University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

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

Identification and prioritization of threats impacting biodiversity in Tandoureh national park using the fuzzy Delphi-TOPSIS method

Golnaz Zeinalpour[1] | **Mir Mehrdad Mirsanjari**[2]✉ | **Alireza Ildoromi**[3] | **Iman Saeedi**[4]

1. Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: golnazzeinalpour@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: mmmirsanjari@malayerou.ac.ir
3. Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: ildoromi@gmail.com
4. Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: isaeedi@malayeru.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 13 September 2025

Received in revised form 06 January 2026

Accepted 09 January 2026

Keywords:

Biodiversity,

Fuzzy delphi,

Tandoureh,

TOPSIS,

Threatening factors.

ABSTRACT

Biodiversity is the precious heritage of the earth, every species that is lost is part of the puzzle of life that is destroyed forever. The process of losing species richness around the world has accelerated greatly in recent years. Maintaining the balance of the earth and its survival for future generations is one of the most important tasks of today's generation. Determining a network of protected areas across the globe and protecting and preserving their biodiversity is one of the most important measures in order to continue the survival of the earth. Tandoureh Protected Area, as one of the most important wildlife habitats in Iran, is affected by various environmental and human factors that threaten its biodiversity. In the present study, in order to identify these factors, the consensus of environmental experts was used in the form of a questionnaire technique and the fuzzy Delphi method, and the TOPSIS method was used for prioritization. In the fuzzy Delphi method, 20 threatening factors were introduced in the form of a questionnaire and individuals were asked to add suggested items. 14 factors out of 20 threatening factors to biodiversity were identified by the experts as the most important threats to the region. The prioritization of the impact of these factors under several stages was determined by the TOPSIS method. Finally, the fire factor with a proximity coefficient of 0.7121 was identified as the most important factor, and the wildlife road accidents factor with a proximity coefficient of zero was identified as the least important factor affecting the biodiversity of the Tandoore Protected Area.

Cite this article: Zeinalpour, G., Mirsanjari, M.M., Ildoromi, A., & Saeedi, I. (2026). Identification and prioritization of threats impacting biodiversity in Tandoureh national park using the fuzzy Delphi- TOPSIS method. *Journal of Natural Environment*, 79 (1), 85-106. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.402286.2842

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

This study aims to identify and prioritize the major threats to biodiversity in Tandoureh National Park using an integrated multi- criteria decision- making framework that combines the Fuzzy Delphi Method and TOPSIS. Despite the ecological importance of the park, no previous research has systematically assessed and ranked its biodiversity threats, making this study a significant contribution to conservation planning in the region. Protected areas worldwide face growing pressures from both anthropogenic and natural factors. Tandoureh National Park, located in northeastern Iran, is no exception, and its biodiversity is threatened by various human activities and environmental stressors. The lack of a structured, science- based assessment of these threats motivated the authors to develop a rigorous framework to identify and rank the most influential risk factors.

Material and Methods

The research was conducted in two major phases:

1. Identification and Screening of Threat Factors (Fuzzy Delphi)

An initial list of 20 threat factors was compiled based on literature review, field observations, and expert interviews. A panel of experts evaluated these factors through a semi- open questionnaire designed using triangular fuzzy numbers (l, m, u) to handle uncertainty in expert judgment.

Crisp values were calculated for each factor, and a threshold value of 3 was used to filter out low- importance items. As a result:

-14 factors were retained as significant threats.

- Factors such as land- use change, invasive species, and flooding were eliminated due to low crisp scores.

2. Prioritization of Final Threats (TOPSIS with Shannon Entropy Weights)

For the 14 retained factors, the TOPSIS method was employed to establish their relative importance based on three evaluation criteria:

- Severity of impact
- Probability of occurrence
- Environmental sensitivity of the receiving ecosystem

Criterion weights were derived using the Shannon entropy method, ensuring objective weight assignment based on data variability. The TOPSIS procedure included normalization, weighted normalization, determination of positive and negative ideal solutions, calculation of Euclidean distances, and computation of the closeness coefficient (CL) for final ranking.

Results

The results revealed distinct differences in the significance of various threats:

- Fire was identified as the most critical threat, obtaining the highest closeness coefficient (CL = 0.7121). Both intentional and accidental fires were emphasized as major risks due to dry vegetation, seasonal winds, and human negligence or conflict.
- Insufficient numbers of rangers/guards, wildlife diseases, and poaching also emerged as high- priority threats, with notable crisp scores in the Fuzzy Delphi phase (e.g., 4.08 for insufficient guards; 4.02 for wildlife disease).
- Wildlife road accidents ranked lowest, receiving a closeness coefficient of zero, indicating minimal influence among the considered threats.

The analysis underscores that the park's major biodiversity pressures arise from a combination of human-driven issues (poaching, management deficiencies, accidental fires) and environmental factors (drought, wildlife diseases).

Discussion

The study concludes that effective biodiversity management in Tandoureh National Park must prioritize:

- Fire prevention and control strategies
- Strengthening ranger and enforcement capacity
- Disease monitoring programs for wildlife
- Adaptive measures to address drought and ecosystem vulnerability

This study, by integrating Fuzzy Delphi and TOPSIS, provides a systematic, repeatable, and data-driven framework for threat assessment in protected areas. This methodological approach can be generalized to other national parks and protected landscapes to support informed, evidence-based management decisions.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

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

شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدهای اثرگذار بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره با استفاده از رویکرد دلفی فازی-تاپسیس

گلناز زینل‌پور[۱] | میرمهرداد میرسنجری[۲]✉ | علیرضا ایلدرمی[۳] | ایمان سعیدی[۴]

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: golnazzeinalpour@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: mmmirsanjari@malayerou.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: ildoromi@gmail.com

۴. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: isaeedi@malayeru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۹

کلیدواژه‌ها:

تنوع زیستی،

تندوره،

تاپسیس،

دلفی فازی،

عوامل تهدیدکننده.

چکیده

تنوع زیستی، میراث ارزشمند زمین است، هر گونه‌ای که از دست می‌رود بخشی از حیات برای همیشه نابود می‌شود. روند ازدست‌رفتن غنای گونه‌ای در سراسر جهان در سال‌های اخیر شتاب بسیاری گرفته است. حفظ تعادل کرهٔ زمین و بقای آن برای نسل‌های آینده از مهم‌ترین وظایف نسل امروز است. تعیین شبکهٔ مناطق حفاظت‌شده در سراسر کرهٔ زمین و حفاظت و صیانت از تنوع زیستی آنها، یکی از مهم‌ترین اقدامات در راستای استمرار بخشیدن به بقای کرهٔ زمین است. منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های حیات وحش ایران، تحت تأثیر عوامل محیطی و انسانی مختلفی قرار دارد که تنوع زیستی آن را تهدید می‌کند. در پژوهش حاضر به‌منظور شناخت این عوامل از اجماع نظر خبرگان محیط‌زیستی در قالب تکنیک پرسشنامه و روش دلفی فازی و برای اولویت‌بندی از روش تاپسیس استفاده شد. در روش دلفی فازی، ۲۰ عامل تهدیدکننده در قالب پرسشنامه معرفی شد و از افراد تقاضا گردید تا موارد پیشنهادی اضافه گردد. ۱۴ عامل از ۲۰ عامل تهدیدکنندهٔ تنوع زیستی، توسط خبرگان به‌عنوان مهم‌ترین تهدیدهای منطقه شناسایی شد. اولویت‌بندی تأثیرگذاری این عوامل تحت چندین مرحله، توسط روش تاپسیس مشخص شد. در نهایت عامل آتش‌سوزی با ضریب نزدیکی ۰/۷۱۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین و عامل تصادفات جاده‌ای حیات وحش با ضریب نزدیکی صفر به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین عامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره شناخته شد.

استناد: زینل‌پور، گلناز؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ ایلدرمی، علیرضا؛ و سعیدی، ایمان (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدهای اثرگذار بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره با استفاده از رویکرد دلفی فازی-تاپسیس. *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۱)، ۱۰۶-۸۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.402286.2842

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

امروزه اهمیت و نقش حیاتی محیط‌زیست در توسعهٔ پایدار کشورها، به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه، امری اثبات‌شده است. شناخت عوامل مخرب محیط‌زیست و درک صحیح از چگونگی عملکرد آنها، یکی از مهم‌ترین مراحل در مدیریت پایدار منابع طبیعی به شمار می‌رود و می‌تواند به موفقیت در برنامه‌های حفاظت محیط‌زیست منجر شود (Harvey, 1995). در این میان، تنوع زیستی به‌عنوان نمود شبکهٔ پیچیدهٔ حیات روی زمین، نمایانگر غنا و تنوع موجودات زنده و تعاملات آنها در اکوسیستم‌ها است. حفظ تنوع زیستی، برای برقراری تعادل اکولوژیک، تضمین پایداری خدمات اکوسیستمی و حمایت از رفاه انسان و نسل‌های آینده ضروری است (Yirdaw *et al*., 2023).

تنوع گونه‌ها احتمال انجام عملکردهای حیاتی را افزایش داده و در نتیجه، پایداری و تاب‌آوری اکوسیستم‌ها را در برابر اختلالات طبیعی و انسان‌زاد حفظ می‌کند (Garbach *et al*., 2014). یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین راهبردها برای حفاظت از تنوع زیستی در مقیاس جهانی، ایجاد و توسعهٔ شبکه‌ای از مناطق حفاظت‌شده است. مناطق حفاظت‌شده، محدوده‌های تعیین‌شده‌ای هستند که به‌منظور دستیابی به اهداف مشخص حفاظتی مدیریت می‌شوند و نقشی اساسی در حفظ تنوع زیستی، حفاظت از منابع طبیعی و نگهداشت تعادل اکولوژیک بر عهده دارند (Zaman, 2023). باوجود کارکرد حفاظتی این مناطق، شواهد نشان می‌دهد که تنوع زیستی در بسیاری از مناطق حفاظت‌شدهٔ جهان تحت تأثیر مجموعه‌ای از تهدیدهای انسانی قرار دارد. برخی از مهم‌ترین این تهدیدها شامل تهاجم گونه‌های غیربومی، تخریب و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه، شکار غیرقانونی، توسعهٔ نامتوازن کاربری زمین، تعارض انسان و حیات وحش و اثرات فزایندهٔ تغییرات اقلیمی است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که گونه‌های مهاجم با تغییر در ساختار جوامع زیستی و برهم‌زدن چرخه‌های اکولوژیک، یکی از چالش‌های عمده در مناطق حفاظت‌شده محسوب می‌شوند و اغلب در ارتباط مستقیم با فعالیت‌های انسانی گسترش می‌یابند (Shackleton *et al*., 2020; Carneiro *et al*., 2024). همچنین گسترش فعالیت‌های کشاورزی، شهرنشینی و زیرساخت‌های انسانی، از طریق کاهش کیفیت زیستگاه‌ها و قطع پیوستگی اکولوژیک، کارایی مناطق حفاظت‌شده را محدود می‌کند (Jiang Yu, 2019; Zhao *et al*., 2025). براساس مطالعات انجام شده در منابع علمی، مناطق حفاظت‌شده تحت تأثیر چهار تهدید اصلی انسانی قرار دارند که هر یک پیامدهای خاصی را برای تنوع زیستی به‌همراه داشته و نیازمند اجرای استراتژی‌های مدیریتی هدفمند هستند. یکی از این تهدیدها تخریب و تغییر کاربری زیستگاه می‌باشد. تبدیل زیستگاه‌های طبیعی به کاربری‌های کشاورزی و شهری، منجر به تکه‌تکه‌شدن و کاهش کیفیت زیستگاه‌ها شده است (Jiang Yu, 2019; Zhao *et al*., 2025). برای مقابله با این تهدید، راهکارهایی نظیر حفاظت یکپارچه و احیای زیستگاه‌های تخریب‌شده پیشنهاد می‌شود .گسترش گونه‌های مهاجم غیربومی نیز دومین عامل تهدیدکننده با منشأ انسانی است. ورود و گسترش گونه‌های مهاجم، ساختار جمعیتی گونه‌های بومی و عملکرد اکوسیستم‌ها را مختل می‌کند (Shackleton *et al*., 2020; Carneiro *et al*., 2024). مدیریت این تهدید مستلزم نظارت مستمر، کنترل جمعیت مهاجم و اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از ورود گونه‌های جدید است. تغییر الگوهای دما و بارش که حاصل از بخشی از آنها وابسته به فعالیت‌های انسانی هستند، زیستگاه‌های مناسب برای بسیاری از گونه‌ها را کاهش داده و منجر به جابجایی اجباری آنها شده است (Liu *et al*., 2023). سیاست‌های سازگاری اقلیمی در مقیاس محلی و منطقه‌ای، به‌عنوان راهبرد کلیدی برای کاهش این اثرات توصیه می‌شود. شکار غیرمجاز گونه‌های حساس، به ویژه در مناطق حفاظت‌شده، باعث کاهش چشمگیر جمعیت و افزایش خطر انقراض آنها شده است (Becerra *et al*., 2022). تقویت قوانین بازدارنده همراه با جلب مشارکت جوامع محلی در حفاظت، می‌تواند به کنترل این پدیده کمک کند. در کنار این موارد، تعارض انسان و حیات وحش نیز طی سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از چالش‌های مهم حفاظتی شناخته شده است. گسترش فعالیت‌های کشاورزی، توسعهٔ سکونتگاه‌های انسانی، تخریب زیستگاه و چرای بیش از حد دام از جمله عواملی هستند که زمینه‌ساز افزایش تماس منفی میان انسان و جانوران می‌شوند (Meena *et al*., 2022; Mekonen, 2022). پیامد این تعارض‌ها شامل خسارت به محصولات، شکار دام، آسیب به حیات وحش و کاهش‌پذیرش اجتماعی برنامه‌های حفاظت است.

تعارض بین انسان و حیات وحش به‌عنوان چالشی جهانی، در مناطق مختلف با علل، گونه‌های درگیر و راهکارهای مدیریتی متفاوتی ظاهر شده است. بررسی مطالعات انجام‌شده در چندین منطقهٔ جغرافیایی نشان می‌دهد که این پدیده عمدتاً ناشی از توسعهٔ فعالیت‌های انسانی در مجاورت زیستگاه‌های طبیعی است. در اتیوپی، تعارض عمدتاً ناشی از گسترش کشاورزی و سکونتگاه‌های

انسانی به قلمرو گونه‌هایی مانند بابون (*Papio anubis*) بوده است که منجر به خسارت‌های اقتصادی به محصولات کشاورزی و دام شده است. راهکارهای اجراشده در این منطقه شامل احداث حصارهای زنده و افزایش نگهبانی از مزارع گزارش شده است. در مکزیک، ورود حیات وحش به مزارع (به‌ویژه توسط گونه‌ای مانند راکون دم‌حلقه‌ای (*Nasua narica*)) باعث ایجاد خسارات اقتصادی قابل توجه و در برخی موارد، واکنش‌های تلافی‌جویانه از سوی ساکنان محلی شده است. مطالعات در این زمینه بر اجرای اقدامات پیشگیرانه غیرمخرب برای کاهش تماس منفی تأکید دارند. در نپال، مجاورت مستقیم جوامع انسانی با مناطق حفاظت‌شده موجب تشدید تعارض با گونه‌های بزرگی مانند فیل آسیایی (*Elephas maximus*) شده است. در پاسخ به این چالش، راهکارهایی مانند نصب حصارهای الکتریکی برای دور نگه‌داشتن فیل‌ها از مزارع و سکونتگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر تهدیدهای انسان‌زاد، تغییرات اقلیمی و افزایش فراوانی بلایای طبیعی مانند خشکسالی، سیل و طوفان نیز تأثیرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌ها دارند و می‌توانند کارکردهای محیط زیستی مناطق حفاظت‌شده را تضعیف کنند (De Souza *et al*., 2015; Cui *et al*., 2025).

مطالعات انجام‌شده در زمینهٔ تهدیدات طبیعی و تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که این پدیده‌ها، پیامدهای گسترده‌ای بر محیط‌زیست و جوامع انسانی، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، داشته و ضرورت تقویت مدیریت ریسک و سازگاری اقلیمی را آشکار ساخته‌اند. پژوهش Masson-Delmotte و همکاران (۲۰۲۳) شواهد مستدلی از تشدید رویدادهای حدی (خشکسالی، سیل، موج‌های گرمایی) به‌دلیل فعالیت‌های انسانی ارائه می‌دهد و بر ضرورت سیستم‌های پایش و هشدار زودهنگام تأکید می‌کند. این تغییر الگوهای اقلیمی، نیازمند توسعه و به‌کارگیری ابزارهای پایش پیشرفته برای پیش‌بینی و پاسخ به‌موقع به این مخاطرات است. مطالعات اخیر Cui و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهد که روندهای نوظهور مخاطرات طبیعی (مانند طوفان‌های شدید، رانش زمین و آتش‌سوزی‌های گسترده) چالش‌های جدیدی را برای مدیریت ریسک ایجاد کرده‌اند که در این راستا، ارتقای ظرفیت علمی و فنی نهادهای مرتبط برای تحلیل و کاهش این مخاطرات امری ضروری است. در پژوهش Nautiyal (۲۰۲۳) بیان می‌شود که اثرات تغییرات اقلیمی و تهدیدات طبیعی بر خدمات اکوسیستمی (مانند تأمین آب، حاصلخیزی خاک و تنظیم آب‌وهوا) در کشورهای درحال توسعه و جوامع آسیب‌پذیر به‌مراتب شدیدتر بوده است که این امر لزوم طراحی و اجرای راهبردهای سازگاری اقلیمی متناسب با شرایط محلی را پررنگ می‌سازد. مطالعهٔ مروری Eriksen و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که برنامه‌های سازگاری اغلب بدون در نظر گرفتن بافت محلی و نیازهای گروه‌های آسیب‌پذیر طراحی می‌شوند و خواستار رویکردی عدالت‌محور و مشارکتی است. همچنین در پژوهشی که توسط Milan و همکاران (۲۰۲۴) انجام شد، کاربرد سنجش از دور و هوش مصنوعی در پایش بلایای هیدروژئولوژیک و بهبود سیستم‌های هشدار زودهنگام برای کشورهای کم‌درآمد بررسی گردید. مرور منابع نشان می‌دهد که مقابله با تهدیدات طبیعی و تغییرات اقلیمی نیازمند رویکردی یکپارچه و چندبُعدی است که شامل پایش مستمر، ارتقای مدیریت ریسک مبتنی بر علم و تقویت سازگاری اقلیمی، به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر می‌شود. پژوهش‌های آینده باید بر توسعهٔ روش‌های کم‌هزینه و قابل تعمیم برای پایش و سازگاری، همچنین تقویت همکاری‌های بین‌المللی در این زمینه متمرکز شوند.

باتوجه به شواهد، تنوع زیستی در مناطق حفاظت‌شده، به‌ویژه در اکوسیستم‌های حساس، تحت فشار فزایندهٔ این تهدیدها قرار دارد. باوجود مطالعات جهانی و ملی، بسیاری از مناطق ارزشمند ایران همچنان فاقد ارزیابی جامع، یکپارچه و اولویت‌بندی‌شده تهدیدهای مؤثر بر تنوع زیستی هستند. پارک ملی تندوره به‌عنوان یکی از غنی‌ترین و مهم‌ترین زیستگاه‌های کشور، از این قاعده مستثنی نیست. تاکنون مطالعه‌ای که براساس اجماع نظرات خبرگان، تمامی تهدیدهای انسانی و طبیعی را شناسایی کرده و سپس با رویکردی چندمعیاره به اولویت‌بندی آنها بپردازد، انجام نشده است. در چنین شرایطی، انجام پژوهشی که بتواند با ترکیب رویکردهای کیفی و کمی، فهرست تهدیدهای اثرگذار بر تنوع زیستی تندوره را استخراج کرده و براساس معیارهای علمی مانند احتمال وقوع، شدت اثر و حساسیت محیط پذیرنده، اولویت‌بندی کند، ضرورتی اساسی محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان حوزهٔ منابع طبیعی کمک کند تا با شناخت دقیق‌تر تهدیدهای بحرانی، اقدامات حفاظتی را هدفمند و کارآمد سازند. با وجود انجام برخی مطالعات پراکنده در زمینهٔ تنوع زیستی در پارک ملی تندوره، تاکنون تحقیقی جامع که به‌صورت نظام‌مند

به الویت‌بندی مخاطرات محیط‌زیستی، به‌ویژه مخاطرات نوظهور، بپردازد؛ گزارش نشده است. ازاین‌رو، با توجه به ظهور تهدیدات جدید، در سال‌های اخیر، انجام این پژوهش ضرورت علمی و کاربردی داشته است.

روش‌شناسی پژوهش

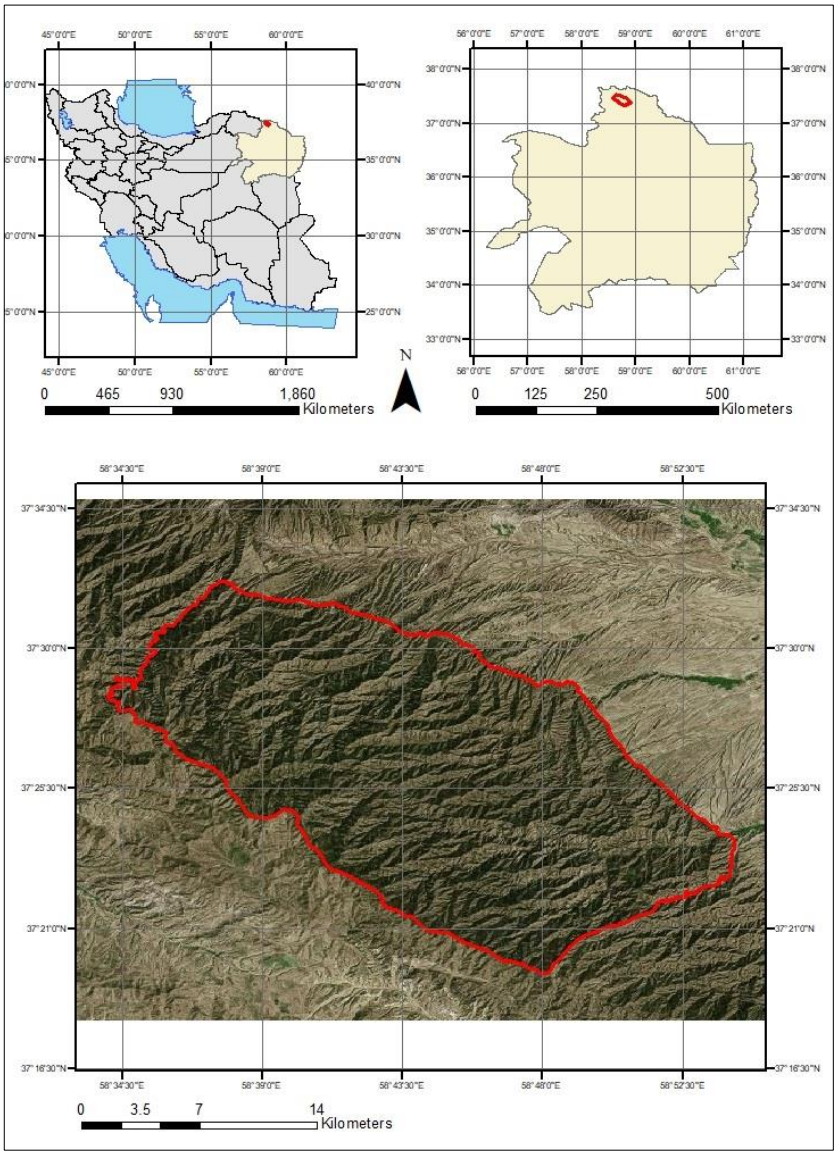
موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه: پارک ملی تندوره در سال ۱۳۴۷ به‌عنوان منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره قرق گردید. در سال ۱۳۴۸ به پارک وحش تندوره و درسال۱۳۵۳ به پارک ملی و در سال ۱۳۶۱ به دو بخش، پارک ملی و منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره تبدیل گردید. پارک ملی تندوره با وسعت ۳۵۵۴۰ هکتار در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان درگز قرار گرفته است (شکل ۱). به‌لحاظ تقسیمات سیاسی در محدودهٔ دو شهرستان درگز و قوچان قرار گرفته است (Shoaee and Yarmohammadi, 2016). از نظر تنوع گیاهی، این پارک از شرایط مطلوبی برخوردار است و مطابق با آخرین بررسی علمی ۳۷۳ گونه از ۶۰ خانواده از انواع گیاهان علفی، بوته‌ای، درختچه و درخت مشاهده و ثبت گردیده است.

پارک ملی تندوره به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های کلیدی حیات‌وحش در شمال شرق ایران، تنوع قابل توجهی از گونه‌های پستانداران، پرندگان و خزندگان را در خود جای می‌دهد. حضور گونه‌های شاخصی مانند پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*)، کل و بز (*Capra aegagrus*) و قوچ و میش اوریال (*Ovis orientalis arkal*) در این منطقه مشاهده شده‌اند. براساس نتایج مطالعات اخیر، پراکنش قوچ و میش در پارک تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل محیطی همچون ارتفاع، نزدیکی به منابع آب، نوع پوشش گیاهی و وجود جاده‌ها قرار دارد. بیشترین مطلوبیت زیستگاهی این گونه در ارتفاعات ۱۷۰۰ تا ۲۵۰۰ متر و در نواحی جنوبی و غربی پارک ثبت شده است، جایی که دسترسی به منابع آب آسان‌تر و پوشش گیاهی متناسب‌تر است. یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش فاصله از منابع آب به‌طور مستقیم موجب افت کیفیت زیستگاه و کاهش احتمال حضور حیات وحش می‌شود و بنابراین مدیریت منابع آبی نقش مهمی در پایداری جمعیت این‌گونه‌ها دارد (Abdollahi *et al*., 2025). تنوع اقلیمی، یکی از مهم‌ترین عوامل شکل‌دهندهٔ الگوهای پراکنش گونه‌ها در پارک ملی تندوره است. براساس طبقه‌بندی آمبرژه، این منطقه شامل سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و اقلیم سرد کوهستانی در ارتفاعات بالا است. میانگین دمای سالانهٔ پارک حدود ۱۴/۳ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه حدود ۳۶۵ میلی‌متر گزارش شده است. این شرایط همراه با رطوبت نسبی میانگین ۵۵ درصدی و وجود دو رودخانهٔ دائمی و بیش از ۲۰ چشمه و آبشخور طبیعی و مصنوعی، مجموعه‌ای از ریز اقلیم‌های متنوع را ایجاد کرده که هرکدام نقش متفاوتی در جذب یا دفع گونه‌های جانوری دارند. تغییرات قابل توجه ارتفاع از ۷۹۰ تا ۲۵۷۲ متر باعث ایجاد تفاوت‌های حرارتی و رطوبتی شده و زیستگاه‌هایی باکیفیت متفاوت برای گونه‌های شاخص منطقه فراهم کرده است. این تنوع اقلیمی نه‌تنها بر دسترسی گونه‌ها به آب و منابع غذایی اثر می‌گذارد، بلکه الگوهای مهاجرت کوتاه‌برد، انتخاب زیستگاه و رفتارهای بوم‌شناختی آنها را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Abdollahi *et al*., 2025).

روش تحقیق: در این مطالعه باهدف شناسایی و تحلیل عوامل محیطی و انسانی مؤثر بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره، از تکنیک دلفی فازی استفاده شد. دلفی فازی یک تکنیک ساختاریافته برای جمع‌آوری و تحلیل نظرات خبرگان است که در این مطالعه برای دستیابی به اجماع گروهی در مورد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی مورد استفاده قرار گرفته است. مراحل اجرایی این تکنیک به‌صورت مراحل زیر تعریف شده است:

شناسایی و انتخاب خبرگان: گروهی از متخصصان و صاحب‌نظران در حوزهٔ محیط‌زیست، تنوع زیستی، مدیریت منابع طبیعی و اکولوژی با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. این افراد شامل اساتید دانشگاه، پژوهشگران، کارشناسان سازمان‌های دولتی و فعالان محیط‌زیستی بودند. جدول ۱ مشخصات گروه خبرهٔ مشارکت‌کننده در روند این مطالعه را نشان داده است. علت انتخاب تعداد ۱۳ نفر از خبرگان در این پژوهش، مبتنی بر ماهیت روش دلفی فازی و نمونه‌گیری هدفمند بود. در این روش، معیار اصلی، دستیابی به اجماع میان افراد دارای بالاترین سطح تخصص و تجربهٔ عملی در ارتباط مستقیم با منطقهٔ مورد مطالعه است، نه گستردگی کمّی نمونه. با توجه به جامعهٔ ذی‌صلاح محدود و بسیار تخصصی (شامل اساتید، پژوهشگران و مدیران ارشد با پیشینهٔ کار میدانی در پارک ملی تندوره)، این تعداد به‌عنوان جامعهٔ هدف در دسترس و در عین حال دارای صلاحیت کافی برای تشکیل پنل دلفی در نظر گرفته شد. این رویکرد که در مطالعات معتبر مشابه نیز تأیید شده است، تضمین می‌کند که با وجود محدودیت

عددی، خروجی پژوهش از اعتبار و قابلیت اتکای بالایی برخوردار باشد. با توجه به دسترسی محدود و تخصص بالا خبرگان، پرسشنامه این پژوهش در اختیار ۱۳ نفر از خبرگان این حوزه قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area

مرور منابع و طراحی اولیهٔ پرسشنامه: براساس مطالعات منابع اولیه و بررسی‌های میدانی و مصاحبه و مشورت با متخصصان، پرسشنامه‌ای شامل مجموعه‌ای از عوامل محیطی و انسانی که قابلیت تأثیرگذاری بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره را دارند، طراحی شد. این پرسشنامه از نوع باز و نیمه‌بسته انتخاب گردید تا امکان ارائهٔ نظرات جدید توسط خبرگان فراهم شود. اعتباربخشی پرسشنامهٔ دلفی فازی در این پژوهش از طریق چندین مسیر تضمین گردید. ابتدا، «روایی محتوایی» با مرور مبانی نظری و مشورت با متخصصان در مرحلهٔ طراحی اولیهٔ پرسشنامه حاصل شد. «پایایی» نیز از طریق سنجش میزان اجماع و همگرایی نظرات خبرگان در چارچوب اعداد فازی مثلثی و با تعیین آستانهٔ قطعی (عدد ۳) برای غربالگری عوامل محقق گردید. در نهایت، «صحت‌سنجی» ذاتی روش، با اتکا به اجماع نهایی گروه خبرگان متخصص و با تجربه به‌دست آمد که بالاترین شاخص اعتبار در روش‌های کیفی- اقدامی محسوب می‌شود.

جدول ۱- مشخصات گروه خبره مشارکت کننده در مطالعه

Table 1. Characteristics of the expert group participating in the study

مشارکت‌کنندگان	سن	مدرک تحصیلی	تخصص	شغل و مرتبهٔ علمی	سابقهٔ اشتغال
خبره 1	48	دکتری	علوم و مهندسی محیطزیست	عضو هیأت علمی	بیشتر از 10 سال
خبره 2	42	دکتری	علوم و مهندسی محیطزیست	عضو هیأت علمی	بیشتر از 10 سال
خبره 3	53	دکتری	علوم و مهندسی منابع طبیعی- جنگلداری	عضو هیأت علمی	بیشتر از 10 سال
خبره 4	41	دکتری	علوم و مهندسی منابع طبیعی	کارمند دستگاه‌های اجرایی	بین 8 و 10 سال
خبره 5	33	دانشجوی دکتری	علوم و مهندسی محیطزیست	دانشجو و پژوهشگر	بین 5 و 8 سال
خبره 6	35	دانشجوی دکتری	علوم و مهندسی محیطزیست	دانشجو و پژوهشگر	بین 8 و 10 سال
خبره 7	40	کارشناسی ارشد	علوم و منابع طبیعی و محیطزیست	مدرس دانشگاه و پژوهشگر	بیشتر از 10 سال
خبره 8	40	کارشناسی ارشد	علوم و مهندسی محیطزیست	مدرس دانشگاه و پژوهشگر	بیشتر از 10 سال
خبره 9	39	کارشناسی	مهندسی مرتع و آبخیزداری	مهندس مشاور	بین 8 و 10 سال
خبره 10	42	کارشناسی	مهندسی منابع طبیعی و محیطزیست	مهندس مشاور	بین 8 و 10 سال
خبره 11	44	کارشناسی	مهندسی منابع طبیعی و محیطزیست	محیطبان	بین 8 و 10 سال
خبره 12	51	کارشناسی	مهندسی منابع طبیعی و محیطزیست	محیطبان	بین 8 و 10 سال
خبره 13	47	کارشناسی	مهندسی منابع طبیعی- جنگلداری	محیطبان	بین 8 و 10 سال

اجرای روش دلفی فازی: پرسشنامهٔ اولیه تهیه‌شده در اختیار افراد خبره قرار گرفت و از آنها خواسته شد تا نظرتخصصی خود را در مورد میزان اهمیت هر یک از عوامل مطرح‌شده ارائه کنند و در صورت لزوم، عوامل جدید تأثیرگذار را پیشنهاد دهند. میزان اهمیت هر یک از عوامل مورد ارزیابی قرار گرفت. روش دلفی فازی یک روش تحقیقاتی است که برای جمع‌آوری دیدگاه‌ها و دانش متخصصان به‌کار می‌رود. این تکنیک به‌ویژه در تحلیل مسائل پیچیده کاربرد دارد و با استفاده از الگوریتم‌های فازی، اطلاعات ناقص و نامشخص را از طریق خروجی‌های فازی مدل‌سازی می‌کند. یکی از رویکردهای معتبر برای غربالگری در روش دلفی فازی، استفاده از "میانگین" است که توسط Habibi و همکاران (۲۰۱۵) مطرح شده است. در این شیوه، نظرات کارشناسان که به‌صورت اعداد فازی مثلثی (شامل سه مؤلفه: کمترین مقدار (l)، محتمل‌ترین مقدار (m)، و بیشترین مقدار (u)) بیان شده‌اند، با محاسبهٔ میانگین هر یک از این مؤلفه‌ها به‌صورت جداگانه ترکیب می‌شوند. به‌عبارت دیگر، میانگین تمامی l ها، سپس میانگین تمامی m ها و در نهایت میانگین تمامی u ها محاسبه می‌گردد. حاصل این فرآیند، یک عدد فازی مثلثی جدید است که نشان‌دهندهٔ میانگین کلی نظرات متخصصان است. رابطهٔ ۱، ۲ و ۳ شیوهٔ محاسبهٔ میانگین اعداد فازی مثلثی را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۱: روش محاسبه l ها

$$l = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{n}$$

رابطهٔ ۲: روش محاسبهٔ m ها

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{n}$$

رابطهٔ ۳: روش محاسبه n ها

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_i}{n}$$

در این فرمول‌ها، n بیانگر تعداد کارشناسان است و l_i, m_i, u_i به‌ترتیب مقادیر کمترین، محتمل‌ترین و بیشترین نظر هر کارشناس (i) را نشان می‌دهند. l, m, u نیز عدد فازی مثلثی نهایی است که پس از میانگین‌گیری به‌دست می‌آید. در مرحلهٔ نهایی، برای رسیدن به یک ارزش قطعی برای هر معیار جهت غربالگری، مقادیر l, m, u محاسبه شده با هم جمع می‌شوند.

اولویت‌بندی عوامل تهدید با استفاده از روش TOPSIS: در این مرحله به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌ها از روش TOPSIS استفاده شد. انتخاب روش تاپسیس برای مرحلهٔ نهایی اولویت‌بندی، مبتنی بر چندین مزیت کلیدی این روش بود. اولاً، منطق جبرانی تاپسیس که امکان جبران ضعف در یک معیار با قوت در معیار دیگر را فراهم می‌کند، با ماهیت ارزیابی تهدیدهای محیط‌زیستی همخوانی بیشتری دارد. ثانیاً، این روش با ساختار ماتریس تصمیم‌گیری حاصل از نظرات خبرگان و همچنین روش عینی وزن‌دهی آنتروپی شانون سازگاری کاملی دارد و از بار ذهنی ناشی از مقایسات زوجی گسترده (که در روش‌هایی مانند AHP و ANP ضروری است) جلوگیری می‌نماید (Asgharpour, 2015). از آنجا که در این مسئله، وابستگی پیچیده‌ای بین معیارهای سه‌گانه احتساب نشده است، استفاده از روش ساده‌تر و کارآمدتر تاپسیس نسبت به ANP ترجیح داده شد (Madanchian and Taherdoost, 2023). در نهایت، مفهوم شهودی "نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل" در تاپسیس، درک و کاربرد نتایج را برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان عملیاتی تسهیل می‌کند. در این روش m گزینه در یک فضای n بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ساخت ماتریس تصمیم‌گیری: در این روش، مرحلهٔ اول شامل ساخت یک ماتریس تصمیم‌گیری است که داده‌های اصلی و ارزیابی‌های اولیه را سازماندهی می‌کند. در این ماتریس، ردیف‌ها نماینده عوامل (پارامترها) تهدیدکنندهٔ تنوع زیستی و ستون‌ها، ارزیابی‌های ارائه‌شده توسط خبرگان در مورد تأثیر هر عامل و درایه‌های ماتریس، مقدار عددی تخصیص‌یافته بین (۱ تا ۱۰) به هر عامل توسط هر خبره است.

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری: مقادیر موجود در ماتریس تصمیم‌گیری خام به‌صورت نرمال‌شده در می‌آیند تا ابعاد و مقیاس‌های مختلف معیارها قابل مقایسه شوند. برای نرمال‌سازی از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$Nij = \frac{Xij}{\sqrt{\sum_1^m Xij^2}}$$

Xij: مقدار خام معیار i برای خبره j

M: تعداد معیارها

N: تعداد خبرگان

ماتریس نرمال‌شده همان ساختار ماتریس خام را دارد، اما تمام مقادیر آن در بازه [۰, ۱] هستند. در پایان این مرحله، ماتریس نرمال‌شده آماده است و به مرحلهٔ سوم یعنی محاسبهٔ ماتریس وزن‌دار (وزن‌دهی معیارها) منتقل می‌شود. این مرحله، مقایسهٔ معیارها را با واحدی یکسان و بی‌طرفانه ممکن می‌سازد.

وزن‌دهی ماتریس: یکی از روش‌های رایج برای محاسبهٔ وزن معیارها، روش آنتروپی شانون است. این روش به کمک اطلاعات ماتریس تصمیم‌گیری خام انجام می‌شود و وزن معیارها را براساس میزان پراکندگی داده‌های هر معیار محاسبه می‌کند. در این مرحله برای تمام درایه‌های ماتریس، آنتروپی تعیین می‌شود. آنتروپی Ej به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد و k به‌عنوان مقدار ثابت مقدار Ej را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد.

شاخص آنتروپی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Ej = -K\sum_{i=1}^{m} Pij * Ln\ ij$$

Pij: مقدار نرمال‌شده گزینه i برای معیار j

K: ضریب نرمال‌سازی که آنتروپی را به بازه [۰, ۱] محدود می‌کند.

M: تعداد گزینه‌ها

PX توزیع احتمال متغیر تصادفی X است. افزایش در آنتروپی شانون باعث افزایش عدم اطمینان و کاهش اطلاعات در مورد دانش متغیر ت صادفی می شود. جنبهٔ جالب دیگر آنتروپی شانون ویژگی حداکثر آنتروپی آن برای توزیع یکنواخت ا ست. در ادامه مقدار dj (درجهٔ انحراف) محا سبه می شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری‌شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان‌دهندهٔ آن است که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

$$dj = 1 - Ej$$

E: آنتروپی معیار j

j: درجهٔ عدم اطمینان یا پراکندگی معیار dj

سپس مقدار وزن Wj محاسبه می‌گردد. در واقع وزن معیار برابر با هر dj تقسیم بر مجموع dj ها است.

$$Wj=dj/\sum dj$$

وزن، معیار اهمیت نسبی هر معیار را مشخص می‌کند و باتوجه به پراکندگی اطلاعات در آن معیار تعیین می‌شود. معیارهایی که درجهٔ پراکندگی بیشتری دارند، وزن بالاتری می‌گیرند.

ماتریس بی‌مقیاس موزون: با ضرب مقادیر نرمال‌شدهٔ ماتریس تصمیم‌گیری در وزن معیارها، ماتریس بی‌مقیاس موزون به‌دست می‌آید.

این ماتریس به تصمیم‌گیرنده امکان می‌دهد تا هم مقادیر معیارها را بی‌مقیاس کند و هم اهمیت نسبی هر معیار را لحاظ کند.

ماتریس نرمال وزن‌دهی شده: این ماتریس، مقادیر نرمال‌شده برای هر معیار را باتوجه به وزن‌های آن معیار ترکیب می‌کند. به‌عبارت دیگر، در این مرحله، هم مقادیر معیارها نرمال می‌شوند و هم اهمیت نسبی هر معیار از طریق وزن‌ها لحاظ می‌گردد.

ماتریس نرمال وزن‌دهی شده (V) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Vj=W.\frac{Xij}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} Xij^2}}$$

V: مقدار نرمال وزن‌دهی شده برای گزینهٔ i و معیار j

Xij: مقدار اصلی معیار i برای گزینهٔ j

W: وزن معیار i

ماتریس راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: در این مرحله، مقادیر+A و -A تعیین می‌شوند که نمایانگر بهترین و بدترین مقادیر ممکن برای هر معیار هستند. این ماتریس‌ها سپس برای محاسبهٔ فاصلهٔ هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی استفاده می‌شوند تا بتوانیم گزینه‌های مختلف را رتبه‌بندی کنیم.

تعیین فاصلهٔ عوامل تهدیدکننده از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: در این روش، کوتاه‌ترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله با راه‌حل ایده‌آل منفی برآورد می‌گردد (Madanchian and Taherdoost, 2023). پس از تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی مرحلهٔ بعدی در روش تاپسیس، محاسبهٔ فاصلهٔ هر گزینه از این دو راه‌حل است. این فواصل به ما کمک می‌کنند تا مشخص کنیم که هر گزینه تا چه اندازه به ایده‌آل مثبت نزدیک است و تا چه اندازه از ایده‌آل منفی دور است. این مقادیر به‌طور مستقیم در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها تأثیر دارند. برای هر گزینه i و هر معیار j، فاصله‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$D+i=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(vij-vj^{+})}$$

$$D-J=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(vij-vj^{-})}$$

محاسبهٔ ضریب نزدیکی: این ضریب، نشان‌دهندهٔ میزان نزدیکی هر گزینه به بهترین گزینهٔ ممکن است (یعنی نزدیک‌ترین فاصله به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی).

ضریب نزدیکی برای هر گزینهٔ i به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CL_i^{*}=\frac{di^{-}}{di^{-}+di^{+}}$$

CLi: ضریب نزدیکی گزینهٔ i

d-i: فاصله از ایده‌آل منفی

d+i : فاصله از ایده‌آل مثبت

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راهکار به جواب ایده‌ال نزدیک‌تر است و راهکار بهتری است.

الویت‌بندی گزینه‌ها: برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در روش تاپسیس، ب اساس ۳ شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و حساسیت محیط پذیرنده، پس از محاسبهٔ ضریب نزدیکی، گزینه‌ها براساس مقدار ضریب نزدیکی آنها مرتب می‌شوند. این مرحله به ما کمک می‌کند تا گزینه‌ها را از بهترین به بدترین ترتیب دهیم.

یافته‌های پژوهش

داده‌های توصیفی مرحلهٔ اول پرسشنامه در جدول ۲ گردآوری شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که ماتریس روابط پس از دو چرخش، از نظر آماری کاملاً بهینه شده که مؤید روایی مطلوب ابزار پژوهش است (Hadinejad *et al*., 2020). از سوی دیگر، نرخ پرشدگی که نشان‌دهندهٔ تعداد ارتباطات معنی‌دار در ماتریس است به‌عنوان معیاری برای پیچیدگی روابط عمل می‌کند، به‌طوری که افزایش این نرخ، موجب افزایش پیچیدگی روابط مستقیم و متعاقباً افزایش عدم قطعیت در تحلیل روابط غیرمستقیم می‌گردد (Sediqi *et al*., 2019).

جدول ۲- اطلاعات توصیفی تحلیل دلفی فازی

Table 2- Descriptive information of fuzzy Delphi analysis

شاخص	اندازهٔ ماتریس	تعداد دور	تعداد یک ها (با تأثیر بسیار اندک)	تعداد دو ها (تأثیر اندک)	تعداد سه ها (تأثیر متوسط)	تعداد چهارها (تأثیر زیاد)	تعداد پنج‌ها (تأثیر بسیار زیاد)	تعداد p ها (تأثیر بالقوه)	تعداد کل	درصد پرشدگی
معیارهای اولیه	20*20	8	8	52	76	92	30	0	400	100

در این پژوهش، به‌منظور شناسایی و تعیین عوامل تهدیدکنندهٔ نهایی مؤثر بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره، از روش دلفی فازی و اجماع‌سازی نظرات خبرگان استفاده شد. براساس تحلیل داده‌های حاصل از پرسشنامه و محاسبهٔ اعداد فازی مثلثی (شامل مقادیر l، u و m)، ارزش قطعی هر عامل محاسبه و با آستانهٔ تعیین‌شده (عدد ۳) مقایسه گردید. نتایج این فرآیند که در جدول ۳ ارائه شده است، نشان می‌دهد که از میان ۲۰ عامل تهدیدکنندهٔ اولیه، تعداد ۱۴ عامل به‌عنوان عوامل نهایی و تأثیرگذار بر تنوع زیستی منطقهٔ مورد تأیید خبرگان قرار گرفتند. مطابق جدول ۳، عواملی همچون «شکار غیرمجاز» (با ارزش قطعی ۳/۴۸)، «کمبود محیط‌بان» (۴/۰۸)، «آتش‌سوزی» (۳/۴۰) و «بیماری‌های حیات وحش» (۴/۰۲) در زمرهٔ مهم‌ترین تهدیدات شناسایی شدند. در مقابل، عواملی مانند «تغییر کاربری اراضی» (۲/۴۱)، «ورود گونه‌های مهاجم» (۲/۶۸) و «وقوع سیل» (۲/۹۱) به‌دلیل پایین‌تر بودن ارزش قطعی از آستانهٔ تعیین‌شده، از فهرست نهایی حذف گردیدند. این ۱۴ عامل تأییدشده، مبنای ورود به مرحلهٔ بعدی پژوهش، یعنی اولویت‌بندی نهایی با روش تاپسیس، قرار گرفتند تا سهم و اهمیت نسبی هر یک در مدیریت ریسک تنوع زیستی پارک ملی تندوره به‌طور دقیق‌تری سنجیده شود.

رتبه‌بندی عوامل به روش TOPSIS: روش تاپسیس، برای رتبه‌بندی عوامل براساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل استفاده می‌شود. در این روش، مرحلهٔ اول شامل ساخت یک ماتریس تصمیم‌گیری است. در این ماتریس (جدول ۴)، ردیف‌ها نمایندهٔ عوامل (پارامترها) تهدیدکنندهٔ تنوع زیستی و ستون‌ها، ارزیابی‌های ارائه‌شده توسط خبرگان در مورد تأثیر هر عامل و درایه‌های ماتریس، مقدار عددی تخصیص‌یافته بین (۱ تا ۱۰) به هر عامل توسط هر خبره است.

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری: در این مرحله، مقادیر موجود در ماتریس تصمیم‌گیری خام به‌صورت نرمال‌شده در می‌آیند تا ابعاد و مقیاس‌های مختلف معیارها قابل‌مقایسه شود (جدول ۵).

ماتریس وزن‌دار: یکی از روش‌های رایج برای محاسبهٔ وزن معیارها، روش آنتروپی شانون است. در این مرحله برای تمام درایه‌های ماتریس، آنتروپی تعیین می‌شود. در ادامه مقدار dj (درجه انحراف) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیر در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. سپس مقدار وزن Wj محاسبه می‌گردد.

جدول ۳- نتایج حاصل از غربال معیارها با استفاده از روش دلفی فازی

Table 3. Results from screening criteria using the fuzzy Delphi method

شماره سوال	عوامل تهدیدکننده (ریسک)	ارزش فازی سوالات			مقدار قطعی	وضعیت شاخص
		L	M	U		
1	شکار غیرمجاز	2	3.465	5	3.488	تأیید
2	تغییر کاربری اراضی	1	2.245	4	2.415	رد
3	آلوده کردن منابع	1	2.521	4	2.507	رد
4	تصادف حیات وحش با وسایل نقلیه	2	2.454	5	3.485	تأیید
5	قطعه‌قطعه کردن زیستگاه	1	2.680	5	2.893	رد
6	توسعه سکونتگاه های روستایی در حاشیه منطقه	1	2.176	4	2.292	رد
7	قطع درختان و پوشش گیاهی منطقه	2	3.331	5	3.488	تأیید
8	کمبود محیطبان در منطقه	3	4.263	5	4.088	تأیید
9	عدم حمایت سیستم قضایی از محیطبانان	2	3.542	5	3.514	تأیید
10	کمبود کارشناسان در تیم محیطزیست	3	3.724	5	3.908	تأیید
11	گردشگری غیرمسئولانه	3	3.941	5	3.980	تأیید
12	ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	2	3.177	4	3.059	تأیید
13	وقوع بیماری در حیات وحش	3	4.078	5	4.026	تأیید
14	آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	2	3.012	4	3.004	تأیید
15	خشکسالی و خشک شدن منابع آب سطحی	3	3.960	5	3.987	تأیید
16	وقوع سیل در منطقه	2	2.743	4	2.914	رد
17	ریشه‌کنی گیاهان مرتعی و دارویی منطقه	2	2.544	4	2.849	رد
18	آتش‌سوزی‌های عمدی و غیر عمدی توسط افراد	2	3.203	5	3.401	تأیید
19	عدم وجود فنس کشی مناسب	2	3.560	5	3.520	تأیید
20	ورود گونه‌های مهاجم و غیربومی به مناطق	1	2.053	5	2.684	رد

جدول ٤- ماتریس تصمیم‌گیری

Table 4. Decision-making matrix

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
شکار غیرمجاز	7	5	5
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	1	3	3
کمبود محیطبان در منطقه	5	7	5
عدم حمایت قانونی کافی	3	3	5
کمبود کارشناس	3	3	3
پسماندهای گردشگران	7	5	7
بیماری‌های حیات‌وحش	7	7	5
خشکسالی	5	7	7
عدم فنس‌کشی مناسب	3	3	3
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	5	5	7
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	7	5	9
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	5	7	7
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	5	7	5
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	7	3	5
جمع کل	70	70	76

جدول ۵- ماتریس نرمال شده

Table 5. Normalized matrix

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
شکار غیرمجاز	0.1	0.0714	0.0657
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0.0142	0.0428	0.0394
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.0714	0.1	0.0657
عدم حمایت قانونی کافی	0.0428	0.0428	0.0657
کمبود کارشناس	0.0428	0.0428	0.0394
پسماندهای گردشگران	0.1	0.0714	0.0921
بیماری‌های حیات‌وحش	0.1	0.1	0.0657
خشکسالی	0.0714	0.1	0.0921
عدم فنس‌کشی مناسب	0.0428	0.0428	0.0394
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.0714	0.0714	0.0921
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0.1	0.0714	0.1184
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.0714	0.1	0.0921
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.0714	0.1	0.0657
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.1	0.0428	0.0657

در واقع وزن معیار برابر با هر dj تقسیم بر مجموع dj ها است. وزن، معیار اهمیت نسبی هر معیار را مشخص می‌کند و باتوجه به پراکندگی اطلاعات در آن معیار تعیین می‌شود. معیارهایی که درجهٔ پراکندگی بیشتری دارند، وزن بالاتری می‌گیرند (جدول ۶).

ماتریس بی‌مقیاس موزون: با ضرب مقادیر نرمال‌شده ماتریس تصمیم‌گیری در وزن معیارها، ماتریس بی‌مقیاس موزون به‌دست می‌آید (جدول ۷). این ماتریس به تصمیم‌گیرنده امکان می‌دهد تا هم مقادیر معیارها را بی‌مقیاس کند و هم اهمیت نسبی هر معیار را لحاظ کند.

ماتریس نرمال وزن‌دهی شده: این ماتریس، مقادیر نرمال‌شده برای هر معیار را باتوجه به وزن‌های آن معیار ترکیب می‌کند. به‌عبارت دیگر، در این مرحله، هم مقادیر معیارها نرمال می‌شوند و هم اهمیت نسبی هر معیار از طریق وزن‌ها لحاظ می‌گردد (جدول ۸). مبنای محاسبهٔ فاصلهٔ گزینه‌ها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی است که در مراحل بعدی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود.

ماتریس راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی: در این مرحله، مقادیر A^+ و A^- تعیین می‌شوند که نمایانگر بهترین و بدترین مقادیر ممکن برای هر معیار هستند (جدول ۹). این ماتریس‌ها سپس برای محاسبهٔ فاصلهٔ هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی استفاده می‌شوند تا بتوانیم گزینه‌های مختلف را رتبه‌بندی کنیم.

پس از تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی مرحلهٔ بعدی در روش تاپسیس، محاسبهٔ فاصلهٔ هر گزینه از این دو راه‌حل است (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

محاسبهٔ ضریب نزدیکی: این ضریب نشان‌دهندهٔ میزان نزدیکی هر گزینه به بهترین گزینهٔ ممکن است (نزدیک‌ترین فاصله به راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی) (جدول ۱۲).

اولویت‌بندی گزینه‌ها: برای اولویت‌بندی گزینه‌ها در روش تاپسیس، پس از محاسبهٔ ضریب نزدیکی، گزینه‌ها براساس مقدار ضریب نزدیکی آنها مرتب می‌شوند (جدول ۱۳).

جدول ٦- عوامل تهدیدکننده، احتمال وقوع، شدت اثر و حساسیت محیط پذیرنده

Table 6. Threatening factors, probability of occurrence, severity of impact, and sensitivity of the receiving environment

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
شکار غیرمجاز	-0.3321	-0.0871	-0.258
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	-0.0729	-0.1945	-0.1838
کمبود محیط‌بان در منطقه	-0.0871	-0.3321	-0.258
عدم حمایت قانونی کافی	-0.1945	-0.1945	-0.258
کمبود کارشناس	-0.1945	-0.1945	-0.1838
پسماندهای گردشگران	-0.3321	-0.0871	-0.3182
بیماری‌های حیات‌وحش	-0.3321	-0.3321	-0.258
خشکسالی	-0.2718	-0.3321	-0.3182
عدم فنس‌کشی مناسب	-0.1945	-0.1945	-0.1838
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	-0.2718	-0.2877	-0.3182
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	-0.3321	-0.2877	-0.3644
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	-0.2718	-0.3321	-0.3182
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	-0.2718	-0.3321	-0.258
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	-0.3321	-0.1945	-0.258
Ej	0.2492	0.2415	0.2667
Dj= 1-Ej	0.7507	0.7584	0.733
W	0.3348	0.3383	0.3269

جدول ۷- ماتریس بی‌مقیاس موزون

Table 7. Weighted scale-free matrix

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
شکار غیرمجاز	0.1986	0.1418	-0.258
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0.0283	0.0851	-0.1838
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.1418	0.1986	-0.258
عدم حمایت قانونی کافی	0.0851	0.0851	-0.258
کمبود کارشناس	0.0851	0.0851	-0.1838
پسماندهای گردشگران	0.1986	0.1418	-0.3182
بیماری‌های حیات وحش	0.1986	0.1986	-0.258
خشکسالی	0.1418	0.1986	-0.3182
عدم فنس‌کشی مناسب	0.0851	0.0851	-0.1838
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.1418	0.1418	-0.3182
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0.1986	0.1418	-0.3644
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.1418	0.1986	-0.3182
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.1418	0.1986	-0.258
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.1986	0.0851	-0.258
وزن	0.3384	0.3383	2667

جدول ۸- ماتریس نرمال وزن‌دهی‌شده

Table 8. Weighted Normal Matrix

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
شکار غیرمجاز	0.0664	0.0479	0.0463
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0.0094	0.0287	0.0287
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.0474	0.0671	0.0463
عدم حمایت قانونی کافی	0.0284	0.0287	0.0463
کمبود کارشناس	0.0284	0.0287	0.0287
پسماندهای گردشگران	0.0664	0.0479	0.0649
بیماری‌های حیات‌وحش	0.0664	0.0671	0.0463
خشکسالی	0.0474	0.0671	0.0649
عدم فنس‌کشی مناسب	0.0284	0.0287	0.0287
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.0474	0.0479	0.0649
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0.0664	0.0479	0.0834
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.0474	0.0671	0.0649
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.0474	0.0671	0.0463
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.0664	0.0287	0.0463

جدول ۹- ماتریس راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی

Table 9. Positive and negative ideal solution matrix

	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده
max	0.0664	0.0671	0.834
min	0.0094	0.0287	0.0287

جدول ۱۰- فاصلهٔ عوامل تهدیدکننده از راه‌حل ایده‌آل مثبت

Table 10. Distance of threatening factors from the positive ideal solution

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده	مجموع	جذر
شکار غیرمجاز	0	0.00036	0.0013	0.00166	0.0407
تصادفات جاده‌ای حیات وحش	0.00324	0.00147	0.00309	0.007801	0.0883
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.00036	0	0.00137	0.001737	0.0417
عدم حمایت قانونی کافی	0.00168	0.0014	0.00137	0.00445	0.0667
کمبود کارشناس	0.00168	0.0014	0.00309	0.00617	0.0785
پسماندهای گردشگران	0	0.00036	0.00034	0.000702	0.0264
بیماری‌های حیات‌وحش	0	0	0.00036	0.00036	0.0189
خشکسالی	0.00036	0	0.00034	0.000701	0.0264
عدم فنس‌کشی مناسب	0.00173	0.00147	0.00309	0.00629	0.0793
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.00036	0.00147	0.00034	0.00217	0.0465
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0	0.00147	0	0.00147	0.0383
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.00036	0	0.00034	0.000701	0.0264
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.00036	0	0.0013	0.00166	0.0407
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0	0.00147	0.0013	0.00277	0.0526

جدول ۱۱- فاصله عوامل تهدیدکننده از راه‌حل ایده‌آل منفی

Table 11. Distance of threatening factors from the negative ideal solution

عوامل تهدیدکننده (ریسک)	احتمال وقوع	شدت اثر	حساسیت محیط پذیرنده	مجموع	جذر
شکار غیرمجاز	0.0032	0.000368	0.00034	0.00391	0.0625
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0	0	0	0	0
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.0014	0.0015	0.00034	0.00324	0.0573
عدم حمایت قانونی کافی	0.00036	0	0.00034	0.0007	0.0265
کمبود کارشناس	0.00036	0	0	0.00036	0.0189
پسماندهای گردشگران	0	0.00036	0.00137	0.00173	0.0415
بیماری‌های حیات‌وحش	0	0.00147	0.00034	0.00181	0.0425
خشکسالی	0.0014	0.00147	0.00137	0.00424	0.0651
عدم فنس‌کشی مناسب	0.00036	0	0	0.00036	0.0189
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.0014	0.000386	0.00137	0.00315	0.0561
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0	0.000386	0.00309	0.00347	0.0589
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.0014	0.0015	0.00137	0.00427	0.0653
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.0014	0.0015	0.00034	0.00324	0.0569
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.00032	0	0.00034	0.00066	0.0256

جدول ۱۲- ضریب نزدیکی هر گزینه به بهترین گزینه ممکن

Table 12. Coefficient of proximity of each option to the best possible option

شکار غیرمجاز	0.6056
تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0
کمبود محیط‌بان در منطقه	0.5787
عدم حمایت قانونی کافی	0.2843
کمبود کارشناس	0.0194
پسماندهای گردشگران	0.6123
بیماری‌های حیات‌وحش	0.6921
خشکسالی	0.7114
عدم فنس‌کشی مناسب	0.1924
ریشه‌کنی گیاهان دارویی	0.5467
قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0.6059
آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.7121
ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.5829
آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.5303

جدول ۱۳- اولویت‌بندی تهدیدها

Table 13. Prioritization of threats

اولویت‌بندی	نام تهدید	وزن محاسبه شده
1	آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی	0.7121
2	خشکسالی	0.7114
3	بیماری حیات‌وحش	0.6921
4	پسماندهای گردشگران	0.6123
5	قطع پوشش گیاهی به‌منظور سوخت و علوفه	0.6059
6	شکار غیرمجاز	0.6056
7	ایجاد راه‌های ارتباطی در منطقه	0.5829
8	کمبود محیط‌بان در منطقه	0.5787
9	ریشه‌کنی گیاهان دارویی	۰0.5467
10	آلودگی صوتی در بخش تفرجگاهی	0.5303
11	عدم حمایت قانونی کافی	0.2843
12	عدم فنس‌کشی مناسب	0.1924
13	کمبود نیروی کارشناس	0.0194
14	تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش	0

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش که با تلفیق دو روش دلفی فازی و تاپسیس انجام شد، گامی در راستای اولویت‌بندی علمی و نظام‌مند تهدیدهای پیشِ روی تنوع زیستی در پارک ملی تندوره برداشته است. یافته‌های مرحلهٔ دلفی فازی که مبتنی بر اجماع ۱۳ خبره بود، از میان ۲۰ عامل اولیه، ۱۴ عامل را به‌عنوان تهدیدهای نهایی و تأثیرگذار بر این اکوسیستم حساس غربالگری کرد. این مرحلهٔ کیفی نه تنها فهرست جامعی از تهدیدها را در اختیار قرار داد، بلکه نشان داد از منظر خبرگان، عواملی همچون «کمبود محیط‌بان» (با بالاترین ارزش قطعی ۴/۰۸)، «بیماری‌های حیات‌وحش» (۴/۰۲) و «خشکسالی» (۳/۹۸) در کنار «آتش‌سوزی»، از اولویت و اهمیت بالایی در مرحلهٔ شناسایی برخوردارند. این اجماع، صحت و روایی فهرست اولیه را تأیید و لزوم توجه همزمان به چالش‌های مدیریتی (نظیر کمبود نیرو) و مخاطرات طبیعی–انسانی را برای حفاظت مؤثر خاطرنشان می‌سازد.

در گام بعدی، اولویت‌بندی نهایی با روش تاپسیس بر مبنای سه معیار احتمال وقوع، شدت اثر و حساسیت محیط انجام پذیرفت. بر این اساس، «آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی» با ضریب نزدیکی ۰/۷۱۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین تهدید شناسایی شد. این نتیجه

با یافته‌های Kelly و همکاران (۲۰۲۰) و Ward و همکاران (۲۰۲۰)که بر نقش کاتالیزوری آتش‌سوزی در تشدید سایر فشارها بر حیات‌وحش تأکید داشتند، همسو است. شرایط منطقهٔ تندوره از جمله پوشش گیاهی خشک، وزش بادهای فصلی و افزایش فعالیت‌های انسانی (از قبیل بی‌احتیاطی گردشگران یا تعارضات محلی)، این اکوسیستم را به‌ویژه در برابر این تهدید آسیب‌پذیر کرده است.

نتایج حا صل از این پژوهش ن شان داد که از دیدگاه متخ ص صان و کار شنا سان محیطزی ست، «آتش سوزی‌های عمدی و غیرعمدی» با ضریب نزدیکی ۰/۷۱۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین عامل تهدیدکنندهٔ تنوع زی ستی در پارک ملی تندوره شناخته می شود. این در حالی ا ست که عامل «ت صادفات جاده‌ای حیات‌وحش» با ضریب نزدیکی صفر، کمترین تأثیر را دا شته ا ست. بالا بودن ریسک آتش‌سوزی در منطقهٔ تندوره، می‌تواند ناشی از عوامل متعددی باشد. پوشش گیاهی متراکم و خشک منطقه، وزش بادهای مو سمی، و افزایش دما در فصول گرم سال، شرایط را برای وقوع آتش سوزی‌های گسترده فراهم می‌کند. فعالیت‌های انسانی، از جمله بی‌احتیاطی گردشگران و دامداران در روشن کردن آتش و رها کردن زباله‌های قابل اشتعال، نیز نقش مهمی در بروز این آتش سوزی‌ها ایفا می‌کند. در این میان، آتش سوزی‌های عمدی که به دلایل مختلفی مانند تخریب مراتع برای ک شت، اختلافات محلی، یا سودجویی‌های اقتصادی رخ می‌دهند، خسارات جبران‌ناپذیری به تنوع زیستی منطقه وارد می‌سازند. در مطالعهٔ Kelly و همکاران (۲۰۲۰) و Ward و همکاران (۲۰۲۰) نیز عامل آتش‌سوزی درکنار تغییر اقلیم و تغییر سریع کاربری اراضی، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع جانوری شناسایی و تایید گردید.

خشکسالی که به‌عنوان دومین عامل تأثیرگذار تعیین شد، یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیرات چشمگیری بر کاهش تنوع زیستی جانوری دارد. این پدیده به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر زیستگاه‌ها، منابع غذایی، دسترسی به آب و شرایط زادآوری گونه‌های جانوری تأثیر می‌گذارد. کاهش دسترسی به آب و منابع غذایی منجر به مهاجرت گونه‌ها، کاهش نرخ تولیدمثل، و حتی افزایش رقابت بین گونه‌های مختلف می‌شود. علاوه بر این، خشکسالی می‌تواند زنجیرهٔ غذایی را مختل کند. از سوی دیگر، خشکسالی ممکن است اکوسیستم‌ها را نسبت به سایر تهدیدها، مانند آتش‌سوزی یا هجوم گونه‌های مهاجم، آسیب‌پذیرتر کند. این شرایط نه‌تنها باعث تغییر در ترکیب جمعیتی گونه‌ها می‌شود، بلکه برخی گونه‌های بومی ممکن است به‌طور کامل از بین بروند (Redono *et al*., 2020). در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره نیز باتوجه به داده‌های ثبت‌شده هواشناسی، در سال‌های اخیر خصوصاً در فصل تابستان شاهد کم‌شدن منابع آب سطحی و همچنین کاهش میانگین بارندگی‌های سالانه بوده‌ایم. Alinaghizade و Aslani Kordkandi (۲۰۲۴) در بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر علوفهٔ حیات وحش در مراتع پارک ملی و منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ تندوره بیان کردند که میان کاهش بارندگی و کم‌شدن سطح پوشش گیاهی و به‌تبع آن کاهش تعداد علفخواران رابطهٔ رگرسیونی مثبتی وجود دارد. در مطالعهٔ Sebrook و همکاران (۲۰۱۲) پدیدهٔ خشکسالی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توزیع و فراوانی کوالاها در جنوب غربی کوئینزلند گزارش و ثبت شد.

سومین عامل تهدیدکننده در منطقهٔ مطالعه بیماری‌های حیات وحش عنوان شد. تنوع گونه‌های جانوری و حضور گونه‌های شاخصی همچون قوچ و میش اوریال، کل وبز و پلنگ در منطقه، نقش حفاظت زیستگاه را بسیار برجسته‌تر می‌کند. یکی از عوامل مهم تهدیدکنندهٔ جمعیت‌های حیات وحش در این خطه، بالا بودن خطر بروز بیماری است. هم‌جواری حیات وحش این منطقه با دام‌های اهلی و شرایط اقلیمی اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر منطقه می‌تواند برای حیات وحش تهدیدآفرین و مستعد شیوع انواع بیماری‌ها باشد. Sharifat و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که شیوع چندبارهٔ طاعون نشخوارکنندگان کوچک در دههٔ اخیر در کشورمان بر جمعیت‌های قوچ و میش و بزهای وحشی اثرات مخرب شدیدی داشته است. متغیر فاصله از منابع آبی مهم‌ترین عامل در شیوع بیماری در حیات وحش بوده است. مطالعهٔ Aguirre (۲۰۱۷) علاوه بر تأیید نقش عامل بیماری‌ها در کاهش تنوع زیستی نشان داد که اختلالات دیگر اکوسیستم مانند تخریب زیستگاه، تجمع آلاینده‌های سمی و تغییر اقلیم، انتقال بیماری‌های عفونی بین حیات وحش را تشدید می‌کند.

از سوی دیگر، پایین بودن اولویت «تصادفات جاده‌ای حیات‌وحش» در مقایسه با سایر عوامل تهدیدکننده، لزوماً به‌معنای بی‌اهمیت بودن این عامل نیست، بلکه این نتیجه می‌تواند نشان‌دهندهٔ محدود بودن شبکه‌های جاده‌ای در داخل یا حاشیهٔ پارک ملی تندوره،

یا پایین بودن تردد وسایل نقلیه در این جاده‌ها باشد. با این حال، باتوجه به افزایش روزافزون جمعیت انسانی و توسعهٔ زیرساخت‌های حمل‌ونقل در اطراف مناطق حفاظت‌شده، لازم است تمهیدات ویژه‌ای برای کاهش تلفات جاده‌ای حیات وحش در نظر گرفته شود. وجود جاده‌های عبوری از نزدیکی این منطقه یا در حاشیهٔ آن، به‌ویژه جاده‌های محلی یا بین روستایی، به گونه‌های حیات وحش فرصت عبور از مسیرهای پرخطر را داده و احتمال برخورد ها با وسایل نقلیه را افزایش داده است. دلایل این تصادفات وجود جاده‌ها در حاشیه یا داخل منطقهٔ تندوره، عدم وجود پل‌های هوایی یا زیرگذرهای ویژهٔ عبور حیات وحش است و حیوانات مجبور می‌شوند برای جابجایی یا یافتن منابع غذایی و آبی از جاده عبور کنند. همچنین با گسترش روستاها و توسعهٔ مناطق اطراف تندوره، تردد خودروها در جاده‌های حاشیه‌ای افزایش یافته و این مسئله احتمال وقوع تصادفات را بیشتر کرده است. در مطالعات Rashidi و همکاران (۲۰۱۸)، Mousavi و همکاران (۲۰۱۸) و Morozov (۲۰۲۱) تصادفات و تلفات جاده‌ای حیات وحش یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریتی آنها در مناطق حفاظت‌شده معرفی و تأیید گردید. از جمله راهکارهای مدیریتی که می‌توان در این زمینه پیشنهاد داد، افزایش فرهنگ‌سازی و آموزش‌های اخلاق محیط‌زیستی، اطلاع‌رسانی‌های فصلی، نصب تجهیزات و علائم هشداردهنده و کاهندهٔ سرعت، ایجاد گذرگاه‌های ویژه عبور حیات وحش و وضع قوانین و برخوردهای قانونی است.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که تنوع زیستی در پارک ملی تندوره تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که نیازمند مدیریت فعال و هماهنگ است. برای حفاظت مؤثر از تنوع زیستی این منطقهٔ ارزشمند، لازم است برنامه‌ریزان و مدیران منابع طبیعی با همکاری جوامع محلی و سایر ذی‌نفعان، راهکارهای جامعی را برای کاهش اثرات منفی آتش‌سوزی، تصادفات جاده‌ای و سایر تهدیدات شناسایی‌شده تدوین و اجرا کنند.

پژوهش حاضر باهدف شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدهای اثرگذار بر تنوع زیستی پارک ملی تندوره، از طریق تلفیق رویکردهای دلفی و تاپسیس انجام شد. یافته‌ها حاکی از آن است که «آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی» به‌عنوان مهم‌ترین عامل تهدیدکنندهٔ تنوع زیستی از دیدگاه کارشناسان و متخصصان محیط‌زیست شناخته می‌شود، در حالی‌که «تصادفات جاده‌ای حیات وحش» کمترین اولویت را به‌خود اختصاص داده است. این نتایج بر ضرورت اتخاذ رویکردهای مدیریتی پیشگیرانه و تخصیص بهینهٔ منابع به‌منظور کاهش خطر آتش‌سوزی و همچنین بررسی دقیق‌تر عوامل مرتبط با تلفات جاده‌ای حیات‌وحش تاکید می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تنوع زیستی یک سیستم پویا و پیچیده است که تحت تأثیر همزمان عوامل محیطی و انسانی قرار دارد. بنابراین، حفاظت از آن مستلزم رویکردی جامع و چندبعدی است. ادامهٔ مطالعات در این زمینه می‌تواند به توسعهٔ استراتژی‌های عملی برای کاهش اثرات منفی و تقویت تنوع زیستی کمک کند. اولویت‌بندی ارائه شده در این مطالعه، می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران منابع طبیعی در اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر و مبتنی بر شواهد کمک کند. باتوجه به محدودیت‌های منابع مالی و انسانی، مدیریت بهینهٔ تهدیدها و تخصیص هدفمند بودجهٔ حفاظتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، مشارکت فعال تمامی ذی‌نفعان، از جمله جوامع محلی، سازمان‌های دولتی و سازمان‌های مردم‌نهاد، در حفاظت از تنوع زیستی پارک ملی تندوره ضروری است. این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهد که پارک ملی تندوره تحت تأثیر ترکیبی از تهدیدات طبیعی و انسان‌ساخت با اولویت‌های متفاوت قرار دارد. اولویت‌بندی ارائه‌شده می‌تواند مبنای علمی برای تخصیص بهینهٔ منابع محدود حفاظتی باشد. در راستای تکمیل و تعمیق یافته‌های این پژوهش، انجام مطالعات آتی در قالب‌های زیر پیشنهاد می‌شود:

مدل‌سازی فضایی تهدیدها: استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تهیهٔ نقشه‌های پراکنش مکانی تهدیدهای اصلی (مانند آتش‌سوزی، خشکسالی و تعارض انسان–حیات وحش) و شناسایی کانون‌های بحرانی.

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم: مدل‌سازی تغییرات احتمالی در دامنهٔ پراکنش گونه‌های شاخص پارک (مانند پلنگ ایرانی و قوچ و میش) تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم‌هایی مانند MaxEnt.

بررسی دقیق‌تر تعارض انسان–حیات‌وحش: انجام مطالعات میدانی و پیمایش‌های اجتماعی برای شناسایی ریشه‌های اقتصادی–اجتماعی تعارض و ارزیابی میزان پذیرش راهکارهای کاهش تعارض توسط جوامع محلی.

تحلیل اقتصادی خدمات اکوسیستمی: کمی‌سازی ارزش اقتصادی خدمات ارائه‌شده توسط پارک (مانند تأمین آب، گردشگری و ذخیره‌گاه ژنتیکی) به‌منظور آگاه‌سازی تصمیم‌گیران و توجیه سرمایه‌گذاری بیشتر در حفاظت.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه ملایر انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdollahi, M., Sarvari, S., Amiri, H., 2025. Assessment of the effect of water resource accessibility cost on habitat suitability of urial (*Ovis orientalis*) in Tandoureh National Park. Iranian Journal of Ecosystem Research 25(1), 75-89. (In Persian)

Aghamiri, S., Hosseini, M., Mohammadi, R., 2005. Climatic and geomorphological characteristics of Tandoureh National Park. Journal of Physical Geography 5(2), 45-62. (In Persian)

Alinaghizade, M., Aslani Kordkandi, A. 2024. Investigating the impact of climate change on wildlife fodder in the pastures of national parks and protected areas (case study: Golestan National Park). Quarterly Journal of Geography (Regional Planning) 14(55), 312-328. (In Persian)

Asgharpour, M.J., 2015. Multi-criteria decision making. Tehran University Press. Tehran. Iran. 399 p. (In Persian)

Becerra, S., Marinero, J., Borghi, C.E., 2022. Poaching and illegal wildlife trade in western Argentina. Ethnobiology and Conservation.

Bisht, M., Cekar, C., Mukherjee, S., Thapliyal, N., Dey, D., 2022. Influence of Anthropogenic Pressure on the Planet Species Richness and Diversity Along the Elevation Gradient of Indian Himalayan High-Altitude Protected Area. Ecology and Evolution 10, 751989.

Can-Hernández, G., Villanueva-García, C., Gordillo-Chávez, E.J., Pacheco-Figueroa, C.J., Pérez-Netzahual, E., García-Morales, R., 2019. Wildlife damage to crops adjacent to a protected area in Southeastern Mexico: Farmers' perceptions versus actual impact. Human-Wildlife Interactions 13(3), 423–438.

Carneiro, L., Miller, N.O.R., Cuthbert, R.N., Vitule, J.R.S., 2024. Biological invasions negatively impact global protected areas. Science of the Total Environment 948, 174823.

Chen, R., Peng, Y., Ren, Q., Wu, J., 2025. Optimizing global protected areas to address future land use threats to biodiversity. Land Use Policy 154©.

Cui, P., Wang, Y., Zhang, G.T., Zhang, Z.T., Lei, Y., Wang, H., Wang, J., Hao, J.S., Zhu, H., 2025. Disaster risk prevention under climate change: current status, challenges, and scientific issues. Climate Change Research 21(4), 449-460.

Darabi, H., Saeedi, I., 2019. The Design of Resilient Green Spaces towards Adapting with Climate Change, Case Study Behesht Boulevard, Borujerd. Journal of Environmental Science and Technology 21(9), 209–219. (In Persian)

De Souza, K., Kituyi, E., Harvey, B., Leone, M., Murali, K.S., Ford, J.D., 2015. Vulnerability to climate change in three hot spots in Africa and Asia: key issues for policy-relevant adaptation and resilience-building research. Regional Environmental Change 15(5), 747–753.

Eriksen, S., Schipper, E.L.F., Scoville-Simonds, M., Vincent, K., Adam, H.N., Brooks, N., West, J.J., 2023. Adaptation interventions and their effect on vulnerability in developing countries: A systematic review. Climate Risk Management 41, 100545.

Ferdin, A. E. J., Chandra Aryal, U., Dhungana, N., Ram Lamichhane, B., Wei Chook, J., Lee, C.-H., 2024. Prioritizing human-wildlife conflict management strategies through importance-performance analysis: Insights from Chitwan National Park, Nepal. Journal for Nature Conservation 81.

Forner, W. G., Zalba, S. M., Guadagnin, D. L., 2022. Methods for Prioritizing Invasive Plants in Protected Areas: A Systematic Review. Natural Areas Journal 42(1), 69-78.

Foxcroft, L. C., Richardson, D. M., Pyšek, P., Genovesi, P., 2013. The bottom line: Impacts of alien plant invasions in protected areas. In Plant Invasions in Protected Areas: Patterns, Problems and Challenges 19–41.

Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D.S., DeClerck, F., 2014. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems 21-40.

Gross, E. M., Jayasinghe, N., Dahal, S., Tenzin, S., Klenzendorf, S., Vannelli, K., van Gils, E., Hilderink-Koopmans, F., McVey, D., Banasiak, N., Boron, V., Frances, D., Petrone, S., Elliott, W., Cranston, K., Clemens, K., Moore, J. F., Glikman, J. A., Kansky, R., Kinnaird, M. F., 2025. C2C-conflict to coexistence: A global approach to manage human-wildlife conflict for coexistence. Conservation Science and Practice 7(2).

Hamilton, C. M., Martinuzzi, S., Plantinga, A. J., Radeloff, V. C., Lewis, D. J., Thogmartin, W. E., Heglund, P. J., Pidgeon, A. M., 2013. Current and Future Land Use around a Nationwide Protected Area Network. PLoS ONE 8(1).

Havvey, T., 1995. An education 21 program: Orienting Environmental Education towards sustainable development and capacity building for Rio- the environmentalist 15, 202-210.

Jiang, L., Yu, L., 2019. Analyzing land use intensity changes within and outside protected areas using ESA CCI-LC datasets. Global Ecology and Conservation 20.

Khan, Y. D. I., Purohit, S., Goswami, M., Nautiyal, S., 2025. Management of human-wildlife conflicts for sustainable socio-ecological development. In Forests for Inclusive and Sustainable Economic Growth 355–371.

Kozlovska, P., Miller, T., 2023. Usage of artificial intelligence for bioecological conservation and restoration.

Kragt, M. E., Hay, E. J., Renton, M., 2016. Supporting wildlife conservation by modeling the effectiveness of community-led poacher mitigation. Environmental Modeling and Software for Supporting a Sustainable Future, Proceedings - 8th International Congress on Environmental Modeling and Software, IEMSs 4, 1245–1252.

Krishnaswamy, V., Singh, N., Sharma, M., Verma, N., Verma, A., 2023. Application of CRISP-DM methodology for managing human-wildlife conflicts: an empirical case study in India. Journal of Environmental Planning and Management 66(11), 2247-2273.

Liu, Z., Tian, S., Lu, S., Zhu, Z., Peng, Y., Li, X., An, L., Li, J., Xu, J., Wang, Y., 2023. Climate and land-use changes threaten the effectiveness of protected areas for protecting Galliformes in Southeast Asia. Frontiers in Ecology and Evolution, 3.

Madanchian, M. Taherdoost, H., 2023. A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making. Sustainable Social Development 1(1).

Makvandi, R., Astani, S., Anousheh, Z., 2013. Environmental risk assessment of wetlands using TOPSIS and FMEA methods (case study: Shirinsu wetland in Hamadan province). Quarterly Journal of Wetland Ecobiology 12, 25-40. (In Persian)

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Zhou, B., 2023. Climate Change 2023: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.

Milan, A., Carraro, V., Pregnolato, M., Domeneghetti, A., Castellarin, A., 2024. The role of remote sensing and AI in early warning systems for hydro-meteorological extremes in vulnerable regions. Science of The Total Environment 912, 169234.

Morozov A.V., 2021. Ecological aspects of road accidents .Technical Sciences 3(50), 123-131.

Mousavi, S M., Kazemi, E., Poursina, M., 2018. Road mortality of Carnivores with an emphasis on road casualties of cheetah and leopard in Iran. Human & Environment 45, 143-151. (In Persian)

NikAndish, A., Dashti, SS., Sabzqabaei, G.R., 2019. Environmental Risk Assessment of Karkheh National Park and Protected Area Based on the TOPSIS Method. Journal of Spatial Analysis of Environmental Risks 5(2), 55-72. (In Persian)

Rashidi, M., Chamani, A., Moshtaghqi, M., 2018. Studying the consequences of road construction on the diversity and abundance of different bird species (Case study: Zayandeh Rood Park, Isfahan). Quarterly Journal of Animal Ecology 10(4). (In Persian)

Salman Mahini, A., 2012. The Foundation of Environmental Protection. Daynegar Publications, Tehran. 476 pages. (In Persian)

Shoaee, A., Yarmohammadi, S., 2016. Leopard diet Panthera pardus saxicolor, Pocock 1927 In Tandoore National Park during the summer and autumn seasons . Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology) 29(4). (In Persian)

Shoaee, H., Yarmohammadi, M., 2016. Diet and feeding ecology of the Persian leopard (Panthera pardus saxicolor) in Tandoureh National Park. Journal of Applied Research in Zoology 27(3), 341-350.

Stojnisc, D., DaniloviC, M., Antonic, S., Cirovic, V., Drazic, S., 2022. A Deplhi Technique -based Selection of Impact Criteria for Determining Suitable Locations for Forest Roads Construction in Protected Areas. Fresenius Environmental Bulletin 31(4), 4256-4264.

Sun, Y., Liu, SH., Liu, Y., Dong, Y., 2021. Effects of the interaction among climate, terrain and human activities on biodiversity on the Qinghai-Tibet Plateau. The Sience of the Total Environment 794,148497.

Ward,M., Tulloch, A., Radford, J., Williams, B., 2020. Impact of 2019-2020 mega-fires on Australian fauna habitat. Epub 4(10),1321-1326.

Yirdaw, E., Kanninen, M., Monge, A.M., 2023. Synergies and trade-offs between biodiversity and carbon in ecological compensation. Sustainability 15(15), 11930.

Zaman, M., Jabeen, A., Shabbir, R., 2023. Collection of non timber forest products (ntfps) and their contribution to sustainable rural livelihoods in selected areas around ayubia national park, pakistan.