوده مورد مطالعه در فرمت وکتوری و همچنین جداول وزن تاثیر و فاصله اثرگذار هر تهدید و میزان حساسیت هر زیستگاه به منابع تهدید با فرمت csv تهیه و به مدل ارائه شد. همچنین برای تهیه داده‌های مطلوبیت زیستگاه، یک امتیاز مناسب زیستگاهی نسبی به یک نوع کاربری اراضی تخصیص داده شد که بین صفر تا یک متغیر است. امتیاز یک نشان‌دهنده بالاترین تناسب زیستگاه است و امتیاز کمتر از یک نشان دهنده زیستگاه‌هایی با تناسب کمتر است. تأثیر تهدیدها بر روی زیستگاه نیز با واسطه چهار عامل تعیین گردید که عبارتند از:

- تأثیر نسبی هر تهدید در فضا: بیانگر شدت هر تهدید است. تأثیر یک تهدید به‌سرعت کاهش آن در فضا بستگی دارد و برخی از تهدیدها ممکن است آسیب بیشتری به زیستگاه داشته باشند.
- فاصله بین زیستگاه و منبع تهدید: عمدتا، تأثیر یک تهدید بر روی زیستگاه با افزایش فاصله از منبع تخریب کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که در نقشه رستری، پیکسل‌هایی که به تهدیدات نزدیک‌تر هستند، مورد تخریب بیشتر قرار خواهند گرفت.
- دسترسی به منابع تهدید: هر چه سلول از حمایت فیزیکی، اجتماعی یا قانونی بیشتری برخوردار باشد، کمتر تحت تأثیر تهدید قرار می‌گیرد. در این مدل، حفاظت رسمی عاملی است که دسترسی را کاهش می‌دهد (Sharma et al., 2018) که با ارزش طیفی بین صفر تا یک تعیین گردید. عدد یک نشان‌دهنده دسترسی کامل و عدد صفر نشان‌دهنده حفاظت کامل بدون هیچ گونه دسترسی است. در این پژوهش بر اساس راهنمای مدل، میزان دسترسی‌پذیری و حفاظت مناطق با توجه به شناخت ویژگی‌های حفاظتی مناطق تحت حفاظت استان و نظر کارشناسی امتیازدهی گردید.
- حساسیت نسبی هر نوع زیستگاه به هر تهدید: این مدل فرض می‌کند که هر چه زیستگاه نسبت به یک تهدید حساس‌تر باشد، بیشتر تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد و تخریب می‌شود. این عامل نیز با اختصاص ارزش طیفی بین صفر تا یک تعیین گردید که ارزش‌های نزدیک به یک بیانگر حساسیت بیشتر زیستگاه به تهدید خواهند بود.

در این مدل مقدار کل تهدید تحت‌عنوان «درجه تخریب» در هر سلول با درنظر گرفتن چهار عامل تهدید مذکور و با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد که در آن y معرف همه سلول‌های شبکه‌ای در نقشه رستری r و $Y_r$ نشان‌دهنده مجموعه‌ای از سلول‌های شبکه‌ای در نقشه مورد نظر است. در نهایت داده‌های انواع کاربری و مقدار کل تهدیدات زیستگاه در مدل تلفیق و مقدار کیفیت زیستگاه محاسبه گردید. کیفیت زیستگاه تابعی از مناسب بودن زیستگاه و درجه تخریب است که برای هر سلول با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

معادله (۱)

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

معادله (۲)

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

کیفیت زیستگاه در سلول x که در کاربری j قرار دارد با $Q_{xj}$ نشان داده می‌شود. Z=2.5 و k پارامترهای مقیاسی است (ثابت). $Q_{xj}$ معادل صفر است اگر $H_j=0$ باشد $Q_{xj}$ با $H_j$ افزایش و با $D_{xj}$ کاهش می‌یابد. $Q_{xj}$ هرگز نمی‌تواند بزرگتر از ۱ باشد.

### ۳-۲-۳. داده‌کاوی فضایی نقاط داغ

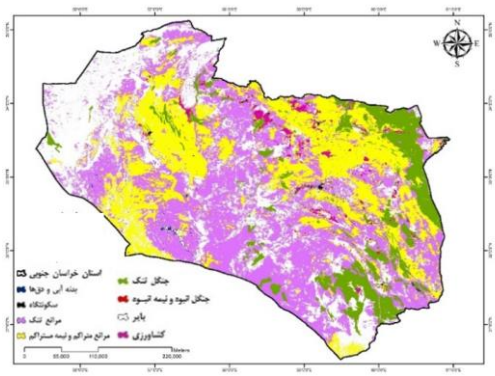
در این پژوهش برای شناسایی و بررسی الگوهای توزیع فضایی نقاط داغ خدمت زیستگاهی استان از روش‌های موران محلی[1]، گیتس_اردجی[2] و نقاط شکست طبیعی[3] از زیرشاخه داده‌کاوی فضایی[4] استفاده شد. روش موران محلی یکی از معتبرترین رویکردهای فضایی به منظور نمایش مکانی پدیده‌ها (خدمات اکوسیستمی) براساس اصول آماری است. آماری است که با بکارگیری عوارض مکانی وزن‌دهی شده به بررسی همبستگی فضایی بر اساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد و درجه کلی خودهمبستگی فضایی را تخمین می‌زند. روش گیتس_ارد جی شاخصی است که نواحی دارای ارزش بالا (نقاط داغ) و ارزش پایین (نقاط سرد) را شناسایی می‌کند و برای هر ویژگی در کلاس ویژگی ورودی، مقادیر نمره Z، P-value و سطوح اطمینان برای کلاس خروجی ویژگی موردنظر را محاسبه می‌کند. بر اساس این روش اگر عارضه‌ای مقادیر ارزشی بالا داشته باشد مهم است ولی به تنهایی ممکن است یک نقطه داغ معنی‌دار از نظر آماری نباشد. برای اینکه یک عارضه نقطه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنی‌دار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر ارزشی بالایی باشد (Jana & Sar, 2016). کلاس‌ها و طبقه‌بندی در روش نقاط شکست طبیعی بر اساس گروه‌بندی‌های طبیعی ذاتی در هر گروه تعیین می‌شود. شکست کلاس‌ها یا حد آستانه هر طبقه در واقع تعیین‌کننده این حالت است که عوارض این گروه بیشترین شباهت را دارند و از طرفی کلاس‌ها بیشترین تفاوت را با یکدیگر نشان می‌دهند. این روش بر اساس الگوریتم جنک[5]، فرآیند طبقه‌بندی را انجام می‌دهد. به منظور انجام تحلیل‌های موران محلی و گیتس_ارد جی، در محیط نرم‌افزار جی.ای.اس نقشه خدمات زیستگاهی استان از فرمت رستری به فرمت پلی‌گون تبدیل شد. یکی از مفاهیم اساسی جهت انجام تحلیل‌های مرتبط با داده‌کاوی فضایی، مجاورت مکانی خدمت اکوسیستمی مورد بررسی است. با توجه به نوع قرارگیری واحدهای فضایی خدمت زیستگاهی نسبت به یکدیگر که به صورت لکه‌ای است، به منظور تشخیص مجاورت مکانی روش‌های مختلفی وجود دارد که از بین آنها، دو روش فاصله معکوس و مجاورت بر اساس حاشیه کاربرد بیشتری دارد. از این‌رو، در این مطالعه از روش فاصله معکوس برای آمارفضایی موران محلی و روش مجاورت بر اساس حاشیه برای آمار فضایی گیتس_ارد جی استفاده شد. در ادامه به منظور واسنجی روش‌های داده‌کاوی فضایی بکار گرفته شده، نقشه‌های حاصل از روش‌های موران محلی، گیتس_ارد جی و نقاط شکست طبیعی به عنوان شاخصی از نقاط داغ خدمت زیستگاهی استان با یکدیگر مقایسه و دقت و صحت مکانی این نقشه‌ها با استفاده از نمودار مشخصه عملکرد (ROC) ارزیابی و مقایسه شد. این نمودار یکی از روش‌های مناسب جهت سنجش یک طبقه‌بندی‌کننده و همچنین سنجش قابلیت آن در شناسایی طبقات موردنظر است. در این روش مقادیر سطح زیرمنحنی (AUC) مبنای سنجش دقت و صحت مدل است. هرچه مقدار سطح زیرمنحنی به یک نزدیک‌تر باشد، مدل مورد ارزیابی صحت مکانی بیشتر داشته و به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر است. در نهایت میزان همپوشانی نقاط داغ و تخریب زیستگاه در مناطق تحت حفاظت استان با ابزار آماری Zonal Statistics در نرم‌افزار ArcMap انجام گرفت که در این بین میانگین و درصد نقاط داغ و تخریب در مناطق تحت حفاظت استان ارزیابی شد.

## ۴. یافته های پژوهش

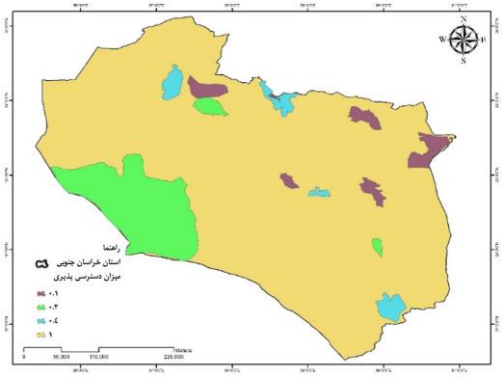
مطابق با روش‌شناسی پژوهش، نقشه‌های ورودی برای مدلسازی خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاهی تهیه و آماده‌سازی شد. شکل ۲

1. Anselin Local Moran I
2. Getis-Ord Gi
3. Natural breaks
4. Data mining
5. Jenks

نقشه طبقات کاربری اراضی مورد استفاده در فرآیند مدل InVEST را نشان می‌دهد. در این پژوهش ۸ طبقه کاربری اراضی به‌عنوان انواع زیستگاه در استان تعریف گردید. پارامترهای وزن عوامل تهدید، حداکثر فاصله عوامل تهدید، نمرات تناسب زیستگاه و میزان دسترسی‌پذیری مناطق تحت حفاظت بر مبنای مرور ادبیات پیشین، ارزش‌های تجربی و بکارگیری دانش تخصصی بررسی و تعیین شد. میزان دسترسی‌پذیری به مناطق تحت حفاظت استان در شکل ۳ نشان داده شده است. این میزان، مقادیر دسترس به ویژگی‌های خاص انواع مناطق حفاظتی شامل مناطق حفاظت شده (۰/۱)، پناهگاه‌های حیات‌وحش (۰/۲) و مناطق شکار ممنوع (۰/۴) استان را بر مبنای درجه حفاظتی قانونی/ نهادی/ اجتماعی/ فیزیکی نشان می‌دهد. امتیاز یک در این شکل بیانگر مناطق آزاد با بیشترین میزان دسترسی و کمترین حفاظت است.



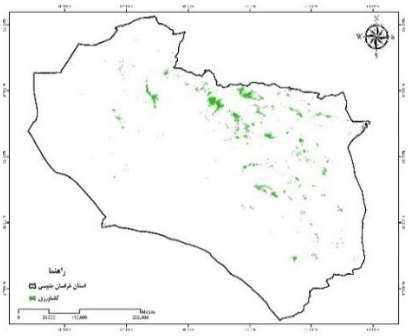
**شکل ۲.** نقشه طبقات کاربری اراضی معادل زیستگاه‌های بالقوه



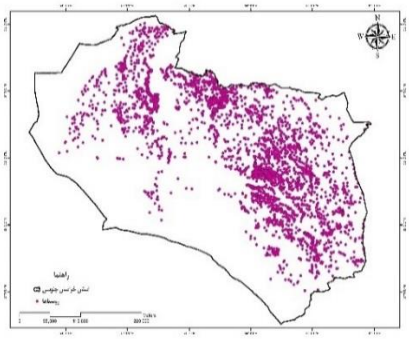
**شکل ۳.** نقشه دسترسی‌پذیری مناطق تحت حفاظت

وضعیت منابع تهدید، موقعیت و پراکندگی آنها با مرور مطالعات گسترده (Ding et al., 2021; Hack et al., 2020; Wu et al., 2021) شناسایی و تعیین گردید. در محدوده مورد مطالعه، ده منبع تهدید شامل اراضی کشاورزی، روستاها و شهرها، معادن و مناطق صنعتی، راه‌آهن و جاده‌های اصلی و فرعی، کانون‌های گرد و غبار و نقاط وقوع جرم و کشف سلاح به‌عنوان مهم‌ترین منابع تهدید کیفیت زیستگاه شناسایی شدند. عموما تهدیدها به‌طور قابل توجهی پوشش زمین را تغییر می‌دهند و بر زیستگاه‌های مورد نظر، از طریق فشارهای اکوسیستمی تاثیر منفی زیادی می‌گذارند. نقشه مکانی توزیع و تراکم هر تهدید در زیستگاه‌ها به‌صورت مستقل در شکل ۴ به‌تصویر کشیده شده است. نقشه درجه تخریب زیستگاه بر اساس اثر تجمعی مقدار کل تهدیدهای مذکور استان با طیفی از مقادیر بین صفر تا ۰/۴ محاسبه شد که در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

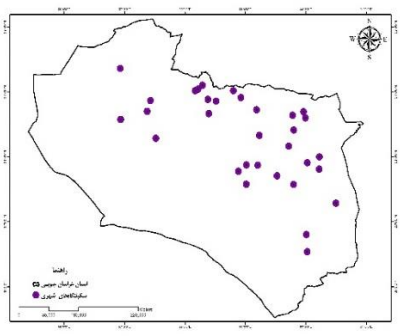
در نهایت نقشه کیفیت زیستگاه با ترکیب اطلاعات انواع کاربری و منابع تهدیدهای استان محاسبه شد. نقشه کیفیت زیستگاه به عنوان خروجی مدل، وسعت و کیفیت زیستگاه‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، الگوی فضایی کیفیت زیستگاه با طیفی از مقادیر بین صفر تا ۱ در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد و در مرزهای شهرستان‌ها نگاشت شد.



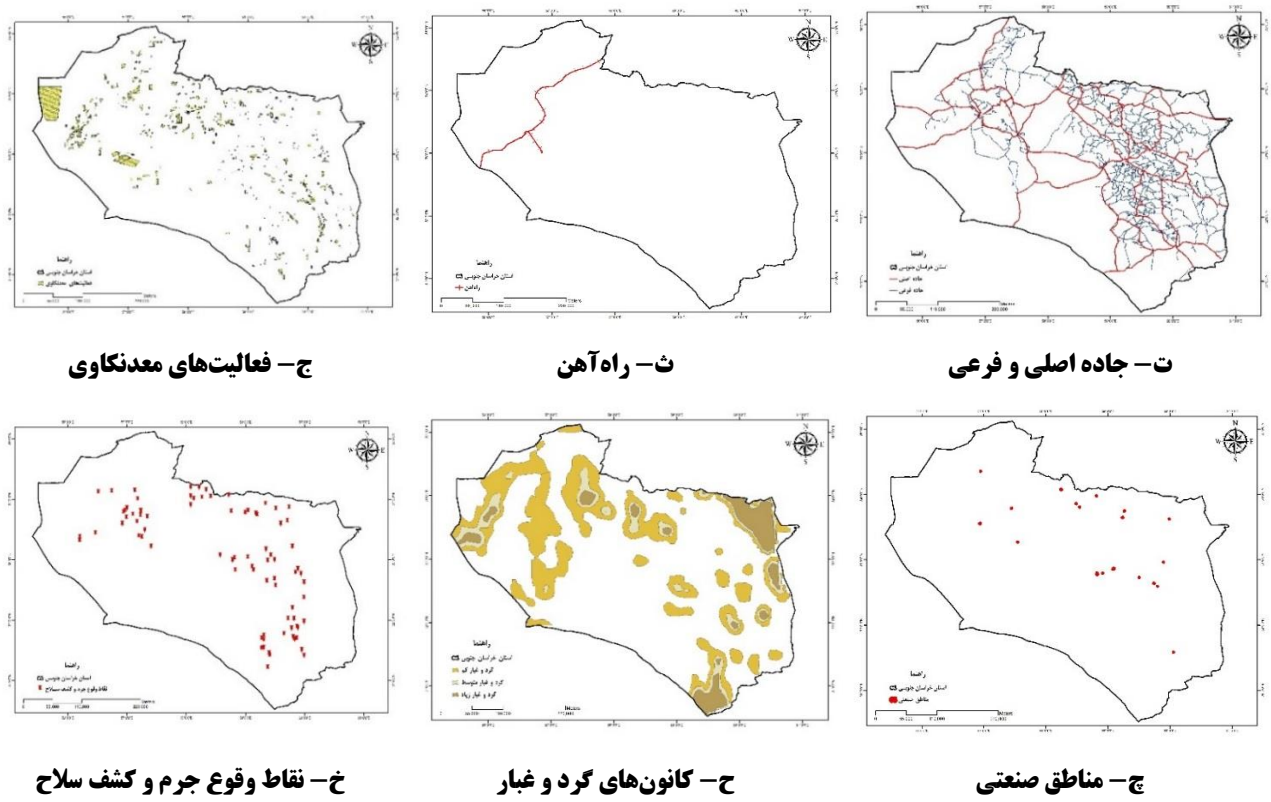
**الف– کشاورزی**



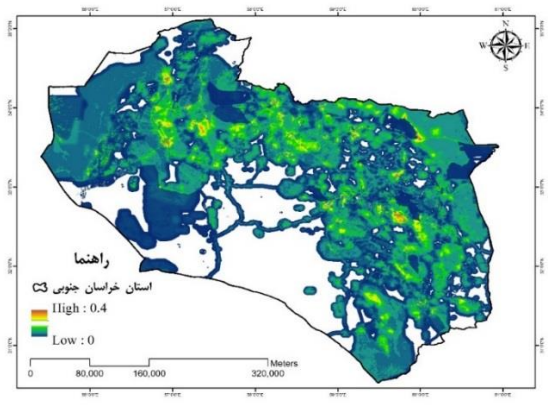
**ب– روستاها**



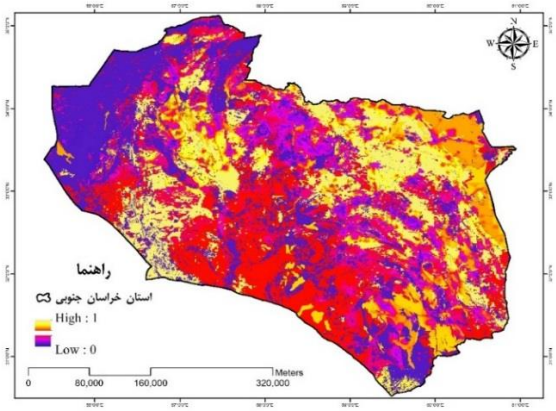
**پ– شهرها**




**شکل ۴.** نقشه تهدیدهای زیستگاه‌های استان خراسان جنوبی




**شکل ۵.** نقشه درجه تخریب زیستگاه در محدوده مطالعه



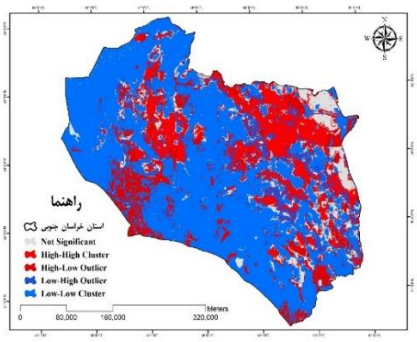

**شکل ۶.** نقشه مدلسازی شده خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه

جدول ۱ تحلیل نقشه مدلسازی شده خدمت اکوسیستمی کیفیت زیستگاه از طریق محاسبه میانگین و انحراف معیار کیفیت زیستگاه در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده شهرستان زیرکوه دارای میانگین کیفیت زیستگاه بالایی (۰/۶۴) نسبت به سایر شهرستان‌ها است که نشان از ارزش تنوع‌زیستی، فاصله بیشتر و دسترسی کمتر به منابع تهدید در این منطقه است. میانگین کیفیت زیستگاه شهرستان‌های بیرجند، قائنات، در میان و سربیشه بیانگر کیفیت زیستگاهی متوسط‌تری به نسبت سایر شهرستان‌ها است. ضمن توجه به مساحت هر شهرستان، پایین‌ترین سطح کیفیت زیستگاه نیز در شهرستان‌های نهبندان، فردوس، بشرویه، سرایان و طبس با بیشترین میزان تغییرات است.

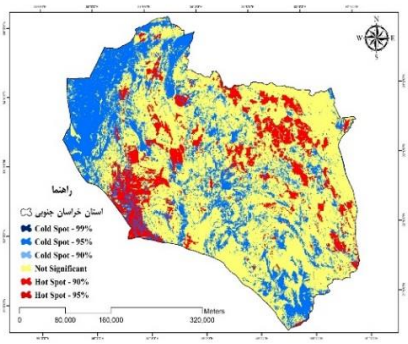
**جدول ۱.** میانگین و انحراف معیار کیفیت زیستگاه در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی

| شهرستان | میانگین | انحراف معیار |
|---|---|---|
| بشرویه | ۰/۴۳۳ | ۰/۲۸۵ |
| بیرجند | ۰/۶۲۹ | ۰/۲۶۸ |
| خوسف | ۰/۴۲۰ | ۰/۲۳۱ |
| درمیان | ۰/۵۷۱ | ۰/۲۶۳ |
| زیرکوه | ۰/۶۴۰ | ۰/۱۹۹ |
| سرایان | ۰/۴۱۱ | ۰/۲۳۲ |
| سربیشه | ۰/۵۶۰ | ۰/۲۴۱ |
| طبس | ۰/۴۰۹ | ۰/۲۹۲ |
| فردوس | ۰/۴۳۴ | ۰/۲۳۰ |
| قائنات | ۰/۶۲۷ | ۰/۲۵۳ |
| نهبندان | ۰/۴۴۸ | ۰/۲۳۹ |

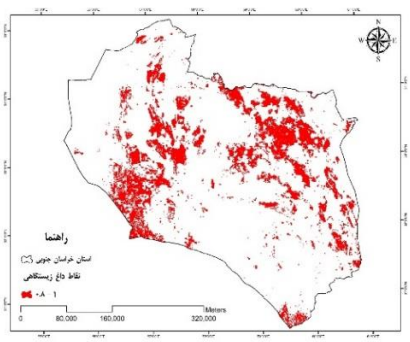
داده‌کاوی فضایی نقاط داغ زیستگاهی استان در چارچوب ذکر شده انجام گردید. شکل ۷ نتایج حاصل از نقشه‌های معنی‌داری موران محلی خوشه‌بندی خدمت زیستگاهی استان را نشان می‌دهد. مقایسه الگوهای پراکنش خودهمبستگی موران محلی نشان می‌دهد که پراکنش خوشه‌های با ارزش بالا در بخش‌هایی از شرق، شمال شرق و جنوب غرب محدوده مطالعاتی دیده می‌شود که نشان‌دهنده همبستگی مثبت در این مناطق است و دارای بیشترین میزان مطلوبیت در عرضه خدمت زیستگاهی است و از الگوی خوشه‌ای بالا (نقاط داغ) پیروی می‌کنند. همچنین پراکنش خوشه‌های با ارزش کم نیز در بخش‌هایی از شمال و شمال غرب، مرکز و جنوب محدوده مطالعاتی است که نشان‌دهنده همبستگی مکانی منفی این مناطق بوده که فاقد مطلوبیت از نظر عرضه خدمت زیستگاهی است و دارای الگوی خوشه‌ای پایین می‌باشد. شکل ۸ توزیع فضایی نقاط داغ خدمت زیستگاهی در استان را براساس رویکرد گیتس_ارد جی نشان می‌دهد. آماره G در این رویکرد نوعی امتیاز Z است. هرگاه مقادیر ارزشی Z محاسبه شده ۳+ و ۳− باشد، سطح اطمینان نقاط داغ و سرد زیستگاهی ۹۹ درصد خواهد بود. به همین ترتیب مقادیر ارزشی ۲+ و ۲− این آماره سطوح اطمینان ۹۵ درصد و مقادیر ارزشی ۱+ و ۱− سطوح اطمینان ۹۰ درصد پراکنش فضایی نقاط داغ و سرد زیستگاهی را در استان نشان می‌دهند. بر این اساس، مقادیر Z محاسبه شده شکل ۸ درجات متفاوتی از سطح اطمینان نقاط داغ و سرد زیستگاهی شناسایی شده را نشان می‌دهد. نتایج این رویکرد وسیع‌ترین نقاط داغ زیستگاهی در استان را با سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که دربرگیرنده قسمت شرقی و غربی استان است. لازم به ذکر است مطابق با این شکل نقاط داغ زیستگاهی با سطح اطمینان ۹۹ درصد در استان مشاهده نشد که احتمال اثرگذاری حداکثری تهدیدات عرضه خدمت زیستگاهی را نشان می‌دهد. همچنین در این تحقیق الگوی توزیع فضایی نقاط داغ زیستگاهی استان با استفاده از نقاط شکست طبیعی استخراج و محاسبه شد (شکل ۹). بدین منظور با توجه به طیف مقادیر ارزشی کیفیت زیستگاه که بین صفر تا یک شناسایی شد، مناطقی که مقادیر کیفیت زیستگاه آنها بیشتر از ۰/۸ بودند به‌علت دارا بودن شرایط و ویژگی‌های شاخص در عرضه خدمت زیستگاهی به‌عنوان مناطق داغ زیستگاهی شناسایی شدند (Cademus et al., 2014). با توجه به این شکل مشخص می‌شود که الگوی پراکنش خدمت زیستگاهی در این روش تقریباً مشابه روش گیتس_ارد جی است. به‌طوری‌که نقاط داغ شناسایی شده در اکثر مناطق استان منطبق و در بعضی مناطق وسعت پراکنش نقاط داغ اندکی بیشتر از الگوی پراکنش نقاط داغ در روش گیتس_ارد جی می‌باشد.




**شکل ۷.** پراکنش الگوی نقاط داغ زیستگاهی با روش موران محلی

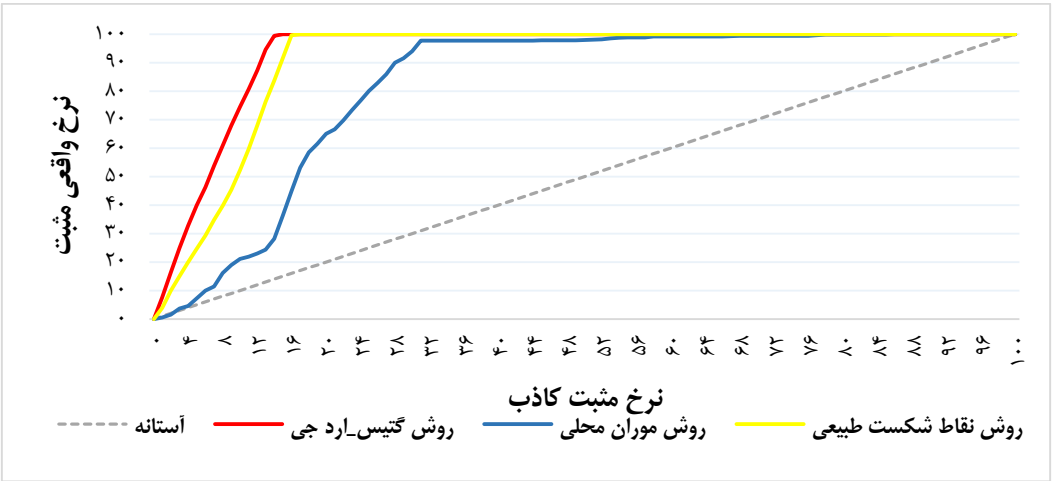



**شکل ۸.** پراکنش الگوی نقاط داغ زیستگاهی با روش گیتس_ارد جی




**شکل ۹.** پراکنش الگوی نقاط داغ زیستگاهی با روش نقاط شکست طبیعی

با توجه به مشابهت الگوی پراکنش فضایی نقاط داغ زیستگاهی شناسایی شده از روش‌های موران محلی، گیتس_ارد جی و نقاط شکست طبیعی در استان، دقت و صحت مکانی نقشه‌های تهیه شده این روش‌ها با استفاده از نمودار مشخصه عملکرد ارزیابی و مقایسه شد و از مقادیر سطح زیرمنحنی به عنوان مبنای سنجش دقت و صحت هر روش استفاده شد. با توجه به نمودار ۱، بیشترین فاصله از سطح آستانه برای خدمت زیستگاهی در استان مربوط به رویکرد گیتس_ارد جی است که نشان از دقت و صحت بیشتر این رویکرد است. پس از آن رویکرد نقاط شکست طبیعی در رتبه دوم قرار دارد. از سوی دیگر با توجه به فاصله رویکرد موران از سطح آستانه، قابلیت این روش نیز مورد تایید است. نتایج به‌طور نسبی مشخص کرد که این رویکردها به‌منظور شناسایی و ارزیابی الگوهای پراکنش مکانی خدمت زیستگاهی از عملکرد خوبی برخوردار هستند و می‌توانند معیار مناسبی جهت سنجش دقت مدلسازی خدمت زیستگاهی در استان باشند. از اینرو، با توجه به دقت بیشتر رویکرد گیتس_ارد جی نقشه الگوی پراکنش مکانی نقاط داغ حاصل از این رویکرد به‌عنوان نقشه مبنا در انجام مراحل بعدی روش کار این پژوهش انتخاب شد.




**نمودار ۱.** نمودار مشخصه عملکرد (ROC) رویکردهای داده‌کاوی فضایی خدمت زیستگاهی استان خراسان جنوبی

در نهایت نقشه نقاط داغ استخراج شده از رویکرد گیتس ارد جی با نقشه مناطق تحت حفاظت استان همپوشانی داده شد و میزان سهم در برگیری هر منطقه تحت حفاظت از نقاط داغ و تخریب زیستگاه مشخص گردید. جدول ۲ میزان میانگین نقاط داغ زیستگاهی، درصد نقاط داغ زیستگاهی، میانگین تخریب زیستگاه و درصد تخریب را به تفکیک مشخص نموده است. مطابق با این جدول، مناطق حفاظت‌شده

کمرسرخ، درمیان و سربیشه، شاسکوه و منطقه شکار ممنوع لشکرگاه بیشترین درصد پراکنش نقاط داغ زیستگاهی به‌ترتیب معادل ۹۱/۳۳۲، ۸۵/۴۰۶، ۷۵/۰۹۶ ، ۷۲/۵۴۴ و پناهگاه حیات‌وحش کجی‌نمکزار، مناطق شکار ممنوع استند، علی‌حیدر و منطقه حفاظت شده مظفری کمترین درصد پراکنش نقاط داغ زیستگاهی به‌ترتیب معادل ۷/۱۱۹، ۰/۵۴۷، ۹/۹۵۴ و ۸/۶۳۲ را نسبت به مساحت مناطق تحت‌حفاظت به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، نقاط داغ زیستگاهی پراکنده‌ای در مناطق آزاد استان معادل ۹/۳۴۴ درصد قابل مشاهده است، در حالی‌که در محدوده مناطق تحت حفاظت قرار نگرفته‌اند. بررسی و محاسبه مقادیر عددی شاخص تخریب کیفیت زیستگاه در هر یک از مناطق آزاد و تحت حفاظت استان نیز در جدول ۲ انجام شده است. مقادیر میانگین درجه تخریب در این مناطق بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۰۹۳ متغیر است. ضمن توجه به مساحت هر منطقه، بیشترین میزان درجه تخریب زیستگاه با درصد معادل ۲۸/۳۷۷، ۱۳/۷۲۶ و ۹/۰۸۷ به‌ترتیب در منطقه حفاظت‌شده آرک و کرنگ، پناهگاه حیات‌وحش کجی‌نمکزار و پناهگاه حیات‌وحش رباط‌شور به‌دست آمد.

**جدول ۲.** تحلیل مقادیر نقاط داغ و شاخص تخریب در مناطق تحت حفاظت استان خراسان جنوبی

| مناطق تحت حفاظت | میانگین نقاط داغ زیستگاهی | درصد نقاط داغ زیستگاهی | میانگین تخریب زیستگاه | درصد تخریب |
|---|---|---|---|---|
| **مناطق حفاظت شده** | | | | |
| شاسکوه | ۰/۷۵۱ | ۷۵/۰۹۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۶۴۹ |
| پترگان | ۰/۲۱۵ | ۲۱/۵۳۷ | ۰/۰۰۶ | ۰/۶۴۴ |
| مظفری | ۰/۰۸۶ | ۸/۶۳۲ | ۰/۰۰۷ | ۰/۷۱۴ |
| کمرسرخ | ۰/۹۱۳ | ۹۱/۳۳۲ | ۰/۰۱۱ | ۱/۰۸۰ |
| درمیان و سربیشه | ۰/۸۵۴ | ۸۵/۴۰۶ | ۰/۰۰۷ | ۰/۶۸۹ |
| باقران | ۰/۶۰۸ | ۶۰/۷۷۰ | ۰/۰۴۴ | ۴/۴۰۰ |
| آرک و کرنگ | ۰/۶۰۶ | ۶۰/۵۹۱ | ۰/۰۹۱ | ۲۸/۳۷۷ |
| **پناهگاه‌های حیات وحش** | | | | |
| رباط شور | ۰/۴۹۵ | ۴۹/۴۹۱ | ۰/۰۹۳ | ۹/۰۸۷ |
| نایبندان | ۰/۴۱۷ | ۴۱/۶۹۷ | ۰/۰۰۷ | ۰/۷۳۰ |
| کجی نمکزار | ۰/۰۷۱ | ۷/۱۱۹ | ۰/۰۶۷ | ۱۳/۷۲۶ |
| **مناطق شکارممنوع** | | | | |
| لشکرگاه | ۰/۷۳۹ | ۷۲/۵۴۴ | ۰/۰۳۶ | ۳/۵۱۵ |
| کمرسرخ | ۰/۵۳۳ | ۵۳/۱۳۵ | ۰/۰۳۰ | ۲/۹۶۶ |
| استند | ۰/۰۰۵ | ۰/۵۴۷ | ۰/۰۲۱ | ۲/۰۸۲ |
| عشق آباد | ۰/۵۰۹ | ۵۰/۸۵۶ | ۰/۰۳۹ | ۳/۹۳۱ |
| باقران | ۰/۸۸۲ | ۳۳/۰۸۹ | ۰/۰۲۳ | ۰/۸۵۸ |
| علی حیدر | ۰/۱ | ۹/۹۵۴ | ۰/۰۴۸ | ۴/۸۲۹ |
| مناطق آزاد | ۰/۰۹۳ | ۹/۳۴۴ | ۰/۰۵۶ | ۵/۵۹۳ |

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفیت زیستگاه تاثیر حیاتی بر راهبردهای حفاظت از تنوع‌زیستی دارد. نتایج نشان داد کیفیت بالاتر در بعضی مناطق حاکی از تناسب و مطلوبیت زیستگاه، وجود کاربری‌های بهتر و در نهایت اثرگذاری حداقلی تهدیدها در این مناطق است. پژوهش حاضر، تلفیق حفاظت خدمات اکوسیستم را با اهداف مناطق تحت حفاظت تایید می‌نماید. در این پژوهش، خدمت زیستگاهی استان خراسان جنوبی از

منظر کیفیت زیستگاه و تاثیر تهدیدهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار InVEST مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. مانند آنچه (Hack et al., 2020; Li et al., 2018; Nematollahi et al., 2020; Otgonbayar et al., 2021; Zhang et al., 2020) انجام دادند. در مقایسه با این مطالعات انجام شده که به مدلسازی و ارزیابی وضعیت کیفیت زیستگاه، تهدیدات آن و هم‌چنین تغییرات مکانی و زمانی زیستگاه پرداخته شده است، پژوهش حاضر با نگاه ویژه همپوشانی نقاط داغ زیستگاهی با مناطق تحت حفاظت، به تعیین و شناسایی مناطق اولویت‌دار جهت حفاظت پایدار تنوع‌زیستی پرداخته است. شناسایی مناطق داغ زیستگاهی جهت شناسایی مناطق اولویت‌دار حفاظتی و هم‌چنین جهت‌دهی به تصمیمات مدیریتی، ابزار قدرتمندی جهت یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم با برنامه‌ریزی مکانی سیمای‌سرزمین است. نتایج این پژوهش در مقایسه با دیگر مطالعات انجام شده در زمینه حفاظت تنوع‌زیستی که با استفاده از مدل MaxEnt انجام شده (Alfaya et al., 2019; Kamyo & Asanok, 2020; Venne & Currie, 2021) انجام شده است دارای تفاوت ماهوی است. مدل MaxEnt با رویکردی گونه‌محور، تناسب زیستگاه را به‌صورت انتخابی برای گونه‌ای خاص (جانوری_گیاهی) با استفاده از داده‌های توزیع جغرافیایی گونه‌ها، جزئیات مربوط به رخداد گونه‌ها و در نظر گرفتن زیستگاه منحصر به فرد آن‌ها مدلسازی می‌کند. در حالی‌که مدل InVEST با رویکردی زیستگاه‌محور، تهدیدها، تناسب زیستگاه با شرایط بومی تنوع‌زیستی و فرآیندهای اکولوژیکی را در نظر می‌گیرد. بنابراین، به لحاظ کارکردی در مقایسه با سایر ابزارهای برنامه‌ریزی پایدار تنوع‌زیستی از قابلیت بالایی در ایجاد درک کلی برخوردار است.

در این تحقیق، با اجرای مدل تنوع‌زیستی InVEST نقشه توزیع فضایی کیفیت زیستگاه با طیفی از مقادیر صفر (حداکثر اختلالات تاثیرگذار) تا یک (حداقل اختلالات تاثیرگذار) تولید شد و در مرزهای شهرستان‌های استان نگاشت شد. شهرستان زیرکوه با میانگین کیفیت ۰/۶۴ نسبت به سایر شهرستان‌ها ارزش کیفی زیستگاهی بیشتری را داراست که نشان‌دهنده ارزش تنوع‌زیستی در این شهرستان است. نتایج حاکی از آن بود که در شهرستان‌هایی با تراکم فشار و تهدید بیشتر، کیفیت زیستگاه به نسبت سایرین کاهش داشته است. یک گام موثر در مدیریت پایدار سیمای‌سرزمین، شناسایی مناطق همگن عرضه خدمات اکوسیستمی و یکپارچه‌سازی مفهوم این خدمات در برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین از طریق رویکردهای داده‌کاوی فضایی است. نتایج این بخش از پژوهش، نشانگر کاربرد داده‌کاوی فضایی خدمات اکوسیستم به‌عنوان یک راهبرد موثر فضایی است که می‌تواند در هنگام طراحی مناطق حفاظت شده مورد توجه قرار گیرد (Lin et al., 2017). با توجه به نتایج تغییرات مکانی خدمت زیستگاهی استان، الگوی خوشه‌ای بالا و نقاط داغ شناسایی شده حاصل از رویکردهای داده‌کاوی فضایی بیشترین میزان عرضه خدمت زیستگاهی را دارند. در مقابل در مناطق دارای الگوی خوشه‌ای پایین و نقاط سرد شناسایی شده میزان فراهم‌سازی خدمت زیستگاهی بسیارناچیز است. بررسی نتایج همپوشانی نقشه نقاط داغ و تخریب با مناطق تحت‌حفاظت فعلی نشان داد که تعدادی از این مناطق عمدتاً درصد قابل توجهی از نقاط داغ زیستگاهی به نسبت مساحت خودشان دارا هستند. بنابراین می‌توان به مناطق حفاظت‌شده کمرسرخ، درمیان و سربیشه، شاسکوه و منطقه شکار ممنوع لشکرگاه با بیشترین درصد نقاط داغ زیستگاهی اشاره کرد. این موضوع نشان‌دهنده ارزش بالای تنوع‌زیستی این مناطق می‌باشد که برنامه‌ریزی حفاظتی پایدارتری را با هدف حفظ این خدمت اکوسیستمی می‌طلبد. از طرفی در این پژوهش، بخش‌هایی از نقاط داغ زیستگاهی در مناطق آزاد (خارج از مرزهای مناطق تحت حفاظت استان) شناسایی شدند که نسبت به مساحت خود، معادل با ۹/۳۴۴ درصد آن را نقاط داغ زیستگاهی به‌عنوان مناطق دارای اولویت حفاظتی تشکیل می‌دادند و می‌تواند جهت برنامه‌ریزی توسعه راهبردهای حفاظتی استفاده شود. این امر نشان می‌دهد مناطق تحت حفاظت فعلی، درصد قابل توجهی از مناطق آزاد دارای نقاط داغ را پوشش نمی‌دهند لذا در برنامه‌ریزی حفاظت پایدار تنوع‌زیستی می‌توان از این مناطق به‌عنوان مناطق جدید تحت‌حفاظت و یا طراحی کریدورهای ارتباطی بین مناطق تحت حفاظت بهره برد. بدین ترتیب رویکرد برنامه‌های حفاظتی از مدیریت جزیره‌ای و از هم‌گسیخته مناطق تحت‌حفاظت به‌سمت برنامه‌ریزی حفاظتی یکپارچه سوق پیدا کرده و همچنین پیوستگی اکولوژیکی در بین گونه‌های موجود در این مناطق در بستر سیماهای سرزمین فراهم می‌گردد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده به‌دلیل عدم رعایت حداکثر فاصله موثر منابع تهدید با مناطق تحت‌حفاظت، افزایش میزان تخریب حتی درون مرزهای مناطق تحت‌حفاظت مشاهده شد. منطقه حفاظت‌شده آرک و کرنگ، پناهگاه حیات‌وحش کجی‌نمکزار و رباط‌شور با وجود تحت حفاظت بودن این مناطق، بیشترین درصد تخریب زیستگاهی را به خود اختصاص داده‌اند. به‌تبع این عامل، خود باعث ایجاد شکاف‌های

حفاظتی در مناطق تحت‌حفاظت فعلی و عرضه خدمت زیستگاهی خواهد شد. لذا نیازمند تدابیر حفاظت بیشتر در مناطقی که کیفیت بیشتر و تخریب کمتری دارند ضروری به نظر می‌رسد. در بحرانی‌ترین مناطق زیستگاهی یعنی جایی که زیستگاه‌هایی با کیفیت بالا موجود هستند ولی از نظر شاخص تخریب هم درصد بالایی را شامل می‌شوند، حفظ ویژگی‌های منحصر به فرد منطقه از طریق کنترل تهدیدها و فشارهای حاصل از آن امکان‌پذیر خواهد بود. بررسی ویژگی‌های توزیع فضایی کیفیت زیستگاه و نقاط داغ زیستگاهی، درک ارزشمند و جامع‌تری از حفاظت زیستگاه‌ها ارائه می‌دهد. بینش‌های حاصل از این پژوهش عمدتاً نشان می‌دهد که شناسایی نقاط داغ زیستگاهی برای جهت‌دهی تلاش‌های حفاظتی هرچه پایدارتر مناطق زیستگاهی در برابر تهدیدهای اثرگذار در مقیاس‌های مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین؛ با توجه به نتایج حاصل از کاربست این مدل، پیشنهادهای این تحقیق را می‌توان در ابعاد مختلف پژوهشی و اجرایی–کاربردی و در راستای حفاظت پایدار تنوع‌زیستی مدنظر قرار داد که عبارتند از:

۱. با توجه به این که بخش عمده‌ای از نقاط داغ زیستگاهی شناسایی شده در خارج از مرز مناطق تحت حفاظت قرار گرفته است، نقشه نقاط داغ زیستگاهی استان (مستخرج از رویکرد گیتس_ ارد جی) می‌تواند ابزار مفیدی را برای بازنگری و اصلاح در مرزهای حفاظتی فراهم نماید.
۲. با توجه به اینکه نقاط داغ زیستگاهی استان بالاترین ارزش کیفی زیستگاهی را داراست، این مناطق می‌تواند به‌عنوان مناطق جدید تحت حفاظت متمرکز بر حفاظت از خدمات اکوسیستم معرفی شده و جهت حفاظت پایدار این مناطق، اقدامات مربوطه و پایش‌های منظم صورت گیرد.
۳. از این روش و تلفیق آن با روش‌هایی مانند تئوری گراف برای حفظ پیوستگی اکولوژیکی و بالتبع شبکه‌های حفاظتی جهت حفظ ارزش تنوع‌زیستی استفاده گردد.
۴. ترکیب مدل استفاده شده با مدل‌های گونه محور می‌تواند به ارتقا مدل کیفیت زیستگاه InVEST و تغییر نگرش آن از زیستگاه محور به گونه محور هدایت شود.
۵. با توجه به کیفیت بالا و شاخص نقاط داغ زیستگاهی، می‌توان از این مناطق به‌عنوان کریدور یا جاپا در شبکه اکولوژیک زیستگاهی بهره گرفت.

## ۶. تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه مستخرج از طرح پژوهشی دانشگاه بیرجند است که با سازمان حفاظت محیط‌زیست به شماره ۱۴۰۰/۱۰/۱//۲۴۲۴ منعقد شده است. بدین‌وسیله از زحمات و تلاش‌های دلسوزانه مسئولان محترم سازمان حفاظت محیط‌زیست تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۷. منابع

Alfaya, P., Casanovas, J. G., Lobón-Rovira, J., Matallanas, B., Cruz, A., Arana, P., & Alonso, G. (2019). Using MaxEnt algorithm to assess habitat suitability of a potential Iberian Lynx population in central Iberian Peninsula. *Community Ecology*, *20*(3), 266–276.

Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., & Mirkarimi, H. (2015). Modeling the Supply of Sediment Retention Ecosystem Service (Case study: Eastern Part of Gorgan-Rud Watershed). *Environmental Erosion Research Journal*, *5*(3), 61–75.) *(In Persian).*

Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, H., & Azimi, M. (2018). Data availability for Mapping Ecosystem Services in Iran for Spatial Land Use Planning and Management. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, *7*(1), 109–123. *(In Persian).*

Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Ancona, Z. H., & Sherrouse, B. C. (2017). Evaluating alternative methods for biophysical and cultural ecosystem services hotspot mapping in natural resource planning. *Landscape Ecology*, *32*(1), 77–97.

Cademus, R., Escobedo, F. J., McLaughlin, D., & Abd-Elrahman, A. (2014). Analyzing trade-offs, synergies, and drivers among timber production, carbon sequestration, and water yield in Pinus elliotii forests in southeastern USA.

*Forests*, *5*(6), 1409–1431.
Chakravorty, S. (1995). Identifying crime clusters: The spatial principles. *Middle States Geographer*, *28*, 53–58.
Cong, W., Sun, X., Guo, H., & Shan, R. (2020). Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin. *Ecological Indicators*, *112*, 106089.
Department of environment in South Khorasan (2020), Mammals of South Khorasan. *(In Persian)*.
Department of environment in South Khorasan (2020), Birds of South Khorasan. *(In Persian)*.
Ding, Q., Chen, Y., Bu, L., & Ye, Y. (2021). Multi-scenario analysis of habitat quality in the Yellow River delta by coupling FLUS with InVEST model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2389.
Guerry, A. D., Ruckelshaus, M. H., Arkema, K. K., Bernhardt, J. R., Guannel, G., Kim, C.-K., Marsik, M., Papenfus, M., Toft, J. E., & Verutes, G. (2012). Modeling benefits from nature: using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, *8* (1–2), 107–121.
Hack, J., Molewijk, D., & Beißler, M. R. (2020). A conceptual approach to modeling the geospatial impact of typical urban threats on the habitat quality of river corridors. *Remote Sensing*, *12*(8), 1345.
Hall, L. S., Krausman, P. R., & Morrison, M. L. (1997). The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*, 173–182.
Hou, Y., Li, B., Müller, F., Fu, Q., & Chen, W. (2018). A conservation decision-making framework based on ecosystem service hotspot and interaction analyses on multiple scales. *Science of the Total Environment*, *643*, 277–291.
Jana, M., & Sar, N. (2016). Modeling of hotspot detection using cluster outlier analysis and Getis-Ord Gi* statistic of educational development in upper-primary level, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, *2*(2), 1–10.
Johnson, M. D. (2007). Measuring habitat quality: a review. *The Condor*, *109*(3), 489–504.
Kamyo, T., & Asanok, L. (2020). Modeling habitat suitability of Dipterocarpus alatus (Dipterocarpaceae) using maxent along the chao phraya river in central Thailand. *Forest Science and Technology*, *16*(1), 1–7.
Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, *8*(5), 468–479. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x
Land use Planning of South Khorasan Province, (2019). *Management and Planning Organization of South Khorasan Province*. Recovery 2020. *(in Persian)*.
Li, F., Wang, L., Chen, Z., Clarke, K. C., Li, M., & Jiang, P. (2018). Extending the SLEUTH model to integrate habitat quality into urban growth simulation. *Journal of Environmental Management*, *217*, 486–498.
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.
MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5). Island press United States of America.
Nematollahi, S., Fakheran, S., Kienast, F., & Jafari, A. (2020). 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*(8), 1–17. *(In Persian)*.
Otgonbayar, M., Tseveengerel, B., Munkhtur, P., Tuyagerel, D., & Chambers, J. (2021). Assessment of Habitat Quality in the Western Region of Mongolia Using the InVEST-Based Model. *Environmental Science and Technology International Conference (ESTIC 2021)*, 96–101.
Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafò, M., Vizzarri, M., & Marchetti, M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management*, *201*, 129–137.
Sharma, R., Rimal, B., Stork, N., Baral, H., & Dhakal, M. (2018). Spatial assessment of the potential impact of infrastructure development on biodiversity conservation in Lowland Nepal. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(9), 365.
Van Jaarsveld, A. S., Biggs, R., Scholes, R. J., Bohensky, E., Reyers, B., Lynam, T., Musvoto, C., & Fabricius, C. (2005). Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales: the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SA f MA) experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *360*(1454), 425–441.
Venne, S., & Currie, D. J. (2021). Can habitat suitability estimated from MaxEnt predict colonizations and extinctions? *Diversity and Distributions*, *27*(5), 873–886.
Wu, L., Sun, C., & Fan, F. (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.
Yin, L., Zheng, W., Shi, H., & Ding, D. (2022). Ecosystem services assessment and sensitivity analysis based on ANN

model and spatial data: A case study in Miaodao Archipelago. *Ecological Indicators*, *135*, 108511.

Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M., & Dewan, A. (2021). Spatio-temporal changes in habitat quality and linkage with landscape characteristics in the Beressa watershed, Blue Nile basin of Ethiopian highlands. *Journal of Environmental Management*, *281*, 111885.

Zarandian, A., Yavari, A., Jafari, H., & Amirnejad, H. (2016). Modeling of Land Cover Change Impacts on Habitat Quality of a Forested Landscape in the Sarvelat and Javaherdasht. *Environmental Researches*, *6*(12), 183–194. *(In Persian)*.

Zhang, X., Zhou, J., Li, G., Chen, C., Li, M., & Luo, J. (2020). Spatial pattern reconstruction of regional habitat quality based on the simulation of land use changes from 1975 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, *30*(4), 601–620.