

A Systematic Review of the Consequences of Climate Change on the Ecological Capacity of Medicinal Plants in the Southern Slopes of Alborz (Case Study: Hiv & Shalamzar Watershed)

Mohammad Reza Sheykh Rabiee^{1*}, Bohloul Abbaszadeh², Ali Mohebbi³

1- Instructor, Department of Agriculture and Natural Resources, University of Applied Science and Technology, Tehran, Iran, <https://orcid.org/0000-0003-3900-276X>

2- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (AREEO), Tehran, Iran. <https://orcid.org/0000-0002-1292-7415>

3- Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (AREEO), Tehran, Iran. <https://orcid.org/0000-0002-2214-2363>

4- Corresponding Author's Email: rabiee@uast.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Climate change is a fundamental environmental challenge with far-reaching effects on natural systems, particularly mountain ecosystems in arid and semi-arid regions. The southern slopes of the Alborz Mountain range in Iran are among the country's most important mountain ecosystems, hosting a diverse array of medicinal plant species with significant economic and ecological value. The Hiv and Shalamzar watersheds possess valuable medicinal species, including *Astragalus*, *Thymus*, *Achillea*, *Glycyrrhiza*, *Cichorium*, *Hypericum*, and *Alhagi persarum*, which have long been used in traditional medicine and are increasingly harvested for the pharmaceutical industry. Despite scattered studies, no comprehensive systematic review has specifically focused on the ecological capacity of medicinal plants in this region. This research aimed to collect, evaluate, and synthesise findings from existing studies on climate change impacts on the ecological capacity of medicinal plants in the Hiv and Shalamzar watershed.

Materials and Methods

This systematic review was conducted following PRISMA guidelines. A comprehensive search was performed in domestic databases (SID, Magiran, ISC) and international databases (Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Wiley Online Library, SpringerLink) for Persian articles (2011–2024) and English articles (2015–2026). Keywords included "climate change," "medicinal plants," "ecological capacity," and their equivalents. The screening process involved four stages: initial identification of approximately 850 records, duplicate removal (60 studies), title/abstract screening (excluding 240 irrelevant studies), and full-text review (excluding 50 studies with insufficient data or unclear methodology). Methodological quality was assessed using the CASP checklist; studies scoring below 60% were excluded. Finally, 60 studies met all inclusion criteria. Data extraction included bibliographic information, methodology, variables, medicinal plant species, and key findings. Qualitative data were analysed using thematic analysis, while quantitative data were synthesised using narrative synthesis and descriptive statistics.

Results and Discussion

Climate data analysis revealed that the mean annual temperature in the southern Alborz slopes increased by 1.2°C over three decades, while precipitation during the growing season decreased by 15%. Rainfall patterns shifted toward short-term torrential rainfall, reducing infiltration rates and increasing surface runoff. Analysis of the seven main medicinal plant species revealed significant impacts: the density of *Astragalus*, *Thymus*, and *Achillea* declined by up to 25% at lower elevations (1500–2000 m); alkaloids, flavonoids, and essential oils decreased by up to 30%; *Glycyrrhiza* shifted to higher altitudes (2500–3000 m); *Cichorium* flowering occurred 10–15 days earlier; and *Alhagi persarum* faces

severe habitat reduction. Highland areas served as climate refugia, preventing up to 40% of population decline. Future projections indicate that 20–30% of current distribution areas may be lost by 2031.

Conclusion

This systematic review demonstrates that climate change has significantly reduced the ecological capacity of medicinal plants in the southern Alborz slopes. The seven main species studied showed reduced density, altitudinal shifts, altered phenological patterns, and decreased bioactive compound content. Overharvesting by local communities has accelerated extinction risks. Highland areas play a crucial role as climate refugia, protecting vulnerable species. Key recommendations include: (1) establishing long-term monitoring networks using remote sensing; (2) protecting climate refugia at higher elevations; (3) developing gene banks for endangered species, particularly *Alhagi persarum*; (4) formulating comprehensive climate change adaptation programs; and (5) raising public awareness about sustainable harvesting practices.

Keywords: Climate change, Ecological capacity, Medicinal plants, Hiv & Shalamzar watershed, Southern slopes of Alborz

Table 1. Summary of key findings on the impact of climate change on the ecological capacity of medicinal plants in the southern slopes of Alborz

Component	Finding	Change	References
Climatic parameters			
Temperature	Annual mean	+1.2°C	Roshan et al., 2024; Azad & Ahmadi, 2024; Motamedi et al., 2022
Precipitation	Growing season	–15%	Iran Meteorological Organization, 2023; Azad & Ahmadi, 2024
Rainfall pattern	Shift toward torrential rainfall.	–	Roshan et al., 2024
Consecutive dry days	Significant increase	–	Iran Meteorological Organisation, 2023
Changes in species distribution and density			
The density of vulnerable species	<i>Astragalus</i> , <i>Thymus</i> , <i>Achillea</i>	–25% at 1500–2500 m	Vaziri, 2017; Noedoost et al., 2024; Motamedi et al., 2022
Altitudinal shift	<i>Glycyrrhiza</i>	Shifted to 2500–3000 m	Ghelichnia, 2024; Zaheri et al., 2024
Endangered species	<i>Alhagi persarum</i>	Severe habitat reduction	Zaheri et al., 2024
Phenological and physiological changes			
Flowering time	Various species (especially <i>Cichorium</i>)	10–15 days earlier	Tahan et al., 2024; Alavi Bougar et al., 2025
Seed production	Decrease	–30%	Alavi Bougar et al., 2025
Alkaloids	Decrease (especially <i>Astragalus</i> and <i>Thymus</i>)	–30%	Alavi Bougar et al., 2025

Flavonoids	Decrease (especially <i>Astragalus</i> and <i>Thymus</i>)	−30%	Alavi Bougar et al., 2025
Essential oils	Decrease (especially <i>Thymus</i> and <i>Hypericum</i>)	−30%	Alavi Bougar et al., 2025; Salmanpour et al., 2025
Phenolic compounds	Decrease with elevation	−7.85%	Alavi Bougar et al., 2025; Roshan et al., 2024
Antioxidant enzyme activity	Increase with elevation	–	Roshan et al., 2024

Climate refugia and future projections			
Climate refugia	Highland areas	Prevented 40% population decline	Kougioumoutzis et al., 2024; Ghelichnia, 2024; Motamedi et al., 2022
Distribution loss prediction	30% by 2031	−30%	Pau et al., 2025; Wani et al., 2024; Motamedi et al., 2022
Temperature projection (2100)	Iran	+2.5 to +4.5°C	Azad & Ahmadi, 2024; IPCC, 2023
Precipitation projection (2100)	Iran	−15 to −25%	Azad & Ahmadi, 2024; IPCC, 2023

Keywords: Climate change, Ecological capacity, Medicinal plants, Hiv & Shalamzar watershed, Southern slopes of Alborz

مروری نظام‌مند بر پیامدهای تغییرات اقلیمی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در دامنه جنوبی البرز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هیو و شلمزار)

محمدرضا شیخ ربیعی^{۱*}، بهلول عباس زاده^۲، علی محبی^۳

۱- مربی، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه جامع علمی - کاربردی، تهران، ایران. <https://orcid.org/0000-0003-3900-276X>

۲- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

<https://orcid.org/0000-0002-1292-7415>

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

<https://orcid.org/0000-0002-2214-2363>

رایانامه نویسنده مسئول: rabiee@uast.ac.ir

چکیده

تغییرات اقلیمی یک چالش اساسی زیست‌محیطی با تأثیرات گسترده بر سیستم‌های طبیعی است. حوزه آبخیز هیو و شلمزار در دامنه‌های جنوبی البرز، با داشتن گونه‌های ارزشمندی از جمله گون، آویشن، بومادران، شیرین‌بیان، کاسنی، علف چای و خارشتر، سرشار از گیاهان دارویی است. با وجود مطالعات پراکنده، هیچ بررسی سیستماتیک جامعی انجام نشده است. این تحقیق با هدف جمع‌آوری، ارزیابی و ترکیب یافته‌ها در مورد تأثیرات تغییرات اقلیمی بر ظرفیت اکولوژیکی گیاهان دارویی در این حوزه‌های آبخیز انجام شد. این بررسی سیستماتیک از دستورالعمل‌های PRISMA پیروی کرد. جستجو در پایگاه‌های داده معتبر داخلی و بین‌المللی انجام شد. بازه زمانی مقالات فارسی از ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ و مقالات انگلیسی از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ بود. پس از غربالگری، ۶۰ مطالعه برای تجزیه و تحلیل نهایی انتخاب شدند. داده‌ها با استفاده از تحلیل موضوعی و آمار توصیفی تجزیه و تحلیل شدند. دمای سالانه ۱/۲ درجه سانتیگراد افزایش یافت، در حالی که میزان بارندگی در طول فصل رشد طی سه دهه ۱۵ درصد کاهش یافت. تراکم گون، آویشن و بومادران تا ۲۵٪ کاهش یافت. گلدهی کاسنی ۱۰ تا ۱۵ روز زودتر رخ داد و شیرین‌بیان به ارتفاعات بالاتر (۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر) منتقل شد. ترکیبات فعال شامل آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و روغن‌های ضروری تا ۳۰ درصد کاهش یافت. خارشتر با کاهش شدید زیستگاه در البرز شرقی مواجه است. مناطق مرتفع به عنوان پناهگاه اقلیمی عمل می‌کردند و از ۴۰ درصد کاهش جمعیت جلوگیری می‌کردند. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۱، ۳۰ درصد از منطقه توزیع گیاهان دارویی از بین برود. تغییرات اقلیمی ظرفیت اکولوژیکی را کاهش داده است. آسیب‌پذیری گونه‌ها، تغییرات ارتفاعی، کاهش ترکیبات فعال و تهدید خارشتر از پیامدهای اصلی آن هستند. برداشت بیش از حد توسط جوامع محلی سرعت انقراض را افزایش داده است. مدیریت حفاظتی پناهگاه‌های اقلیمی، توسعه کشت پایدار، آگاهی عمومی و برنامه‌های جامع سازگاری برای حفظ این منابع ضروری است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، توان اکولوژیکی، گیاهان دارویی، حوزه آبخیز هیو و شلمزار، دامنه جنوبی البرز

مقدمه

دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های کوهستانی ایران، از تنوع زیستی بالایی برخوردار بوده و زیستگاه گونه‌های متعدد گیاهان دارویی با ارزش‌های اقتصادی و اکولوژیکی منحصربه‌فرد است (Mozaffarian, 2022). ایران با شرایط اقلیمی و توپوگرافی منحصربه‌فرد خود، میزبان حدود ۸۰۰۰ گونه گیاهی است که از این تعداد، حدود ۲۳۰۰ گونه به‌عنوان گیاهان دارویی یا معطر شناخته می‌شوند. براساس پژوهش‌های فیتوژئوگرافی، ناحیه رویشی ایران-تورانی که دامنه جنوبی البرز را نیز در بر می‌گیرد، مرکز اصلی تنوع گیاهان دارویی بوم‌زاد ایران است (Hassanpouraghdam et al., 2022).

تغییرات آب‌وهوایی به‌عنوان یکی از عمده‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی، اثرات گسترده‌ای بر سامانه‌های طبیعی داشته است. براساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC¹, 2023)، میانگین دمای جهانی در حال افزایش و الگوهای بارش دستخوش تغییرات اساسی شده‌اند. زیست‌بوم‌های کوهستانی به‌دلیل حساسیت بالا، از آسیب‌پذیرترین سامانه‌ها در برابر تغییرات آب‌وهوایی هستند (Allen & Breshears, 2023). مطالعات انجام‌شده در رشته‌کوه البرز نشان داده است که عوامل ارتفاعی و توپوگرافی نقش تعیین‌کننده‌ای در استقرار و پراکنش پوشش گیاهی دارند و تغییرات اقلیمی می‌تواند این الگوها را دستخوش تغییرات اساسی کند (Anjam et al., 2013). پژوهش‌های گسترده‌تری نیز به ابعاد مختلف این تأثیرات پرداخته‌اند. عظیمی و همکاران (Azimi et al., 2024) با مطالعه بر روی گونه‌های مختلف آویشن (*Thymus spp.*) نشان دادند که تنش خشکی بلندمدت به‌طور معنی‌داری کمیت و کیفیت اسانس این گیاهان را کاهش می‌دهد. در سطح ژنتیکی، اقلیما و همکاران (Eghlima et al., 2020) تنوع ژنتیکی و فیتوشیمیایی جمعیت‌های مختلف شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) در ایران را بررسی کرده و عوامل ژنتیکی و محیطی مؤثر بر ترکیبات مؤثره را شناسایی نمودند. از سوی دیگر، حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2021) با استفاده از مدل‌سازی MaxEnt، تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش آینده دو گونه آویشن در ایران را پیش‌بینی کرده و کاهش زیستگاه‌های مطلوب آنها را هشدار داده‌اند. همچنین، مطالعات هشداردهنده‌ای در سطح منطقه‌ای و جهانی صورت گرفته است؛ به‌طوری که جلالی و جمزاد (Jalili & Jamzad, 2019) در کتاب قرمز ایران، گونه‌های گیاهی در معرض خطر انقراض کشور را معرفی کرده‌اند و لیو و همکاران (Liu et al., 2025) در مطالعه‌ای در هیمالیا، بهینه‌سازی حفاظت از گونه‌های دارویی در معرض خطر را با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار داده‌اند. علاوه بر این، تئودوریدیس و همکاران (Theodoridis et al., 2024) در کوهستان‌های بالکان نشان داده‌اند که گرمایش زمین و سبز شدن کوهستان‌ها، زیستگاه‌های گونه‌های دارویی مهم را تخریب کرده است. ایران به‌عنوان کشوری در کمربند خشک و نیمه‌خشک، به‌طور ویژه‌ای تحت تأثیر این تغییرات قرار دارد. در سه دهه اخیر، میانگین دمای سالانه در کشور روند افزایشی داشته و بارش‌های سالانه در بسیاری از مناطق کاهش یافته است. براساس پیش‌بینی‌های مدل‌های CMIP62، متوسط بارش‌ها بین ۱۲ تا ۲۸ درصد کاهش (Safarian & Fatahi Ardakani, 2025) و تا پایان قرن، دمای کشور ۲/۵ تا ۴/۵ درجه افزایش خواهند یافت (Azad & Ahmadi, 2024; Habibi Nokhandan et al., 2020). براساس یک فراتحلیل جهانی، عرض جغرافیایی، میانگین دمای سالانه و میانگین بارش سالانه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده الگوهای عملکرد گیاهان دارویی در سطح جهان شناسایی شده‌اند (Yang et al., 2025). هم‌سو با این یافته‌ها، مطالعات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه در دامنه جنوبی البرز نیز نشان داده است که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به جابجایی ارتفاعی و کاهش چشمگیر سطح زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های شاخص مرتعی شود (Motamedi et al., 2022). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی بر رشد، تکثیر و پراکنش گیاهان دارویی تأثیر مستقیم دارد (Mykhailenko et al., 2025) و می‌تواند زمان گلدهی، تولید بذر و ترکیبات مؤثره را تغییر دهد. مطالعات در مناطق کوهستانی

1 Intergovernmental Panel on Climate Change

2 Coupled Model Intercomparison Project Phase

نشان داده است که گرمایش اقلیم، همراه با فشار چرای دام، می‌تواند الگوی پوشش گیاهی را به‌طور قابل‌توجهی دگرگون کند (Salmanpour et al., 2025).

مطالعه علوی بوگار و همکاران (Alavi Bougar et al., 2025) تأثیر معنادار عوامل اقلیمی بر متابولیت‌های ثانویه را تأیید کرده است. همچنین، تغییرات اقلیمی باعث جابجایی گونه‌ها به سمت ارتفاعات بالاتر می‌شود. پاول و سامنت (Paul & Samant, 2024) یک مرور دامنه‌ای جامع نشان داده است که تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما، کاهش بارش و تنش خشکی، باعث کاهش زیستگاه‌های مناسب برای ۱۰۶ گونه گیاه دارویی، جابجایی ارتفاعی ۹۴ گونه و کاهش ترکیبات ارزشمند گیاهی نظیر آلکالوئیدها و فلاونوئیدها تا ۳۰ درصد شده است (Takubessi et al., 2025). در دامنه جنوبی البرز، با افزایش ارتفاع، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان فنل‌های کل افزایش می‌یابد که بیانگر سازگاری گیاهان است (Roshan et al., 2024). مطالعه نسب و زراعتکار (Nasab & Zeraatkar, 2025) در منطقه زاگرس مرکزی با استفاده از مدل MaxEnt نشان داد که تغییرات اقلیمی آینده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5، اثرات منفی قابل‌توجهی بر زیستگاه‌های دو گونه دارویی و خوراکی با ارزش (*Allium stipitatum* و *Kelussia odoratissima*) خواهد داشت و پیش‌بینی شده که این گونه‌ها تا دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ با کاهش چشمگیر زیستگاه‌های مطلوب خود مواجه شوند. این یافته‌ها با نتایج مدل‌سازی سایر گونه‌های دارویی نظیر (*Ferula assa-foetida*) نیز همسو است که نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر زیستگاه‌های مطلوب بسیاری از گونه‌های دارویی شود (Amrollahi et al., 2025). گونه‌های انحصاری با دامنه پراکنش محدود، آسیب‌پذیرتر بوده و خطر انقراض بیشتری دارند. تحقیقات گسترده نشان می‌دهد که الگوهای تنوع زیستی و انحصاری بودن گونه‌ها، تحت تأثیر عوامل اقلیمی و تاریخی شکل می‌گیرند و مناطق کوهستانی به‌عنوان کانون‌های تنوع، بیشترین آسیب را از تغییرات اقلیمی متحمل می‌شوند (Tietje et al., 2022). مطالعات انجام شده در دامنه‌های شرقی البرز نشان می‌دهد که از ۴۱ گونه گیاهی کمیاب شناسایی شده در این منطقه، بیش از نیمی از آنها (۲۲ گونه) در زمره گونه‌های در معرض خطر انقراض قرار دارند (Rahnama et al., 2024). این الگوی تهدید، در سایر نقاط کوهستانی ایران از جمله زاگرس نیز مشاهده شده است و شناسایی و حفاظت از گونه‌های انحصاری و در معرض خطر، یکی از اولویت‌های اصلی مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شود (Jalilian et al., 2026). مطالعه کوگیوموتزیس و همکاران (Kougioumoutzis et al., 2024) نشان داده است که کانون‌های تنوع زیستی به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا می‌شوند. با افزایش محبوبیت فرآورده‌های گیاهی، بسیاری از گونه‌های دارویی در حال ناپدید شدن هستند و تغییرات اقلیمی این تهدید را تشدید می‌کند (Wani et al., 2024). برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی و روستاییان از رویشگاه‌های طبیعی، به‌ویژه برای گونه‌هایی که سالیان سال است در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، فشار مضاعفی بر جمعیت‌های وحشی وارد می‌کند (Vaziri, 2017). در این میان، گیاهانی مانند گون، آویشن، بومادران و شیرین‌بیان به دلیل مصرف بالا در صنایع داروسازی و غذایی و همچنین برداشت سنتی توسط روستاییان، در معرض خطر انقراض قرار دارند (Wani et al., 2024).

گونه‌های اصلی گیاهان دارویی دامنه جنوبی البرز و حساسیت به تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز هیو و شلمزار، از میان گونه‌های متعدد گیاهان دارویی، هفت گونه براساس چهار معیار اصلی انتخاب شده‌اند: (۱) آسیب‌پذیری به تنش خشکی و افزایش دما، (۲) مصرف بالا در صنایع داروسازی، غذایی و طب سنتی، (۳) تهدید ناشی از برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی که تغییرات اقلیمی سرعت انقراض آنها را تشدید می‌کند و (۴) کاهش مواد مؤثره تحت تأثیر تغییرات اقلیمی. این گونه‌ها به شرح زیر می‌باشند:

۱- گون (*Astragalus spp.*): این گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تولید صمغ گون (کتیرا) دارای ارزش اقتصادی و دارویی بالایی است و مصرف بالایی در صنایع داروسازی و غذایی دارد. برداشت بی‌رویه توسط روستاییان و جوامع محلی، جمعیت‌های وحشی آن را به شدت تهدید کرده است. مطالعات نشان داده است که گونه‌های گون به خشکی و گرما آسیب‌پذیر بوده و در ارتفاعات پایین با کاهش تراکم تا ۲۵ درصد مواجه شده‌اند (Vaziri, 2017). پژوهش‌های مشابه در سایر مناطق کوهستانی نیز نشان داده است که تغییرات اقلیمی و برداشت بی‌رویه از منابع طبیعی، کاهش قابل‌توجهی در تراکم و پراکنش گونه‌های دارویی ارزشمند به دنبال داشته است (Abduraimova et al., 2025).

تغییرات اقلیمی از طریق کاهش منابع آبی، کمیت و کیفیت این گیاه را تحت تأثیر قرار داده و سرعت انقراض آن را افزایش می‌دهد.

۲- آویشن (*Thymus spp.*): آویشن با داشتن ترکیبات فنلی و اسانس‌های ارزشمند، یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی در صنایع داروسازی و غذایی است. این گیاه به تنش خشکی و افزایش دما آسیب‌پذیر بوده و مطالعات نشان داده است که افزایش دما موجب کاهش معنی‌دار ترکیبات مؤثره آن می‌شود (Alavi Bougar et al., 2025; Hosseini et al., 2021). برداشت گسترده توسط جوامع محلی، همراه با تغییرات اقلیمی، خطر انقراض این گونه را افزایش داده است.

۳- بومادران (*Achillea spp.*): گونه بومادران به‌ویژه *Achillea eriophora* که بومزاد ایران است، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی با کاهش زیستگاه‌های مناسب مواجه خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود که پراکنش بالقوه این گونه به سمت ارتفاعات بالاتر گسترش یابد، اما زیستگاه‌های فعلی آن کاهش معنی‌داری خواهد داشت (Noedoost et al., 2024; Jaimand & Rezaee, 2001). همچنین ترکیب اسانس گونه‌های مختلف بومادران تحت تأثیر شرایط اقلیمی متفاوت تغییر می‌کند که بیانگر تأثیرپذیری کیفیت مواد مؤثره این گیاه از عوامل اقلیمی است (Afshari et al., 2024).

۴- شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra*): این گیاه ریزوم‌دار ارزشمند که در صنایع داروسازی، غذایی و دخانیات کاربرد گسترده دارد، به تغییرات رطوبتی خاک بسیار آسیب‌پذیر است. داده‌های میدانی نشان می‌دهد که پراکنش این گونه در ارتفاعات پایین کاهش و به سمت ارتفاعات بالاتر (۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر) جابجا شده است (Ghelichnia, 2024). برداشت بی‌رویه ریشه این گیاه توسط بهره‌برداران محلی، فشار زیادی بر جمعیت‌های وحشی وارد کرده است. مطالعات مولکولی نشان داده است که ترکیبات فیتوشیمیایی این گیاه تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد (Hosseini et al., 2021).

۵- کاسنی (*Cichorium intybus*): کاسنی به‌عنوان گیاه تصفیه‌کننده خون و تقویت‌کننده کبد شناخته می‌شود و مصرف بالایی در طب سنتی دارد. این گونه به تغییرات دمایی و رطوبتی آسیب‌پذیر بوده و تاریخ گلدهی آن تحت تأثیر افزایش دما حدود ۱۰ تا ۱۵ روز زودتر از دوره طبیعی رخ داده است (Tahan et al., 2024). کاهش مواد مؤثره این گیاه تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، کیفیت دارویی آن را تهدید می‌کند.

۶- گل راعی (*Hypericum perforatum*): این گیاه با خواص ضدافسردگی، به‌ویژه در صنایع داروسازی جایگاه ویژه‌ای دارد. مطالعات نشان داده است که ترکیبات مؤثره این گیاه (هایپرئوسین و هایپرفورین) تحت تأثیر دما و رطوبت تغییر می‌کنند و با کاهش بارش، میزان تولید این ترکیبات کاهش می‌یابد (Alavi Bougar et al., 2025). برداشت گسترده این گیاه از رویشگاه‌های طبیعی، همراه با تغییرات اقلیمی، سرعت انقراض آن را افزایش داده است.

۷- خارشتر البرزی (*Alhagi persarum*): این گونه بومی و در معرض خطر انقراض ایران است که در دامنه‌های شرقی البرز پراکنش دارد. پژوهش در شرق البرز نشان می‌دهد که کاهش شدید زیستگاه‌های مناسب، این گونه را تا سال ۲۰۶۰ در معرض خطر انقراض قرار خواهد داد (Zaheri et al., 2024). کاهش جوانه‌زنی و عدم استقرار گیاهچه‌های جدید در سال‌های خشک، از عوامل اصلی کاهش جمعیت این گونه گزارش شده است.

حوزه آبخیز هیو و شلمزار در دامنه جنوبی البرز، با دارا بودن این هفت گونه اصلی و ده‌ها گونه دیگر، از غنای بالایی از نظر تنوع گیاهان دارویی برخوردارند (Mozaffarian, 2022). ارزیابی‌های اکولوژیکی انجام‌شده در استان البرز نشان می‌دهد که عوامل متعددی نظیر شیب، ارتفاع، اقلیم و خاک در تعیین توان اکولوژیکی مناطق مختلف نقش دارند و این عوامل می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های کلیدی در مدیریت پایدار مراتع و گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گیرند (Bahrami et al., 2024). بررسی داده‌های اقلیمی منطقه نشان می‌دهد که در طی سی سال گذشته، میانگین دمای سالانه روند افزایشی داشته و الگوی بارش به سمت بارش‌های رگباری و کوتاه‌مدت تغییر یافته است (Roshan et al., 2024).

با وجود مطالعات متعدد در زمینه تغییرات اقلیمی و گیاهان دارویی در ایران، تا کنون مطالعه مروری نظام‌مندی که به‌طور خاص به بررسی توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در دامنه جنوبی البرز پرداخته باشد، انجام نشده است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این منطقه پراکنده و فاقد یکپارچگی هستند. از سوی دیگر، با توجه به اینکه حوزه آبخیز هیو و شلمزار به دلیل موقعیت استراتژیک و تنوع

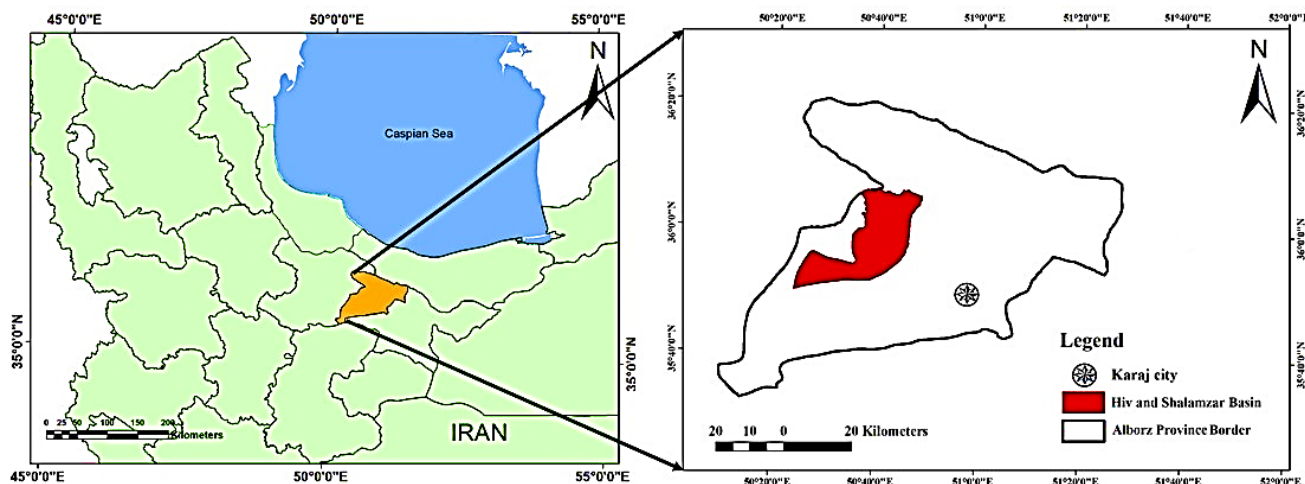
گونه‌های دارویی ارزشمند، نیازمند برنامه‌ریزی حفاظتی فوری هستند، فقدان یک تصویر جامع از وضعیت توان اکولوژیکی این گیاهان تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، یک شکاف تحقیقاتی جدی محسوب می‌شود.

نوآوری این پژوهش در سه جنبه قابل تبیین است: نخست، برای اولین بار کلیه مطالعات انجام شده در این حوضه به صورت نظام‌مند گردآوری، ارزیابی و سنتز می‌شود. دوم، تمرکز بر مفهوم «توان اکولوژیکی» که در مطالعات پیشین کمتر به آن پرداخته شده، چارچوبی مفهومی برای ارزیابی وضعیت گیاهان دارویی ارائه می‌دهد. سوم، شناسایی پناهگاه‌های اقلیمی و ارائه راهکارهای مدیریتی متناسب با شرایط بومی منطقه از دیگر نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، مرور نظام‌مند تأثیر تغییرات اقلیمی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در حوزه آبخیز هیو و شلمزار است. سؤال اصلی پژوهش این است که براساس شواهد موجود در مطالعات پیشین، تغییرات اقلیمی چه پیامدهایی بر توان اکولوژیکی (شامل تراکم، پراکنش، فنولوژی، کیفیت مواد مؤثره و پناهگاه‌های اقلیمی) گیاهان دارویی این منطقه داشته است؟ یافته‌های این مرور نظام‌مند می‌تواند تصویر روشنی از وضعیت موجود ارائه دهد و مبنایی برای تدوین راهکارهای مدیریتی و حفاظتی در جهت پایداری این منابع ارزشمند طبیعی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی جاماب در حوزه آبخیز دریاچه نمک در ارتفاعات جنوبی رشته کوه‌های البرز قرار دارد. حوزه آبخیز هیو و شلمزار در محدوده $35^{\circ}55'$ تا $36^{\circ}10'$ عرض شمالی و $50^{\circ}36'$ تا $50^{\circ}43'$ طول شرقی واقع گردیده و در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شهر کرج در شمال شهرستان هشتگرد قرار گرفته است. مساحت حوزه آبخیز هیو و شلمزار ۴۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوزه آبخیز عمدتاً در ناحیه کوهستانی واقع است. البته قسمتی از بخش جنوبی حوضه در منطقه نسبتاً کم شیب و دشتی قرار دارد. مرتفع‌ترین نقطه حوضه با ارتفاع ۲۷۶۰ و پایین‌ترین آن ۱۳۴۰ متر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هیو و شلمزار در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هیو و شلمزار

Fig. 1. Geographical location of the Hiv & Shalamzar watershed

الف) نوع پژوهش و رویکرد کلی

پژوهش حاضر از نوع تحقیقات کیفی و مبتنی بر رویکرد مرور نظام‌مند^۳ همراه با فراترکیب^۴ است. این روش با هدف ترکیب و تفسیر یافته‌های مطالعات پیشین، امکان دستیابی به بینش‌های نوین و جامع‌تر را فراهم می‌آورد (Roshan et al., 2024).

ب) جامعه آماری و استراتژی جستجو

جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه مطالعات منتشر شده در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در مناطق کوهستانی و مشابه دامنه جنوبی البرز است. برای انتخاب نمونه، از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد. پایگاه‌های داده معتبر داخلی شامل SID و Magiran و پایگاه‌های داده بین‌المللی شامل Scopus، Web of Science، Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌های تخصصی جستجو شدند (Azad & Ahmadi, 2024). کلیدواژه‌های اصلی شامل "تغییرات اقلیمی"، "گیاهان دارویی"، "توان اکولوژیکی"، "دامنه جنوبی البرز"، "حوزه آبخیز هیو و شلمزار" و معادل‌های انگلیسی آنها بود. دامنه زمانی جستجو برای منابع داخلی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ و برای منابع بین‌المللی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ در نظر گرفته شد.

ج) معیارهای ورود و خروج

مطالعاتی برای ورود به فرآیند تحلیل انتخاب شدند که واجد شرایط زیر باشند: (۱) ارتباط مستقیم با موضوع تأثیر تغییرات اقلیمی بر گیاهان دارویی؛ (۲) انجام شده در مناطق کوهستانی با شرایط بوم‌شناختی مشابه دامنه جنوبی البرز؛ (۳) دارای روش‌شناسی مشخص و نتایج مستند؛ (۴) دسترسی به متن کامل مقاله با گزارش معیارهای خروج شامل مطالعات فاقد اعتبار علمی کافی (مانند مقالات غیرداورنامه‌ای)، پژوهش‌هایی که صرفاً به جنبه‌های اقلیمی یا گیاهان دارویی به‌طور جداگانه پرداخته بودند و مطالعاتی که داده‌های کافی برای استخراج یافته‌ها در اختیار نمی‌گذاشتند، در نظر گرفته شد. مطالعاتی برای ورود به فرآیند تحلیل انتخاب شدند که دارای روش‌شناسی مشخص و نتایج مستند باشند (Rechinger, 1984).

د) فرآیند غربالگری و انتخاب مطالعات

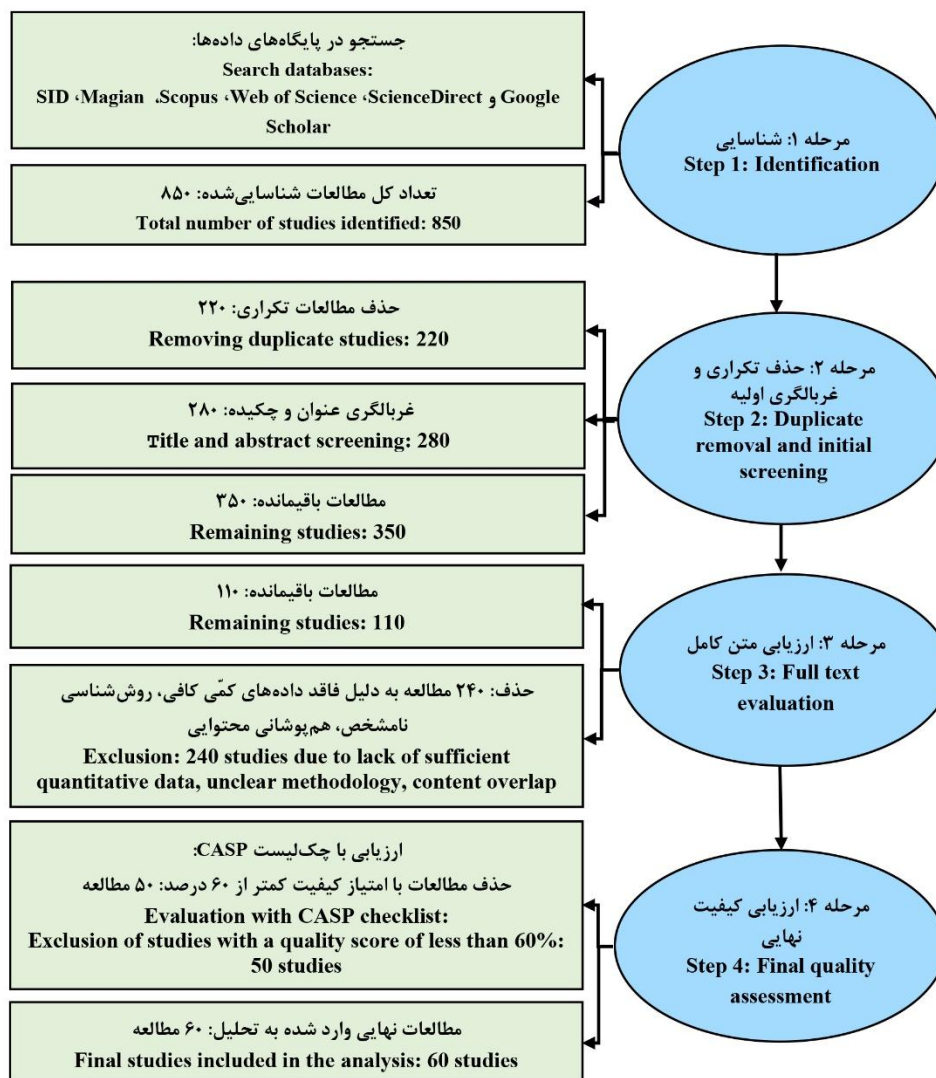
فرآیند غربالگری مطالعات در چهار مرحله انجام شد. در مرحله نخست، کلیه مطالعات تکراری با استفاده از نرم‌افزار EndNote حذف شدند. جستجوی اولیه در پایگاه‌های داده داخلی و بین‌المللی منجر به شناسایی حدود ۸۵۰ سند مرتبط گردید که پس از حذف موارد تکراری، ۳۵۰ مطالعه برای بررسی عنوان و چکیده باقی ماند. مرحله دوم به غربالگری اولیه براساس عنوان و چکیده مطالعات اختصاص یافت که توسط دو پژوهشگر به‌طور مستقل انجام شد و طی آن حدود ۲۴۰ مطالعه نامرتب با اهداف پژوهش (مانند مطالعات صرفاً هواشناسی بدون ارتباط با کاربری اراضی، یا مطالعات صرفاً خاک‌شناسی بدون ارتباط با اقلیم) حذف گردید. در مرحله سوم، متن کامل مطالعات منتخب (حدود ۱۱۰ مطالعه) به دقت مورد بررسی قرار گرفت و مطالعات فاقد داده‌های کمی کافی، روش‌شناسی نامشخص یا هم‌پوشانی محتوایی با سایر مطالعات (حدود ۵۰ مطالعه) حذف شدند. در مرحله چهارم، کیفیت روش‌شناختی مطالعات باقی‌مانده با استفاده از چک‌لیست‌های استاندارد مبتنی بر رویکرد CASP^۵ ارزیابی شد و مطالعات با امتیاز کیفیت کمتر از ۶۰ درصد (حدود ۱۰ مطالعه) از فرآیند تحلیل نهایی حذف گردیدند. فرآیند مرور نظام‌مند با پیروی از دستورالعمل PRISMA^۶ انجام شد. در نهایت، ۶۰ مطالعه که واجد تمام معیارهای ورود و دارای کیفیت روش‌شناسی مناسب بودند، برای تحلیل نهایی و استخراج داده انتخاب شدند. شکل ۲ نمودار جریان PRISMA فرآیند انتخاب مطالعات را نشان می‌دهد.

3 Systematic Review

4 Meta-synthesis

5 Critical Appraisal Skills Programme

6 Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses



شکل ۲. نمودار جریان PRISMA فرآیند انتخاب مطالعات
Fig. 2. PRISMA flow diagram of the study selection process

ه) استخراج و تحلیل داده‌ها

برای استخراج داده‌ها از فرم استاندارد شامل مشخصات کتاب‌شناختی، منطقه مطالعه، روش‌شناسی، متغیرهای مورد بررسی، گونه‌های گیاهی دارویی، یافته‌های کلیدی و محدودیت‌های مطالعه استفاده شد (Ghelichnia, 2024). تحلیل داده‌ها در بخش کیفی با روش تحلیل مضمون^۷ انجام شد که طی آن متون مطالعات منتخب کدگذاری و مضامین اصلی استخراج گردید. در بخش کمی، از سنتز روایتی^۸ برای یکپارچه‌سازی یافته‌های کمی و از آمار توصیفی (میانگین، دامنه تغییرات، درصدها) برای کمی‌سازی نتایج استفاده شد. داده‌های دما و بارش مورد استفاده در این مطالعه برگرفته از ایستگاه‌های سینوپتیک کرج، طالقان، هشتگرد، نظرآباد و اشتهارد طی

7 Thematic Analysis

8 Narrative Synthesis

دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۴-۲۰۲۴) می‌باشد (Roshan et al., 2024; Azad & Ahmadi, 2024). میانگین افزایش دمای سالانه در این ایستگاه‌ها بین ۰/۹ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و مقدار ۱/۲ درجه سانتی‌گراد میانگین وزنی این ایستگاه‌ها است.

و) اعتباربخشی و پایایی

برای افزایش اعتبار و پایایی نتایج، از روش مثلث‌سازی^۹ شامل مقایسه نتایج مطالعات مختلف، استفاده از روش‌های مختلف تحلیل داده و بازبینی توسط دو متخصص مستقل در زمینه اکولوژی گیاهی و اقلیم‌شناسی استفاده شد (Kougioumoutzis et al., 2024). همچنین کلیه مراحل پژوهش با دقت ثبت و مستندسازی گردید تا امکان بازبینی و ارزیابی مجدد فرآیندها فراهم باشد. برای افزایش اعتبار و پایایی نتایج، از روش مثلث‌سازی شامل مقایسه نتایج مطالعات مختلف استفاده شد (Kougioumoutzis et al., 2024; Makhdoum, 2019).

ز) محدودیت‌های پژوهش

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی از جمله پراکندگی روش‌شناختی مطالعات موجود که مقایسه و ترکیب یافته‌ها را با چالش مواجه می‌ساخت، کمبود مطالعات با رویکرد میان‌رشته‌ای که به‌طور هم‌زمان به ابعاد بوم‌شناختی، اقلیمی و اقتصادی پرداخته باشند، دسترسی محدود به برخی منابع به‌ویژه گزارش‌های فنی سازمان‌های اجرایی، و فقدان داده‌های کمی کافی برای انجام تحلیل‌های آماری پیشرفته در برخی حوضه‌ها مواجه بود. با وجود این محدودیت‌ها، تلاش شد با بهره‌گیری از روش‌شناسی نظام‌مند و دقیق، اعتبار یافته‌ها حداکثر ممکن باشد (Zaheri et al., 2024).

ح) ملاحظات اخلاقی

ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل پژوهش به دقت رعایت شد. حقوق مؤلفان در استفاده از مطالعات محترم شمرده شد و کلیه منابع مورد استفاده به‌طور دقیق استناددهی شدند. از هرگونه سوگیری در انتخاب مطالعات، تفسیر نتایج و ارائه نتیجه‌گیری‌ها پرهیز گردید. همچنین تلاش شد تا در تفسیر نتایج و ارائه یافته‌ها، جانب انصاف و دقت علمی رعایت گردد (Wani et al., 2024).

نتایج و بحث

براساس تحلیل نظام‌مند ۶۰ مطالعه منتخب، یافته‌های حاصل از سنتز منابع معتبر در چهار بخش اصلی شامل تغییرات پارامترهای اقلیمی، تغییرات پراکنش و تراکم گونه‌ها، تغییرات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی و پناهگاه‌های اقلیمی به همراه پیش‌بینی‌های آینده طبقه‌بندی و ارائه می‌شود. جدول ۱ خلاصه‌ای از یافته‌های اصلی این مرور نظام‌مند را درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در دامنه جنوبی البرز ارائه می‌دهد.

تغییرات پارامترهای اقلیمی

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه در دامنه جنوبی البرز طی سه دهه اخیر ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (Roshan et al., 2024; Azad & Ahmadi, 2024). میزان بارش سالانه به‌ویژه در فصل رویش گیاهان حدود ۱۵ درصد کاهش یافته است (Iran Meteorological Organization, 2023; Azad & Ahmadi, 2024). تغییر در توزیع فصلی بارش‌ها نیز از دیگر یافته‌های مهم بوده است؛ به‌طوری که کاهش بارش برف و افزایش بارش‌های رگباری و کوتاه‌مدت در منطقه مشاهده شده است که باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب سطحی می‌گردد (Roshan et al., 2024). تعداد روزهای خشک متوالی افزایش یافته و شاخص خشکسالی SPI¹⁰ در بیشتر سال‌ها مقادیر منفی را نشان داده است که حاکی از تداوم شرایط خشکسالی در منطقه

9 Triangulation

10 Standardized Precipitation Index

می‌باشد (Iran Meteorological Organization, 2023). بررسی داده‌های اقلیمی منطقه نشان می‌دهد که در طی سی سال گذشته، میانگین دمای سالانه روند افزایشی داشته و الگوی بارش به سمت بارش‌های رگباری و کوتاه‌مدت تغییر یافته است (Roshan et al., 2024; Masoodian and Kaviani, 2021).

تغییرات پراکنش و تراکم گونه‌ها

بررسی هفت گونه اصلی گیاهان دارویی منطقه (گون، آویشن، بومادران، شیرین‌بیان، کاسنی، گل راعی و خارشتر البرزی) نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی تأثیرات عمیقی بر پراکنش و تراکم آنها داشته است:

گون (*Astragalus spp.*)، آویشن (*Thymus spp.*) و بومادران (*Achillea spp.*) این سه گونه به عنوان گونه‌های آسیب‌پذیر به خشکی و گرما با کاهش قابل توجهی در تراکم و گستره پراکنش مواجه شده‌اند. داده‌های مستخرج از مطالعات میدانی نشان می‌دهد که تراکم این گونه‌ها در ارتفاعات پایین‌تر (۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) تا ۲۵ درصد کاهش یافته است (Vaziri, 2017; Noedoost et al., 2024). تنش خشکی و افزایش دما موجب کاهش معنی‌دار ترکیبات ارزشمند گیاهی شده است.

آکالوئیدها، فلاونوئیدها و اسانس‌ها تا ۳۰ درصد کاهش یافته‌اند (Alavi Bougar et al., 2025; Eghlima et al., 2025). کاهش تراکم گیاهان مذکور به دلیل برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی و تشدید آن توسط تغییرات اقلیمی می‌باشد. این کاهش تراکم به چند عامل مرتبط است: نخست، کاهش بارش کلی منطقه و افزایش دما باعث شده است که میزان رطوبت خاک در فصول بحرانی رشد (بهار و اوایل تابستان) از حداقل آستانه زنده‌مانی این گیاهان پایین‌تر رود. دوم، تغییر الگوی بارش از برف به باران‌های رگباری، نفوذپذیری خاک را کاهش داده و رواناب سطحی را افزایش داده است که این امر دسترسی ریشه‌ها به رطوبت را محدود می‌کند. سوم، کاهش جوانه‌زنی بذرها در اثر خشکی اولیه بهاره و افزایش تلفات گیاهچه‌های جوان در مراحل استقرار (که حساس‌ترین مرحله چرخه زندگی گیاهان هستند) از دیگر عوامل مؤثر در کاهش تراکم می‌باشند. برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی نیز این کاهش را تشدید کرده است.

شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*): این گیاه ریزوم‌دار ارزشمند که مصرف بالایی در صنایع داروسازی و غذایی دارد، به تغییرات رطوبتی خاک بسیار حساس است. داده‌های میدانی نشان می‌دهد که پراکنش این گونه در ارتفاعات پایین‌تر کاهش و به سمت ارتفاعات بالاتر (۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر) جابجا شده است (Ghelichnia, 2024; Zaheri et al., 2024). برداشت بی‌رویه ریشه این گیاه توسط بهره‌برداران محلی، همراه با کاهش بارش ناشی از تغییرات اقلیمی، سرعت انقراض آن را افزایش داده است. کاهش جوانه‌زنی و استقرار پایه‌های جدید در ارتفاعات پایین به دلیل کاهش رطوبت خاک مشاهده شده است. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه شیرین‌بیان در ایران نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی تأثیر قابل توجهی بر کاهش زیستگاه‌های مناسب این گونه خواهد داشت (Hosseini et al., 2022).

کاسنی (*Cichorium intybus*): این گیاه با مصرف بالا در طب سنتی، تحت تأثیر کاهش بارش مؤثر و افزایش دما قرار گرفته است. تاریخ گلدهی کاسنی حدود ۱۰ تا ۱۵ روز زودتر از دوره طبیعی رخ داده است (Tahan et al., 2024; Mathieu et al., 2014).

همچنین کاهش جوانه‌زنی بذرها در اثر خشکی بهاره و افزایش تلفات گیاهچه‌های جوان در مراحل اولیه رشد مشاهده شده است. گل راعی (*Hypericum perforatum*): این گیاه با خواص ضدافسردگی و مصرف بالا در صنایع داروسازی، تحت تأثیر کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق قرار گرفته است. ترکیبات مؤثره این گیاه (هایپرسیسین و هایپرفورین) تحت تأثیر دما و رطوبت تغییر کرده و با کاهش بارش، میزان تولید این ترکیبات کاهش می‌یابد (Alavi Bougar et al., 2025; Yousefzadeh et al., 2022). افزایش تلفات گیاهچه‌های جوان در سال‌های خشک، یکی از عوامل کاهش بازسازی طبیعی جمعیت‌های این گونه است. برداشت گسترده این گیاه از رویشگاه‌های طبیعی، همراه با تغییرات اقلیمی، سرعت انقراض آن را افزایش داده است. تغییرات ارتفاعی تأثیر معنی‌داری بر ترکیبات فرار این گیاه دارد (Demir et al., 2024).

خارشتر البرزی (*Alhagi persarum*): پژوهش در شرق البرز نشان می‌دهد که کاهش شدید زیستگاه‌های مناسب، این گونه را تا سال ۲۰۶۰ در معرض خطر انقراض قرار خواهد داد (Zaheri et al., 2024). کاهش جوانه‌زنی و عدم استقرار گیاهچه‌های جدید در سال‌های خشک، از عوامل اصلی کاهش جمعیت این گونه گزارش شده است.

تغییرات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی

تاریخ گلدهی در بسیاری از گونه‌های دارویی به‌طور میانگین ۱۰ تا ۱۵ روز زودتر از دوره طبیعی رخ داده است (Tahan et al., 2024; Alavi Bougar et al., 2025). این تغییر می‌تواند منجر به عدم همزمانی با گرده‌افشان‌های طبیعی و کاهش تولید بذر تا ۳۰ درصد شود (Alavi Bougar et al., 2025). تنش خشکی و افزایش دما موجب کاهش معنی‌دار ترکیبات ارزشمند گیاهی شده است. آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و اسانس‌ها در گونه‌های مختلف (به‌ویژه گون، آویشن، بومادران، گل راعی و خارشتر البرزی) تا ۳۰ درصد کاهش یافته‌اند (Alavi Bougar et al., 2025; Tahan et al., 2024). همچنین مطالعات نشان داده است که ترکیبات فنلی با افزایش ارتفاع تا ۸۵/۷ درصد کاهش می‌یابد که بیانگر تغییر کیفی براساس شرایط اقلیمی است (Roshan et al., 2024; Alavi Bougar et al., 2025). فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با افزایش ارتفاع افزایش یافته که نشان‌دهنده سازگاری گیاهان با شرایط محیطی می‌گردد (Roshan et al., 2024).

پناهگاه‌های اقلیمی و پیش‌بینی آینده

مناطق مرتفع در دامنه جنوبی البرز نقش پناهگاه‌های اقلیمی را ایفا کرده و تا ۴۰ درصد از کاهش جمعیت گونه‌های آسیب‌پذیر (به‌ویژه گون، آویشن، بومادران و شیرین‌بیان) جلوگیری کرده‌اند (Kougioumoutzis et al., 2024; Ghelichnia, 2024; Zaheri et al., 2024). بررسی روند تغییرات در آینده نشان می‌دهد که در صورت تداوم روند فعلی تغییرات اقلیمی و عدم اقدامات حفاظتی، تا سال ۱۴۲۰ شمسی (۲۰۴۰ میلادی) ممکن است بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از سطح پراکنش فعلی گیاهان دارویی در منطقه از بین برود (Paul et al., 2025; Wani et al., 2024). البته باید توجه داشت که این پیش‌بینی مبتنی بر سناریوهای اقلیمی و فرض تداوم شرایط فعلی است و وقوع نوسانات طبیعی مانند چند سال ترسالی می‌تواند به‌طور موقت وضعیت را بهبود بخشد، اما روند بلندمدت همچنان کاهشی خواهد بود. پیش‌بینی‌های اقلیمی برای ایران نشان می‌دهد که تا پایان قرن بیست و یکم، میانگین دمای کشور بین ۲/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش‌ها ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت که تشدید شرایط تنش را در آینده به همراه خواهد داشت (Azad & Ahmadi, 2024; IPCC, 2023).

یافته‌های خلاصه‌شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما، کاهش بارش و تغییر الگوی بارش، تأثیرات عمیقی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی داشته است. این تأثیرات شامل کاهش تراکم و پراکنش گونه‌های آسیب‌پذیر (گون، آویشن، بومادران)، تغییر الگوی فنولوژیکی، کاهش کیفیت مواد مؤثره در (گون، آویشن، کاسنی و گل راعی)، جابجایی ارتفاعی گونه‌ها (شیرین‌بیان) و کاهش زیستگاه‌های مناسب در آینده می‌باشد. برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی از رویشگاه‌های طبیعی به‌ویژه برای گونه‌های گون، آویشن، شیرین‌بیان و گل راعی، فشار مضاعفی بر جمعیت‌های وحشی وارد کرده و تغییرات اقلیمی سرعت انقراض آنها را تشدید می‌کند. با این حال، پناهگاه‌های اقلیمی در ارتفاعات بالا تا ۴۰ درصد از کاهش جمعیت گونه‌های آسیب‌پذیر جلوگیری کرده‌اند. این یافته‌ها ضرورت حفاظت از پناهگاه‌های اقلیمی و توسعه راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی را تأکید می‌کند.

جدول ۲ یافته‌های حاصل از مرور نظام‌مند مطالعات در منطقه مورد مطالعه (دامنه جنوبی البرز) را با نتایج مطالعات مشابه در سایر مناطق جهان تلفیق و مقایسه می‌کند. برای هر عامل مورد بررسی، این جدول شامل چهار ستون است: عامل مورد بررسی، یافته‌های تلفیق‌شده از مطالعات منطقه، نتایج مطالعات مشابه در سایر مناطق، و منابع مرتبط. این مقایسه به درک بهتر جایگاه یافته‌های منطقه مورد مطالعه در زمینه دانش جهانی کمک می‌کند.

جدول ۱. خلاصه یافته‌های اصلی پژوهش درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی در دامنه جنوبی البرز

Table 1. Summary of key findings on the impact of climate change on the ecological capacity of medicinal plants in the southern slopes of Alborz

منابع References	تغییرات در مطالعات مشابه ایران Changes in similar studies in Iran	تغییر Change	یافته Finding	مولفه Component
پارامترهای اقلیمی Climatic variables				
Roshan et al., 2024; Azad & Ahmadi, 2024; Motamedi et al., 2022	افزایش ۱/۳ تا ۱/۵ (°C) در البرز مرکزی Increase of 1.3 to 1.5(°C) in Central Alborz	+۱/۲(°C) +1.2(°C)	میانگین سالانه Annual mean	دما Temperature
Iran Meteorological Organization, 2023; Azad & Ahmadi, 2024	کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصد در غرب ایران 10 to 20 % decrease in western Iran	-۱۵% -15 %	فصل رویش Growing season	بارش Precipitation
Roshan et al., 2024	افزایش بارش‌های سیل‌آسا در البرز Increased flooding in Alborz	-	تغییر به سمت بارش‌های رگباری Shift to torrential rains	الگوی بارش Precipitation pattern
Iran Meteorological Organisation, 2023	افزایش خشکسالی‌های کوتاه‌مدت Increase in short-term droughts	-	افزایش معنی‌دار Significant increase	روزهای خشک متوالی Consecutive dry days
تغییرات پراکنش و تراکم گونه‌ها Changes in species distribution and density				
Vaziri, 2017; Noedoost et al., 2024; Motamedi et al., 2022	کاهش تراکم <i>Artemisia aucheri</i> در البرز Decreasing density of <i>Artemisia aucheri</i> in Alborz	-۲۵% در ارتفاعات ۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر -25 % Percent at altitudes 1500-2500 m	گون، آویشن، بومادران <i>Astragalus</i> , <i>Thymus</i> , <i>Achillea</i>	تراکم گونه‌های آسیب‌پذیر Density of vulnerable species
Ghelichnia, 2024; Zaheri et al., 2024	جابجایی <i>Artemisia</i> در پاسخ به گرمایش <i>Artemisia</i> translocation in response to warming	جابجایی به ۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر Moving to 2500-3000 m	شیرین‌بیان <i>Glycyrrhiza</i>	جابجایی ارتفاعی Altitude displacement
Zaheri et al., 2024	کاهش زیستگاه در شرق البرز Habitat loss in eastern Alborz	کاهش شدید زیستگاه Severe habitat loss	خارشتر البرزی <i>Alhagi persarum</i>	گونه در معرض خطر Endangered species
تغییرات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی Phenological and physiological changes				
Tahan et al., 2024; Alavi Bougar et al., 2025	تغییر فنولوژی در پاسخ به دما Phenology changes in response to temperature	۱۰-۱۵ روز زودتر 10-15 earlier days	کاهش گونه‌های متعدد (به‌ویژه کاسنی) Decrease Various species (especially <i>Cichorium</i>)	تاریخ گلدهی Flowering date
Alavi Bougar et al., 2025	کاهش تولید بذر در تنش خشکی Reduced seed production under drought stress	-۳۰% -30%	کاهش Decrease	تولید بذر Seed production

Alavi Bougar et al., 2025	کاهش آلکالوئیدها در <i>Astragalus</i> Reduced alkaloids in <i>Astragalus</i>	-۳۰٪ -30%	کاهش (به‌ویژه گون و آویشن) Decrease (especially <i>Astragalus</i> and <i>Thymus</i>) کاهش (به‌ویژه گون و آویشن) Decrease (especially <i>Astragalus</i> and <i>Thymus</i>)	آلکالوئیدها Alkaloids
Alavi Bougar et al., 2025	کاهش فلاونوئیدها در ارتفاع پایین Reduced flavonoids at low altitude	-۳۰٪ -30%	کاهش (به‌ویژه آویشن و گل‌راعی) Decrease (especially <i>Astragalus</i> and <i>Thymus</i>) کاهش (به‌ویژه آویشن و گل‌راعی) Decrease (especially <i>Hypericum</i> and <i>Thymus</i>)	فلاونوئیدها Flavonoids
Alavi Bougar et al., 2025; Salmanpour et al., 2025	کاهش اسانس در تنش گرمایی Reduced essential oil under heat stress	-۳۰٪ -30%	کاهش (به‌ویژه آویشن و گل‌راعی) Decrease (especially <i>Hypericum</i> and <i>Thymus</i>)	اسانس‌ها Essential oils
Alavi Bougar et al., 2025; Roshan et al., 2024	تغییر متابولیت‌های ثانویه با ارتفاع Changes in secondary metabolites with altitude	-۷/۸۵٪ -7.85%	کاهش با افزایش ارتفاع Decrease with increasing altitude	ترکیبات فنلی Phenolic compounds
Roshan et al., 2024	افزایش سازگاری در ارتفاع بالا Increased adaptation at high altitude	-	کاهش با افزایش ارتفاع Decrease with increasing altitude	فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان Antioxidant enzyme activity
پناهگاه‌های اقلیمی و پیش‌بینی‌های آینده Climate refugia and future projections				
Kougioumoutzis et al., 2024; Ghelichnia, 2024; Motamedi et al., 2022	نقش پناهگاه‌ها در البرز The role of refuges in Alborz	جلوگیری از ۴۰ درصد کاهش جمعیت Prevent 40% population decline	ارتفاعات بالا High altitudes	پناهگاه‌های اقلیمی Climate Shelters
Paul et al., 2025; Wani et al., 2024; Motamedi et al., 2022	کاهش زیستگاه <i>Artemisia</i> در البرز Decline in <i>Artemisia</i> habitat in Alborz	۳۰- درصد -30%	۳۰٪ تا سال ۱۴۱۰ (۲۰۳۰ میلادی) 30% by 1410 (2030 AD)	پیش‌بینی کاهش پراکنش Distribution Reduction Projections
Azad & Ahmadi, 2024; IPCC, 2023	افزایش دمای ایران Increasing temperatures in Iran	+۴/۵ تا ۲/۵ (°C) +2.5 to +4.5 (°C)	ایران Iran	پیش‌بینی دما (۲۱۰۰) Temperature (2100) Projections
Azad & Ahmadi, 2024; IPCC, 2023	کاهش بارش در غرب ایران Decreasing precipitation in western Iran	۱۵- تا ۲۵- درصد -15 to -25%	ایران Iran	پیش‌بینی بارش (۲۱۰۰) Precipitation (2100) Projections

جدول ۲. تلفیق یافته‌های مطالعات مرور شده درباره تأثیر تغییرات اقلیمی بر گیاهان دارویی در دامنه جنوبی البرز و مناطق مشابه

Table 2. Synthesis of findings from reviewed studies on the impact of climate change on medicinal plants in the southern slopes of Alborz and similar regions

منابع References	نتایج مطالعات مشابه در ایران Results of similar studies in Iran	نتایج مطالعات مشابه در جهان	یافته‌های تلفیق شده Synthesized findings	عامل مورد بررسی Factor investigated
---------------------	---	--------------------------------	--	--

		Results of similar studies worldwide		
Iran Meteorological Organization, 2023; Motamedi et al., 2022	۱/۳(°C) + در البرز مرکزی +1.3(°C) in Central Alborz	۱/۵(°C) + در ایران +1.5(°C) in Iran	۱/۲(°C) + در دامنه جنوبی البرز +1.2(°C) in the southern slopes of Alborz	افزایش دمای سالانه Increasing annual temperatures
Azad & Ahmadi, 2024; Motamedi et al., 2022	۲۰- درصد در غرب ایران -20% in Western Iran	۱۵- تا ۲۵- درصد تا سال ۲۱۰۰ در ایران -15 to -25% by 2100 in Iran	۱۵%- در دامنه جنوبی البرز -15% in the southern slopes of Alborz	کاهش بارش Decreasing precipitation
Vaziri, 2017; Motamedi et al., 2022; Salmanpour et al., 2025	کاهش تراکم <i>Artemisia</i> در البرز Decline in <i>Artemisia</i> density in Alborz	کاهش تنوع در مناطق مدیترانه Reduction in diversity in Mediterranean regions	۲۵%- در ارتفاعات ۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر -25% at altitudes 1500-2000 m	کاهش تراکم گونه‌های آسیب‌پذیر Decreasing density of vulnerable species
Tahan et al., 2024; Alavi Bougar et al., 2025	تغییر فنولوژی در زاگرس Phenological change in Zagros	تغییر فنولوژی در اروپا Phenology shift in Europe	۱۵- تا ۱۰ روز زودتر 10-15 days earlier	تغییر در تاریخ گلدهی Change in flowering date
Alavi Bougar et al., 2025; Salmanpour et al., 2025	کاهش در گونه‌های <i>Thymus</i> و <i>Artemisia</i> Decline in <i>Thymus</i> and <i>Artemisia</i> species	کاهش متابولیت‌های ثانویه در مدیترانه Reduction in secondary metabolites in the Mediterranean	۳۰%- -30%	کاهش مواد مؤثره Decreasing active ingredients
Ghelichnia, 2024; Zaheri et al., 2024; Motamedi et al., 2022	جابجایی <i>Artemisia</i> در البرز Translocation of <i>Artemisia</i> in Alborz	جابجایی در هیمالیا Movement in the Himalayas	جابجایی به ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر Move to 2500-3000 m	جابجایی ارتفاعی گونه‌ها Altitude shift of species
Kougioumoutzis et al., 2024; Motamedi et al., 2022	نقش پناهگاه‌ها در البرز Role of refuges in Alborz	نقش پناهگاه‌ها در بالکان Role of refuges in the Balkans	جلوگیری از ۴۰% کاهش جمعیت Prevent 40% population decline	نقش پناهگاه‌های اقلیمی Role of climate refuges
Paul et al., 2025; Wani et al., 2024; Motamedi et al., 2022	کاهش زیستگاه <i>Artemisia</i> Decline in <i>Artemisia</i> habitat	۲۵- درصد در فلات کینگهای-تبت -25% in the Qinghai-Tibet Plateau	۳۰%- تا سال ۲۰۳۰ -30% by 2030	پیش‌بینی کاهش پراکنش Predicting reduction in distribution
Roshan et al., 2024	افزایش در ارتفاع البرز Increase in Alborz elevation	افزایش در ارتفاع Increase in altitude	افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی Increase antioxidant activity	تغییرات آنزیمی Enzymatic changes
Paul & Samant, 2024; Zaheri et al., 2024	کاهش <i>Alhagi persarum</i> در شرق البرز	کاهش در هیمالیا Decline in the Himalayas	کاهش شدید در البرز Severe decline in Alborz	کاهش زیستگاه گونه در معرض خطر

Decline in <i>Alhagi persarum</i> in Eastern Alborz			Reducing habitat of endangered species	
Ramezani et al., 2021	کاهش درآمد در خراسان شمالی Decline in income in North Khorasan	کاهش معیشت در کشورهای در حال توسعه	کاهش درآمد بهره‌برداران	تأثیر بر معیشت جوامع محلی
		Decline in livelihoods in developing countries	Reduce income of users	Impact on livelihoods of local communities

نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این مرور نظام‌مند نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در دامنه جنوبی البرز با افزایش میانگین دمای سالانه به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۱۵ درصدی بارش در فصل رویش، تأثیرات عمیقی بر توان اکولوژیکی گیاهان دارویی داشته است. این روندها با گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC, 2023) در سطح جهانی مطابقت دارد که مناطق کوهستانی را آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌ها در برابر گرمایش جهانی معرفی کرده است (Allen & Breshears, 2023). مطالعات جهانی نیز نشان داده است که مناطق کوهستانی به‌عنوان کانون‌های تنوع زیستی، نقش حیاتی در حفظ گونه‌های گیاهی ایفا می‌کنند و تغییرات اقلیمی می‌تواند این تنوع را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Tietje et al., 2022). بررسی هفت گونه اصلی گیاهان دارویی منطقه (گون، آویشن، بومادران، شیرین‌بیان، کاسنی، گل راعی و خارشتر البرزی) نشان داد که گونه‌های گون (*Astragalus spp.*)، آویشن (*Thymus spp.*)، بومادران (*Achillea spp.*) و شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) بیشترین آسیب را از تغییرات اقلیمی متحمل شده‌اند. کاهش تراکم این گونه‌ها تا ۲۵ درصد در ارتفاعات پایین‌تر با نتایج مطالعات مشابه در استان قم و زاگرس مرکزی همسو است که کاهش منابع آبی و افزایش دما را عامل اصلی کاهش کمیت و کیفیت گیاهان دارویی معرفی کرده‌اند (Vaziri, 2017; Jafari et al., 2021). همچنین، مطالعات در منطقه حفاظت‌شده البرز نشان داده است که گرمایش اقلیم و فشار چرای دام، اثرات قابل‌توجهی بر کاهش پوشش گیاهی و تغییر ترکیب گونه‌ها داشته است (Salmanpour et al., 2025). برداشت بی‌رویه این گونه‌ها توسط جوامع محلی و روستاییان، همراه با تغییرات اقلیمی، سرعت انقراض آنها را افزایش داده است. همچنین تغییرات اقلیمی از طریق کاهش عملکرد محصولات، درآمد بهره‌برداران را تحت تأثیر قرار داده است (Ramezani et al., 2021). توسعه استفاده چندمنظوره از مراتع و بهره‌برداری پایدار از گیاهان دارویی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش درآمد جوامع محلی و کاهش فشار بر مراتع مورد توجه قرار گیرد (Moradi et al., 2022).

کاهش کیفیت مواد مؤثره تا ۳۰ درصد در گونه‌های گون، آویشن، کاسنی و گل راعی نشان می‌دهد که ترکیبات فنلی تحت تأثیر عوامل اقلیمی تغییر می‌یابند. این یافته پیچیدگی روابط اقلیم و کیفیت مواد مؤثره را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که تغییرات اقلیمی نه تنها بر کمیت، بلکه بر کیفیت گیاهان دارویی نیز تأثیر می‌گذارد (Alavi Bougar et al., 2025; Sefidkon et al., 2022). مطالعات مشابه بر روی گیاه دارویی (*Stachys inflata*) در ایران نیز نشان داده است که تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما و کاهش بارش، می‌تواند به کاهش معنی‌دار ترکیبات مؤثره و کاهش سطح زیستگاه‌های مطلوب این گونه منجر شود (Shaban et al., 2023). مراحل فنولوژیکی و شرایط اقلیمی تأثیر معناداری بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاهان دارویی دارند (Tahan et al., 2024; Hemmati et al., 2023). در این راستا، پژوهش‌های انجام‌شده بر روی گیاه دارویی (*Salvia multicaulis*) نشان داده است که تغییرات اقلیمی نه تنها بر پراکنش جغرافیایی این گونه تأثیر می‌گذارد، بلکه کیفیت فیتوشیمیایی و میزان ترکیبات مؤثره آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tavan et al., 2026).

جابجایی ارتفاعی شیرین‌بیان به سمت ارتفاعات بالاتر (۳۰۰۰-۲۵۰۰ متر) نشان می‌دهد که گونه‌ها در پاسخ به گرمایش جهانی به سمت ارتفاعات بالاتر مهاجرت می‌کنند (Paul et al., 2025). این یافته‌ها بر ضرورت حفاظت از پناهگاه‌های اقلیمی و بهینه‌سازی استراتژی‌های حفاظتی در اکوسیستم‌های کوهستانی تأکید دارد. مناطق مرتفع به‌عنوان پناهگاه‌های اقلیمی، تا ۴۰ درصد از کاهش

جمعیت گونه‌های آسیب‌پذیر (به‌ویژه گون، آویشن، بومادران و شیرین‌بیان) جلوگیری کرده‌اند که با یافته‌های مطالعات مشابه در منطقه مدیترانه و فلات تبت همسو است (Kougioumoutzis et al., 2024; Yang et al., 2024). پژوهش‌های مشابه در ایران نیز نشان داده است که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به جابجایی ارتفاعی گونه‌های گیاهی و کاهش چشمگیر زیستگاه‌های مطلوب آنها شود (Khajoei Nasab et al., 2022).

در همین راستا، پژوهش‌های داخلی در دامنه جنوبی البرز نیز نشان داده است که گونه‌های شاخص مرتعی مانند (*Artemisia aucheri*) در پاسخ به افزایش دما، به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا شده‌اند (Motamedi et al., 2022). پیش‌بینی کاهش ۳۰ درصدی سطح پراکنش گیاهان دارویی تا سال ۱۴۱۰ با نتایج مطالعات مشابه در هیمالیا و کوهستان‌های بالکان مطابقت دارد (Paul et al., 2025; Wani et al., 2024).

در مورد گونه در معرض خطر خارشتر البرزی (*Alhagi persarum*)، کاهش جوانه‌زنی و عدم استقرار گیاهچه‌های جدید در سال‌های خشک به‌عنوان عوامل اصلی کاهش جمعیت این گونه شناسایی شده است (Zaheri et al., 2024). این یافته نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی از طریق تأثیر بر مراحل اولیه چرخه زندگی گیاهان، سرعت انقراض گونه‌های آسیب‌پذیر را افزایش می‌دهد.

نقاط ضعف پژوهش‌های موجود و پیشنهادات

ضعف اصلی پژوهش‌های بررسی‌شده، کمبود مطالعات میدانی بلندمدت و نبود شبکه پایش یکپارچه در منطقه است. اغلب مطالعات به صورت مقطعی و پراکنده انجام شده‌اند و پایش سیستماتیک در منطقه ضعیف می‌باشد. همچنین پژوهش‌های میان‌رشته‌ای که هم‌زمان به ابعاد اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی بپردازند، بسیار محدود است (Wani et al., 2024). بر این اساس، پیشنهاد می‌شود:

۱- شبکه پایش بلندمدت با استفاده از سنجش از دور ایجاد شود. استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، امکان پایش مستمر و دقیق تغییرات پوشش گیاهی را در مناطق وسیع و صعب‌العبور فراهم می‌آورد که برای مدیریت پایدار منابع طبیعی ضروری است (Kharazmi & Navidi, 2025).

۲- پناهگاه‌های اقلیمی در ارتفاعات بالا حفاظت گردد (به‌ویژه برای گونه‌های گون، آویشن، بومادران و شیرین‌بیان).

۳- بانک ژن گونه‌های در معرض خطر به‌ویژه (*Alhagi persarum*) تشکیل شود.

۴- برنامه جامع سازگاری با تغییرات اقلیمی برای گیاهان دارویی تدوین گردد.

۵- آگاهی‌رسانی به جوامع محلی و روستاییان در مورد برداشت پایدار گیاهان دارویی و خطرات تغییرات اقلیمی انجام شود ارزیابی وضعیت حفاظتی گونه‌های نادر و در معرض خطر انقراض، گام اساسی در تدوین این برنامه‌های حفاظتی است (Malekpourzadeh et al., 2025). به‌طور کلی، یافته‌های این مرور نظام‌مند نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در دامنه جنوبی البرز با افزایش دما و کاهش بارش، توان اکولوژیکی گیاهان دارویی را کاهش داده است. از میان هفت گونه اصلی بررسی‌شده، گونه‌های گون، آویشن، بومادران، شیرین‌بیان، کاسنی، گل‌راعی و خارشتر البرزی با کاهش تراکم، جابجایی ارتفاعی، تغییر الگوی فنولوژیکی و کاهش مواد مؤثره مواجه شده‌اند. برداشت بی‌رویه توسط جوامع محلی، همراه با تغییرات اقلیمی، سرعت انقراض این گونه‌ها را افزایش داده است. جابجایی گونه‌ها به ارتفاعات بالاتر و کاهش مواد مؤثره از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی در منطقه است. مناطق مرتفع به‌عنوان پناهگاه‌های اقلیمی نقش حیاتی در بقای گیاهان دارویی دارند، بنابراین مدیریت حفاظتی این پناهگاه‌ها، توسعه کشت پایدار و تدوین برنامه جامع سازگاری با تغییرات اقلیمی برای حفظ این منابع ارزشمند ضروری است.

References

Abduraimova, N., Akmal, A., & Erdunov, S. (2025). Current state of natural resources of *Peganum harmala* L. in Navoi Region, Uzbekistan. *American Journal of Plant Sciences*, 16, 759-773. <https://doi.org/10.4236/ajps.2025.166053>

- Afshari, M., Rahimmalek, M., Sabzalian, M. R., Miroliaei, M., & Szumny, A. (2024). Essential oil profiles, improvement of enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems in different populations of *Salvia* subg. *Perovskia* by irrigation management. *Industrial Crops and Products*, 208, 117849. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117849>
- Alavi Bougar, M., Saharkhiz, M. J., Eslami-Farouji, A., & Asadi, M. (2025). Effects of climatic factors on secondary metabolites in different organs of *Daphne mucronata* Royle across nine regions in Iran. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 69, 103456. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103456>
- Allen, C. D., & Breshears, D. D. (2023). Climate-induced forest mortality: A review of recent global trends. *Global Change Biology*, 29(1), 87-105. <https://doi.org/10.1111/gcb.16490>
- Amrollahi, M., et al. (2025). Modelling the spatial distribution of *Ferula assa-foetida* L. under current and future climate scenarios in Kerman Province. *Desert*, 30(1), 87-110. <https://doi.org/10.22127/RJP.2025.483144.2629>
- Anjam, M., Sepahri, A., Niknahad Garmakher, H., & Jafari Fotoumi, I. (2013). Investigating the effects of environmental factors caused by elevation changes on vegetation establishment in rangelands of Alborz Mountain range. *Journal of Rangeland*, 7(4), 304-315. [In Persian]
- Azad, M., & Ahmadi, A. (2024). Assessment of CMIP6 models and multi-model averaging for temperature and precipitation over Iran. *Scientific Reports*, 14, 24165. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74789-4>
- Azimi, R., Rezaei, M. B., & Jaimand, K. (2024). Study the effect of long-term drought stress on the quantity and quality of essential oil of different species of *Thymus* spp. *Eco-Phytochemistry of Medicinal Plants*, 2(3), 4-15. [In Persian]
- Bahrami, M., Sarmadian, F., & Pazira, E. (2024). Integrating AHP and GIS for precision land use planning and ecological capacity assessment in Alborz Province, Iran. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 57, 1-20. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20020>
- Demir, O., Tekeş, A., Karagöz, S. G., Gülsoy, S., Arslan, M., Ögüt, N., & Oğuzoğlu, Ş. (2024). Elevation variations in volatile components of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Turkish Journal of Forestry*, 25(4), 494-505. <https://doi.org/10.18182/tjf.1487768>
- Eghlima, Gh., Aghamir, F., Seyed Hajizadeh, H., & Zarbakhsh, S. (2025). Role of melatonin in promoting growth attributes, thymol, rosmarinic acid and biochemical properties in *Thymus vulgaris* L. under water deficiency. *BMC Plant Biology*, 25, 603. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06667-8>
- Eghlima, Gh., Sanikhani, M., Kheiry, A., Ahadian, J., & Aelaei, M. (2020). A survey of genetic diversity of Iranian *Glycyrrhiza glabra* L. some populations using morphological and phytochemical characteristics. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 26(4), 209-226. <https://sid.ir/paper/155826/en> [In Persian]
- Ghelichnia, H. (2024). The effect of climate change on the habitat of *Artemisia aucheri* Boiss. based on the climate prediction model in the rangeland habitats of Alborz, Mazandaran province. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(4), 9719-9728. <https://doi.org/10.22034/jess.2024.434233.2206>
- Habibi Nokhandan, M., Abbasi, F., Kouhi, M., Javanshiri, Z., Malbousi, S., Babaeian, I., & Falamarzi, Y. (2020). Climate change detection update over Iran during 1958-2017. *Journal of Climate Research*, 11(42), 137-153. [In Persian]
- Hassanpouraghdam, M. B., Ghorbani, H., Esmaeilpour, M., Alford, M. H., Strzemeski, M., & Dresler, S. (2022). Diversity and distribution patterns of endemic medicinal and aromatic plants of Iran: Implications for conservation and habitat management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1552. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031552>
- Hemmati, N., Mirzaei, M., & Sadeghi, H. (2023). Drought stress effects on essential oil composition of *Thymus vulgaris* L. under climate change scenarios. *Journal of Essential Oil Research*, 35(3), 245-258. <https://doi.org/10.1080/10412905.2023.2186805>

Hosseini, M. S., Ebrahimi, M., Samsampour, D., Abadía, J., Khanahmadi, M., Amirian, R., Ghafoori, I. N., Ghaderi-Zefrehei, M., & Gogorcena, Y. (2021). Association analysis and molecular tagging of phytochemicals in the endangered medicinal plant liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). *Phytochemistry*, 183, 112629. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112629>

Hosseini, M. S., Ebrahimi, M., Abadía, J., Kadkhodaei, S., & Amirian, R. (2022). Growth, phytochemical parameters and glycyrrhizin production in liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) grown in the field with saline water irrigation. *Industrial Crops and Products*, 177, 114444.

Hosseini, N., Ghorbanpour, M., & Mostafavi, H. (2024). The influence of climate change on the future distribution of two *Thymus* species in Iran: MaxEnt model-based prediction. *BMC Plant Biology*, 24, 269. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04965-1>

IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Iran Meteorological Organisation. (2023). *Iran Climate Change Report*. Tehran: National Climate Centre. [In Persian]

Jafari, M., & Zare, S. (2021). Impacts of climate change on distribution of *Astragalus* spp. in central Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(3), 245-258.

Jaimand, K., & Rezaee, M. B. (2001). Comparative study of the essential oils of three *Achillea* species from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 13(5), 354-356. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9712231>

Jalili, A., & Jamzad, Z. (2019). *Red Data Book of Iran: A preliminary survey of endemic, rare and endangered plant species in Iran*. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands. [In Persian]

Jalilian, N., Rahimi, H., & Amini Rad, M. (2026). Floristic study of Dalakhani Mountain, W Iran. *Iranian Journal of Botany*, 32(1), 51-66.

Khajoei Nasab, F., Mehrabian, A. R., Chakerhosseini, M., & Biglary, N. (2022). Climate change causes the displacement and shrinking of the optimal habitats of nectar-producing species of *Nepeta* in Iran. *Plant Ecology*, 225, 1-12.

Kharazmi, R., & Navidi, M. (2025). Monitoring changes in vegetation health of agricultural lands using remote sensing data in Alborz province. *Iranian Journal of Soil Research*, 39(2), 171-188. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2025.370243.784>

Kougioumoutzis, K., Tsakiri, M., Kokkoris, I. P., & Trigas, P. (2024). Assessing the vulnerability of medicinal and aromatic plants to climate and land-use changes in a Mediterranean biodiversity hotspot. *Land*, 13(2), 133. <https://doi.org/10.3390/land13020133>

Liu, F.-L., Mambo, W. W., Liu, J., Zhu, G.-F., Khan, R., Abdullah, et al. (2025). Spatiotemporal range dynamics and conservation optimisation for endangered medicinal plants in the Himalaya. *Global Ecology and Conservation*, 57, e03390. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03390>

Makhdoum, M. F. (2019). *Fundamentals of Land Use Planning* (10th ed.). Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

Malekpourzadeh, L., Ghahremaninejad, F., Mirtadzadini, S. M., & Shokooh Saljooghi, A. (2025). Evaluation of biodiversity and conservation status of endemic and rare plant species of an endemism hotspot in Iran. *Australian Journal of Botany*, 73, BT24045. <https://doi.org/10.1071/BT24045>

Masoodian, S. A., & Kaviani, M. (2021). Trend analysis of temperature and precipitation in Alborz region. *Physical Geography Research*, 53(2), 123-138.

Mathieu, A. S., Lutts, S., Vandoorne, B., Descamps, C., Périlleux, C., Dielen, V., Van Herck, J. C., & Quinet, M. (2014). High temperatures limit plant growth but hasten flowering in root chicory (*Cichorium intybus* L.) independently of vernalisation. *Journal of Plant Physiology*, 171(2), 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.011>

- Moradi, H., Arzani, H., Jafari, M., Alizadeh, E., & Rahdan, A. (2022). Investigating the Livelihood Improvement Strategies of Rangeland Users: Application of Multi-Purpose Use of Rangelands (Case Study: Larak Rangeland, Alborz Province). *Journal of Rangeland*, 18(2), 202-223. [In Persian]
- Motamedi, J., Khodagholi, M., & Khalifezadeh, R. (2022). Predicting the current and future potential range of *Artemisia aucheri* under two climate warming models (Rcp4.5 and Rcp8.5) in southern Alborz rangeland habitats, Qazvin province. *Environmental Science Studies*, 7(2), 5015-5023.
- Mozaffarian, V. (2022). *Identification of medicinal and aromatic plants of Iran*. Tehran: Farhang Moaser Publishers. [In Persian]
- Mykhailenko, O., Jalil, B., McGaw, L. J., Echeverría, J., Takubessi, M., & Heinrich, M. (2025). Climate change and the sustainable use of medicinal plants: A call for "new" research strategies. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1496792. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1496792>
- Nasab, F. K., & Zeraatkar, A. (2025). Assessing the impact of global warming on the distributions of *Allium stipitatum* and *Kelussia odoratissima* in the Central Zagros using a MaxEnt model. *PLOS ONE*, 20(4), e0321167. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321167>
- Noedoost, F., Behroozian, M., Karami, S., & Joharchi, M. R. (2024). Potential impacts of climate change on the geographic distribution of *Achillea eriophora* DC., a medicinal species endemic to Iran. *Ecology and Evolution*, 14(4), e11241. <https://doi.org/10.1002/ece3.11241>
- Paul, S., & Samant, S. S. (2024). Population ecology and habitat suitability modelling of an endangered and endemic medicinal plant *Meconopsis aculeata* Royle under projected climate change in the Himalaya. *Environmental and Experimental Botany*, 225, 105837. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105837>
- Paul, S., Kanwal, K. S., Kumar, A., Samant, S. S., Bhatt, I. D., Sundriyal, R. C., & Lata, S. (2025). Population status and impact of climate change on the distribution of vulnerable multipurpose plant *Hippophae rhamnoides* ssp. *turkestanica* for conservation in Trans-Himalaya, India. *Frontiers in Forests & Global Change*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1551024>
- Rahnama, F., Naderi, R., Amirahmadi, A., Noroozi, J., Mahmoodi, M., & Mirtadzadini, M. (2024). A botanical expedition in Eastern Alborz (Iran): rare plant species and assessing their conservation status. *Phytotaxa*, 642(1), 1-20. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.642.1.1>
- Ramezani, S., Rezvanfar, A., & Alambeygi, A. (2021). Presenting a structural model for identifying entrepreneurial opportunities among medicinal plant producers in North Khorasan province. *Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 51(1), 1-15. [In Persian]
- Rechinger, K. H. (1984). *Flora Iranica* (Vol. 157: *Astragalus*). Graz: Akademische Druck-u. Verlagsanstalt.
- Roshan, G., Sarli, R., Grab, S. W., Nasiri, V., & Socha, J. (2024). Elevational trends of land surface temperature in the Alborz Mountains within the context of global warming. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38, 1721-1739. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02651-6>
- Safarian, V., & Fatahi Ardakani, A. (2025). A Study of Climate Change in Iran Based on Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) Scenarios Using CMIP6 Models. *Geographical Planning of Space*, 15(1), 1-20.
- Salmanpour, F., Shakoori, Z., Keshtkar, M., Kia, M., & Sayahnia, R. (2025). Impact of climate warming on vegetation cover: positive effects of native artiodactyla vs. grazing pressure in Alborz Protected Area. *Frontiers in Conservation Science*, 6, 1534034. <https://doi.org/10.3389/fcsc.2025.1534034>
- Sefidkon, F., Mirza, M., & Assareh, M. H. (2022). *Essential oils of Iranian medicinal plants*. Tehran: Research Institute of Forests and Rangelands. [In Persian]
- Shaban, M., Ghehsareh Ardestani, E., Ebrahimi, A., & Borhani, M. (2023). Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran. *Scientific Reports*, 13, 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>

- Tahan, A., Jafari, M., Razmjoui, D., & Javadi, S. A. (2024). Investigating the effects of some climatic, soil, and physiographic factors on the phytochemical properties of *Ajuga chamaecistus* Ging. in different phenological stages in Fars province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 40(1), 78-96. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.129876.1123>
- Takubessi, M. I., Jalil, B., & Heinrich, M. (2025). The impact of climate change on medicinal plants and natural products: A scoping review. *Frontiers in Pharmacology*, 16, 1697581. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1697581>
- Tavan, M., Azizi, A., Sarikhani, H., Dastres, E., Rigano, M. M., & Mirjalili, M. H. (2026). Predicting the impact of climate change on the habitat suitability and phytochemical quality of *Salvia multicaulis* Vahl. *BMC Plant Biology*, 26, 61. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07756-4>
- Theodoridis, S., Hickler, T., & Thines, M. (2024). Mountain greening and rising temperatures erode habitats of ironwort (*Sideritis*), an important natural medicinal resource. *Plants, People, Planet*, 6(4), 862-874. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10497>
- Tietje, M., Antonelli, A., Baker, W. J., Govaerts, R., Smith, S. A., & Eiserhardt, W. L. (2022). Global variation in diversification rate and species richness are unlinked in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(27), e2120662119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2120662119>
- Vaziri, A. (2017). Identification and traditional use of some medicinal plants in Jafar Abad district of Qom province. *Journal of Qom University of Medical Sciences*, 11(2), 1-10. [In Persian]
- Wani, Z. A., Pant, S., Bhat, J. A., & Shukla, G. (2024). Distribution and survival of medicinal and aromatic plants are threatened by the anticipated climate change. *Trees, Forests and People*, 16, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100549>
- Yang, L., Zhu, X., Song, W., Shi, X., & Huang, X. (2024). Predicting the potential distribution of 12 threatened medicinal plants on the Qinghai-Tibet Plateau, with a maximum entropy model. *Ecology and Evolution*, 14(2), e11042. <https://doi.org/10.1002/ece3.11042>
- Yang, P., Wang, R., Liu, J., Xu, X., Xu, Q., Liu, S., Dong, M., Shen, Q., Shen, Z., & Li, R. (2025). The influence of environmental heterogeneity on fertilisation-driven patterns of distribution and yield in medicinal plants. *Agronomy*, 15(9), 2142. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092142>
- Yousefzadeh, K., et al. (2022). *Hypericum perforatum* essential oil variation across altitudinal gradient in Alborz Mountains. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 25(4), 789-802. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2103456>
- Zaheri, A., Naderi, R., & Amirahmadi, A. (2024). Possible extinction of *Eversmannia subspinosa* in Eastern Alborz by 2060 due to climate change: a MaxEnt study. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(7), 6917-6929. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05047-w>