Iranian Journal of Soil and Water Research
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir
ISNN: 2423-7833

Investigating the Diversity of Reproductive Traits of Wild Populations of *Amygdalus scoparia* in Western Qom Province

Elham Khoshsima[1] | Iraj Mehregan[2] | Younes Asri[3]✉ | Seyed Jalil Alavi[4] | Hamid Reza Akkafi[5]

1. Department of Biology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: elham.khoshsima@srbiau.ac.ir
2. Department of Biology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: imehregan@srbiau.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Botany, Research Institute of Forests and Rangelands; Agricultural Research Education and Extension (AREEO), Tehran, Iran .E-mail: asri@rifr-ac.ir
4. Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nur, Mazandaran, Iran. E-mail: j.alavi@modares.ac.ir
5. Department of Biology, Fal.c., Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: hamid.akkafi@iau.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 1, 2026

Revised: May. 27, 2026

Accepted: June. 3, 2026

Published online: Nov. 23, 2026

Keywords:
Amygdalus scoparia,
Reproductive traits,
Phenotypic diversity,
Western Qom province,
Principal Component Analysis

ABSTRACT

Background and Objective: The diversity of reproductive traits in woody species from arid regions provides key insights into regeneration potential and population persistence under climate change. However, little is known about this diversity in wild almond (Amygdalus scoparia) in Iran. This study is the first to investigate the phenotypic diversity of reproductive traits in six natural populations of this species in western Qom province. Materials and Methods: Seven reproductive traits were measured along with seven environmental variables across 72 plots. One-way ANOVA, Tukey HSD test, Principal Component Analysis, and Pearson correlation were used for data analysis. Results: The highest reproductive trait diversity was observed in Dastjerd and Zavarian populations. A strong positive correlation was observed between flower length and flower number ($r = 0.738$, $p < 0.001$). However, correlations between precipitation and reproductive traits were weak and non-significant ($r = -0.116$ for flower length and $r = 0.142$ for flower number, $p > 0.05$). Soil variables, particularly electrical conductivity (EC) and potassium, played a more prominent role. The first two principal components accounted for 95.44% of the total variance (PC1: 83.15%, PC2: 12.29%). High altitude populations exhibited larger flowers but fewer flowers per inflorescence. Conclusion: The high phenotypic diversity of reproductive traits in Dastjerd and Zavarian populations makes them conservation priorities and suitable candidates for future genetic studies. Soil variables including electrical conductivity (EC), potassium, and nitrogen were more determinant than precipitation.

Cite this article: Khoshsima, E., Mehregan, I., Asri, Y., Alavi, S. J., & Akkafi, H. R. (2026). Investigating the Diversity of Reproductive Traits of Wild Populations of Amygdalus scoparia in Western Qom Province, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (9), 2103-2117. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.419203.670182

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.419203.670182

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Arid and semi-arid regions cover approximately 41% of the Earth's terrestrial surface and support over 38% of the global human population. These ecosystems are particularly vulnerable to climate change, with projections indicating rising temperatures and increasing aridity in the coming decades. Iran, especially the western parts of Qom province, is expected to experience more frequent droughts and reduced rainfall. In such landscapes, woody species—particularly wild almonds (*Amygdalus* spp.)—play a critical ecological role by stabilising soils, sequestering carbon, and sustaining biodiversity. Among these, *Amygdalus scoparia* Spach is one of the most widely distributed wild almond species in Iran, ranging from the Zagros Mountains to the central plateaus.

Despite its broad distribution, remarkably little is known about how reproductive traits of *A. scoparia* vary across populations or how they respond to environmental pressures. This knowledge gap is significant because reproductive traits—such as flower size and number—directly determine reproductive success, regeneration capacity, and long-term population viability. Variation in these traits can serve as a proxy for local adaptation, while climate change—through altered rainfall patterns, temperature shifts, and nutrient availability—can disrupt these traits, with cascading effects on reproduction and persistence. In dryland ecosystems, plants often adjust reproductive strategies in response to stress, either by producing larger flowers or by reducing flower numbers. Soil nutrients, particularly nitrogen and phosphorus, are also key modulators of these adjustments, as they underpin critical physiological processes.

To date, most Iranian studies have focused on vegetative traits or broad geographic distribution patterns, leaving the reproductive diversity of *A. scoparia* largely unexplored. The present study therefore aimed to: (1) characterise reproductive trait diversity across six natural populations of *A. scoparia* in western Qom province; (2) identify the environmental variables that most strongly influence this diversity; and (3) highlight populations with the highest trait diversity as conservation priorities.

Methods

Six natural populations of *A. scoparia* were selected in western Qom province: Anjileh, Dastjerd, Golestan, Kermejegan, Veshnaveh, and Zavarian. Elevation ranged from 1585 m (Golestan) to 2180 m (Veshnaveh). Mean annual precipitation varied between 164 mm (Golestan) and 272 mm (Veshnaveh), while mean annual temperature ranged from 10.2°C (Veshnaveh) to 18.52°C (Golestan). In each population, 12 plots of 4 × 4 m were established using a systematic-random design, giving a total of 72 plots.

Within each plot, seven reproductive traits were measured: flower length (mm), number of flowers per inflorescence, petiole length (mm), sepal length (mm), fresh and dry weight of flowering branch (g), and inflorescence length (cm). In addition, seven environmental variables were recorded: pH, electrical conductivity (EC), nitrogen (%), phosphorus (mg/kg), potassium (mg/kg), mean annual temperature (°C), and annual precipitation (mm).

To compare traits among populations, one-way ANOVA was performed, followed by Tukey's HSD post-hoc test. Principal Component Analysis (PCA) was applied to the trait matrix to identify patterns of diversity and their associations with environmental factors. Pearson correlation coefficients were computed to evaluate relationships between individual traits and environmental variables. All statistical analyses were conducted in R version 4.6.0.

Results

ANOVA revealed significant differences among populations for all reproductive traits except flower number per inflorescence. The longest flowers were recorded in Veshnaveh (27.91 mm) and the shortest in Anjileh (26.91 mm). Dastjerd exhibited the highest fresh branch weight (10.15 g), while Golestan had the lowest (8.15 g). Tukey's test indicated that Dastjerd and Zavarian differed significantly from the other populations for most traits.

In contrast to several earlier studies, precipitation showed weak and non-significant correlations with both flower length ($r = -0.116$, $p > 0.05$) and flower number ($r = 0.142$, $p > 0.05$). Soil nitrogen was positively correlated with petiole length ($r = 0.210$, $p < 0.05$) and fresh branch weight ($r = 0.251$, $p < 0.05$). A strong positive correlation was found between flower length and flower number ($r = 0.738$, $p < 0.001$), indicating that a universal trade-off between these two traits is not supported in this system.

PCA on the seven reproductive traits extracted two principal components that together explained 95.44% of the total variance (PC1: 83.15%, PC2: 12.29%). PC1 was primarily associated with fresh and dry branch weight, petiole length, and sepal length, while PC2 was positively linked to flower number and flower length. The PCA biplot clearly separated Dastjerd and Zavarian on the right side of PC1 from Veshnaveh and

Kermejegan on the left, highlighting distinct reproductive profiles among populations.

Conclusion

Our findings demonstrate that reproductive trait diversity in *A. scoparia* populations in western Qom is substantial and is predominantly driven by soil variables—particularly electrical conductivity (EC), potassium, and nitrogen—whereas precipitation plays a negligible role at this local scale. The lack of a clear trade-off between flower size and number suggests that resource availability, especially soil nutrients, can enhance both traits simultaneously. Dastjerd and Zavarian, which exhibited the highest trait diversity, should be prioritised for conservation efforts.

Given the ongoing climate change and increasing aridity across Iran, we recommend that conservation strategies focus on populations with high reproductive trait diversity. Future research should investigate the links between these reproductive traits and seed production and germination across populations to better understand the regeneration potential of this species under anticipated climate scenarios.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authorship contribution

The first author (Ph.D. student) was responsible for research design, data collection and analysis, and drafting the manuscript; co-authors (supervisors and advisors) contributed to research design, supervision, review, and finalization of the manuscript.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors did not use any type of artificial intelligence-based technology in the writing process.

Data availability statement

The datasets generated and/or analysed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran for providing the facilities for this research. We also sincerely thank the supervisors and advisors for their invaluable guidance throughout the research. We are also grateful to the esteemed reviewers for their constructive and scientific comments.

Ethical considerations

The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by all of them. The authors have avoided any form of data fabrication, falsification, plagiarism, and other scientific misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۷، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی تنوع صفات زایشی جمعیت‌های وحشی بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) در غرب استان قم

الهام خوش‌سیما[۱] | ایرج مهرگان[۲] | یونس عصری[۳]✉ | سید جلیل علوی[۴] | حمیدرضا عکافی[۵]

۱. گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: elham.khoshsima@srbiau.ac.ir

۲. گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه:imehregan@srbiau.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: asri@rifr-ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: j.alavi@modares.ac.ir

۵. گروه زیست‌شناسی، واحد فلاورجان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: hamid.akkafi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۵/۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
بادام کوهی،
صفات زایشی،
تنوع فنوتیپی،
غرب استان قم،
تحلیل مؤلفه‌های اصلی

چکیده

تنوع صفات زایشی در گونه‌های چوبی مناطق خشک، اطلاعات کلیدی برای درک پتانسیل زادآوری و بقای جمعیت‌ها در شرایط تغییر اقلیم فراهم می‌کند. با این حال، دانش موجود درباره تنوع صفات زایشی بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) در ایران اندک است. این پژوهش برای نخستین بار تنوع فنوتیپی صفات زایشی را در شش جمعیت طبیعی از این گونه در غرب استان قم بررسی کرده است. هفت صفت زایشی به همراه هفت متغیر محیطی در ۷۲ پلات اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از تحلیل واریانس یک‌طرفه، آزمون تعقیبی توکی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و همبستگی پیرسون تحلیل شدند. بیشترین تنوع صفات زایشی در جمعیت‌های دستجرد و زواریان مشاهده شد. همبستگی بین طول گل و تعداد گل مثبت و قوی بود ($r = 0.738, p < 0.001$)، در حالی که همبستگی بارش با صفات زایشی ضعیف و غیرمعنی‌دار بود ($r = -0.116$ و $r = 0.142$، $p > 0.05$). متغیرهای خاکی به‌ویژه هدایت الکتریکی و پتاسیم نقش بیشتری در تبیین تغییرات صفات داشتند. pH خاک با طول کاسبرگ همبستگی منفی داشت. دو مؤلفه نخست تحلیل مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۹۵/۴۴ درصد از واریانس صفات زایشی را تبیین کردند. جمعیت‌های مرتفع دارای گل‌های درشت‌تر ولی تعداد گل کمتری بودند. تنوع فنوتیپی بالای صفات زایشی در جمعیت‌های دستجرد و زواریان، این جمعیت‌ها را به عنوان اولویت‌های حفاظتی و نامزدهای مناسبی برای مطالعات ژنتیکی آینده معرفی می‌کند. متغیرهای خاکی شامل هدایت الکتریکی، پتاسیم و نیتروژن نقش تعیین‌کننده‌تری در تنوع صفات زایشی داشتند.

استناد: خوش‌سیما، الهام؛ مهرگان، ایرج؛ عصری، یونس؛ علوی، سید جلیل و عکافی، حمیدرضا (۱۴۰۵). بررسی تنوع صفات زایشی جمعیت‌های وحشی بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) در غرب استان قم ، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۷ (۹)، ۲۱۱۷-۲۱۰۳.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.419203.670182

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.419203.670182

مقدمه

بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، گرمایش زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش فراوانی و شدت رویدادهای اقلیمی حدی از جمله خشکسالی‌های شدید در بسیاری از مناطق جهان شده است. مناطق خشک و نیمه‌خشک حدود ۴۱ درصد از سطح خشکی‌های زمین را پوشش می‌دهند و میزبان بیش از ۳۸ درصد از جمعیت انسانی هستند (Cui et al., 2025). این مناطق به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارند و پیش‌بینی می‌شود که خشکی و دما در دهه‌های آینده به طور چشمگیری افزایش یابد (Berdugo et al., 2020). ایران، به ویژه بخش‌های غربی استان قم، از جمله مناطقی است که با افزایش خشکی و کاهش بارش مواجه خواهد بود (Noroozi et al., 2018).

گونه‌های چوبی مانند بادام‌های وحشی (Amygdalus spp.) نقش کلیدی در تثبیت خاک، ذخیره کربن و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند (Klich, 2000). Amygdalus scoparia Spach یکی از گسترده‌ترین گونه‌های بادام وحشی در ایران است که از زاگرس تا مرکز ایران پراکنش دارد (Alipour & Walas, 2023). بادام کوهی یک گونه بومی ایران و از تیره گلسرخیان (Rosaceae) است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک رویش دارد. ارتفاع درختچه‌های آن تا ۶ متر، شاخه‌ها سبزرنگ و بدون خار می‌باشند. برگ‌ها نیزه‌ای باریک یا قاشقی باریک، به طول تا ۴۰ و عرض تا ۷ میلی‌متر هستند. گل‌ها درشت به قطر ۲۵ میلی‌متر، بی‌دمبرگ؛ میوه‌ها تخم‌مرغی، به طول تا ۲۰ و عرض ۱۲ میلی‌متر؛ و هسته‌ها زردکاهی، صاف و دارای خطوط و شیارهای نامشخص هستند (خاتم‌ساز، ۱۳۷۱). این گونه مقاوم به خشکی و شوری، نقش مهمی در حفاظت خاک و تنوع زیستی ایفا می‌کند (مظفریان، ۱۳۸۳). با این حال، اطلاعات کمی در مورد تنوع صفات زایشی و واکنش آن به عوامل محیطی وجود دارد.

صفات زایشی نقش کلیدی در موفقیت تولیدمثل، زادآوری و بقای جمعیت‌های گیاهی ایفا می‌کنند (Violle et al., 2007). تنوع در صفات زایشی می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل سازگاری جمعیت‌ها به شرایط متفاوت محیطی باشد (Siefert et al., 2015). تغییرات اقلیمی از طریق تأثیر بر بارش، دما و عناصر غذایی خاک، الگوی صفات زایشی را دگرگون کرده و موفقیت تولیدمثل و بقای گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Munoz-Galvez et al., 2025). در اکوسیستم‌های خشک، گیاهان با استراتژی‌های مختلفی مانند افزایش اندازه گل یا کاهش تعداد گل به تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Gross et al., 2024). این پاسخ‌ها می‌توانند تحت تأثیر عوامل خاکی مانند نیتروژن و فسفر قرار گیرند که نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیک و تولیدمثل دارند (Marklein & Houlton, 2012).

بر اساس نظریه صفات عملکردی، تنوع صفات درون‌گونه‌ای بازتابی از سازگاری جمعیت‌ها با شرایط محیطی است (Violle et al., 2007). صفات زایشی به عنوان یکی از ابعاد کلیدی این تنوع، تحت تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی و خاکی قرار دارند (Siefert et al., 2015). از دیدگاه بوم‌شناسی تکاملی، تغییرات در صفات زایشی می‌تواند نشان‌دهنده پاسخ جمعیت‌ها به فشارهای انتخابی محیطی باشد (Munoz-Galvez et al., 2025).

انتخاب متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) بر اساس نقش مستقیم آن‌ها در تنظیم فنولوژی و رشد زایشی گیاهان مناطق خشک صورت گرفت (Munoz-Galvez et al., 2025). همچنین، متغیرهای خاکی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، pH و EC) به دلیل نقش کلیدی در دسترسی عناصر غذایی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با گل‌دهی، و تنظیم تعادل اسمزی و جذب آب در گونه‌های چوبی انتخاب شدند (Marklein & Houlton, 2012; Luo et al., 2018).

تاکنون هیچ مطالعه‌ای تنوع صفات زایشی بادام کوهی را در غرب استان قم و ارتباط آن را با متغیرهای اقلیمی و خاکی به‌صورت همزمان بررسی نکرده است. به‌ویژه، نقش متغیرهایی مانند نیتروژن، فسفر، pH و هدایت الکتریکی خاک در تنظیم صفات زایشی بادام کوهی در این منطقه ناشناخته باقی مانده است. اگرچه مطالعات متعددی به بررسی پراکنش جغرافیایی و صفات رویشی بادام کوهی در ایران پرداخته‌اند (Noroozi et al., 2018; Alipour &Walas, 2023; ساغری و همکاران، ۱۳۹۸)، اما تنوع صفات زایشی این گونه و ارتباط آن با عوامل محیطی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات سالاریان و همکاران (۱۳۸۸) و ساغری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی نیاز رویشگاهی و اثر عوامل فیزیوگرافیک بر صفات رویشی بادام کوهی پرداخته‌اند که مبانی مناسبی برای پژوهش حاضر فراهم آورده است.

بر این اساس، پژوهش حاضر با سه هدف اصلی دنبال شد: (۱) بررسی تنوع صفات زایشی در شش جمعیت طبیعی بادام کوهی در غرب استان قم، (۲) شناسایی مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر این تنوع با استفاده از روش‌های همبستگی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی،

و (۳) تعیین جمعیت‌های دارای بیشترین تنوع صفات زایشی به‌عنوان اولویت‌های حفاظتی برای برنامه‌های مدیریتی و اصلاحی آینده. فرضیه اصلی پژوهش بر این بود که متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) و خاکی (نیتروژن، فسفر، pH) به طور مستقیم و غیرمستقیم بر صفات زایشی تأثیر می‌گذارند و در این میان، بارش و نیتروژن خاک سهم بیشتری در تبیین تنوع صفات زایشی دارند. ارتفاع نیز به‌عنوان یک متغیر غیرمستقیم از طریق تأثیر بر دما و بارش در نظر گرفته شد.

پیشینه پژوهش

پیشینه نظری

بر اساس نظریه صفات عملکردی، تنوع صفات درون‌گونه‌ای بازتابی از سازگاری جمعیت‌ها با شرایط محیطی است (Violle et al., 2007). صفات زایشی به عنوان یکی از ابعاد کلیدی این تنوع، تحت تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی و خاکی قرار دارند (Siefert et al., 2015). از دیدگاه بوم‌شناسی تکاملی، تغییرات در صفات زایشی می‌تواند نشان‌دهنده پاسخ جمعیت‌ها به فشارهای انتخابی محیطی باشد (Munoz-Galvez et al., 2025). پژوهش‌های گسترده در سطح جهانی نشان داده است که تنوع صفات درون‌گونه‌ای می‌تواند نقشی اساسی در موفقیت تولیدمثل و بقای گونه‌ها در شرایط متغیر محیطی ایفا کند (IPCC, 2023).

پیشینه تجربی

در سطح جهانی، پژوهش‌های متعددی ارتباط صفات زایشی با عوامل محیطی را بررسی کرده‌اند. مونوز–گالوز و همکاران (Munoz-Galvez et al., 2025) در مطالعه‌ای بر روی ۶۲ گونه چوبی مدیترانه‌ای نشان دادند که هماهنگی بین صفات رویشی و زایشی تحت تأثیر عوامل اقلیمی قرار دارد. گوئو و همکاران (Guo et al., 2017) در مراتع چین نشان دادند که افزایش خشکی منجر به کاهش اندازه گل و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. گروس و همکاران (Gross et al., 2024) در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند که مناطق خشک دارای تنوع فنوتیپی پیش‌بینی‌نشده‌ای هستند که با افزایش خشکی افزایش می‌یابد.

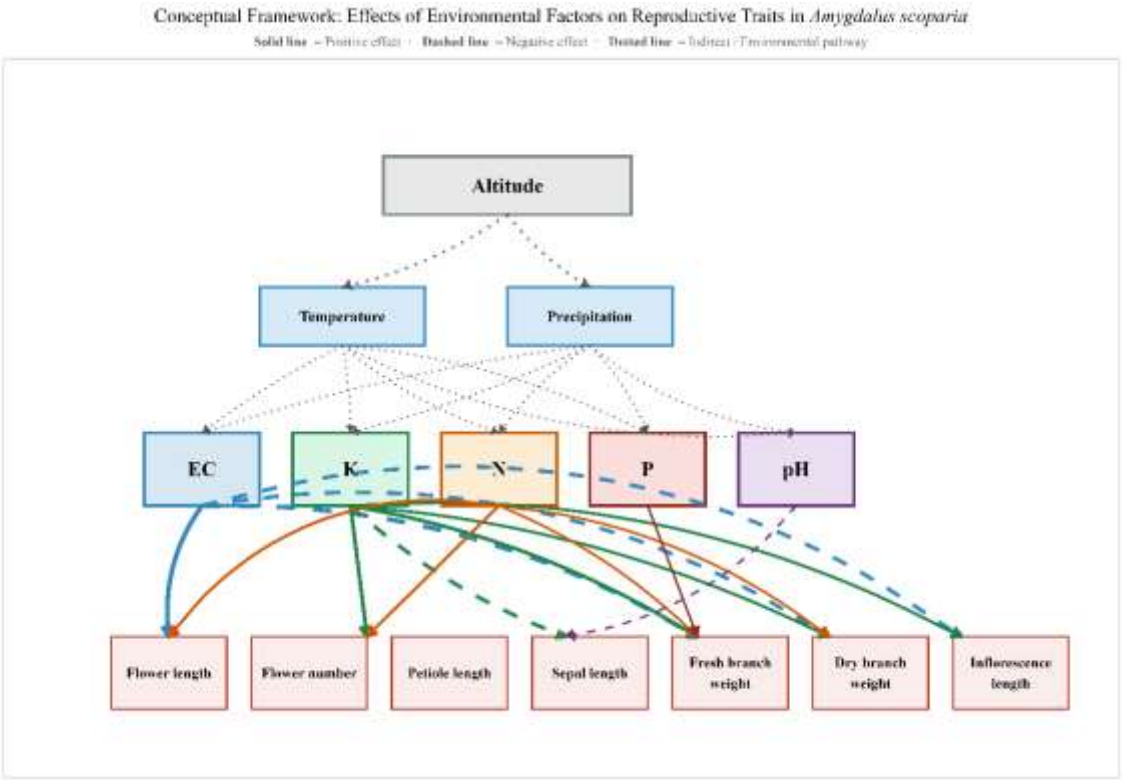
همچنین، مطالعات متعددی به نقش عناصر غذایی خاک در تنظیم صفات عملکردی گیاهان پرداخته‌اند. به عنوان مثال، مارکلین و هولتون (Marklein & Houlton, 2012) نشان دادند که نیتروژن و فسفر خاک تأثیر مستقیمی بر اندازه و تعداد گل در گونه‌های چوبی مناطق خشک دارند. در مطالعه ایی دیگر، لو و همکاران (Luo et al., 2018) گزارش کردند که pH و EC خاک از طریق تأثیر بر دسترسی عناصر غذایی، می‌توانند الگوی صفات زایشی را دگرگون سازند.

برخلاف پژوهش‌های پیشین در ایران که عمدتاً بر صفات رویشی یا پراکنش جغرافیایی متمرکز بوده‌اند (Noroozi et al., 2018; Alipour &Walas, 2023 ;ساغری و همکاران، ۱۳۹۸)، پژوهش حاضر برای اولین بار به بررسی هم‌زمان هفت صفت زایشی و هفت متغیر محیطی در مقیاس جمعیت‌های محلی پرداخته است.

مطالعه خدیوی–خوب و انجم (Khadivi-Khub & Anjam, 2014) و انصاری و همکاران (Ansari et al., 2019) تنوع فنوتیپی بالای بادام کوهی را در ایران نشان داده‌اند که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد.

مدل مفهومی گرافیکی

بر اساس پیشینه نظری و تجربی، چارچوب مفهومی پژوهش حاضر بر این اصل استوار است که متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) و خاکی (نیتروژن، فسفر، pH) به طور مستقیم و غیرمستقیم بر صفات زایشی تأثیر می‌گذارند. در این چارچوب، بارش و نیتروژن خاک به عنوان از عوامل کلیدی تعیین‌کننده تنوع صفات زایشی در نظر گرفته شده‌اند (Marklein & Houlton, 2012; Luo et al., 2018). شکل ۱ این چارچوب مفهومی را به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد.



شکل ۱. **مدل مفهومی روابط بین متغیرهای محیطی و صفات زایشی در جمعیت‌های بادام کوهی.**

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه و نمونه‌برداری

شش جمعیت طبیعی *A. scoparia* در غرب استان قم انتخاب شدند: انجیله، دستجرد، گلستان، کرمجگان، وشنوه و زواریان. محدوده ارتفاعی از ۱۵۸۵ متر (گلستان) تا ۲۱۸۰ متر (وشنوه) متغیر بود. میانگین بارندگی سالانه بین ۱۶۴ میلی‌متر (گلستان) تا ۲۷۲ میلی‌متر (وشنوه) و میانگین دمای سالانه از ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد (وشنوه) تا ۱۸/۵۲ درجه سانتی‌گراد (گلستان) متغیر بود. در هر جمعیت، ۱۲ پلات به ابعاد ۴×۴ متر مستقر شد (مجموع ۷۲ پلات) (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

نمونه‌برداری در اردیبهشت ۱۴۰۴ (همزمان با اوج گلدهی کامل گیاه) انجام شد. در هر جمعیت، با استفاده از روش سیستماتیک–تصادفی، نقطه شروع به‌صورت تصادفی انتخاب شد و سپس پلات‌ها با فاصله حداقل ۵۰ متر از یکدیگر در امتداد ترانسکت‌های موازی مستقر شدند. با توجه به تراکم متفاوت پایه‌ها در پلات‌ها، در هر پلات از کلیه پایه‌های موجود (حداقل ۱۰ گل سالم از هر پایه) برای اندازه‌گیری صفات استفاده شد. اندازه پلات ۴×۴ متر بر اساس مطالعات مشابه در گونه‌های چوبی مناطق خشک انتخاب شد (Pérez-Harguindeguy et al., 2013 ; سالاریان و همکاران، ۱۳۸۸).

اندازه‌گیری صفات و متغیرهای محیطی

در هر پلات، هفت صفت زایشی اندازه‌گیری شد: طول گل (میلی‌متر)، تعداد گل در هر گل‌آذین، طول دمگل (میلی‌متر)، طول کاسبرگ (میلی‌متر)، وزن تر شاخه گل‌دهنده (گرم)، وزن خشک شاخه گل‌دهنده (گرم) و طول گل‌آذین (سانتی‌متر). صفات رویشی تکمیلی (وزن تر و خشک برگ) نیز اندازه‌گیری شدند، اما در تحلیل‌های اصلی صفات زایشی لحاظ نشده‌اند (Cornelissen et al., 2003). همچنین هفت متغیر محیطی شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، نیتروژن (درصد)، فسفر (mg/kg)، پتاسیم (mg/kg)، دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) و بارش سالانه (میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند (Marklein & Houlton, 2012).

انتخاب متغیرهای خاکی بر اساس مرور منابع معتبر در حوزه بوم‌شناسی عملکردی گیاهان مناطق خشک صورت گرفت (Javidfar et al., 2017 ; خاکپور بجستانی و همکاران، ۱۴۰۴). اگرچه متغیرهایی مانند کربن آلی، بافت خاک و عناصر میکرو نیز می‌توانند مؤثر باشند (نامدوست و همکاران، ۱۴۰۵)، اما به دلیل محدودیت‌های زمانی و تمرکز بر متغیرهای کلیدی، در این پژوهش اندازه‌گیری نشدند.

نمونه‌های خاک از عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری برداشت شدند. pH خاک در سوسپانسیون ۱:۲، EC در عصاره اشباع، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل استفاده به روش اولسن، و پتاسیم قابل استفاده با استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند (Thomas, 1996; Olsen & Sommers, 1982; Knudsen et al., 1982). داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های هواشناسی استان قم برای دوره ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۴ استخراج شد.

ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان متغیر زمینه‌ای از طریق تأثیر بر دما و بارش در نظر گرفته شد (ساغری و همکاران، ۱۳۹۸).

آنالیزهای آماری

برای مقایسه صفات زایشی بین جمعیت‌ها از تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد (Anderson & Walsh, 2013). برای شناسایی الگوهای تنوع صفات و ارتباط با متغیرهای محیطی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس همبستگی هفت صفت زایشی انجام شد (Jolliffe & Cadima, 2016). همبستگی بین صفات زایشی و متغیرهای محیطی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. تمام تحلیل‌ها در نرم‌افزار R نسخه 4.6.0 انجام شد (R Core Team, 2023).

با توجه به ساختار سلسله‌مراتبی داده‌ها (پلات‌های تو در تو درون جمعیت‌ها)، پلات‌ها به‌عنوان تکرارهای مستقل در نظر گرفته شدند (پس از تأیید استقلال نسبی مشاهدات با آزمون دوربین–واتسون). برای اطمینان بیشتر، مدل‌های آمیخته (LMM) با اثر تصادفی «پلات» نیز اجرا و نتایج مشابهی حاصل شد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). همچنین پیش‌فرض‌های نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون بارتلت تأیید شدند. برای کنترل خطای نوع اول در آزمون‌های همبستگی متعدد، از روش اصلاح بنفرونی استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

مقایسه صفات زایشی بین جمعیت‌ها

نتایج ANOVA نشان داد که بین جمعیت‌ها از نظر تمام صفات زایشی به جز تعداد گل در گل‌آذین اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). جزئیات کامل تحلیل واریانس شامل درجات آزادی (df)، مجموع مربعات (SS)، میانگین مربعات (MS)، آماره‌ی F، سطح معنی‌داری (p-value)، اندازه‌ی اثر (η^2) و ضریب تغییرات (CV) در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین طول گل در جمعیت وشنوه (۲۷/۹۱ میلی‌متر) و کمترین آن در انجیله (۲۶/۹۱ میلی‌متر) مشاهده شد. جمعیت دستجرد بیشترین وزن تر شاخه گل‌دهنده (۱۰/۱۵ گرم) و جمعیت گلستان کمترین (۸/۱۵ گرم) را داشتند. آزمون توکی نشان داد که جمعیت‌های دستجرد و زواریان از نظر بیشتر صفات زایشی با سایر جمعیت‌ها تفاوت معنی‌داری دارند ($p < 0.05$).

جدول ۱. مقایسه میانگین و انحراف معیار صفات زایشی در شش جمعیت (میانگین ± انحراف معیار)
(گروه‌بندی حروف بر اساس آزمون توکی در سطح ۰/۰۵)

صفات زایشی	انجیله	دستجرد	گلستان	کرمجگان	وشنوه	زواریان
طول گل (میلی‌متر)	^{b}۰/۷۹ ± ۲۶/۹۱	^{ab}۰/۹۶ ± ۲۷/۷۵	^{ab}۰/۵۱ ± ۲۷/۴۱	^{b}۰/۷۹ ± ۲۶/۹۱	^{a}۰/۷۹ ± ۲۷/۹۱	^{a}۰/۹۶ ± ۲۸/۷۵
تعداد گل	^{a}۰/۷۹ ± ۴/۹۱	^{a}۰/۸۳ ± ۴/۸۳	^{a}۰/۵۱ ± ۴/۴۱	^{a}۰/۷۹ ± ۴/۹۱	^{a}۰/۷۹ ± ۴/۹۱	^{a}۰/۸۳ ± ۴/۸۳
طول دمگل (میلی‌متر)	^{cd}۰/۴۳ ± ۲/۸۰	^{b}۰/۶۳ ± ۳/۶۴	^{c}۰/۱۹ ± ۲/۸۷	^{c}۰/۳۶ ± ۲/۶۸	^{d}۰/۳۶ ± ۲/۶۸	^{a}۰/۶۸ ± ۴/۰۳
طول کاسبرگ (میلی‌متر)	^{c}۰/۳۹ ± ۲/۷۶	^{ab}۰/۵۹ ± ۳/۴۷	^{c}۰/۱۹ ± ۲/۷۷	^{bc}۰/۴۳ ± ۲/۹۰	^{e}۰/۳۴ ± ۲/۸۰	^{a}۰/۵۵ ± ۳/۷۶
وزن تر شاخه (گرم)	^{d}۰/۸۷ ± ۷/۰۶	^{b}۱/۶۰ ± ۱۰/۱۵	^{c}۰/۳۹ ± ۸/۱۵	^{cd}۱/۰۷ ± ۷/۷۶	^{e}۰/۸۴ ± ۶/۶۱	^{a}۱/۷۲ ۱۱/۳۰ ±
وزن خشک شاخه (گرم)	^{c}۰/۴۳ ± ۲/۸۰	^{ab}۰/۶۳ ± ۳/۶۴	^{bc}۰/۱۹ ± ۲/۸۷	^{bc}۰/۵۱ ± ۳/۰۰	^{e}۰/۳۶ ± ۲/۶۸	^{a}۰/۶۸ ± ۴/۰۳
طول گل‌آذین (سانتی‌متر)	^{cd} ۰/۵۴ ± ۳/۲۱	^{b} ۰/۶۲ ± ۳/۸۹	^{c} ۰/۳۸ ± ۳/۴۵	^{cd} ۰/۴۷ ± ۳/۲۳	^{c} ۰/۴۱ ± ۳/۵۲	^{a} ۰/۵۵ ± ۴/۱۸

n = ۷۲ پلات (۱۲ پلات در هر جمعیت). حروف متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین جمعیت‌ها در سطح ۰/۰۵ بر اساس آزمون توکی است.

جدول ۲. نتایج آزمون ANOVA برای صفات زایشی (با درجات آزادی، SS، MS، F، p، اندازه اثر و CV)

صفات زایشی	منبع تغییر	df	SS	MS	F-value	p-value	η^2	CV (%)
طول گل	بین جمعیت‌ها	۵	۲۸/۹۴	۵/۷۹	۸/۶۵	***۰۶e-۲/۴	۰/۳۹	۱۲/۴
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۴۴/۱۷	۰/۶۷	—	—	—	
تعداد گل	بین جمعیت‌ها	۵	۲/۲۸	۰/۴۶	۰/۷۷	ns ۰/۵۷۴	۰/۰۵	۱۸/۳
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۳۹/۰۰	۰/۵۹	—	—	—	
طول دمگل	بین جمعیت‌ها	۵	۱۰/۰۲	۲/۰۰	۱۱/۴۶	***۰۸e-۵/۴۸	۰/۴۶	۱۴/۲
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۱۱/۵۵	۰/۱۸	—	—	—	
طول کاسبرگ	بین جمعیت‌ها	۵	۶/۲۶	۱/۲۵	۱۸/۸۴	***۱۱e-۱/۳۷	۰/۵۹	۹/۸
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۴/۳۹	۰/۰۷	—	—	—	
وزن تر شاخه	بین جمعیت‌ها	۵	۲۰۱/۸۸	۴۰/۳۸	۲۹/۰۵	***۱۵e-۱/۸۵	۰/۶۹	۱۵/۶
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۹۱/۷۳	۱/۳۹	—	—	—	
وزن خشک شاخه	بین جمعیت‌ها	۵	۱۴/۱۷	۲/۸۳	۱۳/۹۴	***۰۹e-۲/۶۸	۰/۵۱	۱۳/۴
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۱۳/۳۸	۰/۲۰	—	—	—	
طول گل‌آذین	بین جمعیت‌ها	۵	۴/۸۶	۰/۹۷	۶/۳۴	***۰۵e-۵/۸۲	۰/۳۲	۱۳/۸
	درون جمعیت‌ها (خطا)	۶۶	۱۰/۱۲	۰/۱۵	—	—	—	

*** معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، عدم معنی‌داری= ns . اندازه اثر= η^2 . ضریب تغییرات= CV .

رابطه صفات زایشی با متغیرهای محیطی

همبستگی پیرسون نشان داد که بارش سالانه همبستگی بسیار ضعیفی با طول گل ($r = -0.116, p > 0.05$) و تعداد گل ($r = 0.142, p > 0.05$) نشان داد که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. نیتروژن خاک با طول دمگل ($r = 0.210, p < 0.05$) و وزن تر شاخه ($r = 0.251, p < 0.05$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. pH خاک با طول کاسبرگ همبستگی مثبت ضعیفی نشان داد ($r = 0.148, p > 0.05$) که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. همبستگی پیرسون بین طول گل و تعداد گل مثبت و بسیار قوی بود ($r = 0.738, p < 0.001$) که نشان‌دهنده همبستگی مستقیم و مثبت بین این دو صفت است و الگوی Trade-off در داده‌های این مطالعه تأیید نمی‌شود.

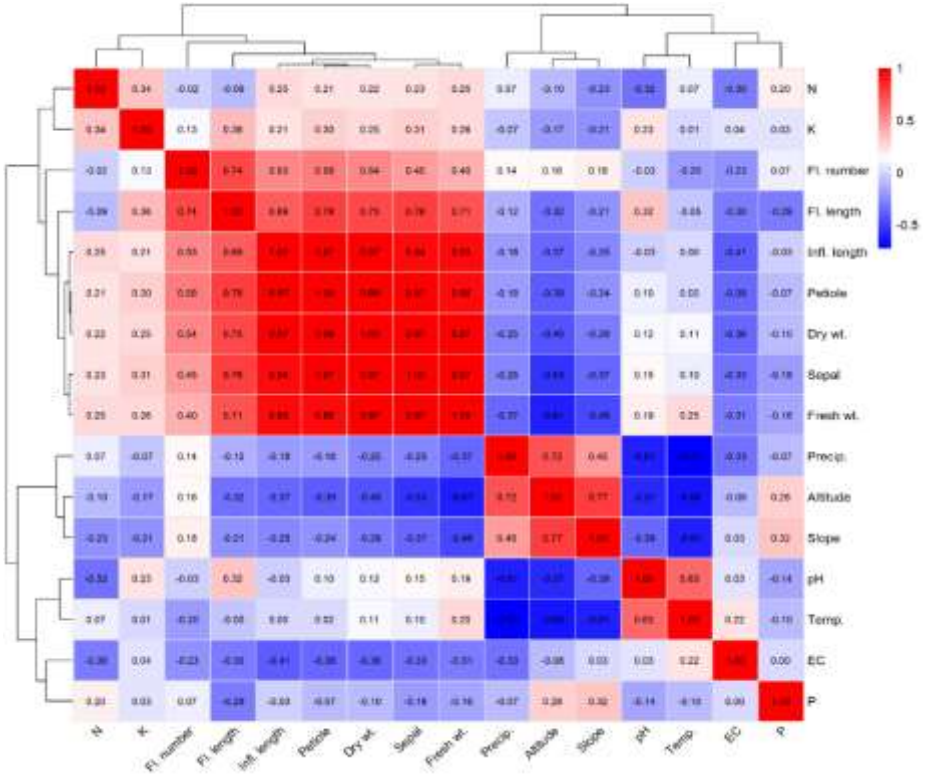
به منظور بررسی هم‌زمان اثر متغیرهای خاکی بر صفات زایشی، تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام (Stepwise Regression) انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. این تحلیل نشان داد که نیتروژن خاک و pH به‌عنوان مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های صفات زایشی عمل می‌کنند.

جدول ۳. نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام اثر متغیرهای خاکی بر صفات زایشی

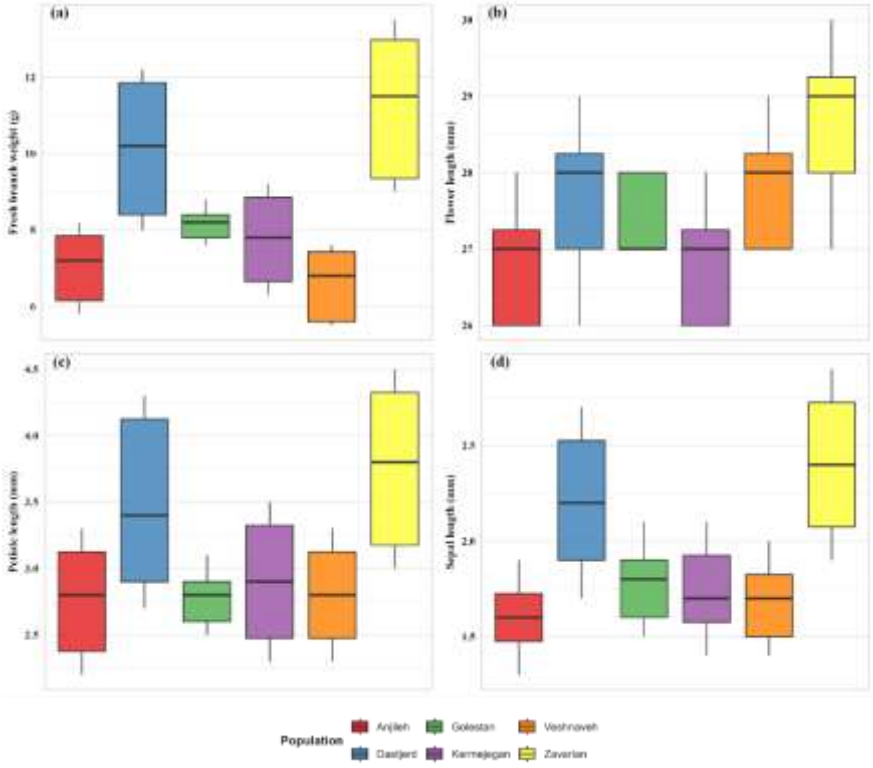
صفات زایشی (متغیر وابسته)	متغیرهای مستقل واردشده در مدل	R^2	F-value	p-value
طول گل	نیتروژن، فسفر، پتاسیم، **EC**	۰/۴۰۶۷	۱۱/۴۸	۰۷e-۳/۷۰
تعداد گل	**EC**	۰/۰۵۳۹	۳/۹۹	۰/۰۴۹
طول دمگل	پتاسیم، **EC**	۰/۲۴۵۱	۱۱/۲۰	۰۵e-۶/۱۱
طول کاسبرگ	فسفر، پتاسیم، **EC**	۰/۲۴۶۶	۷/۴۲۱	۰/۰۰۰۲۲۶
وزن تر شاخه	نیتروژن، فسفر، **pH**، **EC**	۰/۲۲۶۹	۴/۹۱۵	۰/۰۰۱۵۵
وزن خشک شاخه	پتاسیم، **EC**	۰/۱۹۷۴	۸/۴۸۷	۰/۰۰۰۵۰۶
طول گل‌آذین	پتاسیم، **EC**	۰/۲۲۲۳	۹/۸۶۱	۰/۰۰۰۱۷۱

متغیرهای خاکی شامل: نیتروژن (%) N، فسفر P، پتاسیم K، pH و هدایت الکتریکی EC.

نقشه حرارتی همبستگی (شکل ۲) نیز به‌خوبی این الگوها را نشان می‌دهد. همچنین نمودارهای جعبه‌ای (شکل ۳) تفاوت‌های معنی‌دار بین جمعیت‌ها را برای صفات کلیدی نشان می‌دهند.



شکل ۲. **نقشه حرارتی (Heatmap) همبستگی بین صفات زایشی و متغیرهای محیطی. رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده همبستگی مثبت و آبی نشان‌دهنده همبستگی منفی است. ستاره‌های (*)، (**) و (***) به‌ترتیب نشان‌دهنده سطوح معنی‌داری $p < 0.05$، $p < 0.01$ و $p < 0.001$ هستند. دندروگرام‌های بالا و چپ، خوشه‌بندی متغیرها را نشان می‌دهند.**



شکل ۳. **نمودارهای جعبه‌ای(Boxplot) مقایسه صفات زایشی کلیدی در شش جمعیت. (الف) وزن تر شاخه گل‌دهنده، (ب) طول گل، (ج) طول دمگل، (د) طول کاسبرگ. حروف متفاوت درون هر نمودار نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین جمعیت‌ها بر اساس آزمون توکی ($p < 0.05$) است.**

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

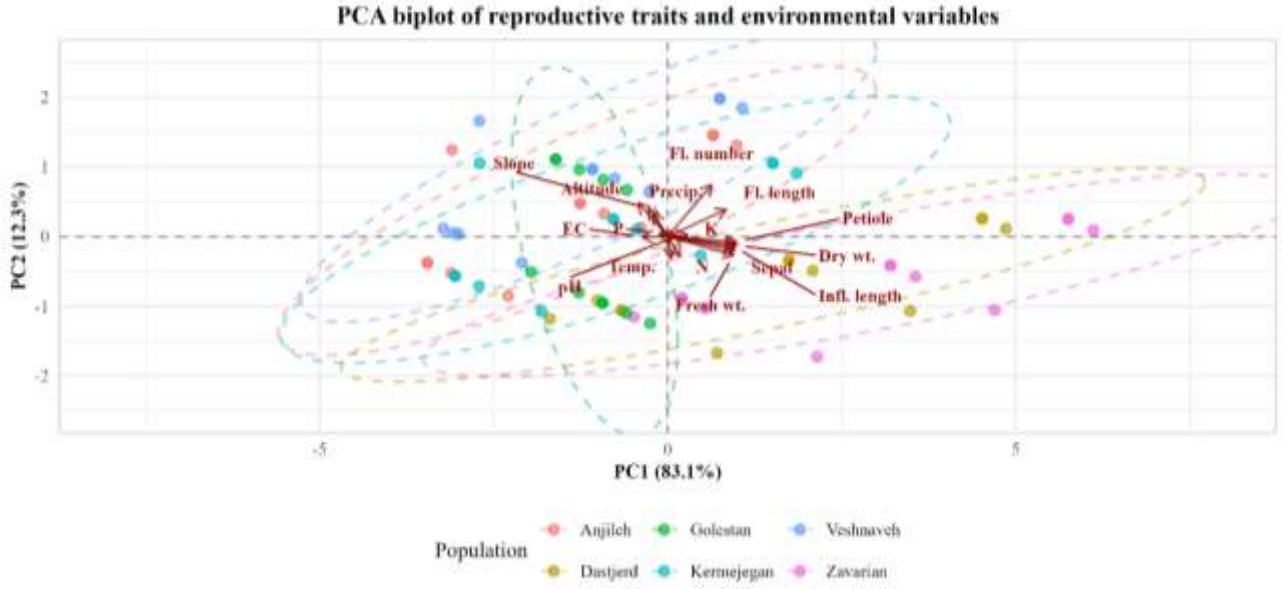
تحلیل PCA بر روی هفت صفت زایشی با استفاده از ماتریس همبستگی انجام شد. مقدار شاخص کفایت نمونه‌برداری (KMO) برابر با ۰/۷۸ (مناسب) و آزمون کرویت بارتلت معنی‌دار بود ($\chi^2 = 245.6, df = 36, p< 0.001$) که نشان‌دهنده کفایت داده‌ها برای PCA است. مقادیر ویژه مؤلفه‌های اول و دوم به‌ترتیب ۵/۸۲ و ۰/۸۶ بود که در مجموع ۹۵/۴۴ درصد از واریانس کل را تبیین می‌کنند (مؤلفه اول: ٪۸۳/۱۵، مؤلفه دوم: ٪۱۲/۲۹) (Jolliffe & Cadima, 2016). بارهای عاملی نشان داد که مؤلفه اول عمدتاً با وزن تر و خشک شاخه گل‌دهنده، طول دمگل و طول کاسبرگ همبستگی مثبت دارد. مؤلفه دوم با تعداد گل و طول گل همبستگی مثبت نشان داد (جدول ۴ و شکل ۴).

جدول ۴. بارهای عاملی (Factor Loadings) صفات زایشی بر روی دو مؤلفه اصلی

صفات زایشی	PC1	PC2
طول گل	۰/۸۴۰	۰/۳۸۸
تعداد گل	۰/۶۳۲	۰/۷۴۳
طول دمگل	۰/۹۸۹	-۰/۰۷۸
طول کاسبرگ	۰/۹۶۸	-۰/۲۰۰
وزن تر شاخه	۰/۹۴۸	-۰/۲۶۹
وزن خشک شاخه	۰/۹۸۶	-۰/۱۲۹
طول گل‌آذین	۰/۹۶۰	-۰/۱۴۷

مقادیر ویژه (Eigenvalues): **PC1 = 4.8**، **PC2 = 1.37**. درصد واریانس تبیین‌شده: **PC1 = 83.15%**، **PC2 = 12.29%**.

روش استخراج: تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی ماتریس همبستگی ۷ متغیره.



شکل ۴. **نقشه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی هفت صفت زایشی و هفت متغیر محیطی. PC1 و PC2 به ترتیب ٪۸۳/۱۵ و ٪۱۲/۲۹ از واریانس کل را تبیین می‌کنند. برچسب‌های مختصر: Fl. length (طول گل)، Fl. number (تعداد گل)، Petiole (طول دمگل)، Sepal (طول کاسبرگ)، Fresh wt. (وزن تر شاخه)، Dry wt. (وزن خشک شاخه)، Infl. length (طول گل‌آذین)، Altitude (ارتفاع)، Slope (شیب)، Temp. (دمای سالانه)، Precip. (بارش سالانه).**

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنوع صفات زایشی در جمعیت‌های A. scoparia در غرب استان قم عمدتاً تحت تأثیر متغیرهای خاکی (هدایت الکتریکی، پتاسیم و نیتروژن) قرار دارد و نقش بارش در این مقیاس محلی ناچیز است. این الگو مؤید غلبه عوامل ادافیکی بر اقلیمی

در تعیین صفات زایشی منطقه است. پویو و همکاران (Pueyo et al., 2010) با مدل‌سازی جوامع نیمه‌خشک نشان دادند که صفات زایشی تحت تأثیر مستقیم عوامل محلی مانند خاک قرار می‌گیرند. همچنین، یاری و همکاران (۱۴۰۳) در گونه (Prunus scoparia) در خراسان، اهمیت کلسیم، بافت خاک و شیب را بر پراکنش این گونه برجسته دانستند.

برخلاف برخی مطالعات پیشین که نقش بارش را برجسته دانسته‌اند (Guo et al., 2017)، همبستگی بارش با طول گل ($r = -0.116$) و تعداد گل ($r = 0.142$) در این پژوهش ضعیف و غیرمعنی‌دار بود ($p > 0.05$). این تفاوت ناشی از سه عامل است: محدودیت مقیاس مکانی، نقش تعدیل‌کننده خاک در جذب رطوبت و غلبه عوامل بافت و شوری خاک بر تأمین آب قابل‌استفاده گیاه (Halliwell et al., 2024; یاری و همکاران، ۱۴۰۳). این یافته هشدار می‌دهد که نادیده گرفتن عوامل ادافیکی محلی در مطالعات بوم‌شناسی عملکردی می‌تواند گمراه‌کننده باشد.

همبستگی مثبت نیتروژن با طول دمگل و وزن شاخه گل‌دهنده، نقش کلیدی آن را در کیفیت گل‌دهی تأیید می‌کند. نیتروژن با افزایش رشد رویشی و زایشی، تولید گل را افزایش می‌دهد (Marklein & Houlton, 2012; Luo et al., 2018). بورکل و ایروین (Burkle & Irwin, 2010) نشان دادند که اثر نیتروژن بر صفات زایشی عمدتاً فیزیولوژیک و مستقیم است و لزوماً از طریق تغییر رفتار گرده‌افشان‌ها نمی‌گذرد که با یافته‌های ما همسو است. همچنین، نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و انتقال مواد فتوسنتزی و نیز اثر مثبت سطوح متوسط شوری (EC) در تحریک سیستم هورمونی و جذب عناصر غذایی، بر اهمیت این متغیرها افزود (Yuan et al., 2019; Javidfar et al., 2017).

یکی از یافته‌های مهم، عدم مشاهده الگوی Trade-off بین طول گل و تعداد گل در سطح کل داده‌ها بود ($r = 0.738, p < 0.001$). این نشان می‌دهد که این الگو جهانی نیست و تحت تأثیر عواملی مانند اندازه فردی و تخصیص منابع قرار می‌گیرد (Siefert et al., 2015; Violle et al., 2007). وانگ و همکاران (Wang et al., 2024) نیز نشان دادند که اندازه فردی بر تعداد گل و تخصیص تولیدمثلی بر اندازه گل اثر مثبت دارد و این دو مکانیسم می‌توانند الگوی Trade-off را تعدیل کنند. در جمعیت‌های مورد مطالعه، دسترسی به عناصر غذایی (نیتروژن و پتاسیم) هر دو صفت را هم‌زمان تقویت کرده و الگوی مذکور را پنهان کرده است (Volis & Bohrer, 2013).

تنوع بالای صفات زایشی در جمعیت‌های دستجرد و زواریان، آن‌ها را به‌عنوان اولویت‌های حفاظتی معرفی می‌کند. این تنوع می‌تواند ناشی از ریزاقلیم‌های متنوع در این مناطق یا شرایط خاکی متفاوت باشد که توسط نتایج PCA نیز تأیید شد. این یافته با پژوهش‌های پیشین در ایران (Khadivi-Khub & Anjam, 2014; Ansari et al., 2019) و جهان (Munoz-Galvez et al., 2025; Benavides et al., 2019) هم‌خوان است و اهمیت حفاظت از این جمعیت‌ها را در مواجهه با تغییرات اقلیمی دوچندان می‌کند (کریمی، ۱۴۰۳). با وجود یافته‌های ارزشمند، محدودیت‌هایی چون اندازه‌گیری در یک فصل و عدم بررسی عواملی مانند شکار بذر و رقابت وجود دارد (Siefert et al., 2015; Violle et al., 2007). بنابراین، پژوهش‌های چندساله با در نظر گرفتن عوامل اکولوژیک تکمیلی برای درک جامع‌تر از پویایی جمعیت‌های این گونه ضروری است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تنوع صفات زایشی در جمعیت‌های A. scoparia در غرب استان قم عمدتاً تحت تأثیر متغیرهای خاکی (EC)، پتاسیم و نیتروژن قرار دارد و نقش بارش در این مقیاس محلی کمرنگ است. همچنین، الگوی Trade-off در این مطالعه تأیید نشد که نشان‌دهنده وابستگی آن به شرایط بوم‌شناختی و گونه مورد مطالعه است. جمعیت‌های دستجرد و زواریان با بیشترین تنوع صفات زایشی، به‌عنوان اولویت‌های حفاظتی معرفی می‌شوند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر ارتباط صفات زایشی با موفقیت بذردهی و جوانه‌زنی متمرکز شوند و مطالعات بلندمدت برای بررسی پایداری تنوع فنوتیپی در پاسخ به خشکسالی‌های متوالی و تغییر اقلیم انجام گیرد (Munoz-Galvez et al., 2025).

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای این پژوهش گزارش نکرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول (دانشجو دکتری) مسئول طراحی پژوهش، گردآوری و تحلیل داده‌ها و نگارش پیش‌نویس مقاله بوده و نویسندگان دوم تا پنجم (اساتید راهنما و مشاور) در طراحی پژوهش، نظارت، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشته‌اند.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان از هیچ نوع فناوری مبنی بر هوش مصنوعی در فرآیند نگارش استفاده نکرده‌اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولیدشده و/یا تحلیل‌شده در این مطالعه، در صورت درخواست معقول از نویسنده مسئول قابل دسترسی هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران برای تأمین امکانات این پژوهش تشکر می‌کنند. از اساتید راهنما و مشاوران محترم به خاطر راهنمایی‌های ارزشمند در طول انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود. از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست. نویسندگان از هرگونه جعل داده، تحریف، سرقت ادبی و سایر سوءرفتارهای علمی پرهیز نموده‌اند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

خاکپور بجستانی، مصطفی؛ فرزادمهر، جلیل؛ آذرخشی، مریم و یاری، رضا (۱۴۰۴). مقایسه برخی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در زیر آشکوب دو گونه گیاهی بادامشک و اشنان و بیرون از آشکوب در مراتع بجستان استان خراسان رضوی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲(۳)، ۲۰۵-۲۲۳.

خاتم‌ساز، محبوبه (۱۳۷۱). فلور ایران، شماره ۶: تیره گل سرخ (Rosaceae). مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

سالاریان، عارف؛ متاجی، اسداله و ایران‌منش، یعقوب (۱۳۸۷). بررسی نیاز رویشگاهی گونه بادامک (Amygdalus scoparia Spach.) در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: رویشگاه کره‌بس، استان چهارمحال و بختیاری). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶(۴)، ۵۲۸-۵۴۲.

ساغری، محمد؛ رستم‌پور، مسلم و محمدی، محمدعلی (۱۳۹۸). تأثیر برخی عوامل فیزیوگرافیک بر ویژگی‌های رویشی و زایشی درختچه بادام کوهی (Amygdalus scoparia) در زیست‌بوم‌های مرتعی خراسان جنوبی. حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۷(۱۵)، ۱۹۷-۲۱۶.

کریمی، ولی (۱۴۰۳). بررسی رفتار سازشی بادام کوهی (Prunus scoparia Schneider) در اقلیم مرطوب جنگل‌های هیرکانی. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۳۲(۱)، ۱۶-۲۸.

مظفریان، ولی‌الله (۱۳۸۳). درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات فرهنگ معاصر.

نام‌دوست، طیبه؛ متینی‌زاده، محمد؛ یاری، رضا؛ روانبخش، هومن و نوری، الهام (۱۴۰۴). تأثیر گونه‌های درختی بنه (Pistacia atlantica Desf.) و بادامشک (Amygdalus scoparia Spach.) بر ویژگی‌های خاک نواحی رویشی ایرانی-تورانی، خراسان رضوی. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۵(۴)، ۲۵-۳۳.

یاری، رضا؛ رستم‌پور، مسلم و میرمیران، سید محمد (۱۴۰۳). مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش درختچه بادام وحشی (Prunus scoparia) در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۳۲(۲)، ۱۳۲-۱۴۷.

REFERENCES

Alipour S, Walas Ł. (2023). The influence of climate and population density on Buxus hyrcana potential distribution and habitat connectivity. Journal of Plant Research, 136(4), 501–514. https://doi.org/10.1007/s10265-023-01457-5

Anderson MJ, Walsh DCI. (2013). PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions. Ecological Monographs, 83, 557–574. https://doi.org/10.1890/12-2010.1

Ansari A, Gharaghani A, Eshghi S. (2019). A comparative study of genetic diversity, heritability and inter-relationships of tree and nut attributes between Prunus scoparia and P. elaeagnifolia using multivariate statistical analysis. International Journal of Horticultural Science and Technology, 6(1), 137–150. https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.276425.282

Benavides R, Valladares F, Wirth C. (2019). The functional trait space of tree species is influenced by the species richness of the canopy. Oikos, 128, 1–14. https://doi.org/10.1111/oik.06348

Berdugo M, Delgado-Baquerizo M, Soliveres S, et al. (2020). Global ecosystem thresholds driven by aridity. Science, 367, 787–790. https://doi.org/10.1126/science.aay5958

Burkle LA, Irwin RE. (2010). Beyond biomass: measuring the effects of community-level nitrogen enrichment on floral traits, pollinator visitation and plant reproduction. Journal of Ecology, 98, 705-717. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01648.x

Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, et al. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany, 51, 335–380. https://doi.org/10.1071/BT02124

Cui G, Wang Y, Pugnaire FI, Zhang L. (2025). Non-linear responses of plants enhance their resistance to drought in drylands. The Innovation Geoscience, 3, 100136. https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2025.100136

Gross N, Maestre FT, Liancourt P, et al. (2024). Unforeseen plant phenotypic diversity in a dry and grazed world. Nature, 632, 808–814. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07731-3

Guo C, Ma L, Yuan S, Wang R. (2017). Morphological, physiological and anatomical traits of plant functional types along a large-scale aridity gradient in northeastern China. Scientific Reports, 7, 40900. https://doi.org/10.1038/srep40900

Halliwell B, O'Connor EA, Uller T, et al. (2024). Reproductive and ecological adaptations to climate underpin the evolution of sociality in lizards. bioRxiv (preprint). https://doi.org/10.1101/2024.05.01.592000

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Javidfar A, Rouhi-Moghaddam E, Ebrahimi M. (2017). Some ecological conditions of Amygdalus scoparia Spach in Nehbandan, eastern Iran. ECOPERSIA, 5(1), 1655–1667.

Jolliffe IT, Cadima J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 374, 20150202. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202

Karimi V. (2024). Investigating the adaptive behavior of the wild almond (Prunus scoparia Schneider) in the humid climate of the Hyrcanian forests, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 32(1), 16–28. (In Persian with English summary) https://doi.org/10.22092/ijfpr.2023.363550.2118

Khadivi-Khub A, Anjam K. (2014). Morphological characterization of Prunus scoparia using multivariate analysis. Plant Systematics and Evolution, 300(6), 1361–1372. https://doi.org/10.1007/s00606-013-0967-7

Khakpour Bajestani M, Farzad Mehr J, Azarakhshi M, Yari R. (2025). Comparison of some physical-chemical properties of soil under the canopy of two plant species, Amygdalus scoparia and Seidlitzia rosmarinus, and outside the canopy in Bajestan rangeland of Khorasan Razavi. Journal of Water and Soil Conservation, 32(3), 205–223. (In Persian with English summary)

Khatamsaz M. (1992). Flora of Iran, No. 6: Rose family (Rosaceae). Research Institute of Forests and Rangelands. (In Persian)

Klich MG. (2000). Leaf variation in Elaeagnus angustifolia related to environmental heterogeneity. Environmental and Experimental Botany, 44, 171–183. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00056-3

Knudsen D, Peterson GA, Pratt PF. (1982). Lithium, sodium, and potassium. In: Page AL, ed. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties (2nd ed.). ASA-SSSA, 225–246. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13

Luo WT, Zuo XA, Ma W, et al. (2018). Differential responses of canopy nutrients to experimental drought along a natural aridity gradient. Ecology, 99, 2230–2239. https://doi.org/10.1002/ecy.2444

Marklein AR, Houlton BZ. (2012). Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems. New Phytologist, 193, 696–704. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03967.x

Mozafarian, V. (2004). Trees and shrubs of Iran. Tehran: Farhang Moaser Publishers. (In Persian)

Munoz-Galvez FJ, Querejeta JI, Moreno-Gutierrez C, Ren W, de la Riva EG, Prieto I. (2025). Trait coordination and trade-offs constrain the diversity of water use strategies in Mediterranean woody plants. Nature Communications, 16, 4103. https://doi.org/10.1038/s41467-025-59348-3

Namdoost T, Matinizadeh M, Yari R, Ravanbakhsh H, Nouri E. (2026). The effect of Pistacia atlantica Desf and Amygdalus scoparia Spach tree species on soil properties in the Irano-Turanian vegetation zones, Razavi Khorasan. Management of Natural Ecosystems, 5(4), 25–33. (In Persian with English summary)

Noroozi J, Talebi A, Doostmohammadi M, Rumpf SB, Linder HP, Schneeweiss GM. (2018). Hotspots within a global biodiversity hotspot-areas of endemism are associated with high mountain ranges. Scientific Reports, 8(1), 10345. https://doi.org/10.1038/s41598-018-28504-9

Olsen SR, Sommers LE. (1982). Phosphorus. In: Page AL, ed. Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties (2nd ed.). ASA-SSSA, 403–430. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24

Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, et al. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany, 61, 167–234. https://doi.org/10.1071/BT12225

Pueyo Y, Kefi S, Díaz-Sierra R, Alados C, Rietkerk M. (2010). The role of reproductive plant traits and biotic interactions in the dynamics of semi-arid plant communities. Theoretical Population Biology, 78(4), 289-297. https://doi.org/10.1016/j.tpb.2010.09.001

R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Saghari M, Rostampour M, Mohammadi MA. (2019). The effect of some physiographic factors on vegetative and reproductive characteristics of wild almond shrub (Amygdalus scoparia) in rangeland ecosystems of South Khorasan. Journal of Plant Ecosystem Conservation, 7(15), 197–216. (In Persian with English summary)

Salarian A, Mataji A, Iranmanesh Y. (2009). Investigation on site demand of Almond (Amygdalus scoparia Spach.) in Zagros Forests (Case study: Karebassite of Chaharmahal and Bakhtiari province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(4), 528–542. (In Persian with English summary)

Siefert A, Violle C, Chalmandrier L, et al. (2015). A global meta-analysis of the relative extent of intraspecific trait variation in plant communities. Ecology Letters, 18, 1406–1419. https://doi.org/10.1111/ele.12508

Thomas GW. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL, ed. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods. ASA-SSSA, 475–490. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16

Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. (2007). Let the concept of trait be functional! Oikos, 116, 882–892. https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x

Volis S, Bohrer G. (2013). Joint evolution of seed traits along an aridity gradient: seed size and dormancy are not two substitutable evolutionary traits in temporally heterogeneous environment. New Phytologist, 197(2), 655-667. https://doi.org/10.1111/nph.12024

Wang M, Wang Z, Yang Y, et al. (2024). Influences of elevational gradient on flower size and number of Gentiana lawrencei var. farreri. Ecology and Evolution, 14, e11393. https://doi.org/10.1002/ece3.11393

Yari, R., Rostampour, M., & Mirmiran, S.M. (2024). The most important factors affecting the distribution of wild almond shrub (Prunus scoparia) in Razavi and South Khorasan provinces. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 32(2), 132–147. (In Persian)

Yuan F, Guo J, Shabala S, Wang B. (2019). Reproductive Physiology of Halophytes: Current Standing. Frontiers in Plant Science, 9, 1954. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01954