Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Modeling the suitability of Caracal habitat (Caracal caracal, Schreber, 1776) using MaxEnt model in the future climate of Iran

Nafise Faghih Sabzevari [1] | Azita Farashi [2]✉

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. E-mail. na.faghihsabsevari@um.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Environmental Sciences, Faculty of natural resources and environment, Ferdowsi University of Mashhad. E-mail: farashi@um.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 23 July 2022
Received in revised form 12 November 2022
Accepted 8 December 2022
Published online 19 April 2024

Keywords:
Climate Change, Habitat Modeling,
Habitat assessment,
MaxEnt.

ABSTRACT

Today, climate change and habitat loss are the biggest threats to wildlife. Therefore, accurate information on ecology and habitat requirements conserve species from these changes and identifying the most important factors to attract species and the development of habitat suitability maps can be considered a species protection process. After leopards and cheetahs, Caracal is the third biggest member of the cat family (Felidae) in Iran that has a key role in controlling of rodent populations and its habitat is mostly in arid areas. Accordingly, in this research by using the maximum entropy method, to investigate the effects of climate change on the degree of desirability of caracal habitats and its effect on the distribution of this species in the present time and under two climate scenarios RCP2.6 and RCP8.5 in the period of time 2061 to 2080 was paid in Iran. In this study, four groups of environmental variables are used: climate, topography, land cover, and land use. The results showed that in the section on the importance of variables in the selection of habitat by species, the variables of distance from the conservation network, distance from sand dunes, and distance from dense forest areas had the greatest impact on the selection of suitable habitat for the Caracal at the present time and for the future time, the variables of mean temperature of warmest quarter and elevation had the highest importance on the distribution of Caracal. In addition, the results of the survey of the level of suitability of caracal habitats showed that 13.2% of Iran's habitats have sufficient suitability for the species, which overlaps with the current protection network of 48.2%, while the level of desirable habitat for the species in the future Under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, it will reach 30.9 and 27.4, respectively, and its overlap with the current protection network will decrease to about 66% and will reach 17.8% overlap.

Cite this article: Faghih Sabzevari, N., Farashi, A., . (2024). Modeling the suitability of Caracal habitat (Caracal caracal, Schreber, 1776) using MaxEnt model in the future climate of Iran . *Journal of Geography and Planning*, 28 (87), 277-293. http//doi.org/10.22034/GP.2022.52676.3030

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/GP.2022.52676.3030

Extended Abstract

Introduction

Today, climate change and habitat loss are the biggest threats to wildlife. Therefore, accurate information on ecology and habitat requirements to conserve species from these changes and identifying the most important factors to attract species and the development of habitat suitability maps can be considered a species protection process. After leopards and cheetahs, Caracal is the third biggest member of the cat family (Felidae) in Iran that has a key role in controlling rodent populations and its habitat is mostly in arid areas.
In Iran, little research has been done regarding ecological needs, habitat conditions, and caracal conservation. In most habitats, human works such as roads, cities, agriculture, and animal husbandry affect the life and habitat selection of the species. Caracal is not a migratory animal, but based on observations, it has had seasonal and local shifts in its habitat (Adibi et al. al., 2014: 96). Accordingly, in this research, to better manage and protect the species, by producing a habitat desirability map, to investigate the effect of climate change on the distribution of caracal, as well as to determine the optimal habitats and the distribution of this species in the future to reduce the adverse effects of global warming and habitat destruction and land use changes by humans have been discussed.

Data and Method

The region studied in this study is Iran, a diverse and rare country in terms of elevation and altitude, climate, and habitat. Its position is remarkable in terms of animal geography in the world.
In this study, to prepare the caracal habitat desirability model, MaxEnt software was used, which includes the data of only the presence of the species and the environmental variables affecting the distribution of the species. The data relating to the presence of the species is 52 points of mere presence and the environmental variables used in this research currently include 32 variables which are in four categories: climate, land use, topography, and land cover in the future the environmental variables will be The use includes two categories of climatic and topographical variables, in total 14 environmental variables have been used for this time. Modeling for the caracal species has been done in both the present and the future under the $RCP_{2.6}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios, and the future modeling for the period from 2061 to 2080 has been done under the BCC-CSM2-MR model. In this study, Arc Map 10.2 software was used to prepare environmental variables, and IDRISI software was used in this study to determine the area and overlap of caracal habitat under different climate scenarios.

Results and Discussion

In this study, to evaluate the overall quality of the model, the AUC (area under the curve) has been used, the value of AUC is 0.85 at present, and in the future under the $RCP_{2.6}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios, it shows the values of 0.72 and 0.69, respectively. Gives, which indicates the good predictive power of the model in the present time and the acceptability of the output model in the future time. In the percentage of participation of each of the environmental variables used in the modeling of the caracal habitat, the variable distance from the protected areas has the greatest impact on the distribution of the species, which can be related to the effect of these areas on the protection of the species and the ecosystem in against pressure caused by human activities (Campbell et al., 2009) as well as land use changes (Verburg et al., 2006: 153) and are considered key and strategic components of conservation. The next variables that have the

most impact on the distribution of caracal at present are the variable of distance from sandy areas, and distance from dense forests. The importance of these variables can be examined from the point of view of caracal vegetation and prey. In the research conducted by Farhadinia et al. in 2007, the results showed that the caracal sometimes hunts its prey by hiding in the bushes, and in the plant type *Artemisia sieberi-Dendrostellera lessertii*, which is a shrub-bush plant, it is 73% more is likely to be present. From the point of view of hunting the importance of these variables, it can be stated that based on the results obtained, the habitat of the rabbit and wheat cockerel overlaps with the habitat of the caracal more than other prey and they are considered to be the main prey of the caracal and most of the rabbits and cockers are sheltered in these bushes and shrubs. As they live, this issue provides a suitable opportunity for the caracal to hunt (Adibi et al., 2016).

In modeling the habitat of the species in the future, the variables of the average temperature of the hottest season, the minimum temperature of the coldest month and the average height above sea level under the $RCP_{2.6}$ scenario, and the average temperature of the hottest season, the average temperature of the coldest season and the average height above sea level under the $RCP_{8.5}$ scenario They are reported as the most effective variables in the future by the model.

In the section examining the changes in the level of favorable habitats of the species, it was found that the favorable habitats of the caracal now occupy 13.2% of the area of Iran, which overlaps only 48.2% with the current protection network of Iran, and this amount of favorable habitat under Optimistic and pessimistic climate scenarios will reach 30.9 and 27.4% respectively in the future (of which, under the $RCP_{2.6}$ scenario, 165.8% is related to the new habitats of the species and 68.5% to the fixed habitats of the species and under the scenario, $RCP_{8.5}$ includes 8.142% of the new habitat and 64.7% of the fixed habitat of the species) while its overlap with the current protection network of Iran shows a decreasing trend, so that under the $RCP_{2.6}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios 16.5 and 17.8 percent of the suitable habitats of the species will overlap with Iran's protection network in the future, respectively.

Conclusion

The results of this study for caracal at the level of habitats in Iran showed that the distance variable from protected areas is the most important variable, with the highest participation rate in determining the ideal habitat of caracal at present. The reason for this can be considered the effect of the protection network in reducing the effects of human activities on the species. After that, the variables of the distance from the sand fields, the distance from the forest areas with medium and high density, as well as the variable of the average height above sea level have the greatest impact on the distribution and suitability of the habitat for the species at present.

In the current research, it was found that the central, eastern, and northeastern parts of Iran, such as Semnan, Razavi Khorasan, South Khorasan, Isfahan, Yazd, and Tehran, as well as parts of the north and southwest of Iran, such as Kermanshah, Ilam, Lorestan, Chaharmahal and Bakhtiari provinces, The habitats with high desirability for this species will be under optimistic and pessimistic scenarios in the future, and the northwestern parts such as Kurdistan, Zanjan, Hamedan provinces and parts of southern Iran as well as Bushehr, Hormozgan, Kerman provinces are among the habitats that have sufficient desirability under future climate scenarios. They will not have Caracal to live in the future.

This issue is also expressed numerically in the habitat area calculation section, based on $RCP_{2.6}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios, the area of habitats is 30.98% and 27.44%, respectively, which is an increase compared to the current area of Caracal, which is 13.21%. It shows 121%, but in the area of overlap of the ideal habitat of the future caracal with the current protection network of Iran, a reduction of up to 66% can be seen, which can be attributed to the change

in the distribution pattern of the species in the future climatic niche. This decrease in the level of desirable habitat within the protection network will reduce the efficiency of Iran's protection network in protecting the species, increase the sensitivity of the species to climate change, and intensify the effects of climate change.

References

Adibi, M. A., Karami, M., Kaboli, M., (2014), **Study of seasonal changes in habitat suitability of Caracal caracal schmitzi (Maschie 1812) in the central desert of Iran**, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, **5**: 95-106.

Adibi, M. A., Naseri, S., Zaheri, b. A., & Behzadi, F. (2016). **Most important vegetation type affecting on distribution of Caracal Caracal in Kavir National Park, Iran.** The Second International Conference on Landscape Ecology, 551-562. (in Persian).

Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Demirel, M. C., Chung, E. S., (2019), **Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics**, Hydrology and Earth System Sciences, **23(11)**: 4803–4824.

Akbari harouni, H., Behrooz rad, B., Hassanzadeh kiabi, B. (2008). **Investigation on Habitat Suitability of Gazella Subgutturosa in Kalmand-Bahadoran Protected Area in Yazd Province**. Journal of Environmental Studies, 34(46), 113-118. (in Persian).

Ashrafzadeh, M. R., Khosravi, R., Adibi, M. A., Taktehrani, A., Wan, H. Y., Cushman, S. A., (2020), **A multi-scale, multi-species approach for assessing effectiveness of habitat and connectivity conservation for endangered felids**, Biological Conservation, pp. **245**.

Baasch, D. M., Tyre, A. J., Millspaugh, J. J., Hygnstrom, S. E., Vercauteren, K. C., (2010), **An evaluation of three statistical methods used to model resource An evaluation of three statistical methods used to model resource selection selection An evaluation of three statistical methods used to model resource selection**, Ecological Modelling, **221**: pp. 565–574.

Campbell, A., Kapos, V., Scharlemann, J. P. W., Bubb, P., Chenery, A. Coad, L., Dickson, B., Doswald, N., Khan, Md. S., Kershaw, F., Rashid, M., (2009), **Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation**, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, **42**: pp. 1-124

Cicnjak, L., Roth, H., Ruff, R., Huber, D., (1987), **Food Habits of Brown Bears in Plitvice Lakes National Park, Yugoslavia**, Conf. Bear. Res and Manage, 7, pp. 221-226.

Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S., Murphy, C., (2021), **Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for iran using rcp scenarios**. Journal of Water and Climate Change, **12(1):** 166–184.

Eid, E., Soultan, A., Elalqamy, H., (2022), **Habitat Suitability Modelling for Feline Species in Jordan: A tool for Climate-Responsive Conservation Planning**, Journal of Wildlife and Biodiversity, **6**.

Farhadinia, M. S., Akbari, H., Beheshti, M., Sadeghi, A., (2007), **Ecology and status of the caracal, caracal caracal, (Carnivora: Felidae), in the Abbasabad Naein Reserve, Iran**, Zoology in the Middle East, **41(1):** 5-10.

Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mas-Trandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Es-Trada, Y. O., Genova, R. C., (2014), **IPCC 2014: Summary for policymakers in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, pp. 1–32.

Gibson, L. A., Wilson, B. A., Cahill, D. M., Hill, J., (2004), **Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (Antechinus minimus maritimus) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia**, Biological conservation**, 117(2)**: 143-150.

Karami, M., Ghadirian, T., Faizolahi, K. (2016). **The Atlas of Mammals of Iran**. (in Persian).

Karami, P., Rezaei, S., Shadloo, S., Naderi, M., (2020), **An evaluation of central Iran's protected areas under different climate change scenarios (A Case on Markazi and Hamedan provinces)**, Journal of Mountain Science, **17(1)**: 68–82.

Khosravi, R., Hemami, M. R., Malekian, M., Flint, A., Flint, L., Zool, T. J., Hemami, M.-R., Flint, A. L., Flint, L. E., (2016), **Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model**, Turkish Journal of Zoology**, 40(4)**: 574–585.

Khoorani, A., Jamali, Z., (2016), **Effects of Climate Change on Drought Duration and Severity in Arid and Semi-arid Stations (Bandarabbassand Shahrekord), Based on HADCM3 Model.** Geography and Planning**, 20(57)**: 115-131. (in Persian).

Malakoutikhah, S., Fakheran, S., Hemami, M.R., Senn, J., (2020), **Evaluating potential of arid and semi-arid regions in maintaining suitable habitats for montane ungulates under climate change Case study: wild sheep (Ovis sp) and wild goat (Capra aegagrus)**. 12(1), 9-16. (in Persian).

Mendlik, T., Gobiet, A., (2016), **Selecting climate simulations for impact studies based on multivariate patterns of climate change**, Climatic Change, **135(3–4)**: 381–393.

mesri alamdari, P., rasouli, S., (2021), **Analysis of the effect of urban climate change on the spatial distribution of the population with emphasis on thermal islands Case study of Sari city**. Geography and Planning, **25(77):** 231-243. (in Persian).

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**, Journal of Animal Environment, **6(4)**: 135-149.

Morovati, M., Kaboli, M., Panahandeh, M., Sarbaz, M., Ahmadian, S., (2017), **Modeling the Habitat suitability of Cheetah(Acinonyx jubatus venaticus) Under the influence of climate change in Iran using software MaxEnt**. Journal of Animal Environment, 9(1), 13-20. (in Persian).

Moqanaki, E. M., Farhadinia, M. S., Tourani, M., Akbari, H., (2016), **The Caracal in Iran–current state of knowledge and priorities for conservation**. Cat News Special, **(10)**, pp. 27-32.

Nashwan, M. S., and Shahid, S., (2020), **A novel framework for selecting general circulation models based on the spatial patterns of climate**, International Journal of Climatology, **40(10)**: 4422–4443.

Ortigosa, G. R., De Leo, G. A., Gatto, M., (2000), **VVF: integrating modelling and GIS in a software tool for habitat suitability assessment**, Environmental Modelling and Software, **15(1)**: 1–12.

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., Peterson, A. T., (2007), **Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**, Wiley Online Library, **34(1)**: 102–117.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E., (2006), **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**, Ecological Modelling, **190(3)**: 231–259.

Sanei, A., Gordmardi, E., Jafari, B., Absalan, H., & Zakaria, M., (2013), **Persian Leopard distribution in relation to human pressures and prey resources in North Khorasan Province, Iran**. Paper presented at the Proceedings from International Forestry Graduate Students, pp. 58-61.

Singh, R., Qureshi, Q., Sankar, K., Krausman, P. R., Goyal, S. P., (2015), **Estimating occupancy and abundance of Caracal in a semi-arid habitat, Western India**, European Journal of Wildlife Research, **61(6):** 915-918.

Suárez-Seoane, S., de la Morena, E. L. G., Prieto, M. B. M., Osborne, P. E., de Juana, E., (2008), **Maximum entropy niche-based modelling of seasonal changes in little bustard (Tetrax tetrax) distribution**, Ecological Modelling, **219(1-2):** 17-29.

Sobouti, Y. (2011). **Warmed Earth: What has the climate of the 21st century, Volume 1, Publisher of the Institute of Geography and Cartography of Gita**, 240 pages. (in Persian).

Thorn, J. S., Nijman, V., Smith, D., Nekaris, K. A. I., (2009), **Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus)**, Diversity and Distributions, **15(2):** 289–298.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K., (2011), **The representative concentration pathways: an overview**, Climatic Change, **109(1):** 5.

Veals, A. M., Burnett, A. D., Morandini, M., Drouilly, M., Koprowski, J. L., (2020), **Caracal caracal (Carnivora: Felidae)**, Mammalian Species, **52(993):** 71-85.

Verburg, P. H., Overmars, K. P., Huigen, M. G., de Groot, W. T., Veldkamp, A., (2006), **Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines**, Applied Geography, **26(2)**: 153–173.

Walden-Schreiner, C., Leung, Y. F., Tateosian, L., (2018), **Digital footprints: Incorporating crowdsourced geographic information for protected area management**.

Ye, P., Zhang, G., Zhao, X., Chen, H., Si, Q., & Wu, J., (2021), **Potential geographical distribution and environmental explanations of rare and endangered plant species through combined modeling: A case study of Northwest Yunnan, China**, Ecology and Evolution, **11**, pp. 13052–13067.

Zhang, J., Jiang, F., Li, G., Qin, W., Li, S., Gao, H., Cai, Z., Lin, G., Zhang, T., (2019), **Maxent modeling for predicting the spatial distribution of three raptors in the Sanjiangyuan National Park, China**, Ecology and Evolution, **9**: 6643–6654.

Zhang, J., Jiang, F., Li, G., Qin, W., Li, S., Gao, H., Cai, Z., Lin, G., Zhang, T., (2019), **Maxent modeling for predicting the spatial distribution of three raptors in the Sanjiangyuan National Park, China**. Ecology and Evolution**, 9**, 6643–6654.

Ziaie, H. (2009), **A Field Guide to the Mammals of Iran**. Tehran: Wildlife Introduction Center. (in Persian).

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۸۰۷۸-۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۳۵۳۴-۲۷۱۷
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

بررسی مطلوبیت زیستگاه کاراکال Caracal caracal (Schreber, 1776,) با استفاده از مدل MaxEnt در اقلیم آینده ایران

نفیسه فقیه سبزواری[۱] | آزیتا فراشی[۲]✉

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست- دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد. رایانامه: na.faghihsabsevari@um.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد. رایانامه: farashi@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱/۳۱

کلیدواژه‌ها:
ارزیابی زیستگاه، تغییر اقلیم، مدل‌سازی زیستگاه، MaxEnt..

چکیده

امروزه از تغییرات اقلیمی به‌همراه تخریب زیستگاه به عنوان مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده حیات‌وحش یاد می‌شود. از این رو، داشتن اطلاعات صحیح از نیازهای اکولوژیکی و زیستگاه هر گونه، زمینه را برای حفاظت از گونه‌ها در برابر این تغییرات فراهم می‌کند. تعیین مهم‌ترین عوامل در جلب نظر گونه‌ها، به همراه تهیه نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه می‌تواند اقدامی در راستای حفاظت از گونه‌ها باشد. در ایران بعد از پلنگ و یوزپلنگ کاراکال سومین گربه‌سان موجود است که نقش کلیدی در کنترل جمعیت جوندگان دارد و زیستگاه‌های آن بیشتر در مناطق خشک قرار گرفته است. بر همین اساس در این پژوهش، با استفاده از روش حداکثر آنتروپی به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان مطلوبیت زیستگاه‌های کاراکال و نیز تأثیر آن بر نحوه پراکنش این گونه در زمان حال، تحت دو سناریوی اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 در دوره زمانی ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ در ایران پرداخته شد. در این مطالعه از ۴ دسته متغیر محیطی شامل: متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، کاربری اراضی و پوشش زمین استفاده شد که در مجموع ۳۲ متغیر برای زمان حال و ۱۴ متغیر برای زمان آینده را تشکیل داده است. نتایج نشان داد که در بخش تأثیر اهمیت متغیرها در انتخاب زیستگاه توسط گونه، متغیرهای فاصله از مناطق حفاظتی، شنزارها و مناطق جنگلی متراکم بیش‌ترین تأثیر را در انتخاب زیستگاه مطلوب برای کاراکال در زمان حال داشته و متغیرهای میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال و میانگین ارتفاع از سطح دریا تحت دو سناریوی آینده بیش‌ترین تأثیر را در انتخاب زیستگاه توسط گونه خواهند داشت. همچنین نتایج حاصل از بررسی سطح مطلوبیت زیستگاه‌های کاراکال نشان داد که هم‌اکنون ۱۳/۲ درصد از زیستگاه‌های ایران مطلوبیت کافی برای زیست گونه داشته که این میزان با شبکه حفاظتی کنونی ۴۸/۲ درصد هم‌پوشانی دارد این در حالی است که سطح زیستگاه مطلوب گونه در آینده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب به ۳۰/۹ و ۲۷/۴ خواهد رسید و از میزان هم‌پوشانی آن با شبکه حفاظتی کنونی تا حدود ۶۶ درصد کاسته و به مقدار ۱۷/۸ درصد هم‌پوشانی خواهد رسید.

استناد: فقیه سبزواری ، نفیسه ؛ فراشی آزیتا ؛ (۱۴۰۳). بررسی مطلوبیت زیستگاه کاراکال Caracal caracal (Schreber, 1776,) با استفاده از مدل MaxEnt در اقلیم آینده ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸ (۸۷)، ۲۹۳-۲۷۷.
http//doi.org/10.22034/GP.2022.52676.3030

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.

مقدمه

در طول قرن بیستم، کره زمین تعادل آب و هوایی خود را از دست داده است، به‌صورتی که اقلیم در حال تغییر و دما رو به افزایش می‌باشد. این تغییرات موجب به‌وجود آمدن تدریجی بسیاری از مشکلات از جمله: گرم شدن تدریجی آب و هوا، بالا آمدن سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌ها، بارش‌های رگباری سیل‌آسا، افزایش میزان خشک‌سالی، بارش باران اسیدی و تهدید سلامتی انسان و حیات‌وحش در مناطق مختلف زمین شده است (مصری و رسولی، ۱۴۰۰: ۲۳۱). در بین گونه‌های جانوری، کاراکال *Caracal caracal* (Schreber, 1776) یکی از ۱۰ گونه گربه ایران است که در خشک‌ترین جلگه‌ها و بیابان‌های مناطق مرکزی و شرقی ایران (Adibi et al., 2014: 96; Moqanaki et al., 2016: 28) و نیز برخی از مناطق غربی، جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی ایران حضور دارد و در سال‌های اخیر در استان‌های سمنان، یزد و اصفهان بیشتر دیده شده است (Sanei et al., 2013: 59). کاراکال معمولاً زندگی در استپ‌های خشک و بیابان‌ها، ساوان‌ها و جنگل‌های خشک، درختچه‌های مرتفع و بوته‌های کوتاه و یا مناطق صخره‌ای را ترجیح می‌دهد، این گونه اغلب از درختان به‌عنوان پناهگاه و از پوشش گیاهی، برای شکار طعمه استفاده می‌کند (Singh et al., 2015: 915; Veals et al., 2020: 77; Farhadinia et al., 2007: 10;). غذای آن به‌طور غالب پستانداران کوچک به‌خصوص جوندگان است و در شکار پرندگان مهارت زیادی دارد، به‌طوری که گاهی اوقات به پستانداران بزرگ جثه‌ای مانند جبیر نیز حمله می‌کند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵: ضیایی، ۱۳۸۸). بر اساس قوانین سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، کاراکال از نظر حفاظتی در زمره گونه‌های در خطر انقراض است و از نظر قوانین بین‌المللی[1] در فهرست گونه‌هایی با کم‌ترین نگرانی انقراض[2] قرار دارد و همچنین این گونه در پیوست I معاهده منع تجارت گونه‌های گیاهی و جانوری در خطر انقراض[3] نیز قرار گرفته است (Farhadinia et al., 2007: 6). در رابطه با کاراکال پژوهش‌ها نشان داده است که دشمن طبیعی کمی دارد، این در حالی است که تخریب زیستگاه‌ها از طریق کشاورزی و بیابان‌زایی و شکار دو تهدید اصلی برای جمعیت این گونه است. علاوه بر آن، در کشورهای عربی از دخالت‌های انسانی، کشتار، چرای بی‌رویه و کاهش طعمه به‌عنوان تهدیدهای اصلی دیگر برای کاراکال یاد می‌شود (Adibi et al., 2014: 96).

در ایران، تحقیقات کمی در رابطه با نیازهای اکولوژیکی، شرایط زیستگاه و حفاظت کاراکال صورت گرفته است. در اکثر زیستگاه‌ها، آثار انسانی مانند جاده‌ها، شهرها، کشاورزی و دامداری، حیات و انتخاب زیستگاه گونه را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این شرایط منجر به بروز برخی از رفتارهای غیرطبیعی در گونه‌های حیات‌وحش می‌گردد. کاراکال حیوانی مهاجر نیست، اما بر اساس مشاهدات، جابه‌جایی‌های فصلی و محلی را در زیستگاه خود داشته است (Adibi et al., 2014: 96).

ترجیح اکولوژیکی و نیاز گونه‌ها در فصول مختلف سال متفاوت بوده که این امر بر نحوه توزیع گونه‌ها تأثیرگذار است (Cicnjak et al., 1987: 221; Suárez-Seoane et al., 2008: 17)، زیرا در طول دوره‌های بحرانی مانند زمستان که اهمیت رقابت درون گونه‌ای کاهش یافته است، گونه‌ها ممکن است با گسترش لانه اکولوژیکی درصدد برطرف کردن نیازهای اکولوژیکی خود برآیند، این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده گسترش یا کاهش زیستگاه‌های فصلی و نحوه توزیع گونه‌ها باشد (Suárez-Seoane et al., 2008: 17). بر همین اساس، ضروری است تا با استفاده از نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها و نیز تعیین زیستگاه‌های مطلوب و تغییرات در نحوه پراکنش گونه‌ها در آینده پرداخته شود تا بتوان مدیریت و حفاظت مطلوب‌تری از گونه‌ها به‌خصوص گونه کاراکال در جهت کاهش تأثیرات منفی گرمایش جهانی، تخریب زیستگاه و تغییرات کاربری اراضی توسط انسان صورت گیرد.

بسیاری از محققان از روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی زیستگاه‌های مناسب برای گونه‌ها استفاده کرده‌اند. یکی از راه‌های کاهش تخریب زیستگاه، حفاظت از محدوده توزیع گونه است. برای تعیین محدوده توزیع گونه‌ها و مدل‌سازی مطلوبیت

---

1. International Union for Conservation of Nature (IUCN)
2. Least concern (LC)
3. Convention on International Trade in Endangered Species (CITES)

زیستگاه‌ها، فنون مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بر اساس آنالیز رابطه بین گونه و زیستگاه ابداع شده است (Gibson et al., 2004: 143). این مدل‌ها رابطه بین توزیع گونه‌ها و عوامل‌محیطی را تعیین می‌کنند (Adibi et al., 2014: 97). در واقع این مدل‌ها مطلوبیت یک ناحیه را برای گونه‌های مورد نظر با استفاده از توابعی از فاکتورهای مختلف محیطی مانند ریخت‌شناسی زمین، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شرایط آب و هوایی و توزیع فعالیت‌های انسانی که بر حضور، فراوانی و توزیع گونه‌ها تأثیر می‌گذارند را مورد بررسی قرار می‌دهند (Ortigosa et al., 2000). این مدل‌ها به‌طور مشترک از ارتباطات میان حضور گونه و متغیرهای محیطی، برای شناسایی مناطقی که توانایی نگهداری جمعیت را دارند استفاده می‌کنند و سپس توزیع فضایی محیط‌هایی که مناسب زیست گونه و فراتر از منطقه مورد مطالعه هستند را شناسایی می‌کنند (Pearson et al., 2007: 102). در این بین، مدل حداکثر آنتروپی، یکی از روش‌هایی است که به‌طور گسترده در مدل‌سازی زیستگاه برای گونه‌های مختلف حیات‌وحش استفاده می‌شود (Sanei et al., 2013: 60).

بر همین اساس، در این مطالعه ارزیابی کمّی از تأثیر تغییر اقلیم بر نحوه پراکنش کاراکال در زیستگاه‌های ایران صورت گرفت. همچنین مساحت سطح زیستگاه‌های مطلوب گونه در زمان حال و آینده تحت دو سناریوی $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ و میزان سطح زیستگاه‌هایی که در آینده به‌عنوان زیستگاه‌های مطلوب این گونه شناخته خواهد شد، محاسبه گردید. علاوه بر این‌ها، مقایسه‌ای میان تغییرات سطح زیستگاه‌های مطلوب کاراکال تحت سناریوی‌های اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه در آینده، نسبت به سطح زیستگاه‌های مطلوب گونه در زمان حال صورت گرفت.

مبانی نظری

انتخاب سناریوی‌های تغییر اقلیم آینده

یکی از چالش‌های اصلی در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، انتخاب سناریوهای تغییر اقلیم است (Nashwan et al., 2020: 4422). در حال حاضر افزایش تقاضای اجتماعی برای پیش‌بینی اثرات و هزینه‌های آینده تغییر اقلیم، جامعه تحقیقاتی آب و هوا را به چالش می‌کشد، زیرا پیش‌بینی تأثیرات تغییر اقلیم باید بر اساس ورودی‌های اقلیمی قوی و قابل اعتماد باشد (Mendlik et al., 2016: 381). از این‌رو، دقیق‌ترین اطلاعات در مورد آب و هوای آینده توسط مدل‌های گردش عمومی[1] ارائه شده است (Ahmed et al., 2019: 4810). این مدل‌ها، اقلیم زمین را با استفاده از معادلات ریاضی که به توصیفی از فرآیندهای جوی، زیستی و اقیانوسی و برهم‌کنش‌ها و بازخوردها می‌پردازند را شبیه‌سازی می‌کنند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۶). مدل‌های گردش عمومی از سلول‌های شبکه‌ای زیادی تشکیل شده‌اند. هر سلول بخار آب، برهم‌کنش ابر، تغییر پوشش برف و یخ دریا، اثرات مستقیم و غیرمستقیم آئروسل بر تابش و بارش، شار سطوحی گرما، رطوبت و جابه‌جایی گرما و آب به‌وسیله جو و اقیانوس را محاسبه می‌کند (Wilby et al., 2009: 1193). این مدل‌ها، ابزار اولیه هستند که اطلاعات اقلیمی را در مقیاس جهانی، نیمکره‌ای و قاره‌ای ارائه می‌کند و برای درک اقلیم حاضر و سناریوهای اقلیمی آینده تحت افزایش گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹۶). این مدل‌ها، اطلاعات حیاتی را در مورد آب و هوای احتمالی آینده فراهم کرده (Ahmed et al., 2019: 4810) و به سیاست‌مداران در تصمیم‌گیری در مورد کاهش و سازگاری با تغییر اقلیم آینده بسیار کمک می‌کند (Mendlik et al., 2016: 381; Nashwan et al., 2020: 4422).مدل‌های گردش عمومی شامل ۱۹ مدل است که از پیچیدگی خاصی برخوردار می‌باشند. این مدل‌ها هر کدام، بین یک تا چهار خط سیر نشان‌گر تراکم[2](RCP) را در بر می‌گیرند که در ادامه توضیحاتی در خصوص این سناریوها داده خواهد شد.

1. General Circulation Models (GCMs)
2. Representative Concentration Pathways

$RCP_{2.6}$: در این سناریو، میزان تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع و میزان غلظت دی-اکسیدکربن ۴۹۰ ppm تا سال ۲۱۰۰ تخمین زده شده است. این سناریو، کم‌ترین نرخ افزایش واداشت تابشی و گازهای گلخانه‌ای را نسبت به سه سناریوی دیگر داشته که علت آن را می‌توان کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی عنوان کرد و جمعیت حدود ۷ میلیارد نفری تا سال ۲۱۰۰ برای این سناریو پیش‌بینی شده است (Field et al.,2014; Van Vuuren et al., 2011).

$RCP_{4.5}$: در این سناریو، تأثیر واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای ۴/۵ وات بر متر مربع و میزان غلظت دی‌اکسیدکربن ۷۵۰ ppm تا سال ۲۱۰۰ در نظر گرفته شد و میزان رشد جمعیت در این سناریو کم‌تر از $RCP_{2.6}$ بوده است. در این سناریو، سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای در واداشت‌های تابشی نسبت به سناریوی $RCP_{2.6}$ بیش‌تر بوده زیرا نرخ استفاده از انرژی‌های نو و رشد تکنولوژی در $RCP_{4.5}$ کم‌تر از سناریو پیشین در نظر گرفته شده است (Field et al.,2014; Van Vuuren et al., 2011).

$RCP_{6.0}$: در این سناریو، تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۶ وات بر متر مربع و میزان غلظت دی‌اکسیدکربن ۸۵۰ ppm تا سال ۲۱۰۰ تخمین و میزان جمعیت جهانی، بعد از سال ۲۱۰۰ حدود ۳ میلیارد نفر پیش‌بینی شده است. در این سناریو، میزان واداشت تابشی به‌علت استفاده از فناوری‌های نو و اتخاذ سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت باقی می‌ماند (Field et al.,2014; Van Vuuren et al., 2011).

$RCP_{8.5}$: از این سناریو، به‌عنوان خطرناک‌ترین سناریو، در بین این چهار سناریو یاد می‌شود زیرا در این سناریو، میزان واداشت تابشی و غلظت دی‌اکسیدکربن به‌ترتیب ۸/۵ وات بر متر مربع و ۱۹۶۰ ppm، پیش‌بینی شده است. همچنین میزان جمعیت حدود ۱۲ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰ تخمین زده شده است. در صورت عدم اتخاذ سیاست‌های مناسب به‌منظور کاهش تأثیرات تغییر اقلیم، کره زمین به سمت این سناریو پیش خواهد رفت (Field et al.,2014; Van Vuuren et al., 2011).

در این بررسی به‌منظور مدل‌سازی پراکنش کاراکال تا سال ۲۰۸۰، بر اساس مطالعات صورت گرفته (Ahmed et al.,2019; Karami et al., 2020) از سناریوهای $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ که به‌ترتیب خوش‌بینانه و بدبینانه‌ترین سناریوها می‌باشند و مدل گردش عمومی جو BCC-CSM1-1 استفاده شده است.

داده و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایران در محدوده‌ی جغرافیایی ۲۴ تا ۴۰ درجه، عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه، طول شرقی واقع شده است که از آن به‌عنوان یکی از کشورهای وسیع جهان با مساحت ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومتر مربع یاد می‌شود (Doulabian et al., 2021: 168). ایران از نظر پستی و بلندی، اقلیمی و زیستگاهی، کشوری متنوع و کم‌نظیر می‌باشد و نیز موقعیت آن از نظر جغرافیای جانوری در جهان قابل توجه است به‌طوری که محل تلاقی سه منطقه زیست‌جغرافیایی: پالئارکتیک (دیرین شمالگان)، اورینتال (شرقی) و آفروتروپیکال (حاره‌ای قدیم) است و این موقعیت سبب شده که گونه‌هایی از هر سه منطقه زیست‌جغرافیایی جانوری فوق، در کشور حضور داشته باشند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از مهم‌ترین عوامل تنوع پستانداران ایران، شرایط اقلیمی منحصر به‌فرد هر منطقه و خرد زیستگاه‌های متنوع در هر منطقه است. نوع گونه‌های پستاندار در ایران در دو جهت (شمالی– جنوبی) و (شرقی– غربی) تغییر می‌کنند علاوه بر این، گونه‌ها با تغییر ارتفاع نیز عوض می‌شوند. با توجه به آمار ارائه شده در ایران، نزدیک به ۳/۷ درصد از پستانداران جهان یعنی ۲۰۰ گونه شناسایی شده است که در ۳۷ خانواده و ۱۰ راسته جای دارند که از این میزان بیش‌ترین تعداد گونه، متعلق به راسته جوندگان و کم‌ترین تعداد گونه، متعلق به راسته فردسمان و گاوهای دریایی است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵).

شکل (۱). نقشه منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

الگوریتم حداکثر آنتروپی[1] نوعی رویه مبتنی بر ماشین یادگیری است که به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر آنتروپی متأثر از محدودیت‌های ناشی از متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع‌های مکانی گونه، می‌پردازد. مدل‌سازی بر اساس این رویکرد و با بهره‌گیری از نرم‌افزار MaxEnt دارای مزایای قابل اعتنایی است از جمله این مزایا: توانایی پیش‌بینی بالا، هزینه اندک و صرفه‌جویی در وقت و نیز امکان استفاده از داده‌های پیوسته و گسسته می‌باشد (Baasch et al., 2010: 567; Phillips et al., 2006: 233; Thorn et al.,2009: 292). همچنین تعیین اینکه کدام یک از متغیرهای اقلیمی مهم‌ترین عامل تشریح‌کننده نحوه توزیع گونه می‌باشند از مهم‌ترین نقاط قوت این روش است (اکبری هارونی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۱۵; مروتی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵). بر همین اساس، در این مطالعه از نرم‌افزار MaxEnt که مشتمل بر داده‌های فقط حضور گونه و متغیرهای محیطی تأثیرگذار در پراکنش گونه می‌باشد، برای تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه کاراکال استفاده شد و به‌منظور آماده‌سازی متغیرهای محیطی از نرم‌افزار Arc Map 10.2 بهره گرفته شد. در بخش تعیین مساحت و میزان هم‌پوشانی زیستگاه کاراکال تحت سناریوهای مختلف اقلیمی از نرم‌افزار IDRISI، در این بررسی استفاده شده است.

جمع‌آوری داده

در این مطالعه، به‌منظور تهیه نقاط حضور کاراکال از اطلس پستانداران ایران (کرمی و همکاران، ۱۳۹۵) و پژوهش‌های انجام شده توسط پژوهشگران (Ashrafzadeh et al., 2020; Moqanaki et al., 2016) و صاحب‌نظران در این زمینه و گزارشات تهیه شده توسط کارشناسان و محیط‌بانان از مناطق حضور این گونه در ایران استفاده شد. نقشه‌های مربوط به اطلس و مقالات ابتدا در محیط نرم‌افزار Arc Map10.2 ژئورفرنس شدند و سپس طول و عرض جغرافیایی نقاط حضور مشخص گردید و در مورد گزارشات کارشناسان و محیط‌بانان نیز این گزارشات به‌صورت طول و عرض جغرافیایی بوده که توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی[2] ثبت شده است. در مجموع ۵۲ نقطه صرفاً حضور، جمع‌آوری و برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. پس از تهیه نقاط حضور گونه، طول و عرض جغرافیایی این نقاط وارد نرم‌افزار Excel و در قالب یک فایل با فرمت CSV[3] ذخیره و آماده ورود به نرم‌افزار MaxEnt گردید.

---

1. Maximum Entropy
2. Global Positioning System (GPS)
3. Comma delimited

متغیر محیطی

متغیر محیطی زمان حال

به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در زمان حال و بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی سایر پستانداران (ملکوتی خواه و همکاران، ۱۳۹۸ ;Karami et al., 2020; Khosravi et al., 2016) از ۳۲ متغیر محیطی در قالب چهار گروه شامل: متغیرهای توپوگرافی، کاربری اراضی، اقلیمی و پوشش زمین استفاده شد. در بخش متغیرهای اقلیمی در زمان حال، تعداد ۱۹ متغیر از بانک داده World Clim دانلود، سپس با استفاده از روش ضریب همبستگی، متغیرها دو به دو با یکدیگر در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از آنالیز Correlation Matrix محاسبه و متغیرهایی که میزان همبستگی آن‌ها طبق رابطه (۱)، بیش از ۸۰ درصد بوده تعیین گردید و در نهایت ۹ متغیر اقلیمی مشتق شده از دما و بارش باقی ماند که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. در بخش توپوگرافی، نقشه شیب و انحراف معیار ارتفاع از نقشه میانگین ارتفاع از سطح دریا و نقشه انحراف معیار شیب از نقشه شیب در نرم‌افزار Arc Map تهیه گردید. بخش متغیرهای مربوط به پوشش زمین شامل ۷ متغیر بوده و نقشه NDVI[1] از شاخص ۱۶ روزه MOD 13 مربوط به ماه می ۲۰۲۰، از سایت Usgs تهیه گردید. بخش متغیرهای کاربری اراضی، ۱۱ متغیر را شامل شد که برای تهیه این متغیرها از نقشه‌های کاربری اراضی که توسط "سازمان نقشه‌برداری ایران" در سال ۱۳۹۰ تهیه و در سال ۱۳۹۵ به‌روزرسانی شده‌اند، بهره گرفته شده است که در مجموع ۱۸ متغیر مربوط به کاربری اراضی و پوشش زمین استخراج شد و میزان فاصله از این عوارض در نرم‌افزار Arc Map10.2 با استفاده از دستور Euclidean distance محاسبه گردید. سپس نقشه‌های تهیه شده با فرمت Ascii[2] برای مدل‌سازی زیستگاه وارد نرم‌افزار MaxEnt شدند. اسامی متغیرهای مورد استفاده در زمان حال در جدول (۱) ذکر شده است.

رابطه (۱). $-۸ > r > + ٪۸۰$

متغیر محیطی زمان آینده

در بخش مدل‌سازی زیستگاه کاراکال در آینده، از دو دسته متغیر شامل: متغیرهای اقلیمی و متغیرهای توپوگرافی استفاده شده است. در این بررسی برای مدل‌سازی تغییرات مطلوبیت زیستگاه‌های بالقوه کاراکال در آینده، متغیرهای اقلیمی بر اساس دو سناریوی $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ برای دوره زمانی ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ تحت مدل BCC-CSM2-MR، از بانک داده World Clim دریافت شدند که اسامی متغیرهای مورد استفاده برای زمان آینده در جدول (۱) عنوان شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Normalized Difference Vegetation Index

[2] American Standard Code for Information Interchange

جدول (۱). متغیرهای محیطی مورد استفاده در زمان حال و آینده به‌منظور مدل‌سازی زیستگاه کاراکال

حال	آینده
متغیرهای توپوگرافی	
میانگین ارتفاع از سطح دریا	میانگین ارتفاع از سطح دریا
میانگین شیب	میانگین شیب
جهت	جهت
انحراف معیار ارتفاع	انحراف معیار ارتفاع
انحراف معیار شیب	انحراف معیار شیب
متغیرهای اقلیمی	
دمای متوسط سالانه	دمای متوسط سالانه
میانگین دمای روزانه	میانگین دمای روزانه
حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه
حداقل دمای سردترین ماه	حداقل دمای سردترین ماه
میانگین دمای گرم‌ترین فصل	میانگین دمای گرم‌ترین فصل
میانگین دمای سردترین فصل	میانگین دمای سردترین فصل
بارش سالانه	بارش سالانه
بارش مرطوب‌ترین فصل	بارش مرطوب‌ترین فصل
بارش خشک‌ترین فصل	بارش خشک‌ترین فصل
متغیر پوشش زمین	
NDVI	-
فاصله از روستا	–
فاصله از شهر	–
فاصله از مناطق حفاظتی	–
فاصله از مناطق شکار ممنوع	–
فاصله از جاده	–
فاصله از رودخانه	–
متغیر کاربری اراضی	
فاصله از مناطق جنگلی دست کاشت	–
فاصله از زمین کشاورزی دیم	–
فاصله از باغات	–
فاصله از مناطق عاری از پوشش گیاهی	–
فاصله از مناطق جنگلی متراکم	–

فاصله از مراتع	-
فاصله از مناطق جنگلی با تراکم متوسط	-
فاصله از مناطق شن‌زار	-
فاصله از منطقه مسکونی	-
فاصله از مناطق جنگلی با تراکم بسیار پایین	-
فاصله از پهنه آبی	-

لازم به ذکر است لایه‌های اطلاعاتی در زمان حال و آینده در سیستم مختصات جغرافیایی CGS-WGS-1984 در اندازه پیکسل یک کیلومتر آماده‌سازی و پس از آن برای اجرای مدل‌سازی به فرمت Ascii تبدیل و سپس به‌منظور مدل‌سازی وارد نرم‌افزار MaxEnt گردید. همچنین در این مطالعه به‌منظور تعیین سهم هر یک از متغیرها در میزان توزیع گونه، از آزمون جک-نایف و منحنی پاسخ[1] استفاده شده است. آزمون جک‌نایف، اهمیت هر یک از متغیرهای محیطی را بیان کرده و همچنین مشخص می‌کند که اگر یکی از متغیرهای محیطی حذف شود و یا به‌تنهایی در مدل حضور داشته باشد چه تأثیری را بر کارایی مدل می‌گذارند (Morovati et al., 2015).

در این بررسی، از مساحت زیر منحنی[2] به‌منظور ارزیابی کیفیت کلی مدل استفاده شده است. AUC، یک معیار آستانه مستقل برای پیش‌بینی صحت مدل بوده که فقط بر اساس رتبه‌بندی مکان‌ها است و مقدار AUC، برای ارزیابی صحت برازش در مدل MaxEnt اتخاذ شد (Ye et al., 2021). بر همین اساس، اگر مقدار AUC بین ۰/۹ و ۱ باشد، می‌توان دقت مدل را عالی، مقدار AUC بین ۰/۸ تا ۰/۹ و ۰/۸ تا ۰/۷ دقت مدل خوب، مقدار AUC بین ۰/۶ و ۰/۷ دقت مدل ضعیف و اگر مقدار AUC بین ۰/۵ و ۰/۶ باشد مدل ناموفق ارزیابی می‌شود (Ye et al., 2021: 13063; Zhang et al., 2019: 6650).

یکی دیگر از خروجی‌های نرم‌افزار MaxEnt، مربوط می‌شود به نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه که به‌صورت نقشه‌هایی در فرمت رستر مقادیر ۰ تا ۱ را در بر می‌گیرد. در این بررسی با استفاده از رویکرد MaxEnt نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه برای گونه در زمان حال و آینده تهیه و سپس بر اساس حد آستانه مورد نظر توسط نرم‌افزار Arc GIS مجدد طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار IDRISI، میزان مساحت زیستگاه‌های مطلوب و نامطلوب برای زمان حال و آینده و نیز میزان مساحت زیستگاه‌های که در آینده به‌عنوان زیستگاه‌های مطلوب برای گونه خواهند بود و مساحت زیستگاه‌های مطلوبی که در آینده از دسترس آن خارج خواهند شد تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ محاسبه گردید.

بحث و بررسی

در این بررسی مقدار AUC در زمان حال ۰/۸۵ بوده است و در زمان آینده تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب مقدار ۰/۷۲ و ۰/۶۹ را نشان می‌دهد که بیان‌گر قدرت پیش‌بینی خوب مدل در زمان حال و قابل قبول بودن مدل خروجی در زمان آینده است.

اهمیت متغیرها

در بخش درصد مشارکت، هر کدام از متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه کاراکال که در جدول (۲) نشان داده شد، متغیرهای فاصله از مناطق حفاظتی، فاصله از مناطق شن‌زار، فاصله از جنگل‌های متراکم در بین ۳۲ متغیر در زمان حال، بیش‌ترین تأثیر را در میزان پراکنش کاراکال داشته و متغیرهای میانگین دمای سردترین فصل، بارش سالانه، انحراف معیار

[1]. Response curves
[2]. Area Under Curve (AUC)

ارتفاع و متغیر جهت کم‌ترین تأثیر را در پراکنش کاراکال در زمان حال داشته‌اند. این درحالی است در میان ۱۴ متغیر مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه گونه در زمان آینده، متغیرهای میانگین دمای گرم‌ترین فصل، حداقل دمای سردترین ماه و میانگین ارتفاع از سطح دریا تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و متغیرهای میانگین دمای گرم‌ترین فصل، میانگین دمای سردترین فصل و میانگین ارتفاع از سطح دریا تحت سناریوی $RCP_{8.5}$ به‌عنوان اثرگذارترین متغیرها در آینده و متغیرهای بارش سالانه و دمای متوسط سالانه تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و متغیرهای بارش سالانه و انحراف معیار ارتفاع تحت سناریوی $RCP_{8.5}$ به‌عنوان متغیرهایی با کم‌ترین تأثیر بر نحوه توزیع کاراکال در آینده توسط مدل گزارش شده‌اند.

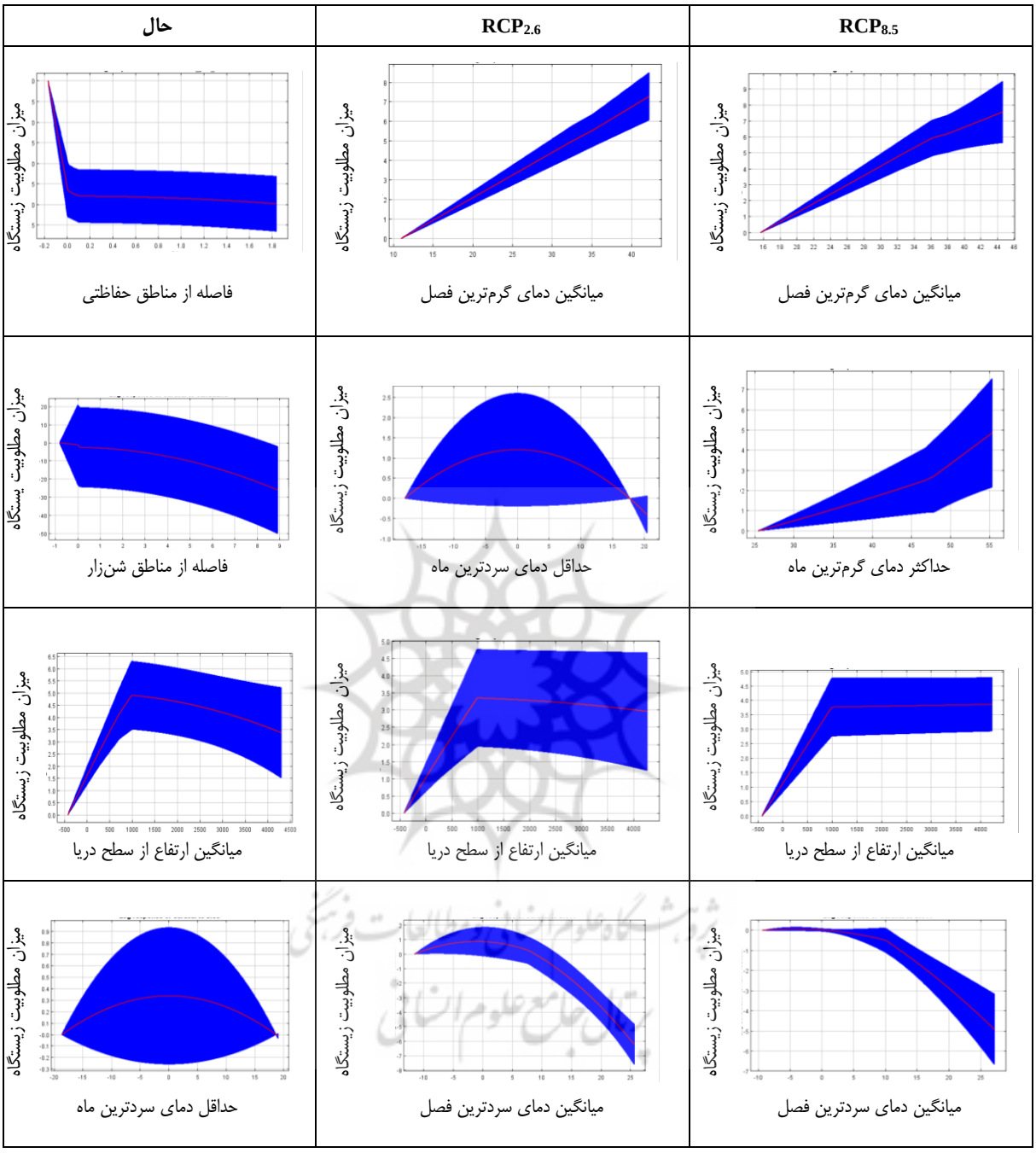
جدول (۲). میزان مشارکت متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه کاراکال در زمان حال و آینده

نام متغیر	سهم هر متغیر در مدل‌سازی (برحسب درصد)		
	حال	آینده	
		$RCP_{2.6}$	$RCP_{8.5}$
متغیرهای توپوگرافی			
میانگین ارتفاع از سطح دریا	۴/۳	۱۱/۷	۱۴/۳
میانگین شیب	۰/۴	۲/۱	۲/۶
جهت	۰	۰/۷	۰/۶
انحراف معیار ارتفاع	۰	۰/۷	۰/۵
انحراف معیار شیب	۱/۵	۴/۸	۴/۷
متغیرهای اقلیمی			
دمای متوسط سالانه	۰/۱	۰/۳	۰/۹
میانگین دمای روزانه	۰/۳	۱/۵	۱/۹
حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	۰/۱	۵/۳	۷
حداقل دمای سردترین ماه	۴	۱۷/۵	۱/۲
میانگین دمای گرم‌ترین فصل	۲/۴	۲۸/۸	۳۵/۶
میانگین دمای سردترین فصل	۰	۱۰/۵	۱۹/۶
بارش سالانه	۰	۰/۶	۰/۳
بارش مرطوب‌ترین فصل	۳/۹	۸/۱	۴/۲
بارش خشک‌ترین فصل	۰/۶	۷/۵	۶/۷
متغیر پوشش زمین			
NDVI	۰/۲	–	–
فاصله از روستا	۰/۷	–	–
فاصله از شهر	۰/۱	–	–
فاصله از مناطق حفاظتی	۴۳/۴	–	–
فاصله از مناطق شکار ممنوع	۱/۲		
فاصله از جاده	۰/۵	–	–
فاصله از رودخانه	۰/۹	–	–
متغیر کاربری اراضی			
فاصله از مناطق جنگلی دست کاشت	۰/۸	–	–
فاصله از زمین کشاورزی دیم	۳/۹	–	–

فاصله از باغات	۲/۶	–	–
فاصله از مناطق عاری از پوشش گیاهی	۲/۴	–	–
فاصله از مناطق جنگلی متراکم	۸/۴	–	–
فاصله از مراتع	۰/۵	–	–
فاصله از مناطق جنگلی با تراکم متوسط	۴/۴	–	–
فاصله از مناطق شن‌زار	۹/۷	–	–
فاصله از منطقه مسکونی	۰/۳	–	–
فاصله از مناطق جنگلی با تراکم بسیار پایین	۰/۹	–	–
فاصله از پهنه آبی	۱/۱	–	–

نقش متغیرها

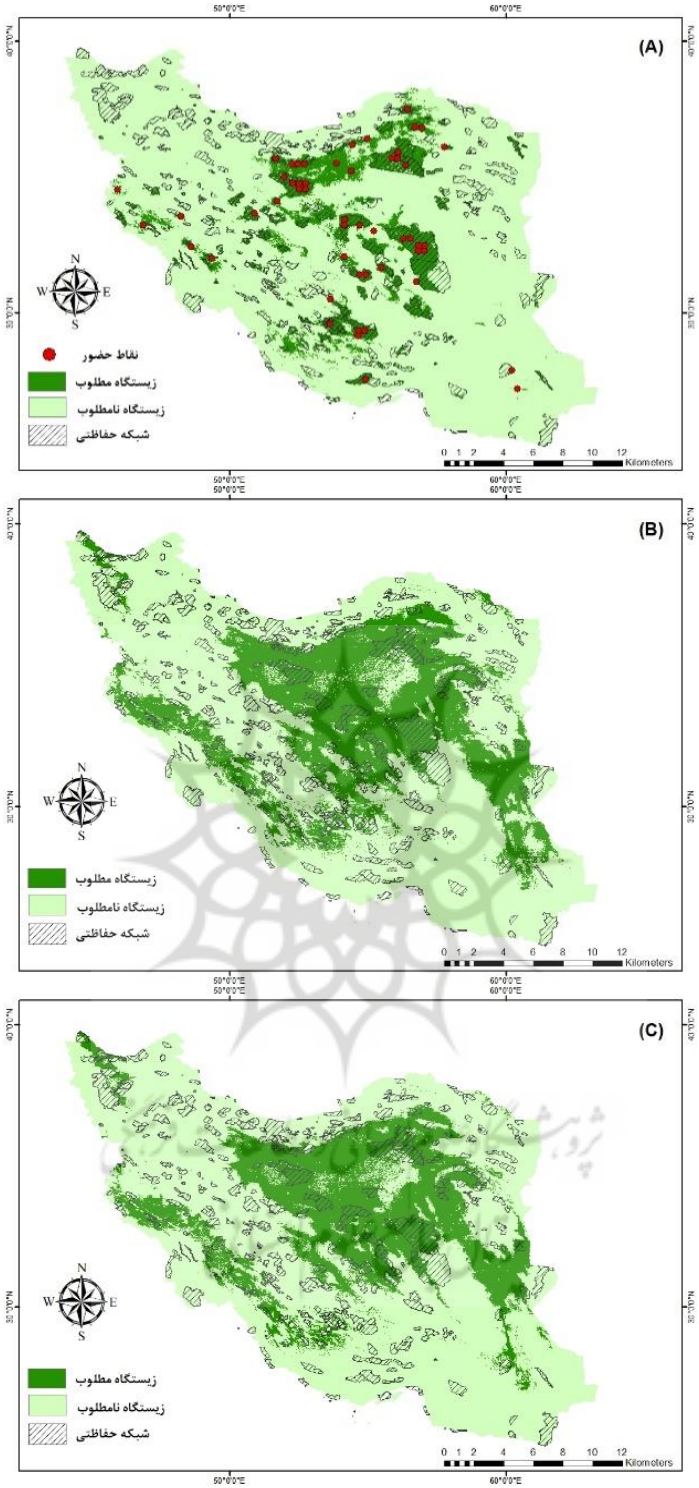
خروجی بعدی که از MaxEnt مورد بررسی قرار گرفت مربوط می‌شود به منحنی‌های پاسخ که تأثیر فاصله از متغیرهای محیطی را در میزان مطلوبیت برای گونه بیان می‌کند. نتایج به‌دست آمده از این نمودارها برای کاراکال در زمان حال نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از مناطق حفاظتی و مناطق شن‌زار، از میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه کاسته می‌شود و افزایش میانگین ارتفاع از سطح دریا تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر، بر مطلوبیت زیستگاه برای گونه افزوده اما بعد از این ارتفاع از میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه کاسته می‌شود، این در حالی است که با افزایش حداقل دمای سردترین ماه تا دمای صفر درجه میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه روند افزایشی داشته و پس از آن با افزایش دما از میزان مطلوبیت زیستگاه برای کاراکال کاسته می‌شود. همچنین با بررسی منحنی‌های پاسخ کاراکال در زمان آینده مشخص شد که تحت سناریوی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه با افزایش میانگین ارتفاع از سطح دریا تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری و نیز با افزایش میانگین دمای گرم‌ترین فصل، میزان مطلوبیت زیستگاه برای این گونه روند افزایشی داشته که این مطلب در سناریوی $RCP_{8.5}$، برای متغیر حداکثر دمای گرم‌ترین ماه نیز ذکر شده است. این در حالی است که در متغیر میانگین دمای سردترین فصل تحت دو سناریوی آینده تا دمای پنج درجه مطلوبیت زیستگاه برای گونه ثابت بوده و پس از این دما، میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه با شیبی تند کاهش یافته است. این مطلب در سناریوی $RCP_{2.6}$ برای متغیر حداقل دمای سردترین ماه قابل ملاحظه است که با افزایش دما تا پنج درجه بر میزان مطلوبیت زیستگاه برای گونه افزوده و پس از این دما میزان مطلوبیت زیستگاه برای کاراکال با شیب ملایم روند کاهشی دارد که در شکل (۲) روند این تغییرات قابل ملاحظه است.



شکل (۲). منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین متغیرها در تعیین مطلوبیت زیستگاه کاراکال در زمان حال و آینده

مطلوبیت زیستگاه

در این بررسی پس از تهیه نقشه تناسب زیستگاه بر اساس طبقات آستانه احتمالی مورد مطالعه، نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه کاراکال تهیه شد شکل (۳).



شکل (۳). نقشه زیستگاه مطلوب برای کاراکال در زمان حال نقشه A و آینده تحت دو سناریوی $RCP_{2.6}$ نقشه B و $RCP_{8.5}$ نقشه C

نتایج حاصل از محاسبه مساحت سطح زیستگاه‌های مطلوب کاراکال در زمان حال و آینده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳). تغییرات سطح زیستگاه‌های مطلوب کاراکال در زمان حال و آینده

زمان	زیستگاه مطلوب	هم‌پوشانی زیستگاه مطلوب با شبکه حفاظتی (درصد)	زیستگاه از دست رفته (درصد)	زیستگاه ثابت (درصد)	زیستگاه جدید (درصد)
حال	۱۳/۲	۴۸/۲	–	–	–
$RCP_{2.6}$	۳۰/۹	۱۶/۵	۳۱/۴	۶۸/۵	۱۶۵/۸
$RCP_{8.5}$	۲۷/۴	۱۷/۸	۳۵/۳	۶۴/۷	۱۴۲/۸

نتایج نشان داد، زیستگاه‌های مطلوب کاراکال هم‌اکنون ۱۳/۲ درصد از مساحت ایران را به‌خود اختصاص داده است که این میزان تنها ۴۸/۲ درصد با شبکه حفاظتی کنونی ایران هم‌پوشانی دارد و این میزان زیستگاه مطلوب، تحت سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه و بدبینانه به‌ترتیب به ۳۰/۹ و ۲۷/۴ درصد در آینده خواهد رسید. این در حالی است که هم‌پوشانی آن با شبکه حفاظتی کنونی ایران روند کاهشی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۱۶/۵ و ۱۷/۸ درصد از سطح زیستگاه‌های مطلوب گونه در آینده با شبکه حفاظتی ایران هم‌پوشانی خواهد داشت همچنین نتایج بیانگر این مسئله است که کاراکال تحت سناریوی $RCP_{2.6}$، ۳۱/۴ درصد و $RCP_{8.5}$، ۳۵/۳ درصد از زیستگاه‌های خود را تا سال ۲۰۸۰ از دست خواهد داد.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی برای کاراکال در سطح زیستگاه‌های ایران نشان داد که متغیر فاصله از مناطق حفاظتی، به‌عنوان مهم‌ترین متغیر با بالاترین میزان مشارکت در تعیین زیستگاه مطلوب کاراکال در زمان حال است که دلیل آن را می‌توان اثر شبکه حفاظتی در کاهش تأثیرات حاصل از فعالیت‌های انسانی بر گونه‌ها دانست. این مطلب با نتایج حاصل از بررسی که در سال ۲۰۲۲ توسط Eid و همکاران در اردن بر روی کاراکال، گربه شنی، گربه جنگلی، گربه وحشی صورت گرفت هم‌خوانی داشته به‌نحوی که در آن مطالعه ذکر شده است، مساحت مناطق حفاظت شده اردن برای حفاظت و حفظ جمعیت گونه‌ها تا سال ۲۰۷۰ کاهش خواهد یافت. در واقع مناطق حفاظت شده، گونه‌ها و اکوسیستم را در برابر فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی (Campbell et al., 2009) همانند تغییرات کاربری اراضی حفظ کرده (Verburg et al., 2006: 153) و از اجزای کلیدی و استراتژیکی حفاظت محسوب می‌شوند (Walden-schreiner et al., 2018). پس از متغیر فاصله از مناطق حفاظتی، متغییرهای فاصله از شن‌زارها، فاصله از مناطق جنگلی متراکم بیش‌ترین تأثیر را در نحوه پراکنش و مطلوبیت زیستگاه برای گونه در زمان حال ایفا می‌کند. اهمیت این متغیرها را می‌توان از دیدگاه پوشش گیاهی و طعمه‌یابی کاراکال بررسی نمود. از منظر اهمیت پوشش گیاهی در پژوهشی که توسط فرهادی‌نیا و همکاران در سال ۲۰۰۷ صورت پذیرفت، نتایج بیانگر آن بود که کاراکال در برخی مواقع طعمه‌های خود را با پنهان شدن در میان بوته‌ها شکار می‌کند و در تیپ گیاهی *Artemisia sieberi-Dendrostellera lessertii* که گیاهانی درختچه‌ای– بوته‌ای است تا ۷۳٪ بیش‌تر احتمال حضور دارد. از منظر طعمه‌یابی اهمیت این متغیرها را می‌توان این‌طور عنوان کرد که بر مبنای نتایج به‌دست آمده، زیستگاه خرگوش و کوکر گندمی بیش از سایر طعمه‌ها با زیستگاه کاراکال هم‌پوشانی داشته و جزء طعمه‌های اصلی کاراکال محسوب می‌شوند و اغلب خرگوش‌ها و کوکرها در پناه این بوته‌زارها و درختچه‌ها زیست می‌کنند که همین مسئله فرصت مناسب را برای کاراکال به‌منظور شکار فراهم می‌کند (ادیبی و همکاران، ۱۳۹۵).

در مدل‌سازی زیستگاه گونه در آینده، متغیرهای میانگین دمای گرم‌ترین فصل، حداقل دمای سردترین ماه و میانگین ارتفاع از سطح دریا تحت سناریوی $RCP_{2.6}$ و متغیرهای میانگین دمای گرم‌ترین فصل، میانگین دمای سردترین فصل و میانگین ارتفاع از سطح دریا تحت سناریوی $RCP_{8.5}$ به‌عنوان اثرگذارترین متغیرها در آینده توسط مدل گزارش شده‌اند.

همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که احتمال حضور کاراکال با افزایش ارتفاع تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا روندی افزایشی داشته اما از ارتفاع ۱۰۰۰ متر به بالا احتمال حضور کاراکال کاهش می‌یابد در واقع علت اصلی این موضوع را می‌توان کاهش کارایی اراضی و کاهش پوشش گیاهی در ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر عنوان کرد که این مطلب با نتایج پژوهشی که توسط ادیبی و همکاران در سال ۱۳۹۵ صورت گرفت نیز هم‌خوانی دارد.

همچنین در پژوهش حاضر مشخص شد که قسمت‌های مرکز، شرق و شمال‌شرق مانند استان‌های سمنان، خراسان‌رضوی، خراسان‌جنوبی، اصفهان، یزد، تهران و نیز بخش‌هایی از شمال و جنوب‌غرب ایران همچون استان‌های کرمانشاه، ایلام، لرستان و چهارمحال و بختیاری، به‌عنوان زیستگاه‌هایی با مطلوبیت بالا برای این گونه تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در آینده خواهند بود و بخش‌های شمال‌غرب مانند استان‌های کردستان، زنجان، همدان و بخش‌هایی از جنوب ایران همچون استان‌های بوشهر، هرمزگان، کرمان از جمله زیستگاه‌هایی هستند که تحت سناریوهای اقلیمی آینده مطلوبیت کافی را برای زیست کاراکال در آینده نخواهند داشت که می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان تبخیر و تعرق در این مناطق باشد (خورانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۲۸). این مسئله در بخش محاسبه مساحت زیستگاه‌ها به‌صورت عددی نیز بیان شده است؛ که بر اساس سناریوهای $RCP_{2.6}$ و $RCP_{8.5}$، مساحت زیستگاه‌های مطلوب به‌ترتیب ۳۰/۹۸ و ۲۷/۴۴ درصد خواهد بود (که از این میزان تحت سناریوی $RCP_{2.6}$، ۱۶۵/۸ درصد آن مربوط به زیستگاه‌های جدید گونه و ۶۸/۵ درصد آن زیستگاه‌های ثابت گونه و تحت سناریوی $RCP_{8.5}$، ۱۴۲/۸ درصد آن مربوط به زیستگاه جدید و ۶۴/۷ درصد زیستگاه ثابت گونه را شامل می‌شود)، که نسبت به مساحت کنونی کاراکال که ۱۳/۲۱ درصد است رشدی حدود ۱۲۱ درصدی را نشان می‌دهد اما در بخش میزان هم‌پوشانی زیستگاه مطلوب آینده کاراکال با شبکه حفاظتی کنونی ایران تا ۶۶ درصد کاهش را می‌توان مشاهده کرد که دلیل آن را می‌توان تغییر در الگوی پراکنش گونه در نیچ اقلیمی آینده عنوان کرد. این کاهش سطح زیستگاه مطلوب درون شبکه حفاظتی موجب کاهش کارایی شبکه حفاظتی ایران در حفاظت از گونه، افزایش حساسیت گونه به تغییر اقلیم و نیز تشدید اثرات حاصل از تغییر اقلیم خواهد شد؛ بنابراین بسیار ضروری است که مسئولین این حوضه با افزایش مدل‌سازی در سطح زیستگاه‌های خرد کاراکال در کنار تکمیل کردن نتایج حاصل از این بررسی نسبت به لحاظ ملاحظات تغییر اقلیم به‌منظور ارتقاء مناطق حفاظتی ایران بپردازند و همچنین، در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم در هنگام انتخاب مناطق حفاظت شده جدید برای گونه و نیز انجام اقداماتی در جهت جلوگیری از تخریب و تغییر در کاربری اراضی در زیستگاه‌هایی که در آینده به‌عنوان زیستگاه‌های اصلی کاراکال محسوب خواهند شد، می‌توانند از جمله رویکردهای مؤثر در حفظ بقاء کاراکال در آینده باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

ادیبی، محمد علی، ناصری، سمیه، ظاهری، بهرام علی، بهزادی، فرشاد. «مهمترین تیپ‌های گیاهی موثر بر پراکنش گربه کاراکال در پارک ملی کویر ایران». دومین کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین. دانشگاه صنعتی اصفهان ۱۳۹۵.

اکبری هارونی، حسن، بهروزی راد، بهروز، حسن زاده کیابی، بهرام. (۱۳۸۷). بررسی مطلوبیت زیستگاه آهو در منطقه حفاظت شده کالمند بهادران استان یزد . *محیط شناسی*، ۳۴(۴۶): ۱۱۸-۱۱۳.

خورانی، اسداله، جمالی، زهرا. (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، دوره ۲۰(۵۷): ۱۳۱-۱۱۵.

ضیایی، هوشنگ. (۱۳۸۸). *راهنمای صحرایی پستانداران ایران*. تهران: کانون آشنایی با حیات وحش.

طباطبایی، فائزه، نجفی قوشه بلاغ، کاظم، اسماعیلی، شمس الدین، فرهادیان، ماندانا، بنی مهدی دهکردی، محمد جواد، مختاری، زینب، ثبوتی، یوسف، عبداللهی، سمیه، مصطفوی، پروین، غفاری، زهره، خرمی، زینب (۱۳۹۰). زمین گرم ارمغان سده بیست و یکم. تهران: موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتا شناسی.

کرمی، محمود، قدیریان، طاهر، فیض اللهی، کاوه (۱۳۹۵). *اطلس پستانداران ایران*. تهران: سازمان محیط زیست.

محمدی، حسین، ربانی، فاطمه، امیری، ابراهیم (۱۳۹۵). *تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی*. تهران: دانشگاه تهران.

مروتی، مریم، کابلی، محمد، پناهنده، مریم، سرباز، محمد، احمدیان، شادی. (۱۳۹۶). مدل سازی زیستگاه یوزپلنگ آسیای *Acinonyx jubatus venaticus*) تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در ایران با استفاده از نرم افزارMAXENT، *فصلنامه محیط زیست جانوری*، ۹(۱): ۲۰-۱۳.

مصری علمداری، پریچهر، رسولی، سید حسن. (۱۴۰۰). تحلیل تأثیر تغییرات اقلیم شهری بر میزان توزیع فضایی جمعیت با تأکید بر جزایر حرارتی نمونه موردی: شهر ساری. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۵(۷۷): ۲۴۲-۲۳۱.

ملکوتی‌خواه، شیما، فاخران، سیما، همامی، محمود رضا، سن، جوزف. (۱۳۹۸). ارزیابی پتانسیل مناطق خشک و نیمه خشک در حفظ زیستگاه‌های مطلوب سم‌داران کوه‌زی تحت تاثیر تغییر اقلیم آینده: مطالعه موردی قوچ وحشی (*Ovis sp*) و بز وحشی *Capra aegagrus*) *فصلنامه محیط زیست جانوری*، ۱۲(۱): ۱۶-۹.

Adibi, M. A., Karami, M., Kaboli, M., (2014), **Study of seasonal changes in habitat suitability of Caracal caracal schmitzi (Maschie 1812) in the central desert of Iran**, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, **5**: 95-106.

Ahmed, K., Sachindra, D. A., Shahid, S., Demirel, M. C., Chung, E. S., (2019), **Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics**, Hydrology and Earth System Sciences, **23(11)**: 4803–4824.

Ashrafzadeh, M. R., Khosravi, R., Adibi, M. A., Taktehrani, A., Wan, H. Y., Cushman, S. A., (2020), **A multi-scale, multi-species approach for assessing effectiveness of habitat and connectivity conservation for endangered felids**, Biological Conservation, pp. **245**.

Baasch, D. M., Tyre, A. J., Millspaugh, J. J., Hygnstrom, S. E., Vercauteren, K. C., (2010), **An evaluation of three statistical methods used to model resource**, Ecological Modelling, **221**: pp. 565–574.

Campbell, A., Kapos, V., Scharlemann, J. P. W., Bubb, P., Chenery, A. Coad, L., Dickson, B., Doswald, N., Khan, Md. S., Kershaw, F., Rashid, M., (2009), **Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation**, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, **42**: pp. 1-124

Cicnjak, L., Roth, H., Ruff, R., Huber, D., (1987), **Food Habits of Brown Bears in Plitvice Lakes National Park, Yugoslavia**, Conf. Bear. Res and Manage, 7, pp. 221-226.

Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S., Murphy, C., (2021), **Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for iran using rcp scenarios**. Journal of Water and Climate Change, **12(1):** 166–184.

Eid, E., Soultan, A., Elalqamy, H., (2022), **Habitat Suitability Modelling for Feline Species in Jordan: A tool for Climate-Responsive Conservation Planning**, Journal of Wildlife and Biodiversity, **6**.

Farhadinia, M. S., Akbari, H., Beheshti, M., Sadeghi, A., (2007), **Ecology and status of the caracal, caracal caracal, (Carnivora: Felidae), in the Abbasabad Naein Reserve, Iran**, Zoology in the Middle East, **41(1):** 5-10.

Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mas-Trandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Es-Trada, Y. O., Genova, R. C., (2014), **IPCC 2014: Summary for policymakers in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, pp. 1–32.

Gibson, L. A., Wilson, B. A., Cahill, D. M., Hill, J., (2004), **Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (Antechinus minimus maritimus) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia**, Biological conservation**, 117(2)**: 143-150.

Karami, P., Rezaei, S., Shadloo, S., Naderi, M., (2020), **An evaluation of central Iran's protected areas under different climate change scenarios (A Case on Markazi and Hamedan provinces)**, Journal of Mountain Science, **17(1)**: 68–82.

Khosravi, R., Hemami, M. R., Malekian, M., Flint, A., Flint, L., Zool, T. J., Hemami, M.-R., Flint, A. L., Flint, L. E., (2016), **Maxent modeling for predicting potential distribution of goitered gazelle in central Iran: the effect of extent and grain size on performance of the model**, Turkish Journal of Zoology**, 40(4)**: 574–585.

Mendlik, T., Gobiet, A., (2016), **Selecting climate simulations for impact studies based on multivariate patterns of climate change**, Climatic Change, **135(3–4)**: 381–393.

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**, Journal of Animal Environment, **6(4)**: 135-149.

Moqanaki, E. M., Farhadinia, M. S., Tourani, M., Akbari, H., (2016), **The Caracal in Iran–current state of knowledge and priorities for conservation**. Cat News Special, **(10)**, pp. 27-32.

Nashwan, M. S., and Shahid, S, (2020), **A novel framework for selecting general circulation models based on the spatial patterns of climate**, International Journal of Climatology, **40(10)**: 4422–4443.

Ortigosa, G. R., De Leo, G. A., Gatto, M., (2000), **VVF: integrating modelling and GIS in a software tool for habitat suitability assessment**, Environmental Modelling and Software, **15(1)**: 1–12.

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., Peterson, A. T., (2007), **Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar**, Wiley Online Library, **34(1)**: 102–117.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E., (2006), **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**, Ecological Modelling, **190(3)**: 231–259.

Sanei, A., Gordmardi, E., Jafari, B., Absalan, H., & Zakaria, M., (2013), **Persian Leopard distribution in relation to human pressures and prey resources in North Khorasan Province, Iran**. Paper presented at the Proceedings from International Forestry Graduate Students, pp. 58-61.

Singh, R., Qureshi, Q., Sankar, K., Krausman, P. R., Goyal, S. P., (2015), **Estimating occupancy and abundance of Caracal in a semi-arid habitat, Western India**, European Journal of Wildlife Research, **61(6):** 915-918.

Suárez-Seoane, S., de la Morena, E. L. G., Prieto, M. B. M., Osborne, P. E., de Juana, E., (2008), **Maximum entropy niche-based modelling of seasonal changes in little bustard (Tetrax tetrax) distribution**, Ecological Modelling, **219(1-2):** 17-29.

Thorn, J. S., Nijman, V., Smith, D., Nekaris, K. A. I., (2009), **Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus)**, Diversity and Distributions, **15(2):** 289–298.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K., (2011), **The representative concentration pathways: an overview**, Climatic Change, **109(1):** 5.

Veals, A. M., Burnett, A. D., Morandini, M., Drouilly, M., Koprowski, J. L., (2020), **Caracal caracal (Carnivora: Felidae)**, Mammalian Species, **52(993):** 71-85.

Verburg, P. H., Overmars, K. P., Huigen, M. G., de Groot, W. T., Veldkamp, A., (2006), **Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines**, Applied Geography, **26(2)**: 153–173.

Walden-Schreiner, C., Leung, Y. F., Tateosian, L., (2018), **Digital footprints: Incorporating crowdsourced geographic information for protected area management**.

Wilby, R. L., Troni, J., Biot, Y., Tedd, L., Hewitson, B. C., Smith, D. M., Sutton, R. T., (2009), **A review of climate risk information for adaptation and development planning**, International Journal of Climatology, **29**, pp.1193-1215.

Ye, P., Zhang, G., Zhao, X., Chen, H., Si, Q., & Wu, J., (2021), **Potential geographical distribution and environmental explanations of rare and endangered plant species through combined modeling: A case study of Northwest Yunnan, China**, Ecology and Evolution, **11**, pp. 13052–13067.

Zhang, J., Jiang, F., Li, G., Qin, W., Li, S., Gao, H., Cai, Z., Lin, G., Zhang, T., (2019), **Maxent modeling for predicting the spatial distribution of three raptors in the Sanjiangyuan National Park, China**, Ecology and Evolution, **9**: 6643–6654.