Original Article, Vol. 13, No. 1, Spring, 2025, pp 43-62

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Assessment of the Impact of Water Resource Accessibility Costs on the Living Conditions of wild sheep (*Ovis orientalis arkali*) in Razavi Khorasan

Sedighe Abdollahi [1], Maryam Morovati [2*], Mahdi Jomepoor [3]

1. Postdoctoral fellow, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Iran. P.O. Box 184, Ardakan,
3. Supervision and Monitoring Expert of Environmental Protection Department, Bardskan, Razavi Khorasan, Iran

*Corresponding Author: Mymorovati@ardakan.ac.ir

Received date: 17/01/2025 **Accepted date: 11/03/2025**

10.22034/jdmal.2025.2050954.1496

Abstract

This study assesses the impact of water resource accessibility costs on the living conditions of wild sheep (*Ovis orientalis arkali*) in Tandoureh National Park, located in Razavi Khorasan Province. Data on the presence of wild sheep were collected throughout the year 2024 through field studies and direct observations. Maximum entropy modeling was employed to identify areas with high habitat suitability, while the Cost Distance tool in ArcGIS was used to analyze the cost of access to water resources, accounting for factors such as slope and roads as environmental barriers to water accessibility. The results of the study indicated that the distribution of this species is strongly influenced by elevation, proximity to water sources, and vegetation cover. Habitat suitability map revealed that approximately 15.09% of the study area, equivalent to 5,384.71 ha, demonstrated high habitat suitability, with the most favorable habitats located in the southern and western regions of the park. Pearson correlation analysis also showed a significant negative relationship (r= -0.069) between water accessibility costs and habitat quality. In other words, as access to water resources becomes easier, habitat quality improves significantly. These findings suggest that effective management strategies, such as optimal distribution of water sources, are essential for protecting sensitive habitats and improving the living conditions of wild sheep. This study highlights the critical role of water resources in habitat quality, especially in semi-arid ecosystems. Management priorities in Tandoureh National Park should focus on improving access to water and conserving high-quality habitats to ensure the survival of the sp population. Establishing new watering points in strategic locations is vital to reduce access costs. In addition, protecting existing water sources and addressing environmental barriers such as steep slopes and fragmented vegetation can significantly enhance habitat conditions.

Keywords: Wildlife species, Maximum entropy modeling, Environmental barriers, Habitat quality

How to cite this article
Abdollahi, S., Morovati, M. and Asadi Zarch, M.A. (2025). Assessment of the Impact of Water Resource Accessibility Costs on the Living Conditions of wild sheep (*Ovis orientalis arkali*) in Razavi Khorasan. *Desert Management*, *13*(1), 43-62. DOI: 10.22034/jdmal.2025.2050954.1496

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Extended Abstract

Introduction

Natural habitats, as one of the key factors related to biodiversity conservation, play a fundamental role in the sustainability of global ecosystems (1). The mutual interaction between animal species and environmental elements within a habitat is the main factor ensuring the continuity of life in nature (2). Accessibility to water resources is one of the key environmental factors that significantly influences many habitats, especially in arid and semi-arid regions such as Iran (3).

Wildlife species constantly move between food and water sources, and these movements can be influenced by the cost of accessing water resources (5). The cost of water access can include factors such as distance, slope, vegetation type, and human-related elements like the presence of roads or agricultural activities (6). As the cost of access increases, a species' ability to reach water decreases, leading to reduced habitat quality. Analyzing this relationship can help identify areas with severe limitations and provide solutions for optimal water resource management (7).

Using spatial and predictive models is an essential tool for analyzing species distribution and habitat quality (8). The MaxEnt (Maximum Entropy) model is one of the most well-known habitat prediction models, operating based on species presence data and environmental variables. By utilizing these variables and presence points, the model evaluates habitat suitability spatially and identifies areas with a high probability of species occurrence (9).

In addition to habitat suitability modeling, analyzing the cost of access to critical habitat resources such as water allows for a more detailed understanding of how environmental factors affect habitat quality. This analysis considers factors like slope, land cover type, and other environmental features to estimate the actual cost of accessing vital resources, clarifying the role of these costs in species distribution and habitat quality. Such an approach offers a better understanding of how access to habitat resources affects habitat dynamics and suitability and provides a practical tool for managing sensitive habitats (10).

Previous studies on habitat quality and water resources have generally emphasized the importance of the connection between water sources and species presence. Research examining the relationship between water availability, biodiversity, and ecosystem health has shown that a decline in water resources can lead to habitat degradation and a decrease in species populations (11). The presence of domestic livestock in wildlife habitats can also reduce habitat quality through competition over water resources (12, 13). In Iran, studies have addressed the impact of environmental factors, such as distance from water sources, on the habitat suitability of wildlife species (14, 15). These studies have provided a good understanding of how water resources influence natural habitats, but most of them have relied solely on habitat suitability models to investigate this relationship.

The present study aims to analyze the impact of water resources on the habitat quality of wild sheep (*Ovis orientalis* arkali) in Tandoureh National Park by integrating two approaches: cost-distance analysis and habitat suitability modeling.

Materials and Methods

This study was conducted in Tandoureh National Park, Razavi Khorasan Province (Fig. 1), characterized by diverse topography and elevation ranging from 790 to 2,572 m, which significantly influences habitat diversity and ecological niches available to wildlife species (17). Presence data for wild sheep (*Ovis orientalis* arkali) were collected in 2024 through systematic field observations, identification of biological traces such as feces and footprints, and GPS-based recordings. To reduce spatial autocorrelation, a 500 m minimum distance between presence points was enforced, following established protocols (18, 19, 20). Additionally, data were spatially rarefied using ENMTools to minimize sampling bias and improve model performance.

Habitat suitability modeling was conducted using 11 environmental variables representing elevation, hydrology, anthropogenic disturbance, and vegetation (Table 1). After applying Pearson's correlation analysis ($r > 0.8$) to avoid multi-collinearity, eight uncorrelated variables were retained for MaxEnt modeling. The MaxEnt model was trained using 70% of occurrence data, with 30% used for testing. It was run 10,000 iterations and evaluated based on the Area Under the Curve (AUC), ensuring robust predictive performance.

Water access costs, a key factor in wild sheep distribution, were analyzed using ArcGIS's Cost Distance tool. This analysis integrated slope derived from a Digital Elevation Model (DEM), road networks as movement barriers, and mapped water sources (Fig. 2). By quantifying landscape resistance, this method allowed for a

nuanced assessment of habitat accessibility under natural and anthropogenic constraints (21, 22). Such landscape-scale modeling is crucial for effective conservation planning, particularly in arid and semi-arid ecosystems where water availability critically shapes ungulate behavior and distribution (23).

Results

The distribution of wild sheep is strongly influenced by elevation, proximity to water sources, and vegetation type (Fig 3, Table 2). Elevations between 1700 m and 2500 m provided the most suitable habitat for the species. Habitat suitability map showed that 15.09% of the study area, or 5,384.71 hectares, had high suitability (Fig 4). Optimal habitats were located in the park's southern and western regions, while the northeastern areas had lower suitability due to high water access costs. Pearson correlation analysis revealed a significant negative relationship ($r = -0.069$, $p < 0.01$) between water access cost and habitat quality (Table 3), indicating that as water access difficulty rises, habitat quality decreases. Species response curves showed that wild sheep presence decreased with greater distance from water (Fig 5). The model performed well, with a high AUC of 0.87 for training data (Fig 6), confirming strong predictive accuracy.

Discussion

This study found that elevations between 1700–2500 m offer the highest habitat suitability for wild sheep due to reduced disturbance and greater security, aligning with previous findings of optimal ranges up to 3000 m (34). Slope positively influenced suitability up to a threshold, then declined, consistent with earlier research in Iran (35, 36). Preferred forage species, Artemisia and Astragalus, enhance habitat quality, though overly dense vegetation may reduce suitability due to limited visibility and predator detection (37, 38). Aspect had minimal influence, likely due to the lack of seasonal analysis, though other studies link it to seasonal plant availability and thermal regulation, especially during lambing or extreme weather (39, 40). Additionally, proximity to escape terrain—steep, rugged areas that offer protection from predators—has been shown to be a critical factor in habitat preference among wild sheep and should be considered in future models (41). These ecological relationships highlight the importance of multi-variable modeling for effective species management.

Conclusion

It is recommended that water resource management be prioritized in the conservation planning of Tandoureh National Park. The establishment of artificial water sources in strategic locations, along with the protection and restoration of natural springs and streams, can help reduce water access costs and enhance habitat quality for wild sheep and other native fauna (24, 25). Prioritizing areas with high habitat suitability and limited natural water availability will maximize the ecological benefit of such interventions. Additionally, the integration of GIS technologies and high-resolution satellite imagery enables the accurate mapping and continuous monitoring of water resources, land cover changes, and anthropogenic pressures (26, 27). These tools can significantly support adaptive conservation strategies by identifying critical resource gaps and guiding field-based actions. Moreover, collaboration with local communities will be crucial for the long-term success of conservation programs, as community-based resource management fosters stewardship, reduces human-wildlife conflict, and supports sustainable land use practices (28, 29). Education and outreach initiatives should be implemented to promote awareness and encourage local participation in conservation efforts.

Keywords: Wildlife species, Maximum entropy modeling, Environmental barriers, Habitat quality

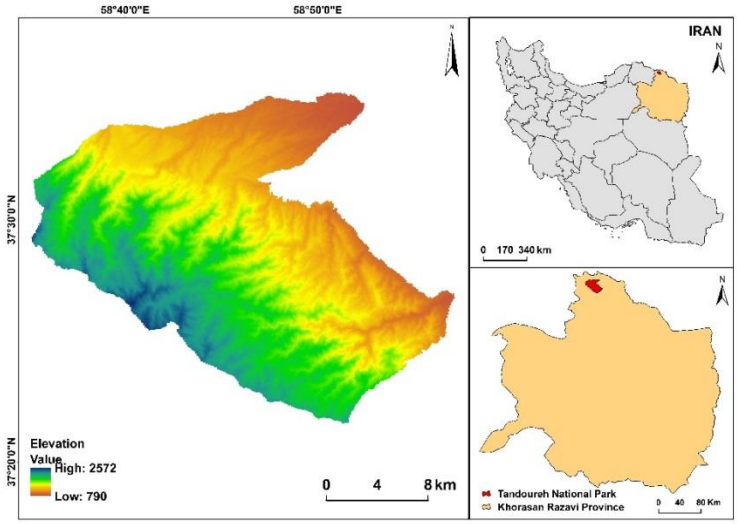


Fig 1. Location of Tandoureh National Park within Iran and Khorasan Razavi Province

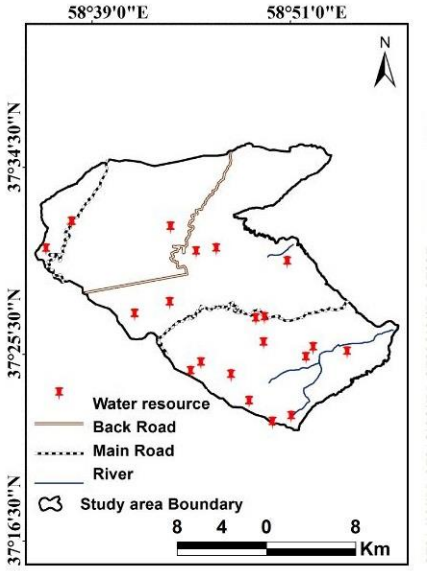


Fig 2. Location of watercourses, rivers and roads in the study area

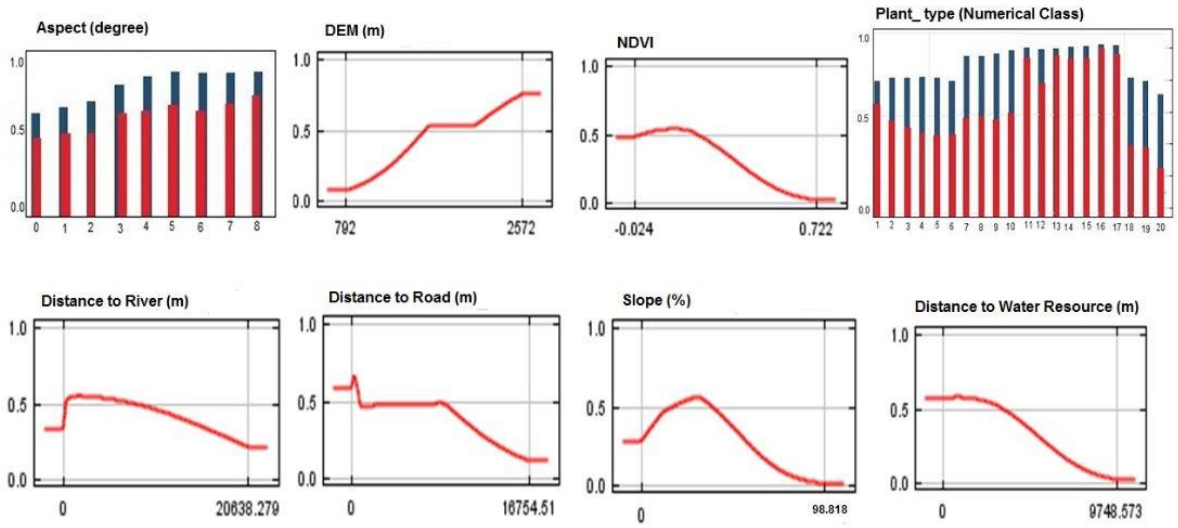


Fig 3. Response diagrams of wild sheep to environmental variables in Tandoureh National Park

Table 1. ID Code and the plant types present in the study area

ID	Scientific name
1	*Agropyron Spp + Paspalum bulbosa + Festuca orientalis*
2	*Crotalaria persica* (*Ononis cristata +Astragalus* spp)+ *Artemisia aubesens+Festuca orientalis+Centaurea micrantha+Lupinus noctiflorus+Juniperus pseudosabina*
3	*Festuca orientalis + Artemisia arborescens + Crotalaria persica* (*Ononis cristata + Astragalus spp*)+ *Juniperus pseudosabina*
4	*Pteropyrum gracilis* (*Festuca orientalis+ Stipes barbata*)+ *Cousinia spp*
5	*Pteropyrum gracilis* (*Agropyron trichophorum + Festuca orientalis + Stipes barbata*)+ *Artemisia aubesens + Astragalus spp + Juniperus pseudosabina*
6	*Artemisia aubesens + Poa bulbosa*
7	*Astragalus spp + Poa bulbosa + Artemisia aubesens*
8	*Agropyron trichophorum+ Poa bulbosa + Artemisia aubesens*
9	*Juniperus pseudosabina*
10	*Artemisia kopetdaghensis + Euphorbia cenomanii + Centaurea spp*
11	*Artemisia kopetdaghensis + Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Agropyron trichophorum*)+ *Centaurea spp + Amorpha spp.*
12	*Anabasis spp + Artemisia kopetdaghensis + Astragalus spp*
13	*Artemisia kopetdaghensis + Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Agropyron.spp*)+ *Juniperus pseudosabina + Amorpha spp. + Convolvulus oxyphyllus*
14	*Artemisia kopetdaghensis + Astragalus spp + Centaurea spp + Juniperus pseudosabina + Centaurea micrantha + Amorpha spp + Lupinus noctiflorus*
15	*Artemisia kopetdaghensis + Poa bulbosa*
16	*Artemisia kopetdaghensis + Festuca orientalis + Poa bulbosa + Juniperus pseudosabina*
17	*Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Festuca orientalis*)+ *Artemisia aubesens +Crotalaria persica* (*Ononis cristata +Astragalus spp.+ Acantholimon spp*)
18	*Acantholimon spp + Astragalus spp*
19	*Hordeum persicum*
20	Dry Farming+ *Hordeum persicum*

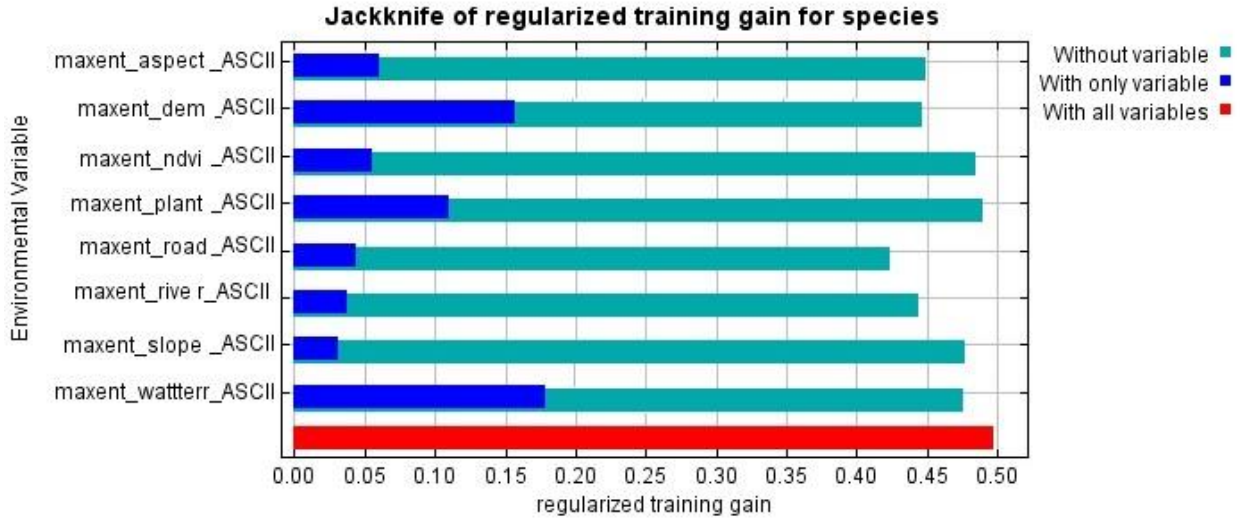


Fig 4. The most influential parameters on the spatial distribution of wild sheep in the study area based on the jackknife test

Table 2. Importance and contribution of environmental parameters predicting habitat conditions of the target species

Environmental_variable	Contribution (%)	Importance (%)
Elevation	42.3	39.8
Distance to water resources	17.2	14.9
Vegetation Type	14.1	17.7
Distance to river	7.4	5.8
aspect	9.2	8.6
Distance to main access route	4.2	5.8
Vegetation density	2.9	3.2
Slope	0.7	1.9

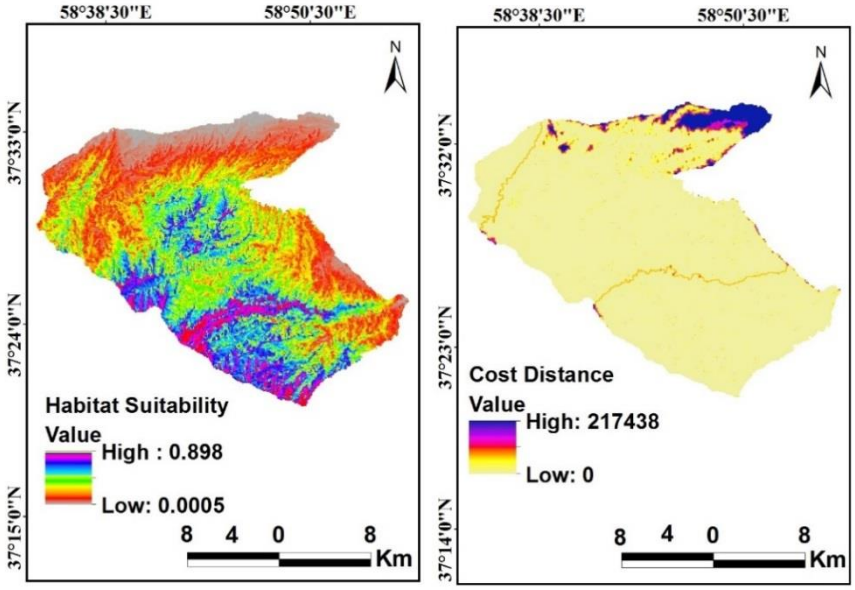


Fig 5. Map of suitability and quality of living conditions for wild sheep in the study area (left) and map of the cost of access to water resources (right)

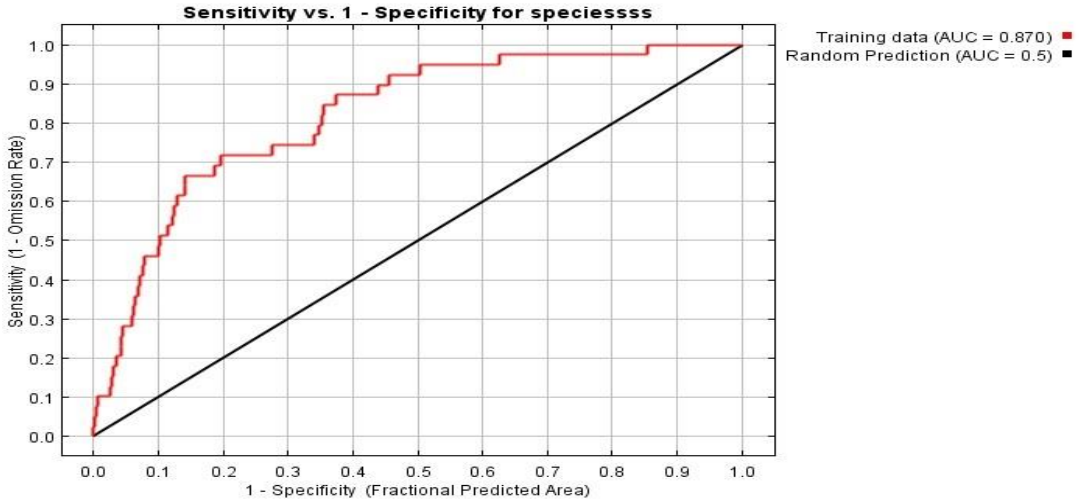


Fig 6. Relative Operating Characteristic (ROC) and AUC for the target species

Table 3. Correlation results between the cost map of access to water resources and the habitat suitability map

	Accessibility Costs to water resources	Habitat suitability of wild sheep
Accessibility Costs to water resources	1	-0.069**
Habitat suitability	-0.069**	1

**Correlation is significant at the 0.01 level (two-tailed)

مقاله پژوهشی، سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۴۳ تا ۶۲

نشریه مدیریت بیابان
www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

ارزیابی اثر هزینهٔ دسترسی به منابع آبی بر شرایط زیستی قوچ و میش (*Ovis orientalis arkali*) پارک ملی تندوره

صدیقه عبداللهی [۱]، مریم مروتی [۲*]، مهدی جمعه پور [۳]

۱. پژوهشگر پسا دکتری، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
۳. کارشناس نظارت و پایش ادارهٔ حفاظت محیط زیست، بردسکن،خراسان رضوی، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: mymorovati@ardakan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

10.22034/jdmal.2025.2050954.1496

چکیده

این مطالعه تأثیر هزینه‌های دسترسی به منابع آبی بر شرایط زیستی قوچ وحشی (*Ovis orientalis* arkali) را در پارک ملی تندوره، واقع در استان خراسان رضوی بررسی می‌کند. داده‌های مربوط به حضور این گونه در طول سال ۱۴۰۳ از طریق مطالعات میدانی و مشاهدات مستقیم جمع‌آوری شده‌اند. برای شناسایی مناطق دارای تناسب زیستگاهی بالا، از مدل‌سازی بی‌نظمی بیشینه استفاده شد، در حالی‌که ابزار Cost Distance در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای تحلیل هزینه دسترسی به منابع آبی به کار رفت. این تحلیل عواملی مانند شیب زمین و جاده‌ها را به عنوان موانع محیط زیستی برای دسترسی به آب لحاظ کرد. نتایج مطالعه نشان داد که پراکنش این گونه به‌شدت تحت تأثیر ارتفاع، نزدیکی به منابع آبی و پوشش گیاهی است. نقشه تناسب زیستگاه نشان دادند که حدود ۱۵/۰۹ درصد از منطقه مورد مطالعه، معادل ۵۳۸۴/۷۱ هکتار، از تناسب زیستگاهی بالا برخوردار است و مناسب‌ترین زیستگاه‌ها در نواحی جنوبی و غربی پارک قرار دارند. تحلیل آماری ضریب همبستگی پیرسون نیز نشان‌دهنده رابطه منفی و معناداری ($r = -0.069$) میان هزینه‌های دسترسی به آب و کیفیت زیستگاه بود. به‌عبارت دیگر، با افزایش سهولت دسترسی به منابع آبی، کیفیت زیستگاه به‌صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که راهبردهای مدیریتی مؤثر، مانند توزیع بهینه منابع آب، برای حفاظت از زیستگاه‌های حساس و بهبود شرایط زیستی قوچ و میش ضروری هستند. این مطالعه نقش حیاتی منابع آبی را در کیفیت زیستگاه، به‌ویژه در زیست‌بوم‌های نیمه‌خشک، برجسته می‌کند. اولویت اقدامات مدیریتی در پارک ملی تندوره باید بهبود دسترسی به آب و حفاظت از زیستگاه‌های با کیفیت بالا باشد تا بقای جمعیت گونه تضمین شود. ایجاد نقاط آب‌رسانی جدید در مکان‌های راهبردی برای کاهش هزینه‌های دسترسی حیاتی است. همچنین، حفاظت از منابع آبی موجود و رسیدگی به موانع محیطی مانند شیب‌های تند و پوشش گیاهی پراکنده، می‌تواند شرایط زیستگاه را به‌طور چشم‌گیری بهبود دهد.

کلمات کلیدی: گونه حیات وحش، مدل سازی بی نظمی بیشینه، موانع محیطی، کیفیت زیستگاه

استناد به این مقاله

عبداللهی, صدیقه، مروتی, مریم و جمعه‌پور, مهدی. (۱۴۰۴). ارزیابی اثر هزینهٔ دسترسی به منابع آبی بر شرایط زیستی قوچ و میش (*Ovis orientalis arkali*) پارک ملی تندوره. *مدیریت بیابان*، ۱۳(۱)، ۶۲-۴۳. DOI: 10.22034/jdmal.2025.2050954.1496

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

زیستگاه‌های طبیعی به‌عنوان یکی از عوامل مرتبط با حفاظت از تنوع زیستی نقشی اساسی در پایداری بوم‌نظام‌های جهان دارد (۱). ارتباط متقابل میان گونه‌های جانوری و عناصر محیطی در زیستگاه، عامل اصلی تضمین پایداری حیات در طبیعت است (۲). دسترس‌پذیری منابع آبی یکی از عوامل محیطی کلیدی است که در بسیاری از زیستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران تاثیر بسزایی دارد (۳). گونه‌های حیات‌وحش به منابع آبی نیاز دارند تا بتوانند نیازهای فیزیولوژیک و زیستی خود را تامین کنند. در عین حال، عواملی همچون پستی و بلندی، نوع پوشش گیاهی و فاصله از منابع آبی می‌توانند دسترسی به این منابع را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین درک ارتباط و تحلیل آن می‌تواند ابزار قدرتمندی برای مدیریت زیستگاه‌ها و حفاظت از گونه‌های در معرض تهدید فراهم کند (۴).

گونه‌های حیات‌وحش به‌طور مداوم بین منابع غذایی و منابع آبی جابه‌جا می‌شوند و این حرکت‌ها می‌تواند تحت تأثیر هزینه‌های دسترسی به منابع آبی قرار گیرد (۵). هزینه دسترسی به منابع آبی می‌تواند شامل عواملی مانند مسافت، شیب زمین، نوع پوشش گیاهی و عوامل انسانی مانند حضور جاده‌ها یا فعالیت‌های کشاورزی باشد (۶). هرچه هزینه دسترسی بیشتر باشد، توانایی گونه‌ها برای دسترسی به آب کاهش یافته و در نتیجه، کیفیت زیستگاه آنها افت می‌کند. تحلیل این رابطه می‌تواند به شناسایی مناطق با محدودیت‌های شدید و ارائه راهکارهایی برای مدیریت بهینه منابع آبی کمک کند (۷).

برای تحلیل پراکنش گونه‌ها و کیفیت زیستگاه استفاده از مدل‌های مکانی و پیش‌بینی‌کننده ابزاری اساسی است (۸). مدل بی‌نظمی بیشینه یکی از شناخته‌شده‌ترین مدل‌های پیش‌بینی زیستگاه است که بر اساس داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی عمل می‌کند. این مدل با بهره‌گیری از متغیرهای محیطی و نقاط حضور گونه، مطلوبیت زیستگاه گونه را در مقیاس مکانی ارزیابی کرده و مناطق با احتمال حضور بالای گونه را شناسایی می‌کند (۹).

در کنار مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، تحلیل هزینهٔ دسترسی به منابع زیستگاهی نظیر آب، امکان بررسی دقیق‌تر تأثیر عوامل محیطی بر کیفیت زیستگاه را فراهم می‌کند. این تحلیل با در نظر گرفتن عواملی مانند شیب، نوع پوشش زمین و دیگر ویژگی‌های محیطی، هزینه واقعی دسترسی به منابع حیاتی را برآورد می‌کند و نقش این هزینه‌ها را در پراکنش گونه‌ها و کیفیت زیستگاه روشن می‌سازد. چنین رویکردی می‌تواند درک بهتری از تأثیر دسترسی به منابع زیستگاهی بر پویایی و مطلوبیت زیستگاه ارائه دهد و ابزاری عملی برای مدیریت زیستگاه‌های حساس فراهم کند (۱۰).

بررسی‌های پیشین در زمینه کیفیت زیستگاه و منابع آبی به‌طور کلی بر اهمیت ارتباط بین منابع آب و حضور گونه‌ها تأکید داشته‌اند. در بررسی ارتباط میان منابع آبی، تنوع زیستی و سلامت بوم‌نظام بررسی شده است و مشخص شده‌است که کاهش منابع آبی می‌تواند موجب تخریب زیستگاه و کاهش جمعیت گونه‌ها شود (۱۱). حضور دام‌های اهلی در مناطق حیات‌وحش می‌تواند با رقابت بر سر منابع آبی، موجب کاهش کیفیت زیستگاه‌های طبیعی شود (۱۳،۱۲). در ایران، تأثیر عواملی محیطی نظیر فاصله از منابع آبی بر مطلوبیت زیستگاه حیات‌وحش پرداخته‌اند (۱۴،۱۵). این پژوهش‌ها درک خوبی از تأثیر منابع آبی بر زیستگاه‌های طبیعی فراهم کرده‌اند، اما در بیشتر آن‌ها، تنها از مدل‌های مطلوبیت زیستگاه برای بررسی این ارتباط استفاده شده است.

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تأثیر منابع آبی بر کیفیت زیستگاه قوچ و میش (*Ovis orientalis* arkali) در پارک ملی تندوره از ترکیب دو مدل تحلیل هزینه دسترسی[1] و مدل مطلوبیت زیستگاه بهره گرفته است. در حالی که پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر ارزیابی مطلوبیت زیستگاه بر اساس ویژگی‌های محیطی تمرکز داشته‌اند، این پژوهش با مدل‌سازی هزینه‌های واقعی دسترسی به منابع آبی، تأثیر عواملی مانند شیب زمین و جاده‌ها بر پراکنش گونه و کیفیت زیستگاه را به‌طور دقیق‌تری بررسی کرده

[1] Cost Distance

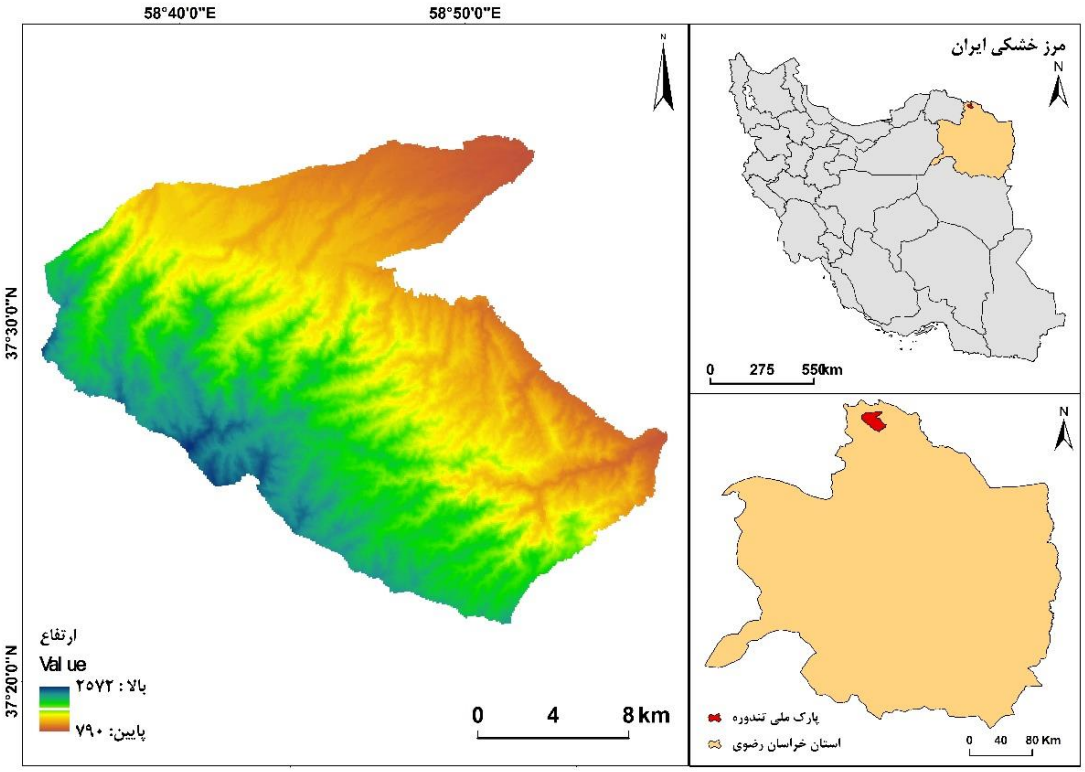
است. ترکیب این دو تحلیل، نه‌تنها ارتباط میان دسترسی به منابع حیاتی و کیفیت زیستگاه را روشن‌تر می‌کند، بلکه شناخت بهتری از محدودیت‌های زیستگاهی فراهم آورده و به مدیران محیط‌زیست در تدوین برنامه‌های حفاظتی مؤثرتر کمک می‌کند.

■ مواد و روش‌ها

عرصهٔ تحقیقاتی

تندوره که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارک‌های ملی کشور در بخش شمال شرقی ایران و در استان خراسان رضوی قراردارد (شکل ۱). این پارک با مساحت ۳۵۶۵۸ha و قرارگیری در نزدیکی مرز ایران و ترکمنستان، زیستگاهی منحصربه‌فرد برای گونه‌های مختلف همچون پلنگ (*panthera pardus* saxicolor)، کَل و بز (*Capra aegagrus* aegagrus) و قوچ و میش *Ovis orientalis* arkali) شناخته می‌شود. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی امبرژه، این پارک شامل اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و در ارتفاعات، اقلیم سرد کوهستانی است. این تنوع اقلیمی، شرایط مناسبی را برای حضور گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری فراهم کرد است. میانگین دمای سالانه و بارش منطقه به‌ترتیب ۱۴/۳°C و ۳۶۴/۸۸mm است. رطوبت نسبی سالانه در این منطقه نیز به‌طور میانگین ۵۵٪ گزارش شده است (۱۶).

پارک ملی تندوره از ویژگی‌های توپوگرافی متنوعی برخوردار است که کوهستان‌های مرتفع، دره‌های عمیق، و دشت‌های وسیع در بر می‌گیرد. ارتفاع پارک ملی تندوره از ۷۹۰m تا ۲۵۷۲m از سطح دریا تغییر می‌کند و تنوع ارتفاعی نقش زیادی در شکل‌گیری زیستگاه‌های مختلف ایفا می‌کند. با وجود دو رودخانه دائمی و حدود ۲۰ آبشخور طبیعی و مصنوعی، این پارک مکانی کلیدی برای بررسی تعامل گونه‌های جانوری با منابع آب موجود شناخته می‌شود (۱۷).



شکل ۱. مکان پارک ملی تندوره در ایران و استان خراسان رضوی

روش کار

ارزیابی مطلوبیت زیستگاه

مشاهده نقاط حضور گونهٔ هدف در قلمروی مورد نظر با استفاده از پایش میدانی، مشاهد مستقیم و شناسایی نشانه‌های زیستی مانند سرگین، ردپا، و محل‌های استراحت قوچ و میش (*Ovis orientalis*) در طول سال ۱۴۰۳ جمع‌آوری شدند. این نقاط حضور، که تعداد آن‌ها به ۵۰ مورد می‌رسید، با بهره‌گیری از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شدند. برای جلوگیری از همبستگی مکانی و کاهش سوگیری نمونه‌برداری، حداقل فاصله بین نقاط حضور m ۵۰۰ در نظر گرفته شد. این مقدار با توجه به محدوده حرکتی قوچ و میش و بر پایهٔبررسی‌های پیشین (۱۸،۱۹،۲۰) درباره تأثیر فاصله بر دقت مدل‌سازی زیستگاه تعیین شد. انتخاب این فاصله موجب شد که وابستگی فضایی بین نقاط کاهش یابد و دقت پیش‌بینی پراکنش گونه افزایش یابد. برای کنترل بیشتر این اثر، داده‌های حضور با استفاده از روش Rarefying Presence Data در محیط ENMTools جدا شدند.

در مرحله بعد، با مرور منابع علمی پیشین (۲۱، ۲۲، ۲۳)۱۱ متغیر محیطی شامل: جهت جغرافیایی، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، فاصله از جاده اصلی، فاصله از جاده فرعی، فاصله از منابع آب موجود، تراکم و نوع پوشش گیاهی، تنوع تیپ پوشش گیاهی، فاصله ازمناطق صخره‌ای که زیستگاه قوچ و میش (*O. orientalis*) را به‌صورت بالقوه زیر تأثیر قرار می‌دهند مورد شناسایی قرارگرفت. مدل رقومی ارتفاع m ۳۰ دریافت شده از پایگاه داده‌های جهانی SRTM برای تهیه لایه‌های شیب و جهت استفاده شد.

نقشه تیپ و تنوع تیپ پوشش گیاهی از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور دریافت شد ونقشه‌های رودخانه‌ها، آبشخورها، جاده‌های اصلی و فرعی و فاصله از مناطق صخره‌ای از اداره کل محیط‌زیست استان خراسان رضوی دریافت شد. تمامی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 و برمبنای مدل رقومی ارتفاع در اندازه سلول m ۳۰ آماده شد. همچنین نقشه انبوهی پوشش گیاهی منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ مربوط به ماه ژوئن ۲۰۲۴ استفاده بر پایهٔ شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش محاسبه شد. مقدار همبستگی میان این متغیرها با استفاده از نرم‌افزار ENMtools بررسی شد و لایه‌هایی که همبستگی بیش از ۰/۸ داشتند، به منظور جلوگیری از هم‌خطی، از مطالعه حذف شدند. در نهایت، تنها متغیرهای با همبستگی پایین‌تر برای مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم بی‌نظمی بیشینه انتخاب شدند (۲۴). در جدول ۱ کد و نام تیپ‌های گیاهی منطقه مورد بررسی آورده شده است.

در نهایت، هشت متغیر کلیدی جهت جغرافیایی، فاصله از رودخانه، ارتفاع، شیب، فاصله از جاده اصلی، فاصله از منابع آب موجود، تراکم و نوع پوشش گیاهی برای مدل-سازی زیستگاه گونه هدف تعیین شد.

در مرحله مدل‌سازی، داده‌های حضور به طور تصادفی به دو مجموعه داده تقسیم شدند: ۷۰٪ به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰٪ برای آزمون مدل. فرآیند ارزیابی مدل پس از ۱۵ مرتبه و اجرای مدل پس از ۱۰،۰۰۰ مرتبه انجام‌شد. در پایان، دقت مدل با استفاده از سطح زیر نمودار[1] ارزیابی شد. در صورتی که مقدار سطح زیر نمودار برابر یا کمتر از ۰/۵ باشد، مدل تفاوتی با پیش‌بینی تصادفی ندارد؛ اما هرچه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر پیش‌بینی مدل است (۲۵).

ارزیابی هزینه دسترسی به منابع آبی

برای ارزیابی هزینه دسترسی به منابع آبی در پارک ملی تندوره، از تحلیل Cost Distance در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. در این روش، ابتدا داده‌های مکانی مورد نیاز شامل پراکنش آبشخورها (شکل ۲)، نقشه شیب و نقشه جاده‌ها تهیه شد. لایه مدل رقومی ارتفاع[2] پارک ملی تندوره به‌عنوان، مبنای استخراج درصد شیب محاسبه و بازسازی شد. همچنین، نقشهٔ جاده‌های موجود در منطقه به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده دسترسی تهیه شد.

[1] Area Under the Curve (AUC)
[2] Digital Elevation Model (DEM)

جدول ۱. کد و نام تیپ‌های گیاهی موجود در محدوده مورد مطالعه

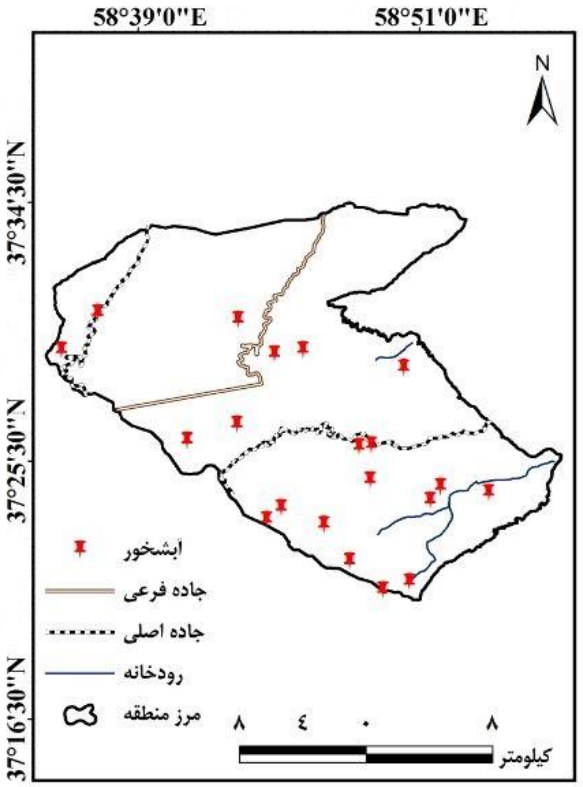
کد	نام علمی	نام فارسی
۱	*Agropyron Spp + Paspalum bulbosa + Festuca orientalis*	علف گندمی، چمن پیازدار،علف پشمکی
۲	*Crotalaria persica* (*Ononis cristata +Astragalus* spp)+ *Artemisia aubesens+Festuca orientalis+Centaurea micrantha+Lupinus noctiflorus+Juniperus pseudosabina*	نخود شنی، خارشتر تاجدار، گونه‌های گون،درمنه، چمن پیازدار، کنگر گل کوچک، شب‌گل لوپینوس، ارس ترکستانی
۳	*Festuca orientalis + Artemisia arborescens + Crotalaria persica* (*Ononis cristata + Astragalus spp*)+ *Juniperus pseudosabina*	چمن پیازدار، درمنه، نخود شنی، خارشتر، گونه‌های گون، ارس ترکستانی
۴	*Pteropyrum gracilis* (*Festuca orientalis+ Stipes barbata*)+ *Cousinia spp*	پرند، چمن پیازدار، علف سوزنی ریش‌دار، گونه‌های کاسنی
۵	*Pteropyrum gracilis* (*Agropyron trichophorum + Festuca orientalis + Stipes barbata*)+ *Artemisia aubesens + Astragalus spp + Juniperus pseudosabina*	پرند، علف گندمی، چمن پیازدار، علف سوزنی ریش‌دار، درمنه، گونه‌های گون، ارس ترکستانی
۶	*Artemisia aubesens + Poa bulbosa*	درمنه، چمن پیازدار
۷	*Astragalus spp + Poa bulbosa + Artemisia aubesens*	گونه های گون، چمن پیازدار، درمنه
۸	*Agropyron trichophorum+ Poa bulbosa + Artemisia aubesens*	علف گندمی، چمن پیازدار، درمنه
۹	*Juniperus pseudosabina*	ارس ترکستانی
۱۰	*Artemisia kopetdaghensis + Euphorbia cenomanii + Centaurea spp*	درمنه کپه‌داغی، فرفیون، گونه‌های کنگر
۱۱	*Artemisia kopetdaghensis + Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Agropyron trichophorum*)+ *Centaurea spp + Amorpha spp.*	درمنه کپه‌داغی، پرند، چمن پیازدار، گونه‌های علف گندمی، گونه‌های کنگر، گیاه نیلی
۱۲	*Anabasis spp + Artemisia kopetdaghensis + Astragalus spp*	گونه‌های اسفناجیان، درمنه کپه‌داغی، گونه‌های گون
۱۳	*Artemisia kopetdaghensis + Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Agropyron.spp*)+ *Juniperus pseudosabina + Amorpha spp. + Convolvulus oxyphyllus*	درمنه کپه‌داغی، پرند، چمن پیازدار، ارس ترکستانی، گیاه نیلی، پیچک
۱۴	*Artemisia kopetdaghensis + Astragalus spp + Centaurea spp + Juniperus pseudosabina + Centaurea micrantha + Amorpha spp + Lupinus noctiflorus*	درمنه کپه‌داغی، گونه‌های گون، گونه‌های کنگر، ارس ترکستانی، کنگر گل کوچک، گیاه نیلی، شب گل لیپونیوس
۱۵	*Artemisia kopetdaghensis + Poa bulbosa*	درمنه کپه‌داغی، چمن پیازدار
۱۶	*Artemisia kopetdaghensis + Festuca orientalis + Poa bulbosa + Juniperus pseudosabina*	درمنه کپه‌داغی، علف پشمکی، چمن پیازدار، ارس ترکستانی
۱۷	*Pteropyrum gracilis* (*Poa bulbosa + Festuca orientalis*)+ *Artemisia aubesens +Crotalaria persica* (*Ononis cristata +Astragalus spp.+ Acantholimon spp*)	پرند، چمن پیازدار، علف پشمکی، درمنه، نخود شنی،خارشتر تاجدار، گونه‌های گون، کلاه میرحسن
۱۸	*Acantholimon spp + Astragalus spp*	کلاه میرحسن، گونه‌های گون
۱۹	*Hordeum persicum*	جو وحشی
۲۰	Dry Farming+ *Hordeum persicum*	کشت دیم، جو وحشی

در ادامه، لایه پراکنش آبشخورها به‌عنوان لایه منبع[1] به تابع Cost Distance معرفی شد تا مبنای محاسبهٔ هزینه دسترسی قرار گیرد. لایه‌های شیب و جاده‌ها به دلیل ایجاد مقاومت محیطی برای گونه‌ها، به صورت لایه هزینه[2] تعریف شدند.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، تابع Cost Distance از مجموعه ابزارهای Spatial Analyst Tools در نرم‌افزار ArcGISاجرا شد. این ابزار با استفاده از لایه‌های منبع و هزینه، هزینه مؤثر دسترسی به منابع آبی را محاسبه کرد. خروجی این تحلیل، نقشه‌ای بود که برای هر واحد شبکه، هزینه دسترسی به نزدیک‌ترین منبع آبی را با در نظر گرفتن مسافت و مقاومت محیطی مشخص می‌کند.

این نقشه، گامی مهم در درک نحوه تأثیر شیب و جاده‌ها بر دسترسی به منابع آبی منطقه است و به‌عنوان یکی از لایه‌های کلیدی در ارزیابی زیستگاه گونه‌های حیات‌وحش استفاده شد.

[1] Source Layer
[2] Cost Layer



شکل ۲. موقعیت مکانی آبشخورها، رودخانه‌ها و جاده‌ها در قلمروی مورد بررسی

در پایان فرآیند تحلیل، برای مقایسه و تطبیق مقادیر دو نقشه هزینه دسترسی و کیفیت زیستگاه، از تابع Extract Values to Points استفاده شد. این ابزار مقادیر هر پیکسل در نقشه‌های هزینه دسترسی و کیفیت زیستگاه را برای نقاط مشخص‌شده استخراج کرده و آن‌ها را به‌طور متناظر در یک لایه جدید ذخیره کرد. سپس با استفاده از تابع Export Table، جدول اطلاعات توصیفی نقشه جدید استخراج‌شده به نرم‌افزار SPSS وارد شد.

در نهایت، برای ارزیابی ارتباط بین کیفیت زیستگاه و هزینه دسترسی به منابع آبی، از همبستگی پیرسون استفاده شد. این تحلیل همبستگی، میزان وابستگی خطی بین مقادیر دو متغیر را محاسبه کرد و نتایج به‌دست‌آمده به‌منظور بررسی اثرات دسترسی به منابع آبی بر کیفیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفت.

■ نتایج

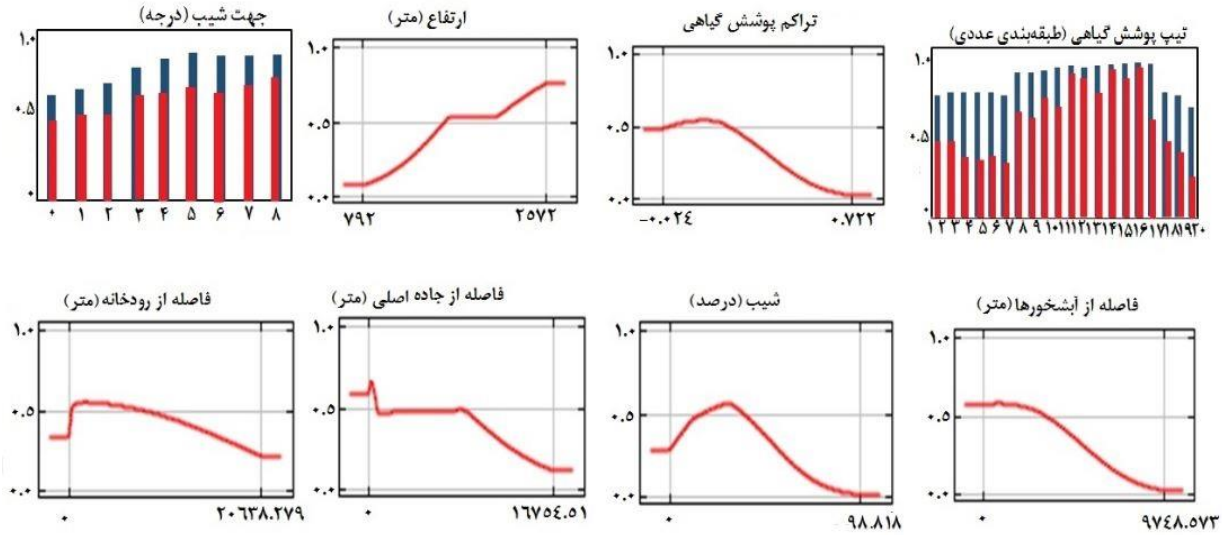
نمودارهای پاسخ گونه ابزار مهمی برای تحلیل چگونگی تأثیر متغیرهای محیطی بر توزیع گونه‌ها و تناسب زیستگاه‌ها هستند. این نمودارها روابط بین هر متغیر و احتمال حضور گونه را شفاف‌تر می‌سازند (شکل ۳). بر اساس این نمودارها، احتمال وجود قوچ و میش (*Ovis orientalis*) در ارتفاعات پایین نسبت به ارتفاعات بالاتر کمتر است، افزایش ارتفاع تا حدود ۲۵۰۰m، احتمال وجود این گونه در زیستگاه را افزایش می‌دهد. زمین‌های با شیب کم نیز جذابیت کمتری برای گونه نشان می‌دهند، در حالی که افزایش شیب تا یک مقدار معین، احتمال وجود گونه هدف را به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داده و پس از آن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، جهت شیب تأثیر اندکی بر پراکنش این گونه دارد، به‌طوری‌که احتمال حضور در تمامی جهات تقریباً مشابه است. تراکم پوشش گیاهی در حد معینی می‌تواند به افزایش احتمال حضور این گونه کمک کند، اما با افزایش بیش از حد تراکم، این احتمال کاهش می‌یابد. فاصله از جاده تأثیر کمی بر پراکنش گونه‌ها دارد، به‌گونه‌ای‌که تغییرات قابل‌توجهی در احتمال حضور گونه تا فاصله‌ای معین مشاهده نمی‌شود. این ممکن است به دلیل فراوانی منابع آبی در نزدیکی جاده‌ها نسبت داده شود ، که موجب دسترسی راحت‌تر گونه‌ها به آب و در نتیجه

افزایش ثبت نقاط حضور در این نواحی شده است، حتی اگر این نزدیکی به جاده‌ها به‌طور مستقیم تأثیر زیادی بر پراکنش گونه‌ها نداشته باشد. بدین ترتیب، فاصله از رودها و منابع آب موجود و یکی از پارامترهای کلیدی تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که افزایش فاصله از این منابع به طور چشمگیری تناسب زیستگاه را کاهش می‌دهد و در فواصل بیشتر از ۵۰۰۰m این تناسب به کمترین میزان خود می‌رسد.

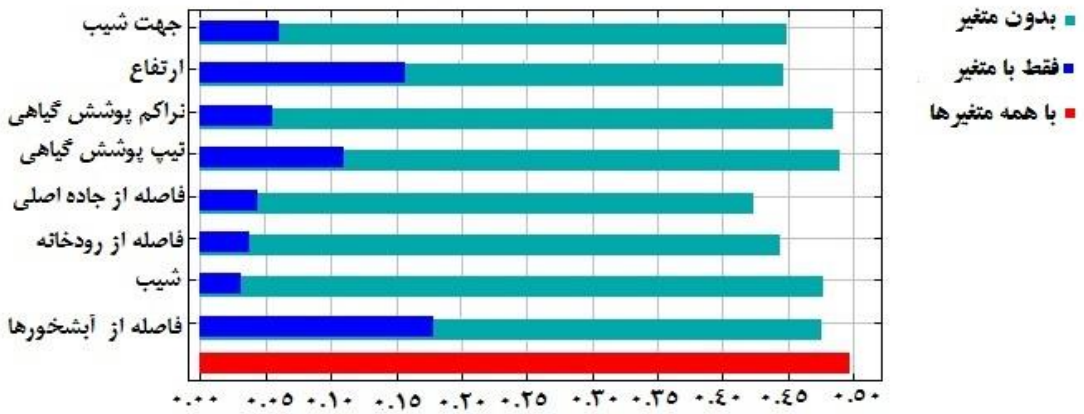
همچنین، افزایش تنوع تیپ پوشش گیاهی تا حد مشخصی تناسب زیستگاه را افزایش داده و پس از آن ثابت می‌شود.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، متغیرهای ارتفاع، فاصله از منابع آب موجود و رودها، نوع پوشش گیاهی، تاثیرگذارترین متغیرها بر توزیع مکانی گونه مورد بررسی بودند (شکل ۴).

مشارکت و اهمیت متغیرهای تاثیرگذار بر کیفیت زیستگاه گونه هدف در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج میزان مشارکت ارتفاع در پیش‌بینی مدل ۴۲/۳٪ و میزان اهمیت تأثیر آن ۳۹/۸٪ است. این نتایج، نمودارهای پاسخ گونه نسبت به متغیرهای محیطی را تایید می‌کند. به‌طوری‌که افزایش تناسب و کیفیت زیستگاه گونه هدف با افزایش ارتفاع قابل ملاحظه است.



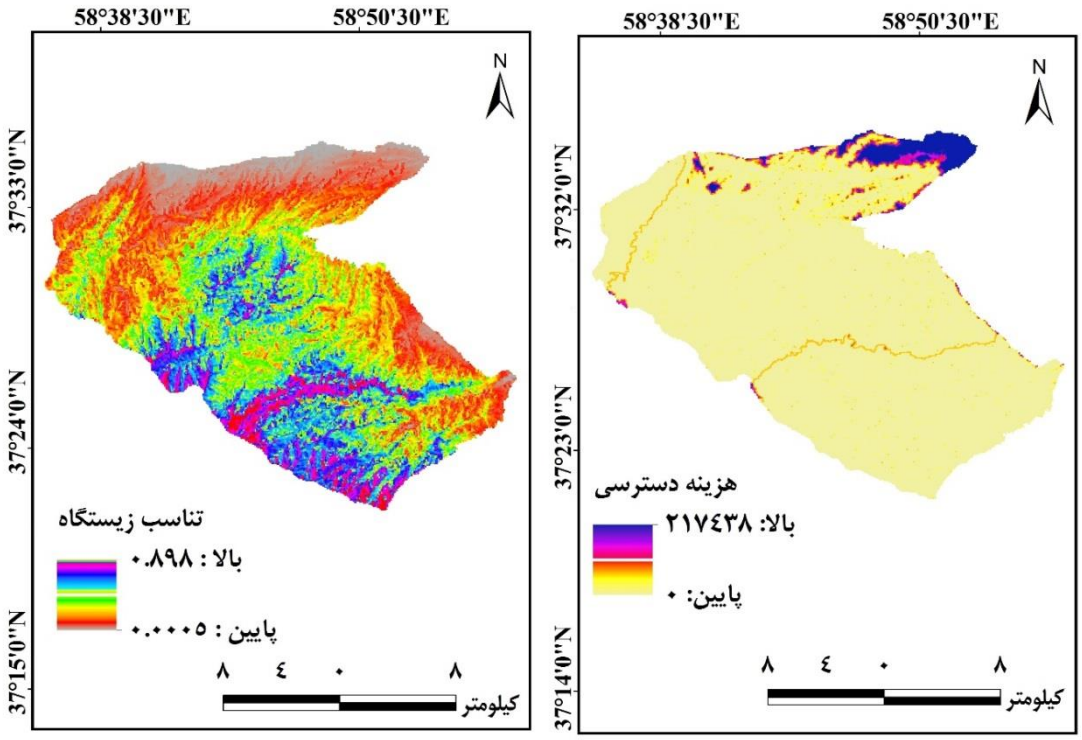
شکل ۳. نمودارهای پاسخ قوچ و میش به متغیرهای محیطی در پارک ملی تندوره



شکل ۴. تاثیرگذارترین پارامترها بر پراکنش مکانی قوچ و میش در قلمروی مطالعاتی بر اساس آزمون جک‌نایف

جدول ۲. میزان اهمیت و مشارکت پارامترهای محیطی پیش‌بینی‌کنندهٔ شرایط زیستگاه گونه هدف

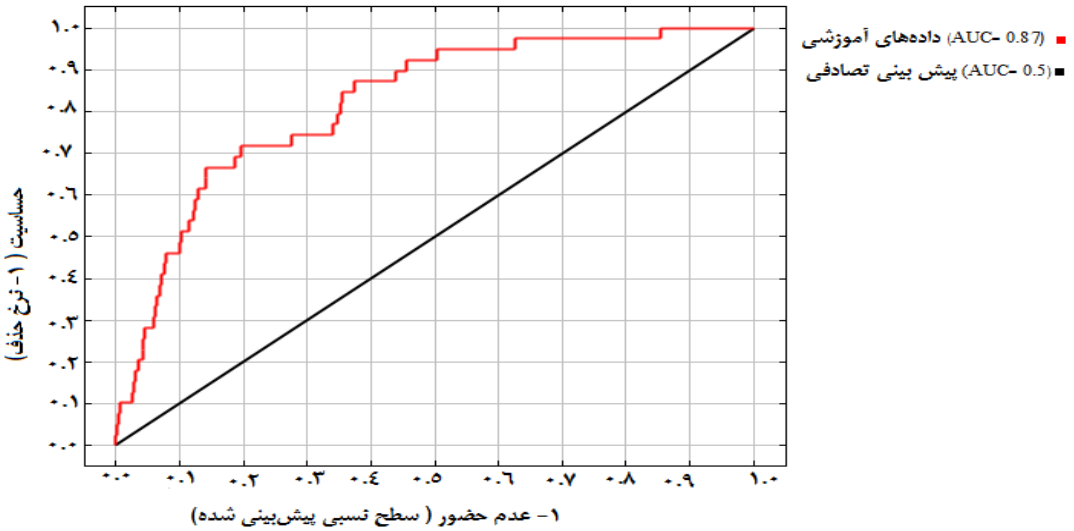
متغیر محیطی	درصد مشارکت	میزان اهمیت
ارتفاع	۴۲/۳	۳۹/۸
فاصله از منابع آب موجود	۱۷/۲	۱۴/۹
نوع پوشش گیاهی	۱۴/۱	۱۷/۷
فاصله از رود	۷/۴۱	۵/۸
جهت	۹/۲	۸/۶
فاصله از مسیر دسترسی اصلی	۴/۲	۵/۸
تراکم گیاهان	۲/۹	۳/۲
شیب	۰/۷	۱/۹



شکل۵. نقشه تناسب و کیفیت شرایط زیستی قوچ و میش در قلمروی مطالعاتی(چپ) و نقشه هزینه دسترسی به منابع آبی (راست)

نقشهٔ تناسب و کیفیت زیستگاه نشان داد که مناطق جنوبی و غربی منطقهٔ مطالعاتی دارای بیشترین مطلوبیت برای گونهٔ قوچ و میش (*O. orientalis*) هستند (شکل ۵). بر اساس نتایج، مناطق دارای مطلوبیت بالا بیانگر مناطقی هستند که احتمال حضور گونه بسیار زیاد است و مناطق دارای مطلوبیت کم و بدون مطلوبیت، مناطقی را نشان می‌دهند که احتمال حضور گونه بسیار ناچیز است. مساحت زیستگاه‌های مناسب گونهٔ هدف در قلمروی مورد مطالعه ۵۳۸۴/۷۱ha (۱۵٪/۰۹) محدوده مطالعاتی) است.

نتایج ارزیابی کارایی مدل بر اساس سطح زیرِ نمودار (AUC) نشان داد که مدل به‌کاررفته، از دقت و کارایی مناسبی برای پیش‌بینی مکان پراکندگی قوچ و میش (*O. orientalis*) در محدوده مورد مطالعه برخوردار است. مقدار سطح زیرِ نمودار برای داده‌های آموزشی ۰/۸۷ بیانگر کارایی بسیار خوب مدل در پیش‌بینی پراکنش قوچ و میش در قلمروی مطالعاتی است (شکل ۶).



شکل ۶. نمودار مشخصه عملکرد و سطح زیر منحنی برای گونه هدف

جدول ۳. نتایج همبستگی بین نقشه هزینه دسترسی به منابع آبی و نقشه مطلوبیت زیستگاه

ردیف	هزینه دسترس‌پذیری منابع آب	تناسب زیستگاه قو و میش
هزینه دسترسی به منابع آب	۱	-۰/۰۶۹**
تناسب زیستگاه	-۰/۰۶۹**	۱

**معنی داری در سطح ۰/۰۱

بر اساس نقشه هزینه دسترسی به منابع آبی، مناطق شمال شرقی دارای هزینه دسترس‌پذیری زیادی برای گونه هدف در محدوده مورد مطالعه است که با ارزیابی بصری دو نقشه مطلوبیت زیستگاه و نقشه هزینه دسترسی می‌توان دریافت که این مناطق دارای کمترین تناسب و کیفیت زیستگاه برای گونه هدف است. مکان‌هایی که هم تناسب و کیفیت زیستگاه زیادی دارند و هم هزینه دسترسی به منابع آبی در آن‌ها کم است، مطلوب‌ترین و مناسب‌ترین زیستگاه‌ها برای گونه هدف هستند. میزان همبستگی ۰/۰۶۹- نشان می‌دهد که ارتباط منفی و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بین کیفیت زیستگاه و هزینه دسترسی به منابع آب وجود دارد. این بدین معناست که با افزایش دسترسی آسان‌تر به آب، کیفیت زیستگاه بهبود می‌یابد (جدول ۳).

■ بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و شناسایی زیستگاه‌های اولویت‌دار برای حفاظت از تنوع زیستی، ابزاری حیاتی در سنجش اثربخشی راهبردهای حفاظتی است (۲۶). پراکندگی مکانی قوچ و میش (*Ovis orientalis*) پارک ملی تندوره در پژوهش حاضر، با استفاده از روش بی‌نظمی بیشینه و بر اساس نقاط حضور گونه و متغیرهای محیطی مؤثر، مورد بررسی قرار گرفت. در مقایسه با مدل کیفیت زیستگاه InVEST که اصولا از نقشه کاربری اراضی برای بررسی و تحلیل تناسب و کیفیت زیستگاه استفاده می‌کند (۱،۲۷، ۲۸)، مدل MaxEnt با ادغام داده‌های حضور گونه و متغیرهای محیطی مرتبط، دقت بیشتری در پیش‌بینی مناطق مطلوب زیستگاهی ارائه می‌دهد.

بر اساس نتایج تحلیل مشارکت و آزمون جک‌نایف، متغیرهای ارتفاع، فاصله از منابع آب موجود و نوع پوشش گیاهی نقش کلیدی در مطلوبیت زیستگاه داشتند. از آنجا که پارک ملی تندوره در اقلیم نیمه‌خشک قرار گرفته است، دسترسی به منابع آبی پس از ارتفاع، مهم‌ترین پارامتر موثر بر تناسب و کیفیت زیستگاه گونه هدف در محدوده مورد مطالعه است و کاهش تناسب و کیفیت زیستگاه گونه در مناطق دورتر از منابع آبی به روشنی مشاهده شد. بررسی مشابه در مناطق دیگر ایران از جمله منطقه حفاظت شده ورجین (۲۹)، پارک ملی گلستان (۳۰) و مرتع لارآبسر

مازندران (۳۱) نیز بر مهم بودن منابع آب موجود را برای تناسب و کیفیت بالای زیستگاه تأکید داشته‌اند. همچنین، پژوهش‌هایی بر روی علفخواران دیگر نظیر کل و بز نامبیایی (*Capra nubiana*) (۳۲) و بز وحشی قفقازی (*Capra cylindricornis*) (۳۳) نشان داده‌اند که کاهش تناسب و کیفیت زیستگاه ارتباط مستقیمی با افزایش فاصله از منابع آب موجود در منطقه دارد.

ارتفاع نیز یکی از متغیرهای تأثیرگذار بر مطلوبیت زیستگاه محسوب می‌شود. بر اساس این مطالعه، ارتفاعات بین ۱۷۰۰m تا ۲۵۰۰m دارای بالاترین تناسب برای گونه هدف در قلمروی مطالعاتی بودند. این محدوده ارتفاعی به دلیل امنیت و کاهش تهدیدهای انسانی برای این گونه ایده‌آل‌تر است. البته باید توجه داشت که این مطلوبیت به نوع زیستگاه اصلی قوچ و میش نیز بستگی دارد، زیرا این گونه غالباً در مناطق تپه‌ماهور و کوهستانی زندگی می‌کند که ویژگی‌های توپوگرافی خاص خود را دارند. سایر مطالعات نیز ارتفاع مطلوب برای این گونه را بین ۱۷۰۰m تا ۳۰۰۰m متر گزارش کرده‌اند (۳۴).

نتایج همچنین نشان داد که شیب تا حد معینی مطلوبیت زیستگاه را افزایش داده و پس از آن کاهش می‌یابد. این یافته با پژوهش‌های پیشین در سایر نقاط ایران هم‌خوانی دارد (۳۵،۳۶). پوشش گیاهی دو گونه گیاهی درمنه (*Artemisia spp*) و گون (*Astragalus spp*)، که علوفه‌ای دلپذیر برای قوچ و میش است، تأثیر قابل توجهی در مطلوبیت زیستگاه دارد. با این حال، افزایش بیش از حد تراکم پوشش گیاهی ممکن است تأثیری منفی بر مطلوبیت زیستگاه داشته باشد. اهمیت این عامل در پژوهش‌های مشابه بر روی سایر علفخواران نیز تأیید شده است (۳۷،۳۸). جهت شیب در این پژوهش متغیری کم‌اهمیت ارزیابی شد که احتمالاً به دلیل عدم بررسی تغییرات فصلی زیستگاه در این مطالعه است. مطالعاتی که تغییرات فصلی را بررسی کرده‌اند، نشان داده‌اند که جهت شیب با رویش گیاهان یک‌ساله مورد استفاده گونه ارتباط دارد (۳۹).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که قسمت‌های غربی و جنوبی محدوده مورد مطالعه دارای بیشترین تناسب و کیفیت زیستگاهی برای گونه هدف هستند. این قسمت‌ها به خاطر ویژگی‌های زیستگاهی مناسب، شامل پوشش گیاهی مناسب و دسترس‌پذیری مطلوب‌تر به منابع آب موجود، مکان‌های ایده‌آلی برای این گونه محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، مناطق شمال شرقی، به دلیل هزینه زیاد دسترس‌پذیری منابع آب موجود، از تناسب و کیفیت پایین‌تری برخوردار هستند. این نتایج هم‌خوانی پژوهش‌های مشابه را در تأثیر مستقیم منابع آبی بر پراکنش و کیفیت زیستگاه گونه‌های علفخوار تأیید می‌کند (۱۳،۱۴،۱۵).

ارتباط منفی و معنی‌دار بین کیفیت زیستگاه و هزینه دسترسی به منابع آبی، (ضریب همبستگی ۰/۰۶۹-)، نیز بر اهمیت دسترسی آسان‌تر به منابع آبی تأکید دارد. با توجه به اینکه افزایش دسترسی به منابع آبی موجب بهبود کیفیت زیستگاه می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت منابع آبی در پارک ملی تندوره می‌تواند تأثیر مستقیمی بر حفظ و پایداری جمعیت قوچ و میش داشته باشد.

علاوه بر این، ارزیابی کارایی مدل با استفاده از مقدار سطح زیر نمودار ۰/۸۲ نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در پیش‌بینی تناسب و کیفیت زیستگاه قوچ و میش است. بر اساس چنین یافته‌ای نتایج حاصل از مدل‌سازی از اعتبار زیادی برخوردار است و نشان می‌دهد که می‌توان از مدل بی‌نظمی بیشینه به‌عنوان ابزاری مؤثر در شناسایی مناطق با اولویت حفاظتی استفاده کرد.

این یافته‌ها تأکید می‌کنند که برنامه‌ریزی مبتنی بر داده‌های مکانی و در نظر گرفتن منابع آب موجود و نوع و تراکم پوشش گیاهی نقشی کلیدی در حفاظت مؤثر از گونه‌های حساس ایفا می‌کند.

کاهش هزینه دسترس‌پذیری نابع آب موجود در قلمروی مطالعاتی، یکی از عوامل اصلی ارتقای تناسب و کیفیت زیستگاه گونه قوچ و میش به شمار می‌آید و نقش اساسی در پایداری و حفظ جمعیت این گونه ارزشمند دارد.

نتایج بررسی نشان داده است که ارتباط منفی و معناداری بین هزینه دسترسی به منابع آبی و کیفیت زیستگاه وجود دارد؛ بدین معنا که هرچه دسترسی به منابع آبی آسان‌تر شود، زیستگاه گونه از کیفیت بالاتری برخوردار خواهد بود؛ با این حال، در این مطالعه به‌جای ارزیابی صرف فاصله از منابع آبی، هزینه دسترسی واقعی به منابع آبی با استفاده از تحلیل Cost Distance و با در

نظر گرفتن عواملی مانند شیب زمین و جاده‌ها به‌طور دقیق‌تر مدل‌سازی شده است. برای دستیابی به این هدف، مدیریت کارآمد منابع آبی باید به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی در برنامه‌های حفاظتی پارک ملی تندوره در نظر گرفته شود. اقداماتی مانند حفاظت از چشمه‌ها، احداث آبشخورهای مصنوعی در نقاط استراتژیک، و بازسازی منابع آبی آسیب‌دیده می‌تواند فاصله گونه‌ها از منابع آب را کاهش داده و در نتیجه، شرایط زیستگاهی بهتری را فراهم کند. مناطق راهبردی شامل نقاطی هستند که نزدیک به زیستگاه‌های اصلی قوچ و میش‌اند، از منابع آبی طبیعی فاصله زیادی دارند، دارای امنیت زیستگاهی زیادی‌اند و از تهدیدهای انسانی مانند شکار و جاده‌های پرتردد دور هستند. همچنین، این مناطق باید دارای توپوگرافی مناسب برای دسترسی آسان گونه به آب و قابلیت ذخیره‌سازی و حفظ منابع آبی باشند. انتخاب این مناطق بر اساس مدل‌های زیستگاهی، تحلیل پراکنش گونه و بررسی هزینه دسترسی به منابع آبی انجام می‌شود تا اقدامات حفاظتی بیشترین تأثیر مثبت را بر جمعیت قوچ و میش داشته باشد. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند در شناسایی مناطق بحرانی و پایش مستمر منابع آبی به مدیران کمک کند.

همچنین، درک نقش حیاتی منابع آبی در حفاظت از تنوع زیستی ایجاب می‌کند که برنامه‌ریزی‌های حفاظتی با مشارکت جوامع محلی و سازمان‌های غیردولتی همراه باشد. آگاهی‌بخشی به جوامع محلی درباره اهمیت منابع آبی و نقش آن‌ها در حفظ حیات‌وحش می‌تواند به کاهش تعارض و ایجاد هم‌افزایی میان ذینفعان کمک کند.

■ سپاسگزاری

بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خراسان رضوی به‌ویژه کارشناسان محترم آن مجموعه اعلام می‌داریم که با نهایت همکاری و دقت، اطلاعات ارزشمند و جامعی از پارک ملی تندوره را در اختیار ما قرار دادند.

■ References

1. Abdollahi, S. (2024). Habitat quality assessment of wild life to identify key habitat patches using landscape ecology approach, *Natural Environment*, *76* (Special Issue Protected Areas): 147-162. https//doi.org/10.22059/jne.2023.355036.2525[In Persian]

2. Sandifer, P. A., Sutton-Grier, A. E.& Ward, B. P. (2015). Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem services*, *12*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.007

3. Karimi, M., Tabiee, M., Karami, S., Karimi, V.& Karamidehkordi, E. (2024). Climate change and water scarcity impacts on sustainability in semi-arid areas: Lessons from the South of Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, *24*, 101075. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101075

4. Minea, G., Mititelu-Ionuș, O., Gyasi-Agyei, Y., Ciobotaru, N.&Rodrigo-Comino, J. (2022). Impacts of grazing by small ruminants on hillslope hydrological processes: A review of European current understanding. *Water Resources Research*, *58*(3), e2021WR030716. http://dx.doi.org/10.1029/2021WR030716

5. Morin, A., Gimenez, O., Sousa, L.L., Seymour-Smith, J., O'Donnell, H., Delignette-Muller, M.L., Madhlamoto, D., Loveridge, A.J.& Valeix, M. (2024). Response of a carnivore community to water management in a semi-arid savanna. *Biological Conservation*, *299*, 110777. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110777

6. Edosa, B. T.& Erena, M. G. (2024). Wildlife habitat suitability analysis and mapping the former dhidhessa wildlife sanctuary using GIS-based analytical hierarchal process and weighted linear combination methods. *Heliyon*, *10*(13). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33921

7. Lebu, S., Lee, A., Salzberg, A.& Bauza, V. (2024). Adaptive strategies to enhance water security and resilience in low-and middle-income countries: A critical review. *Science of the Total Environment*,

171520. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171520

8. Ahmadi, M., Hemami, M., Kaboli, M.& Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and evolution*, *13*, e9827, https://doi.org/10.1002/ece3.9827

9. Morovati, M., Karami, M., Kaboli, M., Rousta, Z.& Shorakaei, M. J. (2015). Modeling the Habitat suitability of *Ovis orientalis*, the most important prey of cheetah (*Acinonyx jubatus venaticus*) Using Maximum Entropy Method in Dareh Anjir Wildlife Refuge. *Animal Environment, 6*(4), 135- 149. https://www.magiran.com/p1497080 [In Persian]

10. Kor, L., O'Hickey, B., Hanson, M.& Coroi, M. (2022). Assessing habitat connectivity in environmental impact assessment: a case-study in the UK context. *Impact Assessment and Project Appraisal*, *40*(6), 495-506. https://doi.org/10.1080/14615517.2022.2128557

11. Wu, Y., Zhang, J., Wang, F., Song, Y.& Ji, J. (2021). Simulations of spatial patterns and species distributions in sandy land using unmanned aerial vehicle images. *Arid Environments*, *186*, 104410. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104410

12. Cosgrove, A. J., McWhorter, T. J., & Maron, M. (2018). Consequences of impediments to animal movements at different scales: a conceptual framework and review. *Diversity and Distributions*, *24*(4), 448-459. http://dx.doi.org/10.1111/ddi.12699

13. Bruneel, S., Gobeyn, S., Verhelst, P., Reubens, J., Moens, T.& Goethals, P. (2018). Implications of movement for species distribution models-rethinking environmental data tools. *Science of the Total Environment*, *628*, 893-905. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.026

14. Sharifi, M., Nezami Balouchi, B., Ramezani, J., Rayegani, B.& Jahani, A. (2023). Habitat suitability and effect of environmental parameters on brown bear (*Ursus arctos*) habitat selection in Iran. *Environmental Sciences*, *21*(2), 49-68https://doi.org/10.48308/envs.2023.1168. [In Persian]

15. Rezaei, M., Arzani, H., Azarinvand, H., Najafi Tire Shabankareh, K.& Moslemi, H. (2022). Suitability determining in protected area for wildlife (Case study: Geno protected area). *Desert Ecosystem Engineering*, *8*(25), 67-82. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112688_5b41d874c7cc39ad3694c14a94730a7b[In Persian]

16.Shoaee, A.&Yarmahammadi Barbarestani, S. (2017). Summer and autumn diet composition of the Persian leopard (*Pantra pardus saxicolor*, Pocock 1927) in Tandoreh national park of Iran. *Animal research*, *29*(4): 426-434. https://animal.ijbio.ir/article_852.html?lang=fa

17. Farashi, A.& Shariati, M. (2018). Evaluation of the role of the national parks for Persian leopard (*Panther pardus saxicolor*, Pocock 1927) habitat conservation (case study: Tandooreh National Park, Iran). *Mammal Research*, *63*, 425-432. https://doi.org/10.1007/s13364-018-0370-4

18. Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H.& Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many? *Methods in ecology and evolution*, *3*(2), 327-338. http://dx.doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x

19. Iturbide, M., Bedia, J., Herrera, S., del Hierro, O., Pinto, M.& Gutiérrez, J. M. (2015). A framework for species distribution modelling with improved pseudo-absence generation. *Ecological Modelling*, *312*, 166-174. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.05.018

20. Liang, W., Papeş, M., Tran, L., Grant, J., Washington-Allen, R., Stewart, S.& Wiggins, G. (2018). The effect of pseudo-absence selection method on transferability of species distribution models in the context of non-adaptive niche shift. *Ecological Modelling*, *388*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.018

21. Daneshi, S. S., Sokhango, F.& Behrouzirad, B. (2019). Estimation of the desirability of the whole and goat habitat (*Capra aegagrus*) in the protected area of Khayyz during the regeneration season using the HEP method. *Animal Environment*, *11*(4), 23- 32. http://www.aejournal.ir/article_101414.html[In Persian]

22. Hoseini, S. M., Riazi, B., shams esfand abad, B.& Naderi, M. (2017). Habitat desirability Evaluation of *Capra aegagrus* in Golestan. *Animal Environment*, *9*(2), 9- 16.

https://www.magiran.com/p1712298 [In Persian]

23. Jamshidi saedi, F., Morovati, M., Abdollahi, S.& Elahi, M. (2025). Prioritization of Hotspots for Biodiversity Conservation in Yazd Province. *Geography and Environmental Sustainability*, *15*(1), 63-81. https://doi: 10.22126/ges.2024.11465.2808 [In Persian]

24.Morovati, M., Kamalian, N.& Mohammadi, S. (2023). Habitat Assessment of the Goitered Gazelle (*Gazella Subgutturosa*) By Maximum Entropy in Kalmand Bahadran Protected Area, Yazd, Iran. *Environment and Interdisciplinary Development*, *8*(80), 79- 89. https://doi.org/10.22034/envj.2023.406351.1299[In Persian]

25. Ildoromi, A.& Abdollahi, S. (2022). Application of Spatial Statistics in Evaluating the Spatial Correlation Patterns of Noise Pollution in the Central Part of Zayandeh-Rood Watershed. *Integrated Watershed Management*, *1*(2), 35- 46. https://doi.org/10.22034/iwm.2022.250825 [In Persian]

26. Vu, X.D., Csaplovics, E., Marrs, C.& Nguyen, T.T. (2022). Criteria and Indicators to Define Priority Areas for Biodiversity Conservation in Vietnam, *Forests*, *13*(9), 1341; https://doi.org/10.3390/f13091341.

27. Abdollahi, S., Zeilabi, E.& Xu, C.C.Y. (2023). Habitat quality assessment based on local expert knowledge and landscape patterns for bird of prey species in Hamadan, Iran, *Modeling Earth Systems and Environment*, *10*, 2051–2061. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01896-y

28. Abdollahi, S., Khalilzadeh, P., Zeilabi, E.& Lesbarrères, D. (2024). Spatial assessment of biodiversity and conservation priorities in Hamedan Province, Iran, using a landscape ecology approach, *Environmental Studies and Science*, *14*, 358–371 https://doi.org/10.1007/s13412-024-00890-9

29. Mahfouzi, M.& Goshtasb, H. (2015). Designing Wild Sheep Migration Corridors in Varjin Protected Area. *Environmental Sciences*, *13*(2), 121-128. https://envs.sbu.ac.ir/article_97542.html?lang=en[In Persian]

30. Kheirkhah, G. N.& Jozi, S. A. (2022). Connectivity analysis of mountain sheep habitats (*Ovis vignei arkal*) to locate a highway corridor in Golestan National Pak using an integrated approach of Circuit and Graph theories. *Renewable natural resources research*, *1*(37), 113-126. https://doi.org/10.30495/jrnr.2022.69959.10265 [In Persian]

31. Rahimi Dehcheraghi, M., Arzani, H., Azarnivand, H., Jafari, M.& Zare Chahoki, M. A. (2022). Rangeland suitability for grazing sheep, goats and wildlife in rangeland of Lar Absar in Mazandaran. *Rangeland*, *16*(1), 93-107. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20080891.1401.16.1.6.8[In Persian]

32. Alqamy, H. E., Abdelhameed, A. I., Nagy, A., Hamada, A., Rashad, S.& Kamel, M. (2010). Predicting the status and distribution of the nubian ibex (*Capra nubiana*) in the high-altitude mountains of south Sinai (Egypt). *Galemys*, *22*, 517-530 http://dx.doi.org/10.7325/Galemys.2010.NE.A31

33. Gavashelishvili, A. (2004). Habitat selection by East Caucasian tur (*Capra cylindricornis*). *Biological Conservation*, *120*, 391-398 https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.014

34. Keya, Z. Y., Faryadi, S., Yavari, A., Kamali, Y.& Shabani, A. A. (2016). Habitat suitability & connectivity of Alborz wild sheep in the east of Tehran, Iran. *Ecology*, *6*(6), 325-342. http://dx.doi.org/10.4236/oje.2016.66032

35. Acarer, A. (2024). Habitat Suitability Modelling and Mapping of Anatolian Wild Sheep (*Ovis gmelinii anatolica* Valenciennes, *1856*). *Advanced Multidisciplinary Scientific Research*, *4*(5), 945-952. http://www.multiresearchjournal.com/

36. Ansari, A. (2020). Prediction of climate change effects on wild sheep (*Ovis orientalis*) habitat suitability
using ensemble modeling in Markazi province. *Arid Biome*, *10*(1), 150-162. https://doi.org/10.29252/aridbiom.2021.2005[In Persian]

37. Ashourirad, A., Rahimi, R.& Shams, E.B. (2018). Modeling habitat suitability for Goitered Gazelle (*Gazella subgutturosa*) in Sorkheh Hesar national park. *Environmental Science and Technology*, *4*(75): 193-207 https://doi.org/10.22034/jest.2017.11633[In Persian]

38. Pourmanafi, S., Afshari, S., Lotfi, A.& Soffianhan, A. (2022). Evaluation of *Gazella subgutturosa* Habitat and Presentation of its Utility Model at Mouteh Wildlife Refuge. *Desert Ecosystem Engineering, 9*(29), 115- 127. https://doi.org/10.22052/deej.2020.9.29.61[In Persian]

39. Ranjbar N., Hemami, M., Tarkesh, M.& Shahgholian, J., (2016). Seasonal Assessment of Habitat Suitability of the Wild Goat (*Capra aegagrus*) in Mountainous Areas of Kolah-Qazi National Park using Maximum Entropy Approach. *Applied Ecology*, *5*(16):69-83. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.ijae.5.16.69 [In Persian]