

Habitat Prediction of *Thymus kotschyanus* Based on Environmental Factors Using Logistic Regression and Interpolation (Case Study: Dolanieh Habitat in Piranshahr County)

Somayeh Suri¹, Shahryar Dashti² , Yousef Ajani³, Esmail Karimi⁴ and Elham Noori⁵

1-Ph.D Student, Department of Plant Production and Genetics. Faculty of Agriculture, University of Maragheh, East Azarbaijan, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, East Azarbaijan, Iran, Email: shdashti@maragheh.ac.ir

3-Assistant Professor, Botany Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, East Azarbaijan

5- Researcher, Forests Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 03/07/2025

Revised: 09/07/2025

Accepted: 10/22/2025

Published: 06/30/2026

Abstract

Background and Objectives

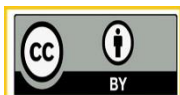
Environmental factors can significantly influence the distribution of plant species. Predicting suitable habitats for species requires a thorough understanding of these influences. *Thymus* is one of the most important genera in the Lamiaceae family, comprising over 215 species widely distributed worldwide, particularly in the Mediterranean region. The present study aims to predict the habitat suitability of *Thymus kotschyanus* using logistic regression modeling and spatial interpolation methods in the Dolaniyeh region of Piranshahr County.

Materials and Methods

Topographic variables including elevation, slope, and aspect were derived from the region's Digital Elevation Model (DEM), while climatic parameters such as average temperature and precipitation were obtained from the Dolanaya synoptic station. A total of 94 presence and absence points of *Thymus kotschyanus* were systematically and randomly sampled. Binary logistic regression was used in SPSS software to evaluate the relationship between species presence and environmental factors. Spatial variation in habitat suitability was assessed using deterministic and geostatistical interpolation techniques.

Results

The results indicated that the probability of *T. kotschyanus* presence had a negative relationship with variables such as latitude, slope aspect, leaf width, soil organic carbon, calcium carbonate, copper, and mean monthly and annual precipitation, as well as sand and clay content. In contrast, variables such as slope, leaf length, plant height, electrical conductivity, pH, zinc, iron, and average temperature showed a positive relationship with the probability of species presence. The likelihood of *Thymus* presence increases in arid and semi-arid areas with suitable slopes.



Spatial distribution mapping revealed that the eastern part of the study area had the highest probability of presence, which gradually decreased toward the southwest. In most parts of the region, the probability of presence was below 0.25, while in a few localized areas, it approached 1.00.

Conclusion

Based on the results of the regression models, which showed significant effects of environmental variables such as elevation, slope, geographic direction, and precipitation on the distribution of *T. kotschyanus* in the study area, these models can serve as effective tools for identifying potential habitats and mapping the species' geographic range. Considering the increased presence in the eastern region and a notable decline in the southwest, the findings of this study provide a scientific foundation for grazing management strategies and cultivation planning of *T. kotschyanus* tailored to the ecological capacity of different zones, contributing to the sustainable utilization and conservation of this valuable medicinal species.

Keywords: Ecology, habitat modeling, rangeland management, regression models, sustainable ecosystems

پیش‌بینی رویشگاه آویشن *Thymus kotschyanus* بر اساس عوامل محیطی با مدل‌سازی رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: دولانیه، پیرانشهر)

سمیه سوری^۱، شهریار دشتی^{۲*}، یوسف اجنی^۳، اسماعیل کریمی^۴ و الهام نوری^۵

۱- دانشجوی اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران

پست الکترونیک: shdashti@maragheh.ac.ir

۳- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران

۵- محقق، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷

چکیده

سابقه و هدف

عوامل محیطی می‌تواند تأثیر زیادی بر پراکنش گونه‌های گیاهی داشته باشد. پیش‌بینی رویشگاه گونه‌ها نیازمند شناخت این اثرهاست. آویشن از مهمترین جنس‌های خانواده نعنائیان با ۲۱۵ گونه است که به‌طور گسترده در جهان، به‌ویژه منطقه مدیترانه، پراکنش دارد. هدف این پژوهش، پیش‌بینی رویشگاه گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و روش‌های درون‌یابی در منطقه دولانیه شهرستان پیرانشهر است.

مواد و روش‌ها

متغیرهای توپوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و جهت شیب از مدل ارتفاع رقومی (DEM) منطقه و پارامترهای اقلیمی شامل متوسط درجه حرارت و بارندگی برای ایستگاه سینوپتیک دولانیه استخراج شد. تعداد ۹۴ نقطه حضور و عدم حضور گونه آویشن به‌صورت سیستماتیک تصادفی نمونه‌برداری شد. برای بررسی رابطه بین حضور گونه و عوامل محیطی از روش رگرسیون لجستیک دوتایی در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. تغییرات مکانی احتمال حضور گونه نیز با استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمارای بررسی شد.

نتایج

نتایج نشان داد احتمال حضور آویشن با متغیرهای عرض جغرافیایی، جهت شیب، عرض برگ، درصد کربن آلی خاک، کربنات کلسیم، مس، متوسط بارندگی ماهانه و سالانه، درصد شن و رس رابطه معکوسی دارند. در حالی که متغیرهای شیب، طول برگ، ارتفاع گیاه، هدایت الکتریکی، pH، رطوبت و متوسط دما با احتمال حضور آویشن رابطه مستقیمی دارند. احتمال حضور آویشن در مناطق خشک و نیمه‌خشک با شیب مناسب افزایش می‌یابد. توزیع مکانی احتمال حضور نشان داد که شرق منطقه بیشترین احتمال حضور آویشن را دارد و از شرق به سمت جنوب‌غرب کاهش می‌یابد. در بیشتر مناطق احتمال حضور کمتر از ۰/۲۵ است و در بخش‌های کوچکی احتمال حضور نزدیک به یک است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های رگرسیونی که نشان‌دهنده تأثیر معنادار عوامل محیطی مانند ارتفاع، شیب، جهت جغرافیایی و بارش بر پراکنش گونه آویشن *T. kotschyanus* در مراتع منطقه است، می‌توان از این مدل‌ها به‌عنوان ابزار مؤثری برای شناسایی رویشگاه و ترسیم حدود جغرافیایی پراکنش این گونه استفاده کرد. به‌ویژه با توجه به افزایش حضور آویشن در شرق منطقه و کاهش

محسوس آن در جنوب غرب، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریتی چرا و توسعه کشت آویشن متناسب با قابلیت‌های طبیعی هر ناحیه فراهم نماید و به حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این گونه ارزشمند کمک کند.

واژه‌های کلیدی: بوم‌شناسی، بوم‌سازگان‌های پایدار، مدل‌سازی رویشگاه، مدل‌های رگرسیونی، مدیریت مرتع

مقدمه

ایران به دلیل گستردگی اقلیمی، بوم‌نظام‌های متنوعی دارد، که هر یک ویژگی‌های منحصر به خود داشته و روابط متفاوتی بر آنها حاکم است (Raziei, 2022). بوم‌نظام‌های مرتعی بخش عمده‌ای از عرصه‌های کشور هستند که دربرگیرنده منابع عظیمی از ذخایر ژنتیکی و تنوع گونه‌های گیاهیست (Mesdaghi, 2005). امروزه به دلیل افزایش جمعیت، بهره‌برداری‌های بی‌رویه و غیراصولی گونه‌های گیاهی برای پخت‌وپز و فروش در بازارهای محلی، چرای مفرط و غیریکنواخت، آتش‌سوزی‌های سهوی و عمدی با منشأ انسانی (آنتروپوژنیک)، خشک‌سالی‌ها، کاهش تنوع زیستی، آفات، امراض و بیماری‌ها، حیات این بوم‌نظام ارزشمند در معرض خطر می‌باشد و روند تخریب مراتع و منابع طبیعی آن روزبه‌روز و به‌سرعت در حال افزایش است (Bedunah and Angerer, 2012). مناطق مرتعی دولانه پیرانشهر در زاگرس از این تخریب مستثنا نیست، زیرا مساعد بودن شرایط آب و هوایی منطقه برای تغییر کاربری اراضی و توسعه زراعت دیم و معیشت شبانی و گلهداری از یکسو و افزایش میزان رشد جمعیت و بیکاری بالای جمعیت شهرستان (به ترتیب ۵/۸ و ۱۲ درصد از جمعیت؛ به عبارتی از هر سه نفر یک نفر فاقد شغل)، از سوی دیگر باعث شده به‌غیر از مشاغل کاذب متعدد، برداشت بی‌رویه گیاهان دارویی این رویشگاه یکی از راه‌های کسب درآمد مردم محلی باشد (Mehrad, 2018). یکی از مهمترین عوامل مختل‌کننده فرایندهای طبیعی در زیست‌بوم‌ها، با آثار تبعات سوء بر بقاء گونه‌ها و ساختار و ترکیب جوامع گیاهی در مراتع، چرای بی‌رویه است (Oloff and Ritchie, 1998; Yates et al., 2000). در کنار آن، چرای سنگین و کشاورزی فشرده موجب افول تنوع زیستی و افزایش خطر انقراض بسیاری از گیاهان

دارویی در این ناحیه شده است (Tsiafouli et al., 2015). پوشش گیاهی اصلی‌ترین جزء همه بوم‌نظام‌های طبیعی است (Kent, 2011). پیدایش و پراکنش انواع پوشش گیاهی در بوم‌نظام‌های مرتعی تصادفی نیست و الگوی پراکنش و گسترش آن در هر بوم‌نظام تا حدود زیادی بوسیله عوامل بوم‌شناختی کنترل می‌شوند. عواملی مانند اقلیم، خاک، پستی و بلندی و عوامل زیستی بر روی حضور و خصوصیات آنها بیشترین تأثیر را دارند. باید توجه داشت در مقیاس مکانی کوچک، عوامل محیطی، از قبیل عوامل توپوگرافی و ادافیکی از مهمترین عوامل مؤثر بر تنوع گونه‌ای به‌شمار می‌روند (McBride et al., 2014). عوامل توپوگرافی مانند ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت‌های جغرافیایی، از طریق اثری که بر میزان رطوبت و مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گذارند، نقش بسزایی در پراکنش گونه‌های گیاهی و متعاقب آن در تنوع زیستی دارند (Piri Sahragard et al., 2013). شناسایی پوشش گیاهی و بررسی پراکنش جغرافیایی گیاهان یک منطقه، اساس بررسی‌ها و تحقیقات بوم‌شناختی و راهکاری مناسب برای تعیین ظرفیت اکولوژیک آن منطقه است (Azimi Motem et al., 2011). استفاده از روش‌های نوین در تعیین رویشگاه مطلوب گونه‌های باارزش دارویی، موجب سودآوری‌های بالای اقتصادی و توجه روزافزون به تجارت گیاهان دارویی، صنعتی و خوراکی و نیز ارزش‌های سنتی آن می‌شود (Sher et al., 2014). بخش بزرگی از گیاهان دارویی موردنیاز، حاصل جمع‌آوری از رویشگاه‌های طبیعی است (Hamilton, 2004). از سویی، عدم آگاهی از ظرفیت و توانمندی‌های مراتع موجب شده تا منابع آن فقط برای تولیدات دامی مورد بهره‌برداری قرار گیرد و سایر سودمندی‌های آن مورد توجه نباشد و به این ترتیب بقای بسیاری از گونه‌های دارویی در معرض تهدید انقراض قرار گرفته است (Yari et al.,

کرد. از دیگر عوامل مؤثر بر پراکنش گیاهان، چرای دام است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که چرا بر اجزای مختلف اکوسیستم‌های مرتعی ازجمله خاک، آب، ترکیب گیاه، تنوع و کیفیت علوفه و حتی عملکرد اکوسیستم تأثیر می‌گذارد (Zhan et al., 2020; Eldridge et al., 2017). ساختار و ترکیب جامعه گیاهی با توجه به شیوه‌های مختلف مدیریتی چرا تغییرات متفاوتی نشان می‌دهند. چرای سنگین با کاهش تنوع گونه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و افت بهره‌وری اکوسیستم‌های مرتعی به‌عنوان مهمترین عامل در تخریب اراضی و پوشش گیاهی شناخته شده است (Wang et al., 2020; Lu et al., 2017). مطالعه روابط پراکنش پوشش گیاهی با عوامل محیطی روی گیاه ارملک (*Euphorbia procera*) در مراتع کوهستانی ارومیه نشان داد که متغیرهای شیب، دما، جهت جغرافیایی، تداخل، درصد شن، درصد سنگریزه، ارتفاع از سطح دریا، وزن مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی، از عوامل مؤثر بر پراکنش این گیاه هستند (Motamedi et al., 2017). رشد و نمو گیاهان در اکوسیستم‌ها تحت تأثیر عوامل ژنتیکی (مانند گونه)، محیطی، اقلیم، خاک، ارتفاع و توپوگرافی (Li et al., 2020) می‌باشد. بنابراین، این پارامترها می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر کمیت و کیفیت تولیدات گیاهان در طبیعت تأثیر بگذارند (Qaderi et al., 2023; Shah et al., 2024). به‌طوری‌که در ایران طی پژوهشی اثر متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، بر گونه‌های مهم مرتعی استان البرز با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون لجستیک ارزیابی شد. نتایج حکایت از حساسیت بالای پراکنش گونه‌های مرتعی به دما و شیب دارد (Nateghi et al., 2024). تجزیه و تحلیل رابطه بین عوامل محیطی و گونه گیاهی همواره یک مسئله محوری در بوم‌شناسی گیاهی می‌باشد. تعیین این رابطه نشان‌دهنده مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهیست. این مدل‌ها به‌طور کلی براساس فرضیه‌های مختلفی هستند و چگونگی اثر عوامل محیطی توزیع گونه‌ها و جوامع گیاهی را بررسی می‌کنند. ورودی داده‌های کلیدی مدل‌های پیش‌بینی توزیع رویشگاه گونه‌ها، مجموعه‌ای از داده‌های

(2019). از این‌رو، شناسایی علمی و فنی گیاهان دارویی و زیستگاه مطلوب آنها در مراتع و جنگل با توجه به شرایط کنونی اولویت ویژه‌ای دارد. روش‌های رگرسیونی ازجمله روش‌هایی هستند که به‌طور گسترده برای پیش‌بینی پراکنش پوشش گیاهی استفاده می‌شوند. مواقعی که داده‌های پاسخ دوتایی (حضور و غیاب) هستند، روش رگرسیونی مناسب، از نوع لجستیک است. در این روش مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل، در کنار هم برای پیش‌بینی متغیر وابسته استفاده می‌شوند (Piri Sahragard et al., 2013). این روش امکان برقراری ارتباط رگرسیونی چند متغیره را بین یک متغیر وابسته گسسته (به‌صورت صفر و یک) و چندین متغیر مستقل پیوسته فراهم می‌کند. البته بیشتر محققان امروزه به کاربرد مدل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی باهدف حفظ و احیاء رویشگاه‌ها روی آورده‌اند (El-Khalafy et al., 2025; Humaida et al., 2025; Hosseini et al., 2024). روش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی ابزارهای قدرتمندی هستند که می‌توانند در مطالعات مربوط به زیست‌شناسی، حفاظت، تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی و تعیین رویشگاه مناسب برای گونه‌های گیاهی استفاده شوند و نحوه کشت و احیاء اجتماعات گیاهی در زیستگاه را مدیریت کنند (Miller, 2005). در میان عوامل بوم‌شناختی شناخته‌شده مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی، پارامترهای اقلیمی و عوامل توپوگرافی بیشتر از سایر عوامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Zhang et al., 2017; Zare et al., 2023; Jamali et al., 2024). به‌طور کلی مجموعه‌ای از شرایط محیطی شامل آب و هوا، متغیرهای خاکی و نیز پستی و بلندی در پیدایش و پراکنش گیاهان تأثیرگذار هستند، بنابراین تغییرات در پوشش گیاهی ناشی از غلبه مجموعه‌ای از عوامل محیطی است (Kaufmann et al., 2017; Ye et al., 2024; Awasthi, et al., 2019; Hosseini et al., 2024). برخی محققان ازجمله Dieleman و همکاران (۲۰۱۵) معتقدند که از نظر گستره پراکنش گونه‌های گیاهی، عوامل اقلیمی مهمترین عوامل مؤثر بر پراکنش گیاهان هستند و دامنه توزیع مکانی آنها با تغییر اقلیم تغییر خواهد

به درصد بالای اسانس در برخی از آویشن‌های بومی ایران و نیز درصد بالای ترکیبات فنولی در آنها (به‌ویژه تیمول)، می‌تواند جایگزین مناسبی برای گونه رسمی اروپایی برای کاربردهای مختلف، به‌ویژه دارویی در نظر گرفته شود (Nickavar et al., 2005). با توجه به موارد ذکر شده و تأثیرپذیری گونه‌های گیاهی از متغیرهای محیطی، برای حفظ و مدیریت رویشگاه‌های طبیعی، بررسی روابط این متغیرها با گونه‌های گیاهی و درنهایت مدل‌سازی و پیش‌بینی رویشگاه موضوعی ضروریست. از این‌رو، در این پژوهش رویشگاه گونه آویشن *Thymus kotschyanus* براساس عوامل محیطی با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون لجستیک و روش‌های درون‌یابی در مراتع دولانیه شهرستان پیرانشهر پیش‌بینی شد (شکل ۱).

جغرافیایی رستری (پارامترهای محیطی) هستند که معمولاً به‌طور گسترده گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. خروجی حاصل نیز براساس رویشگاه گونه بوده که به‌صورت یک نقشه منعکس‌کننده قابلیت توزیع گونه در رویشگاه به دست می‌آید (Evangelista et al., 2008). جنس آویشن (*Thymus*) از مهمترین جنس‌های خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که ۲۱۵ گونه آن به‌طور گسترده در جهان به‌ویژه منطقه مدیترانه پراکنش دارد. گونه‌های متعددی از این جنس در عرصه‌های طبیعی ایران پراکنده است و در بیشتر رویشگاه‌های کشور حداقل یک گونه از این گیاه وجود دارد. شواهد نشان داده که هیبریداسیون در این جنس پدیده‌ای شایع بوده و باعث ایجاد تنوع وسیعی در سطح بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای می‌شود. جنس آویشن در میان گیاهان دارویی منطقه دولانیه پراکنش بالایی دارد و با توجه



شکل ۱- گونه *Thymus kotschyanus* در منطقه مورد مطالعه

Figure 1 – *Thymus kotschyanus* species of the study area

روش

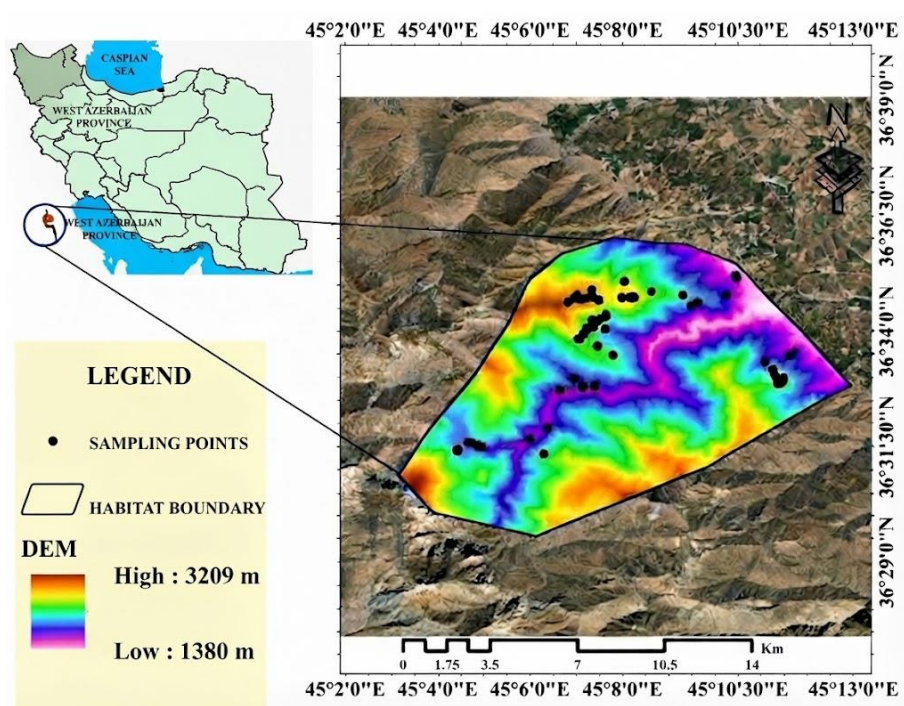
موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر در سال‌های ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به‌صورت دوساله و در زمان ۸۰

از سطح دریا انجام شد. این منطقه دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی است، به نحوی که در آن میانگین دمای سالانه از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تابستان و تا ۲۵- درجه سانتی‌گراد در زمستان و متوسط بارندگی سالانه از ۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر متغیر است (سازمان هواشناسی، ۱۳۸۰). همچنین گونه‌های گیاهی *Agropyron* *Astragalus* spp و *Hordum bulbosum* و *trichophorum* به فراوانی در این منطقه قابل مشاهده می‌باشند.

درصد گلدهی گیاه انجام شد. مساحت مراتع دولانیه در بخش غربی رشته‌کوه زاگرس و در مناطق بادین‌آباد و کهنه لاجان و حاجی ابراهیم پیرانشهر در استان آذربایجان غربی، حدود ۱۷۳۳۸ هکتار می‌باشد. محل نمونه‌برداری منطقه در محدوده طول جغرافیایی بین $45^{\circ} 9' 31''$ تا $45^{\circ} 17' 47''$ شمالی و عرض جغرافیایی بین $36^{\circ} 34' 13''$ تا $32' 43''$ شرقی می‌باشد (شکل ۲).

نمونه‌برداری در دامنه ارتفاعی بین ۱۵۰۰ تا ۳۶۰۰ متر



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

Figure 2 - Geographical location of the study area and sampling points

(2008) به‌دقت بررسی و با نمونه‌های هرباریومی موجود در هرباریوم‌های مجازی (Virtual herbaria) به‌ویژه سایت GBIF مطابقت داده شد. فراوانی و سهم گونه مورد مطالعه در ترکیب گیاهی تیپ‌های گیاهی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

شناسایی گونه مورد مطالعه

برای شناسایی دقیق و سریع گونه مورد مطالعه، در ابتدا و قبل از شروع نمونه‌برداری، کلید شناسایی گونه‌های جنس آویشن (*Thymus*)، صفات تشخیصی (diagnostic characters) و توصیف گونه آویشن *Thymus kotschyanus* در منابع گیاه‌شناسی موجود (Jamzad,

جدول ۱- فراوانی و سهم گونه مورد مطالعه در ترکیب گیاهی تیپ‌های گیاهی منطقه

Figure 1- Abundance and proportion of the studied species in the plant composition of the plant types of the region

Trait / Parameter	Value / Estimate
Canopy Cover Percentage (PCCA Herb)	12%
Frequency (Percentage of plots where the species is present) (Frequency Herb)	28%
Plant Density (Number of plants per hectare) (Density Herb)	900 plants/ha
Species Relative Importance / Share (RI)	14%

برداشت انجام شد.

متغیرهای اقلیمی و آزمایش‌های خاک

ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب غالب منطقه از مدل ارتفاع رقومی (DEM) منطقه مورد مطالعه مستخرج از ماهواره استر و در محیط GIS به‌دست آمد. پارامترهای اقلیمی و هواشناسی شامل متوسط درجه حرارت سالیانه و ماهانه، متوسط حداقل‌ها و حداکثرهای ماهیانه و سالیانه درجه حرارت و بارندگی برای ایستگاه سینوپتیک نزدیک به منطقه مورد بررسی (دولانیه) به‌صورت ۱۰ ساله و آمار ایستگاه‌های کليما تولوژی و باران‌سنجی منطقه برای حداقل ۳۰ سال از ایستگاه‌های هواشناسی پیرانشهر، کویر، سد سیلوه، کانی سبب و سالنامه‌های هواشناسی و سازمان آب تهیه و پس از انجام تصحیحات لازم برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌های تازه، خاک اطراف ریشه در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت مرکب ۱۰ نمونه جمع‌آوری‌شده و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی در هوا خشک و بعد از الک دو میلی‌متری رد شدند. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، درصد آهک، مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، درصد ماده آلی، درصد ذرات رس، شن و سیلت، EC و pH بود. بافت خاک با روش هیدرومتری اندازه‌گیری می‌شود (Carter et al., 1993). برای سنجش میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع، از دستگاه هدایت‌سنج (JENWAY-4510 Conductivity Meter)، سنجش pH با

روش آماربرداری و اندازه‌گیری پارامترهای مورد

بررسی گونه‌های گیاهی

پس از حضور در منطقه مورد مطالعه، به‌طور سیستماتیک تصادفی و با پراکنش مطلوب در کل منطقه، تعداد ۹۴ نقطه حضور و عدم حضور گونه آویشن *Thymus kotschyanus* ثبت شد. برای این منظور، بررسی میدانی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت سیستماتیک انجام گردید. نقاط نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی-طبقه‌بندی‌شده و با پراکنش مکانی مطلوب در کل منطقه انتخاب شدند. در هر نقطه، با استفاده از پیمایش میدانی و بررسی دقیق پوشش گیاهی در پلات‌های استاندارد، حضور یا عدم حضور گونه موردنظر ثبت شد. در نقاطی که گونه پس از بررسی کامل پلات مشاهده نشد، به‌عنوان نقاط عدم حضور واقعی ثبت شدند. انتخاب و پراکنش نقاط در راستای پوشش نماینده‌ای از کل شرایط اکولوژیکی منطقه (شامل تغییرات ارتفاع، شیب، جهت و نوع خاک) انجام شد تا دقت و تعمیم‌پذیری مدل حفظ شود. همچنین مشخصات مکانی هر نمونه شامل ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی به‌وسیله دستگاه GPS ثبت شد. در ضمن برداشت، داده‌های مورفولوژیک از قبیل ارتفاع بوته، قطر بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های فرعی و طول و عرض برگ هر نمونه یادداشت شد (Perez-[Harguindeguy et al. 2013](#)). برای مطالعات خاک‌شناسی (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) منطقه، همزمان با آماربرداری از قسمت‌های هوایی گیاه، از خاک اطراف ریشه به روش تصادفی و مرکب و به عمق ۲۰ سانتی‌متری

قابل‌دسترس با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل دستگاه Flame Photometer 410)، اندازه‌گیری عناصر ریزمغذی به روش عصاره‌گیری با DTPA (Diethylene Triaminepenta-) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Acetic Acid AA-) (6300, Shimadzu, Japan) انجام شد. در جدول ۲ متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش ارائه شده است. همچنین مقادیر آنها در جدول ۳ آورده شده است.

استفاده از دستگاه pH متر (مدل دستگاه JENWAY-3510 PH Meter)، اندازه‌گیری درصد کربن و مواد آلی خاک به روش والکی‌بلک (Walkley and Black., 1974)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی و از طریق خنثی‌سازی با اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد (Sims., 1995)، فسفر قابل‌دسترس با استفاده از روش اولسن و با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. پتاسیم

جدول ۲- متغیرهای محیطی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Environmental variables used in the present study

Short name	Full name	Unit
Elev	Altitude above sea level	m
LO	Longitude	Degree
LA	Latitude	Degree
SLO	Slope	Percent
ASP	Slope Aspect	Degree
LLE	Leaf length	mm
LW	Leaf width	mm
HP	Plant height	mm
EC	Electrical conductivity	µmhos/cm
pH	pH	
CO	Organic carbon	Percent
TN	Total nitrogen	Percent
CaCo3	Lime	Percent
P	Phosphorus	mg/kg
K	Potassium	mg/kg
Zn	Zinc	mg/kg
Fe	Iron	mg/kg
Cu	Copper	mg/kg
Tmax	Maximum temperature	C°
Tmin	Minimum temperature	C°
Tmean	Average temperature	C°
W	Average wind speed	m/s
Pr	Average annual precipitation	mm
Tper	Average monthly precipitation	mm
Sand	Sand	Percent
Clay	Silt	Percent
Silt	Clay	Percent

جدول ۳- متوسط مقادیر متغیرهای محیطی در نقاط حضور و عدم حضور

Table 3- Average values of environmental variables in presence and absence points		
Feature	Average in absence points	Average in points of presence
Elev	2079.022	2261.360
SLO	56.840	50.720
ASP	132.368	141.820
LLE	8.054	11.242
LW	5.362	6.203
HP	27.751	34.300
EC	395.337	316.629
PH	7.301	7.347
OC	2.694	2.239
OM	4.645	3.861
TN	0.904	0.751
Lime	19.140	16.282
P	73.711	28.161
K	221.015	226.949
Zn	0.731	0.962
Fe	1.291	1.298
Cu	0.479	0.459
Tmax	15.275	15.076
Tmin	3.330	3.072
Rad	16777.580	16827.076
perci	53.467	52.134
Tper	641.413	626.000
Sand	49.879	44.302
Clay	29.756	28.303
Silt	20.365	27.395

مدل سازی و تحلیل داده ها

داده های مربوط به عوامل محیطی، به عنوان متغیر مستقل و داده های حضور و عدم حضور گونه به صورت ۰ و ۱ به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. برای بررسی رابطه بین حضور و عدم حضور گونه و عوامل محیطی، از روش رگرسیون لجستیک دوتایی در نرم افزار SPSS استفاده شد. برای بررسی وجود و یا چندهم خطی (Multicollinearity) بین متغیرهای مستقل، از آزمون عامل تورم واریانس (VIF) استفاده شد. این روش یکی از روش های متداول و معتبر برای تشخیص هم خطی در مدل های رگرسیونی و مدل های

مشابه می باشد. براساس ادبیات علمی، مقدار VIF بالاتر از ۱۰ به عنوان نشان دهنده هم خطی شدید تلقی می شود و باعث بروز ناپایداری در ضرایب مدل، کاهش دقت پیش بینی و تفسیر نادرست نتایج می شود (Dormann et al., 2013). از این رو، متغیرهای مستقل با VIF بالاتر از ۱۰ از فرایند مدل سازی حذف شدند تا از تأثیرات منفی هم خطی جلوگیری شود.

معادله کلی رگرسیون لجستیک به صورت معادله ۱ است (Zare Chahouki et al., 2014).

$$(1) P = \text{Exp}(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n) / 1 + \text{Exp}(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n)$$

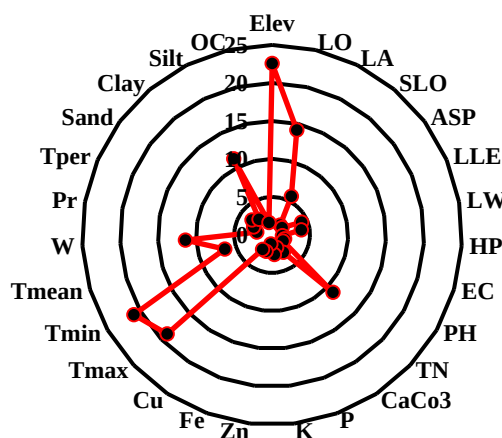
که در آن، P $(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n)$ و x به ترتیب، احتمال رخداد گونه مورد نظر، ضرایب مدل رگرسیون و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده هستند.

به منظور بررسی تغییرات مکانی احتمال حضور گونه مورد نظر، از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آماري استفاده شد. روش‌های قطعی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی) انجام می‌شود ([Lam et al., 1983](#)). در این پژوهش از روش‌های قطعی عکس فاصله وزنی (Inverse Distance Weighting) و توابع پایه شعاعی (Radial Basis Functions)، چندجمله‌ای عام (Global Polynomial Interpolation)، چندجمله‌ای محلی (Local Polynomial Interpolation) و از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ معمولی (Ordinary kriging) و کوکریجینگ معمولی (Ordinary CoKriging) استفاده شد. به منظور انتخاب بهترین روش تحلیل مکانی و بررسی دقت روش‌های مذکور، از روش اعتبارسنجی حذفی استفاده شد. به منظور مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی از معیار مجذور میانگین مربع خطا (Root Mean Square Error) و نیز خطای میانگین (Mean Error) استفاده گردید ([Vatakhah & Nabipour, 2016](#)). خروجی مدل رگرسیون لجستیک به صورت احتمال حضور

گونه در مقیاس بین صفر تا یک تولید شد. برای تهیه نقشه نهایی ظرفیت رویشگاه، از این خروجی عددی پیوسته، طبقه‌بندی چهارگانه‌ای استفاده شد که شامل: «نامناسب» $(0/75 - 0/25)$ ، «تناسب کم» $(0/25 - 0/5)$ ، «مناسب» $(0/5 - 0/75)$ و «عالی» $(0/75 - 1)$. طبقات بر مبنای توزیع استاندارد احتمال حضور و به صورت کلاس‌های مساوی (Equal interval classification) در محدوده خروجی مدل (۰ تا ۱) تعریف شده‌اند. استفاده از این روش موجب سهولت در تفسیر نقشه، اولویت‌بندی مناطق برای حفاظت یا بهره‌برداری و مقایسه با سایر مطالعات می‌شود. همچنین طبقه‌بندی خروجی احتمال به کلاس‌های معنی‌دار از نظر زیستگاهی، به کاربران نهایی مانند مدیران منابع طبیعی و تصمیم‌گیران کمک می‌کند ([Guisan & Zimmermann, 2000](#)).

نتایج

به منظور آزمون هم‌خطی متغیرهای محیطی، آماره VIF برای هر متغیر محاسبه شد (شکل ۳). متغیرهای ارتفاع، طول جغرافیایی، درصد سیلت، نیتروژن کل و حداقل و حداکثر دما به دلیل مقدار VIF بیش از ۱۰، از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. مدل‌سازی پیش‌بینی حضور گونه با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد و معادله نهایی به دست آمد.



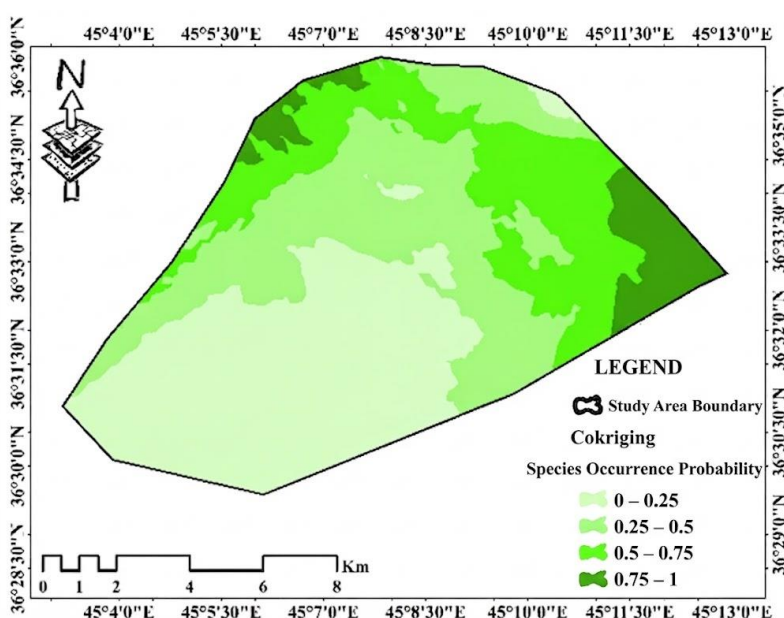
شکل ۳- مقادیر آماره VIF برای متغیرهای مورد استفاده

Figure 3 - VIF statistic values for the used variables

$$P = \text{Exp}(2663.56 + ((-65.6 \times LA) + (0.027 \times SLO) + (-0.012 \times ASP) + (3.74 \times LLE) + (-0.37 \times LW) + (1.12 \times HP) + (0.34 \times EC) + (27.02 \times pH) + (-1.81 \times OC) + (-0.33 \times CaCo_3) + (-0.13 \times P) + (-0.02 \times K) + (9.4 \times Zn) + (21.78 \times Fe)(-22.55 \times Cu) + (-5.75 \times Pr) + (-0.39 \times Tper) + (-0.23 \times Sand) + (-0.26 \times Clay) + (2.09 \times Tmean)))/1 + \text{Exp}(2663.56 + ((-65.6 \times LA) + (0.027 \times SLO) + (-0.012 \times ASP) + (3.74 \times LLE) + (-0.37 \times LW) + (1.12 \times HP) + (0.34 \times EC) + (27.02 \times pH) + (-1.81 \times OC) + (-0.33 \times CaCo_3) + (-0.13 \times P) + (-0.02 \times K) + (9.4 \times Zn) + (21.78 \times Fe)(-22.55 \times Cu) + (-5.75 \times Pr) + (-0.39 \times Tper) + (-0.23 \times Sand) + (-0.26 \times Clay) + (2.09 \times Tmean)) \quad (2)$$

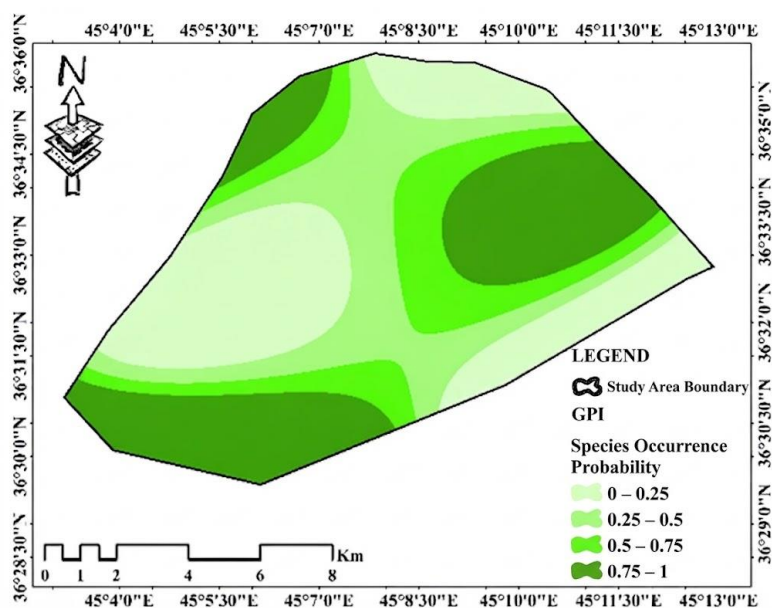
نقاط نمونه برداری براساس رابطه ۲، توزیع مکانی احتمال حضور گونه در رویشگاه براساس روش های درون یابی مورد محاسبه قرار گرفت و نتایج در قالب نقشه های رستری ارائه گردیدند (شکل های ۴ تا ۹).

در نهایت برای برآورد احتمال حضور گونه (P) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، رابطه ذیل حاصل شد (رابطه ۲). پس از محاسبه احتمال حضور گونه مذکور در هریک از



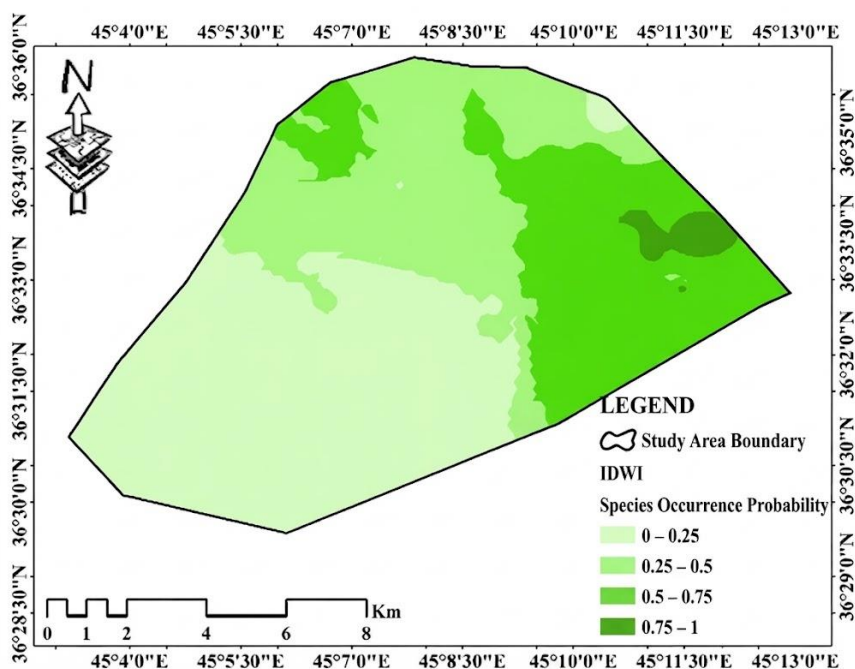
شکل ۴- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از Cokriging در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر

Figure 4- Spatial distribution of the probability of the species of *Thymus kotschyanus* using Cokriging at Dolanieh Piranshahr County habitat



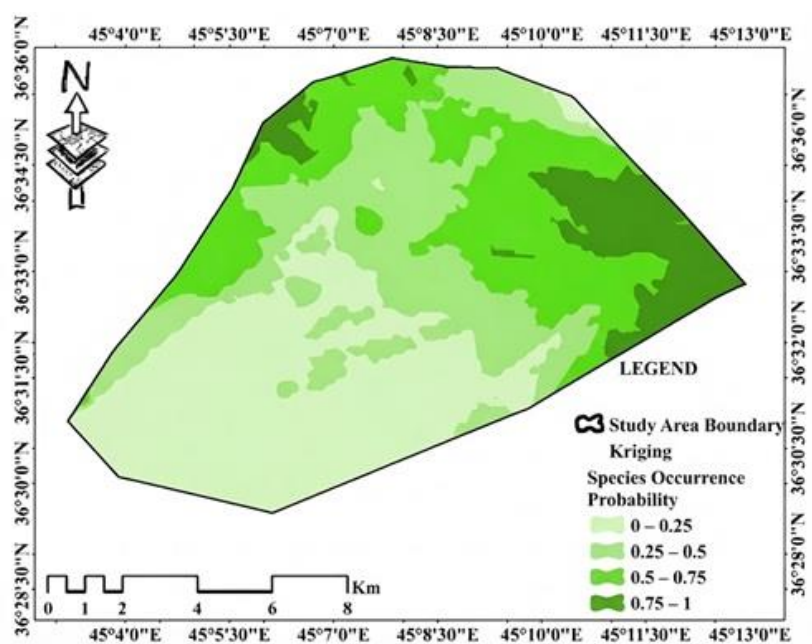
شکل ۵- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از GPI در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر

Figure ۵- Spatial distribution of the probability of the species of *Thymus kotschyanus* using GPI at Dolanieh Piranshahr County habitat

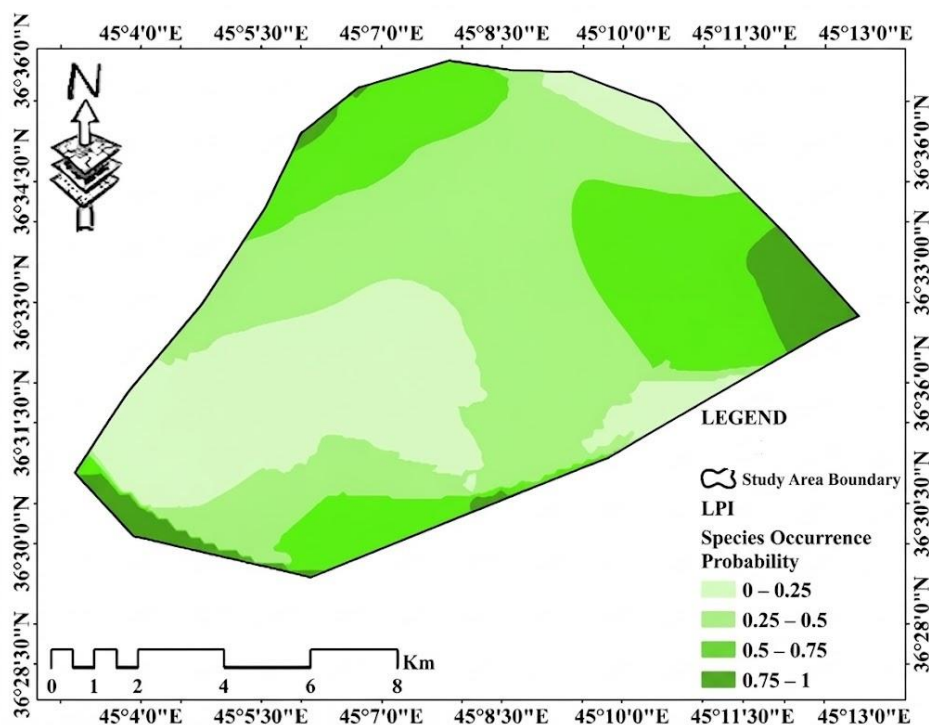


شکل ۶- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از IDWI در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر

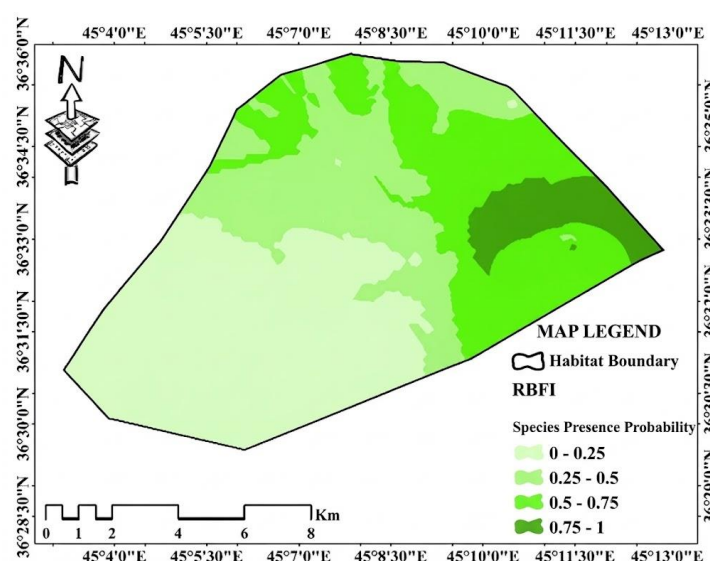
Figure 6- Spatial distribution of the probability of the species of *Thymus kotschyanus* using IDWI at Dolanieh Piranshahr County habitat



شکل ۷- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از Kriging در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر
 Figure 7- Spatial distribution of the probability of the species of *Thymus kotschyanus* using dcq3 at Dolanieh Piranshahr County habitat



شکل ۸- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از LPI در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر
 Figure 8- Spatial distribution of the probability of the species of *Thymus kotschyanus* using LPI at Dolanieh Piranshahr County habitat



شکل ۹- توزیع مکانی احتمال حضور گونه *Thymus kotschyanus* با استفاده از RBF در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر

Figure 9- Spatial distribution of the probability of the species of *thymus kotschyanus* using RBF at Dolanieh Piranshahr County habitat

به‌طورکلی یکسان برآورد کرده‌اند اما استفاده از روش LPI، قابلیت اطمینان بالاتری دارد (جدول ۴).

نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی در پیش‌بینی گونه *Thymus kotschyanus* نشان می‌دهد که روش‌های زمین‌آمار و قطعی، وضعیت حضور گونه را

جدول ۴. نتایج نهایی ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی در پیش‌بینی گونه *Thymus kotschyanus*

Table 4. Final results of the evaluation of different interpolation methods in predicting the species *Thymus kotschyanus*

Interpolation method	RMSE	ME
Kriging	0.409	-0.009
Cokriging	0.410	-0.007
IDWI	0.417	-0.031
LPI	0.396	-0.009
GPI	0.401	-0.007
RBF	0.420	-0.009

بحث

در این پژوهش با استفاده از متغیرهای محیطی شامل متغیرهای توپوگرافی، اقلیمی و خاک، پراکنش گونه آویشن *Thymus kotschyanus* در رویشگاه دولانیه شهرستان پیرانشهر بررسی شد. مطالعات مختلف نشان داده است که متغیرهای محیطی تأثیر زیادی بر پراکنش گونه‌های مرتعی دارد، هرچند اثرهای آن یکسان نیست (Cimalova and Lososova, 2009; Zare et al., 2023).

نتایج نشان داد بیشتر متغیرهای مورد استفاده می‌تواند در احتمال حضور یا عدم حضور گونه مذکور به‌طور مستقل اثرگذار باشد، تنها چند متغیر که هم‌ارز بودند کنار گذاشته شد. نتایج مدل‌سازی رگرسیون لجستیک نشان داد که متغیرهای عرض جغرافیایی، جهت شیب، عرض برگ، درصد کرین آلی خاک، کرینات کلسیم، مس، متوسط

نوسانهای شدید (artifacts) در سطوح پیش‌بینی‌شده، عدم نیاز به فرض همسانی و همبستگی مکانی قوی (برخلاف کریجینگ) و نرمی مناسب نقشه‌ها که موجب تفسیرپذیری بالاتر خروجی‌ها در مقیاس مدیریتی، عملکرد بهتری دارد. انتخاب این روش با توجه به معیارهای خطا انجام شد که نشان‌دهنده دقت و قابلیت اعتماد بالاتر Local Polynomial در مقایسه با روش‌هایی مانند IDW بود. همچنین Lam (۱۹۸۳) نیز بیان کرد که روش LPI در مواردی که تغییرات و نوسانهای محلی در داده‌ها وجود دارد عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد. البته تفاوت قابل‌توجهی بین روش‌ها نیست و عملکرد مشابهی داشته‌اند. با توجه به علامت منفی آماره ME، همه روش‌ها کم تخمین بوده‌اند. مشابه این پژوهش، پژوهش‌های متعددی بر کارایی مناسب رگرسیون لجستیک در تعیین پراکنش گونه‌ای تأکید کرده است. (Yilmaz et al., 2017; Ilunga et al., 2019). نتایج این پژوهش نشان داد که گونه آویشن *T. kotschyanus* تمایل به حضور در مناطق با شیب متوسط، خاک سبک و ارتفاعات معتدل دارد. این اطلاعات می‌تواند در تعیین نواحی اولویت‌دار برای حفاظت، برنامه‌ریزی چرا، کشت نیمه‌طبیعی و احیای این گونه در مراتع مستعد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهش‌ها بر روی گونه‌های آویشن در نقاط مختلف کشور هم‌راستا است، می‌توان از آن به‌عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری در سایر زیست‌بوم‌های مشابه استفاده کرد. در ادامه برخی از پیشنهادها و پژوهشی مرتبط با این پژوهش، ارائه شده است.

مدل‌سازی پویای آینده‌نگر: استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم می‌تواند به پیش‌بینی تغییرات آینده رویشگاه کمک کند.

تحلیل عدم قطعیت: به‌کارگیری روش‌هایی مانند شبیه‌سازی مونت‌کارلو در پژوهش‌های آینده می‌تواند به ارزیابی دقت و اطمینان‌پذیری مدل‌ها کمک نماید.

بارندگی ماهانه و سالانه، درصد شن و رس با شیب منفی رابطه معکوسی با احتمال حضور گونه آویشن دارد. این در حالی است که متغیرهای شیب، طول برگ، ارتفاع گیاه، هدایت الکتریکی، pH، روی، آهن و متوسط دما با شیب مثبت رابطه مستقیمی با احتمال حضور گونه آویشن دارد. ارتفاع و شیب به‌عنوان مهمترین عوامل مؤثر شناسایی شدند. این یافته‌ها با نتایج مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد، به‌طوری‌که با استفاده از مدل MaxEnt پراکنش سه گونه آویشن را در سطح کشور ایران مدل‌سازی کرده و شیب را به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر گزارش کردند. همچنین، پژوهش Piri Sahragard و Zare Chahouki (۲۰۱۳) نیز در استان قم نشان داد که ارتفاع تأثیر معناداری بر توزیع گونه‌های دارویی دارد. از سوی دیگر، هدایت الکتریکی و بافت خاک نیز تأثیر قابل‌توجهی بر حضور گونه داشتند (مشابه با یافته‌های Zare Chahouki و همکاران (۲۰۱۴) که در منطقه خلجستان قم، تأثیر این متغیرها بر پراکنش گیاهان دارویی را تأیید کردند). البته نقش pH و جهت دامنه نیز در مطالعات مشابه مانند (Cimalova & Lososova, 2009) به‌عنوان عوامل فرعی تأیید شده است. احتمال حضور گونه آویشن در شرق منطقه به بیشترین حد خود می‌رسد و از شرق و شمال‌شرق به سمت جنوب و جنوب‌غرب احتمال حضور کاهش خواهد یافت. در بیشتر مناطق احتمال حضور آویشن کمتر از ۰/۲۵ است، تنها در بخش‌های کوچکی احتمال حضور نزدیک به ۱ حاصل شد. بنابراین می‌توان گفت رویشگاه گونه آویشن محدود است و حضور آن در مناطق عمدتاً کوهستانی تا ارتفاع متوسط و اقلیم نیمه‌خشک افزایش می‌یابد. بنابراین لازم است با اتخاذ سیاست‌های مدیریتی در حفظ و حراست این گونه دارویی ارزشمند کوشید. نتایج مقایسه روش‌های درون‌یابی نشان داد روش LPI با کمترین مقدار RMSE بهترین عملکرد را داشته است. روش درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (Local Polynomial Interpolation) به دلیل توانایی مدل‌سازی تغییرات موضعی در داده‌های غیرخطی، بدون ایجاد

References:

- Awasthi, N., Bhandari, S. K. and Khanal, Y. 2015. Does scientific forest management promote plant species diversity and regeneration in Sal (*Shorea robusta*) forest? A case study from Lumbini collaborative forest, Rupandehi, Nepal. *Banko Janakari*, 25(1), 20–29. <https://doi.org/10.3126/banko.v25i1.13468>
- Azimi Motem, F., Talai, R., Asiaizadeh, F. and Hoshlar, M. 2011. Introduction of flora, biological forms and geographical distribution of plant species in the forested and protected area of Fandakflu (Ardebil province). *Taxonomy and Biosystematics*, 3(9), 75–90. (In Persian)
- Bedunah, D. J. and Angerer, J. P. 2012. Rangeland degradation, poverty, and conflict: How can rangeland scientists contribute to effective responses and solutions? *Rangeland Ecology & Management*, 65(6): 606–612. <https://doi.org/10.2307/41403054>
- Carter, M. R., Parton, W. J., Rowland, I. C., Schultz, J. E. and Steed, G. R. 1993. Simulation of soil organic carbon and nitrogen changes in cereal and pasture systems of southern Australia. *Soil Research*, 31(4): 481–491. <https://doi.org/10.1071/sr9930481>
- Cimalová, Š. and Lososová, Z. 2009. Arable weed vegetation of the northeastern part of the Czech Republic: Effects of environmental factors on species composition. *Plant Ecology*, 203(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9503-1>
- Dieleman, C. M., Branfireun, B. A., McLaughlin, J. W. and Lindo, Z. 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: Implications for ecosystem function and stability. *Global Change Biology*, 21(1): 388–395. <https://doi.org/10.1111/gcb.12643>
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D. and Lautenbach, S. 2013. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Eldridge, D. J., Delgado-Baquerizo, M., Travers, S. K., Val, J. and Oliver, I. 2017. Do grazing intensity and herbivore type affect soil health? Insights from a semi-arid productivity gradient. *Journal of Applied Ecology*, 54(3): 976–985. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12834>
- El-Khalafy, M. M., El-Kenany, E. T., Al-Mokadem, A. Z., Shaltout, S. K. and Mahmoud, A. R. 2025. Habitat suitability modeling to improve conservation strategy of two highly-grazed endemic plant species in Saint Catherine Protectorate, Egypt. *BMC Plant Biology*, 25(1), Article 485. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06401-4>
- Evangelista, P. H., Norman, J., Berhanu, L., Kumar, S. and Alley, N. 2008. Predicting habitat suitability for the endemic mountain nyala (*Tragelaphus buxtoni*) in Ethiopia. *Wildlife Research*, 35(5): 409–416. <https://doi.org/10.1071/wr07173>
- Guisan, A. and Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(00)00354-9)
- Hamilton, A. C. 2004. Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 13(8): 1477–1517. <https://doi.org/10.1023/b:bioc.0000021333.23413.42>
- Hosseini, N., Ghorbanpour, M. and Mostafavi, H. 2024. Habitat potential modelling and the effect of climate change on the current and future distribution of three *Thymus* species in Iran using MaxEnt. *Scientific Reports*, 14(1): Article 3641. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53405-5>
- Humaida, N., Wahab, L., Saputra, M. H., Kurniawati, F., Atmaja, M. B., Pujiono, E. and Wahyuningsy, R. S. 2025. Species distribution model and conservation of Mentaok (*Wrightia javanica*) in Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 31(1), 1–11. <https://doi.org/10.7226/jtfm.31.1.1>
- Ilunga Nguy, K. and Shebitz, D. 2019. Characterizing the spatial distribution of *Eragrostis curvula* (Weeping Lovegrass) in New Jersey (United States of America) using logistic regression. *Environments*, 6(12): Article 125. <https://doi.org/10.3390/environments6120125>
- Jamali, A. A., Hossein Jafari, S. and Zarekia, S. 2024. Habitat preference of bitter and sweet asafoetida plants, topographic, soil and climatic factors using remote sensing and statistics analysis. *Journal of Earth System Science*, 133(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s12040-023-02252-5>
- Jamzad, Z. 2008. Iranian thymes and spices. Publications of the Country Forests and Pastures Research Institute. [In Persian]
- Kaufmann, S., Hauck, M. and Leuschner, C. 2017. Comparing the plant diversity of paired beech primeval and production forests: Management reduces cryptogam, but not vascular plant species richness. *Forest Ecology and Management*, 400, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.043>
- Kent, M. 2011. Vegetation description and data analysis: A practical approach (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.2307/3451427>

- Lam, N. S. N. 1983. Spatial interpolation methods: A review. *The American Cartographer*, 10(2): 129–150. <https://doi.org/10.1559/152304083783914958>
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R. and Wu, H. 2020. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.006>
- Lu, X., Kelsey, K. C., Yan, Y., Sun, J., Wang, X., Cheng, G. and Neff, J. C. 2017. Effects of grazing on ecosystem structure and function of alpine grasslands in Qinghai–Tibetan Plateau: A synthesis. *Ecosphere*, 8(1), Article e01656. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1656>
- McBride, P. D., Cusens, J. and Gillman, L. N. 2014. Revisiting spatial scale in the productivity – species richness relationship: Fundamental issues and global change implications. *AoB PLANTS*, 6, Article plu057. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu057>
- Mehrad, S. 2018. Rural economic development and employment generation program of the province's counties (p. 337). Publications of the West Azerbaijan Management and Planning Organization. (In Persian)
- Mesdaghi, M. 2005. Plant ecology (p. 187). Ferdowsi University of Mashhad Press. (In Persian)
- Miller, J. 2005. Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models: Residual interpolation methods. *The Professional Geographer*, 57(2), 169–184. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.2005.00470.x>
- Motamedi, J., Shidai Kirkej, A., Ghasemi, F. and Souri, M. 2017. Ecological, habitat and morphological characteristics of *Ephedra procera* C.A.Mey. in the mountainous pastures of Urmia. *Plant Biology of Iran*, 1(3): 1–20. [In Persian]
- Nabipour, Y. and Vatakhah, M. 2016. Comparison of different geostatistical methods for estimating rainfall in Hajighoshan watershed. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(2): 487–502. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61698> [In Persian]
- Nateghi, S., Khodagholi, M. and Souri, M. 2024. Assessment of the effects of climate change on the habitat of important pasture species in Alborz province based on the climate prediction model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 31(3), 271–285.
- Nickavar, B., Mojab, F. and Dolat-Abadi, R. 2005. Analysis of the essential oils of two *Thymus* species from Iran. *Food Chemistry*, 90(4), 609–611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.020>
- Olf, H. and Ritchie, M. E. 1998. Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(7), 261–265. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(98\)01364-0](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01364-0)
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., Vos, A. C. de. and Cornelissen, J. H. C. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3): 167–234. <https://doi.org/10.1071/bt12225>
- Piri Sahragard, H., Zare Chahouki, M. A. and Azarnivand, H. 2013. Modeling the distribution of plant species in pastures west of Hoz Sultan in Qom province using logistic regression method. *Journal of Rangeland Management*, 1(1): 94–113. (In Persian)
- Qaderi, M. M., Martel, A. B. and Strugnell, C. A. 2023. Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants*, 12(3), Article 447. <https://doi.org/10.3390/plants12030447>
- Raziei, T. 2022. Climate of Iran according to Köppen-Geiger, Feddema, and UNEP climate classifications. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3), 1395–1416. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03992-y>
- Shah, I. H., Manzoor, M. A., Jinhui, W., Li, X., Hameed, M. K., Rehman, A. and Chang, L. 2024. Comprehensive review: Effects of climate change and greenhouse gases emission relevance to environmental stress on horticultural crops and management. *Journal of Environmental Management*, 351, Article 119978. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119978>
- Sher, H., Aldosari, A., Ali, A. and de Boer, H. J. 2014. Economic benefits of high value medicinal plants to Pakistani communities: An analysis of current practice and potential. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1): Article 71. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-71>
- Sims, J. T. 1995. Characteristics of animal wastes and waste-amended soils: An overview of the agricultural and environmental issues. In K. Steele (Ed.), *Animal Waste and the Land-Water Interface* (pp. 1–14). Lewis Publishers.
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., De Ruiter, P. C., Van Der Putten, W. H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjørnlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., Hertefeldt, T. D., Hotes, S., Hol, W. H. G., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R. and Hedlund, K. 2015. Intensive agriculture reduces soil biodiversity

- across Europe. *Global Change Biology*, 21(2), 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001>
- Wang, G., Wang, C., Guo, Z., Dai, L., Wu, Y., Liu, H., Li, Y., Chen, H., Zhang, Y., Zhao, Y. and Cheng, H. 2020. Integrating Maxent model and landscape ecology theory for studying spatiotemporal dynamics of habitat: Suggestions for conservation of endangered Red-crowned crane. *Ecological Indicators*, 116, Article 106472. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106472>
- Yari, R., Heshmati, G. and Rafiee, H. 2019. Potential of available species in Chhar-Bagh summer rangelands, for medicinal, industrial and edibility use, Golestan Province, Iran. *Journal of Rangeland*, 3(13): 350–367. [In Persian]
- Yates, C. J., Norton, D. A. and Hobbs, R. J. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in south-western Australia: Implications for restoration. *Austral Ecology*, 25(1): 36–47. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2000.01030.x>
- Ye, J., Ji, Y., Wang, J., Ma, X. and Gao, J. 2024. Climate factors dominate the elevational variation in grassland plant resource utilization strategies. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1430027. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430027>
- Yilmaz, H., Yilmaz, O. Y. and Akyuz, Y. F. 2017. Determining the factors affecting the distribution of *Muscari latifolium*, an endemic plant of Turkey, and a mapping species distribution model. *Ecology and Evolution*, 7(4): 1112–1124. <https://doi.org/10.1002/ece3.2766>
- Zare Chahouki, M. A., Abbasi, M. and Azarnivand, H. 2014a. Spatial distribution modeling of *Agropyron intermedium* and *Stipa barbata* habitats using logistic regression (Case study: Middle Taleghan Rangelands). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 2(4), 47–60. [In Persian]
- Zare Chahouki, M. A., Abbasi, M. and Azarnivand, H. 2014b. Habitat suitability modeling for *Thymus kotschyanus* using logistic regression and GIS in Qom Province, Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(4): 540–552. <https://doi.org/10.47176/ijae.14.2.15501>
- Zare Chahouki, M. A. and Khalasi Ahvazi, L. 2012. Predicting potential distributions of *Zygophyllum eurypterum* by three modeling techniques (ENFA, ANN and logistic) in North East of Semnan, Iran. *Range Management and Agroforestry*, 33(2), 123–128. [In Persian]
- Zare, M., Ghorbani, A., Moameri, M., Piri Sahragard, H., Mostafazadeh, R., Hosseini, Z. and Dadjou, F. 2023. Effect of environmental factors on habitat prediction of species *Dorema ammoniacum* D. DON. In Nadoushan rangelands, Yazd Province. *Journal of Rangeland*, 17(1): 66–81. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61073-8>
- Zhan, T., Zhang, Z., Sun, J., Liu, M., Zhang, X., Peng, F., Tsunekawa, A., Zhou, H., Gou, X. and Fu, S. 2020. Meta-analysis demonstrating that moderate grazing can improve the soil quality across China's grassland ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 147, Article 103438. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103438>
- Zhang, Q., Buyantuev, A., Li, F. Y., Jiang, L., Niu, J., Ding, Y. and Ma, W. 2017. Functional dominance rather than taxonomic diversity and functional diversity mainly affects community aboveground biomass in the Inner Mongolia grassland. *Ecology and Evolution*, 7(5): 1605–1615. <https://doi.org/10.1002/ece3.2778>