Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 3, 2026 p: 118-138 OPEN ACCESS

Research Paper

Investigating Genetic Diversity and Determining Traits Affecting Grain Yield in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Populations

Babak Karimi Tarki[1], Jalal Saba[2], Ehsan Mohsenifard[3], and Majid Pouryosef [3]

1- Ph.D Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, (Corresponding author: babakkarimi@znu.ac.ir)
2- Professors, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3- Associated Professors, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 05 January, 2026 Revised: 20 May, 2026 Accepted: 05 June, 2026

Extended Abstract

Background: Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), a valuable medicinal and spice plant from the Apiaceae family, contains numerous bioactive compounds and possesses significant pharmacological properties, including anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial, and antispasmodic characteristics. This perennial plant, capable of growing up to 2.5 meters depending on its genotype, is considered a low-input crop with high economic value due to its high resistance to environmental stresses and pests. As one of its centers of origin, Iran holds a significant share in its global production, and its genetic diversity, especially within local populations, plays a key role in breeding programs. Genetic diversity facilitates the selection and development of cultivars with resistance to biotic and abiotic stresses, suitability for mechanized harvesting, and higher yield. Therefore, this study aimed to evaluate the genetic diversity of different fennel populations and to identify traits influencing yield.

Methods: Fifteen native Iranian populations and three imported populations from Turkey were evaluated using a randomized complete block design (RCBD) with three replications over two consecutive years. Measured morphological, phenological, and yield-related traits were analyzed with analysis of variance (ANOVA) using a split-plot in time design. Because the year × population interaction was significant for most traits, mean comparisons and cluster analysis were subsequently conducted separately for each year within an RCBD framework. Cluster analysis (Ward's method), correlation analysis, stepwise regression, and path analysis were performed using combined two-year data.

Results: Based on two-year ANOVA (split-plot in time), the main effect of population was significant for all traits, indicating significant genetic diversity among populations. The year × population interaction was significant for most traits, demonstrating the differential response of genotypes to varying environmental conditions. In the separate ANOVA for each year, differences among populations were significant for all traits, except for the umbel number in the second year. Mean comparisons in the first year showed that the Konya, Mersin, and Ekdeniz populations produced the highest total yield, respectively, while Shirvan yielded the lowest. In the second year, the highest total seed yield belonged to the Isfahan and Ebne-Sina populations, while Mersin and Konya had the lowest total yield. First-year comparisons indicated that some foreign populations were superior in seed yield and thousand-seed weight, but native populations showed superiority in the second year. Specifically, the seed yield of superior native populations increased by up to 143% in the second year compared to the first. Cluster analysis in both years grouped the populations into three distinct clusters, largely consistent with their geographical distribution. In the first year, grouping was based on earliness and yield, while winter survival rate and essential oil content were the determining factors in the second year. This shift underscores the importance of multi-year evaluation for selecting stable genotypes. Pearson's correlation analysis revealed significant relationships among the traits. Seed yield showed significant positive correlations with yield per plant (r = 0.62), the number of umbels (r = 0.56), and survival rate (r = 0.69). Other notable correlations included a positive relationship between plant height and biological yield (r = 0.71) and a negative correlation between days to maturity and thousand-seed weight (r = -0.72). Stepwise regression identified

Copyright ©2026. Karimi Tarki et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

four traits—the number of umbels, thousand-seed weight, biomass per plant, and days to maturity—which together explained 60.4% of the variation in seed yield. Path analysis indicated that the number of umbels (β = 0.462), biomass per plant (β = 0.404), and thousand-seed weight (β = 0.269) had direct positive effects, while days to maturity (β = -0.280) had a direct negative effect on seed yield. A year-to-year comparison showed that phenological stages progressed faster, and vegetative growth and yield indices improved in the second year. Mean plant height increased significantly from 107.6 cm to 121.8 cm, and biological yield increased from 853.5 g/m² to 1240 g/m². However, the harvest index decreased markedly from 34.2% to 18.1%, indicating reduced efficiency in allocating photosynthetic assimilates to seeds in the second year.

Conclusion: The detected significant genetic diversity allows for the selection of superior genotypes for future breeding programs. The imported Turkish populations (Ekdeniz, Konya, Mersin), with lower survival rates (60.3%, 45.40%, and 47.63%, respectively), which exhibited higher thousand-seed weight, were very early maturing and showed suitability for mechanized harvesting due to thin stems, low height, and compact umbel arrangement. However, they lacked winter cold tolerance, and their yield per plant, total yield, and total biomass decreased substantially in the second year. In contrast, most populations with higher winter survival rates exhibited greater plant height, later maturity, thicker stems, and higher biological yield. Overall, in fennel, particularly in cold-resistant populations, the growth period was shorter in the second year, while yield per plant, biomass per plant, total yield, total biomass, and thousand-seed weight increased in this plant. Finally, the number of umbels, thousand-seed weight, and biomass per plant are the traits recommended as indirect selection criteria for improving seed yield.

Keywords: Analysis of Variance, Cluster Analysis, Path Analysis, Survival Capability, Seed Yield

How to Cite This Article: Karimi Tarki, B., Saba, J, Mohsenifard, E., & Pouryosef, M. (2026). Investigating Genetic Diversity and Determining Traits Affecting Grain Yield in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Populations. *J Crop Breed*, 18(3), 118-138. DOI: 10.66224/jcb.2026.1651

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی تنوع ژنتیکی و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در جمعیت‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

بابک کریمی ترکی[۱]، جلال صبا[۲]، احسان محسنی‌فرد [۳] و مجید پوریوسف[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: babakkarimi@znu.ac.ir)
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵
صفحه ۱۱۸ تا ۱۳۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: مقدمه و هدف: رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) به‌عنوان یک گیاه دارویی و ادویه‌ای ارزشمند از خانواده چتریان، با دارا بودن ترکیبات زیستی فعال متعدد، از خواص فارماکولوژیک قابل توجهی از جمله خصوصیات ضدالتهابی، آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی و ضد اسپاسم برخوردار است. این گیاه چندساله که بسته به ژنوتیپ تا ۲/۵ متر نیز رشد می‌کند، به‌دلیل مقاومت بالا در برابر تنش‌های محیطی و آفات، گیاهی کم‌توقع با ارزش اقتصادی بالا محسوب می‌شود. ایران به‌عنوان یکی از خاستگاه‌های این گیاه، سهم قابل توجهی در تولید جهانی آن دارد و تنوع ژنتیکی آن، به ویژه در جمعیت‌های محلی، نقش کلیدی در برنامه‌های به‌نژادی دارد. تنوع ژنتیکی امکان گزینش و ایجاد ارقام زراعی با مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی و همچنین برداشت مکانیزه و عملکرد بیشتر را فراهم می‌کند. لذا، این پژوهش با هدف ارزیابی تنوع ژنتیکی جمعیت‌های مختلف رازیانه و شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۱۵ جمعیت بومی ایران و سه جمعیت وارداتی رازیانه از کشور ترکیه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال متوالی مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و عملکردی اندازه‌گیری شدند و تجزیه واریانس در قالب طرح اسپلیت پلات در زمان انجام شد. به‌دلیل معنی‌دار شدن اثر متقابل سال × جمعیت برای اغلب صفات تجزیه واریانس، مقایسات میانگین و تجزیه کلاستر مجدداً برای هر سال جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شدند. تجزیه کلاستر (به‌روش وارد)، تجزیه همبستگی، رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت به‌صورت دوساله تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج تجزیه واریانس دو ساله در قالب طرح اسپلیت پلات در زمان، اثر اصلی جمعیت برای تمام صفات معنی‌دار شد که این امر وجود تنوع ژنتیکی بین جمعیت‌ها را نشان داد. اثر متقابل سال × جمعیت برای اکثر صفات معنی‌دار بود که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف است. در تجزیه واریانس جداگانه برای هر سال در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در هر دو سال اختلافات بین جمعیت‌ها برای کلیه صفات، به‌جز تعداد چتر در سال دوم، معنی‌دار شدند. در مقایسات میانگین سال نخست، عملکرد کل جمعیت‌های قونیه، مرسین و اکدنیز به‌ترتیب بالاترین مقدار بود و شیروان کمترین عملکرد کل را دارا بود. در سال دوم، بالاترین عملکرد کل دانه متعلق به اصفهان و ابن سینا بود و مرسین و قونیه کمترین عملکرد کل را دارا بودند. مقایسه میانگین داده‌ها در سال اول نشان داد که برخی از جمعیت‌های خارجی از نظر عملکرد دانه و وزن هزار دانه برتری داشتند، اما در سال دوم، برتری از آن جمعیت‌های بومی شد. به‌طور مشخص، عملکرد دانه در جمعیت‌های برتر بومی در سال دوم نسبت به سال اول تا ۱۴۳ درصد افزایش نشان داد. تجزیه کلاستر در هر دو سال، جمعیت‌ها را در سه گروه متمایز قرار داد که هم‌خوانی زیادی با پراکنش جغرافیایی آنها داشت. در سال اول، گروه‌بندی بر اساس زودرسی و عملکرد صورت گرفت، در حالی‌که در سال دوم، معیارهای بقای زمستانی و محتوای اسانس نقش تعیین‌کننده‌ای در گروه‌بندی داشتند. این تغییر الگو نشان‌دهنده اهمیت ارزیابی چندساله در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار است. تجزیه همبستگی پیرسون روابط معنی‌داری بین صفات مختلف را آشکار کرد. عملکرد دانه با عملکرد تک‌بوته ($r = 0/62$)، تعداد چتر ($r = 0/56$) و درصد بقا ($r = 0/69$) همبستگی مثبت معنی‌دار نشان داد. از دیگر روابط مهم، همبستگی مثبت بین ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک ($r = 0/71$)، همبستگی منفی بین روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه ($r = -0/72$) بودند. در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، چهار صفت تعداد چتر، وزن هزار دانه، بیوماس تک‌بوته و روز تا رسیدگی در مجموع ۶۰/۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین کردند. تجزیه علیت نشان داد که تعداد چتر ($\beta = 0/4662$)، بیوماس تک‌بوته ($\beta = 0/4044$) و وزن هزار دانه ($\beta = 0/2692$) اثر مستقیم مثبت و روز تا رسیدگی ($\beta = -0/2804$) اثر مستقیم منفی بر عملکرد دانه داشتند. بررسی تغییرات بین سال‌ها نشان داد که در سال دوم، مراحل فنولوژیک سریع‌تر سپری شدند و شاخص‌های رشد رویشی و عملکردی بهبود یافتند. میانگین ارتفاع گیاه از ۱۰۷/۶ به ۱۲۱/۸ سانتی‌متر و عملکرد بیولوژیک از ۸۵۳/۵ به ۱۲۴۰ گرم در متر مربع افزایش معنی‌دار داشت. با این وجود، شاخص برداشت کاهش چشمگیری را از ۳۴/۲ درصد به ۱۸/۱ درصد نشان داد که بیانگر کاهش کارایی تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه در سال دوم است.

نتیجه‌گیری: وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه، امکان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر جهت برنامه‌های به‌نژادی آینده را فراهم می‌کند. جمعیت‌های وارداتی از ترکیه با قدرت زنده‌مانی کمتر (اکدنیز ۶۰/۳ درصد، قونیه ۴۵/۴۰ درصد، و مرسین ۴۷/۶۳ درصد) دارای وزن هزار دانه بالاتر، بسیار زودرس و دارای قابلیت برداشت مکانیزه (به‌دلیل قطر نازک ساقه، ارتفاع کم و فاصله کم گل انتهایی و گل ابتدایی) بودند اما توانایی تحمل سرمای زمستان را نداشتند و عملکرد تک‌بوته، عملکرد کل و بیوماس کل آن‌ها در سال دوم کاهش چشمگیری داشتند. در مقابل، اکثر جمعیت‌های دارای قابلیت بقاء زمستانه بیشتر دارای صفات ارتفاع بوته، دیررسی، قطر ساقه، عملکرد بیولوژیک بالاتری بودند. به‌طور کلی، در گیاه رازیانه علی‌الخصوص در جمعیت‌های مقاوم به سرما، دوره رشدی در سال دوم کوتاه‌تر شده است و عملکرد تک‌بوته، بیوماس تک‌بوته، عملکرد کل، بیوماس کل و وزن هزار دانه آن‌ها افزایش‌یافته‌اند. نهایتاً، صفت تعداد چتر، وزن هزار دانه و بیوماس تک‌بوته به‌عنوان معیارهای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه علیت، تجزیه واریانس، قابلیت زنده‌مانی، عملکرد دانه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) از تیره چتریان (Apiaceae)، با فرمول کاریوتیپیک کروموزومی ۲n= ۲۲ به‌عنوان یکی از ارزشمندترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای در سطح جهان شناخته می‌شود که نقش برجسته‌ای در صنایع مختلف داروسازی، غذایی و آرایشی-بهداشتی ایفا می‌کند (Debnath *et al.,* 2023; Ozkan *et al.,* 2017). گیاه رازیانه عمدتاً برای عطر مطبوع، خواص غذایی فراوان و ویژگی‌های دارویی ارزشمندش شناخته می‌شود (Malhotra, 2012). در سال ۲۰۲۳، مجموع سطح زیر کشت گیاهان ادویه‌ای از قبیل انیسون، رازیانه، گشنیز و زیره در ایران، ۶۵۸۴ هکتار و مجموع تولید آن‌ها ۶۱۵۵۴ تن برآورد شد (Fao, 2018). ایران به‌عنوان یکی از خاستگاه‌های رازیانه، دارای جمعیت‌های محلی متنوع با ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی بسیار متنوع است. این گیاه، علفی چندساله و مقاوم از خانواده چتریان با گل‌های زرد و برگ‌های نخی شکل است. گیاه رازیانه می‌تواند تا ارتفاع ۲/۳ متری رشد کند (Bahmani *et al.,* 2024). این گیاه مقاومت خوبی نسبت به آفات و بیماری‌ها و تا حد زیادی تنش‌های محیطی مثل شوری، گرما و سرما دارد و به‌صورت خودرو در برخی مناطق رشد می‌نماید؛ لذا، به‌دلیل کم‌توقع بودن این گیاه کشت آن می‌تواند ارزش اقتصادی زیادی داشته باشد (Parmoon *et al.,* 2019; Rashed Mohassel *et al.,* 2009). رازیانه گیاهی به‌شدت دگرگشن است و در صورت خودگشنی اجباری وزن خشک گیاه، عملکرد دانه، محتوای اسانس و تعداد چترک تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Hosseini *et al.,* 2022). این گیاه از دیرباز تاکنون، هم در مصارف غذایی و هم دارویی، نقش داشته است و از اهمیت فرهنگی و تاریخی برخوردار بوده است. قدمت ارتباط انسان با این گیاه به ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد و متون سانسکریت بازمی‌گردد (Magon *et al.,* 2025). اهمیت اقتصادی این گیاه ناشی از وجود ترکیبات زیستی فعال ارزشمندی است که خواص درمانی متعددی را ارائه می‌دهند. مطالعات فارماکولوژیک نشان داده‌اند که این ترکیبات دارای خواص ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدان، ضد میکروب و ضد اسپاسم هستند (Yadav *et al.,* 2022). کیفیت و کمیت این متابولیت‌های ثانویه به‌طور مستقیم تحت تأثیر سطح تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها و شرایط محیطی قرار دارد (Magon *et al.,* 2025). از سوی دیگر، پدیده نگران‌کننده فرسایش ژنتیکی ناشی از تخریب رویشگاه‌های طبیعی و یکنواختی سیستم‌های کشت، ذخایر ژنتیکی این گونه باارزش را با تهدیدات جدی مواجه ساخته است. این وضعیت لزوم توجه فوری به حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع ژنتیکی رازیانه را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد (Nirmal Babu *et al.,* 2015). ارزیابی تنوع ژنتیکی به‌عنوان محوری‌ترین مرحله در برنامه‌های اصلاحی گیاهان دارویی شناخته می‌شود، چرا که شناسایی منابع ژنتیکی متنوع، پیش‌نیاز ضروری برای انتخاب والدین برتر و آغاز هرگونه راهبرد دورگ‌گیری یا توسعه واریته‌های جدید است (Salgotra & Chauhan, 2023). در سطح بین‌المللی، مطالعات متعدد وجود تنوع فنوتیپی قابل توجهی را در جمعیت‌های مختلف رازیانه تأیید کرده‌اند (Magon *et al.,* 2025). ارزیابی تنوع ژنتیکی نه‌تنها به‌عنوان بنیادی اساسی برای برنامه‌های به‌نژادی مدرن جهت بهبود صفات مطلوب نظیر عملکرد و محتوای اسانس، ایجاد تعامل موفق ژنوتیپ در محیط و بلکه به‌عنوان چالشی اساسی برای متخصصین اصلاح نباتات در راستای ایجاد تنوع جدید عمل می‌کند، بلکه گام نخست در راستای حفاظت از این سرمایه‌های ژنتیکی به‌شمار می‌رود (Smith *et al.,* 2015). ارزیابی بیومتریک تنوع ژنتیکی مبتنی بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک، باوجود سادگی و مقرون به‌صرفه بودن، ابزاری قدرتمند و معتبر برای اثبات تمایز، یکنواختی و پایداری ارقام جدید رازیانه مطابق با استانداردهای بین‌المللی است (Akbari *et al.,* 2025). ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مستلزم غلبه بر دو چالش اصلی، یعنی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثرات متقابل بین صفات، از طریق ارزیابی همزمان چندین صفت مورفولوژیکی و فنولوژیکی است و انتخاب ژنوتیپ برتر نیازمند رویکردی یکپارچه است که همزمان اثرات محیطی و روابط پیچیده بین صفات چندگانه را در نظر می‌گیرد (Bagheri *et al.,* 2024). در این راستا، به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره به‌عنوان رویکردی کارآمد، امکان تحلیل جامع این روابط پیچیده و غلبه بر چالش‌های مذکور را فراهم می‌آورد (Zali *et al.,* 2025). در یک مطالعه، سی و دو ژنوتیپ مختلف رازیانه و پنج ژنوتیپ محلی از ترکیه را برای تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی مورد استفاده قرار دادند. دامنه وسیعی از تغییرات در صفات اگرومورفولوژیک مانند ارتفاع گیاه (۱۲۹/۶۰-۳۹/۲۲ سانتی‌متر)، عملکرد هزار دانه (۷/۷۰-۱/۹۲ گرم) و عملکرد دانه (۸/۶۸-۰/۱۲ گرم) مشاهده شد (Yaldiz & Camlica, 2022). شجاعی‌فر و همکاران (Shojaiefar *et al.,* 2015) با مطالعه ۲۰ ژنوتیپ رازیانه، تنوع ژنتیکی قابل توجهی را در صفات مورفولوژیک و عملکردی شناسایی کردند. نتایج نشان دادند که عملکرد دانه با تعداد چتر و وزن هزار دانه همبستگی مثبت داشت. تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر صفات زراعی ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه مجزا قرار داد. این مطالعه پتانسیل بالای ژرم‌پلاسم رازیانه را برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی تأیید نمود. بر اساس مطالعه مقصودی کلاردشتی و همکاران (Maghsudi Kelardashti *et al.,* 2014)، ارزیابی ۱۵ جمعیت رازیانه ایرانی و خارجی نشان داد که تنوع ژنتیکی

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

معنی‌داری در صفات مورفولوژیک وجود داشت. عملکرد دانه همبستگی مثبتی با تعداد شاخه‌های فرعی نشان داد. تجزیه خوشه‌ای، اکسیشن‌ها را در چهار گروه مجزا قرار داد که عمدتاً مبتنی بر شرایط جغرافیایی و اقلیمی بود. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که برای دستیابی به ارقام جدید با صفات زراعی مطلوب، می‌توان ژنوتیپ‌های برتر از خوشه‌های مختلف را دورگ‌گیری نمود.

با وجود مطالعات مختلف بر روی تنوع ژنتیکی رازیانه، ارزیابی همزمان جمعیت‌های بومی و وارداتی در یک سیستم کشت چندساله و تحت شرایط محیطی یکسان، به‌ویژه با تأکید بر پایداری عملکرد و بقای زمستانی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف ارزیابی جامع تنوع ژنتیکی جمعیت‌های رازیانه بومی ایرانی و وارداتی از ترکیه و روابط بین صفات انجام شد تا اطلاعات جامعی از تنوع ژنتیکی صفات اگرومورفوژیک و فنولوژیک به‌صورت کمی به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در دو سال متوالی (۱۴۰۲ و ۱۴۰۳) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان اجرا شد. مواد گیاهی شامل ۱۵ جمعیت بومی از مناطق مختلف ایران و سه جمعیت از کشور ترکیه بودند (جدول ۱).

جدول ۱- محل‌های جمع‌آوری جمعیت‌های رازیانه

Table 1. Fennel population collection sites

شماره ID	محل جمع‌آوری Collecting site	شماره ID	محل جمع‌آوری Collecting site	شماره ID	محل جمع‌آوری جمعیت Collecting site
1	W. Azerbaijan, Urmia (آذربایجان‌غربی،ارومیه)	7	Turkey, Mersin (ترکیه،مرسین)	13	Kashan, Tootmaj (کاشان،تتماج)
2	Arak, Arak (اراک،اراک)	8	Khorasan, Mashhad (خراسان ،مشهد)	14	Kermanshah, Sahneh (کرمانشاه،صحنه)
3	Isfahan, Isfahan (اصفهان،اصفهان)	9	N. Khorasan, Shirvan (خراسان‌شمالی- شیروان)	15	Yazd, Yazd (یزد،یزد)
4	Isfahan, Najafabad (اصفهان،نجف‌آباد)	10	Zanjan, Abhar (زنجان، ابهر)	16	Hamedan, Ibn Sina (همدان،ابن سینا)
5	Turkey, Akdeniz (ترکیه،اکدنیز)	11	Zanjan, Zanjan (زنجان،زنجان)	17	Hamedan, Malayer (همدان،ملایر)
6	Turkey, Konya (ترکیه،قونیه)	12	Fars, Shiraz (فارس،شیراز)	18	Hamedan, Razan (همدان،رزن)

این آزمایش در قالب طرح اسپلیت پلات در زمان با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عملیات کاشت رازیانه با انجام شخم بهاره و آماده‌سازی زمین آغاز و با افزودن کود پایه بر اساس آزمون خاک مزرعه تحقیقاتی در خاک به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد) و ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل ادامه یافت. کشت بذر به‌صورت دستی در عمق ۴ سانتی‌متری سطح خاک در اواخر فروردین‌ماه صورت گرفت. فواصل کاشت ب‌صورت ۱۵ سانتی‌متر روی ردیف و ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها اجراء شدند و قبل از آغاز رقابت گیاهی (سه تا چهار برگ حقیقی) و توسعه ریشه، نسبت به تنک کردن مزرعه و ایجاد فواصل بوته ۳۰ سانتی‌متری بر روی ردیف اقدام گردید. کنترل علف‌ها با علف‌کش پندی متالین در مراحل اولیه رشد گیاهچه و وجین دستی مزرعه در پنجاه روز پس از کاشت بسیار موفق بود. صفات فنولوژیک (روز تا ۵۰٪ گلدهی و روز تا رسیدگی)، مورفولوژیک (ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های فرعی) و عملکردی (تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت) که در جدول ۲ آورده شده‌اند در طی بازدیدهای روزانه توسط ابزارهای اندازه‌گیری شامل خط‌کش، کولیس، ترازوی دقیق و باسکول با دقت اندازه‌گیری شدند و برای استحصال بذور با کیفیت جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با عملکرد از جمله عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و عملکرد و درصد اسانس بوته‌های برداشت شده پس از خشک شدن در سایه توسط دستگاه بوجاری آزمایشگاهی دقیق بوجاری و تمیز شد. نرخ بقای بوته‌های رازیانه در پایان سال دوم نسبت به جمعیت مستقر شده در پایان سال اول محاسبه شد. محاسبه درصد بقا از رابطه

$$\text{Survival percentage (\%)} = (n_1 \div n_2) \times 100$$

به‌دست آمد که در آن n_1 و n_2 به‌ترتیب تعداد بوته‌های زنده در پایان سال اول و دوم هستند. این محاسبه برای هر کرت جداگانه انجام شد و نتایج مورد تحلیل قرار گرفتند.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۷ و با به‌کارگیری روش‌های تجزیه واریانس، آزمون مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)، تجزیه کلاستر، تجزیه همبستگی پیرسون، رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت مورد تحلیل قرار گرفتند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۲- صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و اجزای عملکرد

Table 2. Phenological, morphological, and yield components

ردیف	صفت Traits	مخفف (abbreviation)	واحد اندازه‌گیری Measurement Unit
1	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی (Days to 50% flowering)	DTF	روز (Day)
2	روز تا ۵۰٪ بذردهی (Days to 50% seed formation)	DTS	روز (Day)
3	روز تا رسیدگی (Days to maturity)	DTM	روز (Day)
4	ارتفاع گیاه (Plant height)	PH	سانتی‌متر (cm)
5	ارتفاع اولین گل (Lower flower height)	LFH	سانتی‌متر (cm)
6	قطر ساقه (Stem diameter)	SD	سانتی‌متر (cm)
7	قطر چتر (Umbel diameter)	UD	سانتی‌متر (cm)
8	طول دمگل (Peduncle length)	PL	سانتی‌متر (cm)
9	تعداد شاخه فرعی (Number of lateral branch)	NLB	عدد (Number)
10	تعداد چتر در بوته (Number of umbels)	NU	عدد (Number)
11	تعداد چترک در چتر (Number of umbellate)	NUU	عدد (Number)
12	وزن هزاردانه (1000-seed weight)	TSW	گرم (g)
13	عملکرد دانه تک‌بوته (Single plant seed yield)	SPSY	گرم در بوته ($g\ plant^{-1}$)
14	بیوماس تک‌بوته (Single plant Biomass)	SPB	گرم در بوته ($g\ plant^{-1}$)
15	عملکرد دانه در متر مربع (Seed yield)	SY	گرم در مترمربع ($g\ m^{-2}$)
16	عملکرد بیولوژیک در متر مربع (Biological yield)	BYM	گرم در متر مربع ($g\ m^{-2}$)
17	شاخص برداشت (Harvest index)	HI	درصد (%)
18	درصد بقاء (Survival percentage)	SR	درصد (%)
19	درصد اسانس (Essential oil percentage)	EOP	درصد (%)
20	عملکرد اسانس (Essential oil yield)	EOY	گرم در متر مربع($g\ m^{-2}$)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس طرح اسپلیت پلات در زمان (جدول ۳) نشان دادند که دو سال رشدی رازیانه از نظر عملکرد و سایر صفات مورد ارزیابی اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. در جمعیت‌های رازیانه مورد بررسی در دومین سال استقرار نسبت به سال نخست، مراحل فنولوژیک (از تاریخ گل‌دهی تا تاریخ رسیدگی) بسیار سریع‌تر رخ دادند و شاخص‌های رشد رویشی و صفات موثر بر عملکرد از جمله تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه افزایش داشتند. در عین حال، بعضی صفات نیز مانند قطر چتر، وزن هزاردانه و شاخص برداشت در سال دوم نسبت به سال اول کاهش داشته‌اند که این موضوع می‌تواند در نتیجه کوچک‌شدن ساختارهای زایشی و کاهش کارایی تولید و تخصیص ماده خشک به دانه در سال دوم باشد که این مسأله در گیاهان دوساله یک اتفاق طبیعی است و بیشتر در اثر تنش‌های محیطی از جمله سرمای زمستانه یا خشکی رخ می‌دهد (Parmoon *et al.,* 2019). با این وجود، به کشاورزان توصیه می‌شود که جمعیت‌های دارای قدرت بقاء مناسب را برای سال دوم نگه دارند و با برداشت آن عایدی بیشتری به دست آورند.

اثر اصلی جمعیت برای اغلب صفات در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بالا بین جمعیت‌ها است. اثر متقابل سال × جمعیت نیز برای اکثر صفات معنی‌دار بود که نشان می‌دهد جمعیت‌ها در دو سال رشدی این گیاه با هم تفاوت داشتند. رازیانه یک گیاه چندساله است. سال اول دوره استقرار گیاه است، در حالی‌که در سال دوم، گیاه وارد فاز تولید کامل می‌شود و عواملی مانند سازوکار بقای زمستانی به یک فاکتور تعیین‌کننده و متمایزکننده ژنوتیپ‌ها تبدیل می‌شوند. بنا بر این، ارزیابی یک‌ساله می‌تواند منجر به قضاوت نادرست در مورد پتانسیل واقعی ژنوتیپ‌ها گردد. در تحقیق مشابه لال و همکاران (Lal *et al.,* 2023)، هشت رقم رازیانه در یک آزمایش مزرعه‌ای از نظر پایداری عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس تحت سیستم تولید ارگانیک در شش سال متوالی از ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند. میانگین مربعات ناشی از محیط و رقم × محیط برای تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود که نشان‌دهنده وجود اثر متقابل رقم × محیط بود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف رازیانه در دو سال

Table 3. Results of ANOVA for various traits of fennel plants over 2 years

منبع تغییرات S.O.V	Df درجه آزادی	DTF	DTS	DM	PH	LFH	SD	UD	PL	NLB
بلوک (Block)	2	10.2	30.4	82.6	223.6	91.24	0.003	1.79	0.58	10.50
جمعیت (Population)	17	632.5**	770.8**	1430.9**	7706.5**	3200.2**	0.284**	6.8**	12.22**	20.20**
خطای a (Error a)	34	7.1	33.8	29.2	112.35	85.4	0.019	1.06	2.17	4.15
سال (Year)	1	5298**	8905.5**	9437.6**	8348.55**	148.94	0.226**	164.51**	329.90**	1345.19**
بلوک × سال (Block*year)	2	5.3	66.5	3.3	2.85	34.84	0.014	0.761	0.69	0.41
جمعیت × سال (Population*year)	17	35.8**	103.7**	116.8**	280.25**	187.84	0.021**	5.791**	11.07**	13.77**
خطای b (Error b)	34	10.7	35.9	38.2	93.4	135.1	0.011	1.63	1.44	4.81
ضریب تغییرات CV		5.35	5.32	4.19	8.06	15.05	9.90	13.26	11.50	29.77

ادامه جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف رازیانه در دو سال

Table 3 (Continued). Results of ANOVA for various traits of fennel plants over 2 years

منبع تغییرات S.O.V	Df درجه آزادی	NU	NUU	TSW	SPSY	SPB	SYM	BYM	HI
بلوک (Block)	2	518.7	10.66	0.087	252.7	1651.7	289.6	19221.4	535537.8
جمعیت (Population)	17	133.25	36.17**	25.248**	550.17	14001.6**	154.9**	25478.34**	2346232.4**
خطای a (Error a)	34	201.79	4.79	0.592	249.6	5636.4	71	7167.08	253495.5
سال (Year)	1	12973.34**	115.08**	3.913**	3880.5**	124694.8**	244.1**	48767.4*	51249930.9**
بلوک × سال (Block*year)	2	165.58	7.24	1.708*	545.3	5859.7	10.8	7818.3	76537.6
جمعیت × سال (Population*year)	17	416.11*	19.33**	1.418**	441.9	4507.6	35.2**	30961.5**	1059780.2**
خطای b (Error b)	34	213.1	2.6	0.477	310.7	2826.1	7.1	6904.8	190294.8
ضریب تغییرات CV		9.54	9.44	55.80	40.50	32.80	28.90	45.10	38.60

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی:DTF، روز تا ۵۰٪ بذر دهی: DTS، روز تا رسیدگی: DTM، ارتفاع گیاه: PH، ارتفاع اولین گل: LFH، قطر ساقه: SD، قطر چتر: UD، طول دمگل: PL، تعداد شاخه فرعی: NLB، تعداد چتر در بوته: NU، تعداد چترک در چتر: NUU، وزن هزاردانه: TSW، عملکرد دانه تک‌بوته: SPSY، بیوماس تک‌بوته: SPB، عملکرد دانه در متر مربع: SY، عملکرد بیولوژیک در متر مربع: BYM، شاخص برداشت: HI.

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter::UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branch: NLB, Number of umbels: NU, Number of umbellate: NUU, 1000 Seed weight: TSW, Single plant seed yield: SPSY, Single plant Biomass: SPB, Seed yield: SY, Biological yield: BYM, Harvest index: HI

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

در تجزیه واریانس جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال نخست (جدول ۴)، اختلاف بین جمعیت‌ها از لحاظ کلیه صفات (در سطح احتمال ۰/۰۱) معنی‌دار شد و در سال دوم (جدول ۵) نیز، به‌جز تعداد چتر، بقیه صفات (در سطح احتمال ۰/۰۱) اختلاف جمعیت‌ها معنی‌دار بودند که این یافته گویای وجود پتانسیل ژنتیکی غنی در ژرم‌پلاسم مورد مطالعه برای گزینش و بهبود صفات است. در مطالعه‌ای، تنوع ژنتیکی بین ۷۸ ژنوتیپ رازیانه را برای ۱۴ صفت (از جمله عملکرد دانه، اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی) بررسی نمودند و تفاوت معنی‌دار آماری را بین ژنوتیپ‌ها مشاهده کردند (Meena *et al.*, 2013).

مقایسات میانگین صفات

بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات فنولوژیکی با استفاده از آزمون LSD در جمعیت‌های رازیانه در سال اول (جدول ۶)، مشخص شد که جمعیت شیروان با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی برابر ۱۱۲ روز به‌عنوان دیرگل‌ترین و جمعیت مرسین با ۷۵ روز به‌عنوان زودگل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شدند. از نظر روز تا ۵۰ درصد بذردهی، جمعیت شیروان (۱۳۶/۶۷ روز) بیشترین و جمعیت اکدنیز (۸۹/۶۷ روز) کمترین مدت زمان را تا بذردهی نشان دادند. در مورد روز تا رسیدگی، جمعیت شیروان (۱۶۹/۶۷ روز) و شیراز (۱۶۴/۶۷ روز) به‌عنوان دیررس‌ترین و جمعیت قونیه (۱۲۳/۳۳ روز) و مرسین (۱۲۴ روز) به‌عنوان زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. در زمینه صفات مورفولوژیک، جمعیت نجف‌آباد با میانگین ارتفاع ۱۶۰/۲۷ سانتی‌متر و قطر ساقه ۱/۴۳۱سانتی‌متر، برترین وضعیت را از نظر توسعه رویشی دارا بود، در حالی‌که جمعیت اکدنیز با ارتفاع ۶۶/۸ سانتی‌متر و قطر ساقه ۰/۷۹۹ سانتی‌متر کمترین مقادیر را به خود اختصاص داد. از نظر ارتفاع اولین گل، جمعیت شیروان (۱۲۰/۲۷ سانتی‌متر) و نجف‌آباد (۱۰۸/۲۹ سانتی‌متر) بیشترین و جمعیت اکدنیز (۴۴/۹۳سانتی‌متر) و قونیه (۴۴/۱۳ سانتی‌متر) کمترین ارتفاع را نشان دادند.در مورد اجزای عملکرد، جمعیت قونیه با بیشترین عملکرد دانه (۵۸/۱۸ گرم در تک‌بوته) و جمعیت‌های اکدنیز، قونیه و مرسین با بیشترین وزن هزاردانه (به‌ترتیب ۱۰/۶۲، ۱۰/۳۵ و ۱۰/۵۲ گرم) برجسته بودند. از نظر عملکرد دانه در متر مربع، جمعیت قونیه (۳۸۵/۸۵ گرم بر متر مربع) و مرسین (۳۳۸/۷۷ گرم بر متر مربع) بالاترین مقادیر را داشتند. شاخص برداشت نیز به عنوان معیاری از کارایی تخصیص ماده خشک، در جمعیت‌های مرسین با ۵۵/۸۵ درصد و اکدنیز با ۵۲/۷ درصد به حداکثر مقدار خود رسید، در حالی‌که جمعیت شیروان (۶/۴ درصد) و تتماج (۱۰/۱۹ درصد) کمترین مقادیر شاخص برداشت را نشان دادند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در سال اول رشدی رازیانه

Table 4. ANOVA results for the evaluated traits in the first growth year of fennel plants

منبع تغییرات (S.O.V)	Df	DTF	DTS	DM	PH	LFH	SD	UD	PL	NLB
Replication (تکرار)	2	2.463	101.352	60.519	125.835	24.228	0.012	1.0410	1.347	1.331 *
Population (جمعیت)	17	378.336**	687.57**	997.404**	2900.482**	1624.715**	0.124 **	2.668	5.677	1.690*
(MSe) خطای آزمایشی	34	2.992	51.322	45.871	100.079	166.81	0.01	1.981	3.366	0.806
CV (%) ضریب تغییرات		2.02	6.96	4.8	9.33	8.92	14.84	17.17	12.9	23.19

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی:DTF ، روز تا ۵۰٪ بذر دهی:DTS ، روز تا رسیدگی:DTM ، ارتفاع گیاه:PH ، ارتفاع اولین گل:LFH ، قطر ساقه:SD ، قطر چتر:UD ، طول دم گل:PL ، تعداد شاخه فرعی:NLB

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter::UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branch: NLB

ادامه جدول ۴- ادامه جدول تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در سال اول رشدی رازیانه

Table 4 (Continued). ANOVA results for evaluated traits in the first growth year of fennel plants

منبع تغییرات (S.O.V)	Df	NU	NUU	TSW	SPSY	SPB	SYM	BYM	HI
Replication (تکرار)	2	292.945 *	6.938	1.267	53.043	17.243	22067.03*	373088.9 **	203.418
Population (جمعیت)	17	134.212 *	14.091**	10.312 **	511.596 **	3121.503 **	20748.83**	221973.9 **	781.78**
(MSe) خطای آزمایشی	34	68.464	3.141	0.485	61.119	620.375	5624.123	41845.339	153.765
CV (%) ضریب تغییرات		31.7	11.04	10.25	29.85	25.37	33.6	25.97	36.74

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

تعداد چتر در بوته:NU ، تعداد چترک در چتر:NUU ، وزن هزاردانه:TSW ، عملکرد دانه تک‌بوته:SPSY ، بیوماس تک‌بوته:SPB ، عملکرد دانه در متر مربع:SY ، عملکرد بیولوژیک در متر مربع:BYM ، شاخص برداشت:HI

Number of umbels: NU, Number of umbellate: NUU, 1000 Seed weight: TSW, Single plant seed yield: SPSY, Single plant Biomass: SPB, Seed yield: SY, Biological yield: BYM, Harvest index: HI

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در سال دوم رشدی رازیانه

Table 5. ANOVA results for the evaluated traits in the second growth year of fennel plants

منبع تغییرات (S.O.V)	Df	DTF	DTS	DM	PH	LFH	SD	UD	PL	NLB	NU
Replication تکرار	2	2.39	28.57**	68.68**	130.206	184.254*	0.005	0.669	0.172 ns	3.203 ns	301.39 ns
Population جمعیت	17	279.9**	211.656**	591.747**	5203.08**	1722.90**	0.178**	9.849**	17.599**	28.122**	385.33 ns
(MSe) خطای آزمایشی	34	8.663	5.08	6.43	110.8	51.1	0.02	0.5	0.2	0.01	362
CV (%) ضریب تغییرات		4.14	1.86	1.58	8.41	9.23	13.02	8.49	5.12	16.28	39.66

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی DTF، روز تا ۵۰٪ بذر دهی: DTS، روز تا رسیدگی: DTM، ارتفاع گیاه: PH، ارتفاع اولین گل: LFH، قطر ساقه: SD، قطر چتر: UD، طول دم گل: PL، تعداد شاخه فرعی: NLB ، تعداد چتر در بوته: NU

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter::UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branch: NLB, Number of umbels: NU

ادامه جدول ۵- ادامه جدول تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در سال دوم رشدی رازیانه

Table 5 (Continued). ANOVA results for the evaluated traits in the second growth year of fennel plants

منبع تغییرات (S.O.V)	Df	NUU	TSW	SPSY	SPB	SYM	BYM	HI	SP	EOP	EOY
Replication تکرار	2	10.35	0.487	261.9	3009.7	14327.5	299026	60.72	456.66	0.003	214.855
Population جمعیت	17	42.24**	17.245**	459.9**	17003.9	31370.10**	3138827.1**	144**	1001.7**	0.292**	832.041**
(MSe) خطای آزمایشی	34	4.18	0.599	74.824	156	9014	421836	32.9	276.1	0.005	229.5
CV (%) ضریب تغییرات		11.25	7.19	25.05	39.26	34.78	29.34	37.44	18.6	4.68	39.02

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

تعداد چترک در چتر: NUU، وزن هزاردانه: TSW، عملکرد دانه تک‌بوته: SPSY، بیوماس تک‌بوته: SPB، عملکرد دانه در متر مربع: SY، عملکرد بیولوژیک در متر مربع: BYM، شاخص برداشت: HI، درصد بقاء: SR، درصد اسانس: EOP، عملکرد اسانس: EOY

Number of umbellate: NUU, 1000 Seed weight: TSW, Single plant seed yield: SPSY, Single plant Biomass: SPB, Seed yield: SY, Biological yield: BYM, Harvest index: HI, Survive percentage: SP, Essential oil Percentage: EOP, Essential oil yield: EOY

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۶- میانگین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در سال اول رشدی

Table 6. Mean values of traits in the studied fennel populations during the first growth year

NLB	PL	UD	SD	LFH	PH	DM	DTS	DTF	Population (جمعیت)
4.53	12.43	10.37	1.03	61.27	90.27	131	97.67	78.67	Urmia (ارومیه)
4.8	14.08	10.29	1.47	92.73	138.27	149.67	100.67	91	Arak (اراک)
4.53	14.23	11.49	1.34	105.2	156.07	163	130.67	100.33	Isfahan (اصفهان)
2.93	13.47	12.97	1.43	108.29	160.27	158	120	96.33	Najafabad (نجف آباد)
3.67	9.54	11.23	0.8	44.93	66.8	124.33	89.67	76	Akdeniz (آکدنیز)
4.4	11.99	11.12	0.97	44.13	72.07	123.33	92.33	76	Konya (قونیه)
4.07	11.41	11.21	0.91	59.8	66.87	124	90.67	75	Mersin (مرسین)
3.47	11.82	10.3	1.01	61.8	91.73	131.67	94.67	78.33	Mashhad (مشهد)
2.6	11.84	12.64	1.36	120.27	151.87	169.67	136.67	112	Shirvan (شیروان)
4.33	12.25	10.48	1.06	65.27	95.53	127	93	79.33	Abhar (ابهر)
4.4	13.55	10.32	1.06	61.53	93.33	126.33	94.33	76.67	Zanjan (زنجان)
3.53	12.65	10.73	1.03	86.73	109	164.67	109	97.67	Shiraz (شیراز)
2.53	11.78	9.86	1.37	109.4	145.33	168	131	97	Tetmaj (تتماج)
3.47	9.56	9.69	0.98	58.07	89.6	128.67	90.67	76	Kermanshah (کرمانشاه)
2.87	13.11	12.23	1.21	68.13	90.13	128	97	81.33	Ebnesina (ابن سینا)
4.6	14.51	10.9	0.95	64.73	94.87	128.33	90.67	76.33	Razan (رزن)
4.4	12.19	10.85	0.98	58.53	89.93	126.67	94	76.67	Malayer (ملایر)
4.53	12.13	9.75	1.28	83.11	127.58	164	103.67	90	Yazd (یزد)
1.49	3.04	2.33	0.169	21.43	16.60	11.24	11.88	11.8	LSD(0.05)

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی:DTF ، روز تا ۵۰٪ بذر دهی:DTS ، روز تا رسیدگی:DTM ، ارتفاع گیاه:PH ، ارتفاع اولین گل:LFH ، قطر ساقه:SD ، قطر چتر:UD ، طول دم گل:PL ، تعداد شاخه فرعی:NLB

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter::UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branch: NLB

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

ادامه جدول ۶- میانگین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در سال اول رشدی

Table 6 (Continued). Mean values of traits in the studied fennel populations during the first growth year

HI (%)	BYM	SYM	SPB	SPSY	TSW	NUU	NU	Population (جمعیت)
50.08	613.64	292.35	82.19	45.67	6.34	13.67	16.33	Urmia (ارومیه)
20.52	817.78	165.32	177.33	22.69	5.15	15.72	18.38	Arak (اراک)
13.51	1383.3	187.05	138.33	13.23	4.75	15.87	18.53	Isfahan (اصفهان)
14.48	1330.5	191.79	126.33	17.74	5.43	16.07	18.73	Najafabad (نجف آباد)
52.7	548.33	286.54	70	41.26	10.62	18.74	11.27	Akdeniz (آکدنیز)
51.69	742.22	385.85	110.33	58.18	10.35	17.54	12.47	Konya (قونیه)
55.85	621.67	338.77	78.33	41.6	10.52	16.40	13.6	Mersin (مرسین)
32.63	757.78	247.75	47.67	17.31	6.07	13.87	16.13	Mashhad (مشهد)
6.4	980.56	254.68	117.67	9.68	5.16	15.14	14.87	Shirvan (شیروان)
38.63	636.67	249.49	66.67	26.36	6.11	13.14	16.87	Abhar (ابهر)
34.23	556.11	191.94	80.67	28.17	6.83	13.34	16.67	Zanjan (زنجان)
16.82	863.89	139.95	106.33	16.3	5.14	15.07	14.93	Shiraz (شیراز)
10.19	1224.3	258.48	134.33	10.96	5.6	16.12	18.78	Tetmaj (تتماج)
43.64	740	330.55	72	26.99	7.22	13.94	16.07	Kermanshah(کرمانشاه)
36.55	568.89	207.48	72.67	23.49	7.03	15.74	18.4	Ebnesina (ابن سینا)
39.6	626.11	250.12	69	27.4	6.54	14.60	15.4	Razan (رزن)
48.88	486.67	220.01	65.67	27.34	6.9	15.27	14.73	Malayer (ملایر)
41.09	676.44	142.19	104.33	16.98	6.43	13.34	16.67	Yazd (یزد)
	339	146	49.96	12.99	1.159	4.18	13.33	LSD (0.05)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

در سال دوم (جدول ۷)، از منظر صفات فنولوژیکی، جمعیت‌های نجف‌آباد و تتماج با ۸۴/۶۷ روز تا گل‌دهی و جمعیت اصفهان با۸۲/۶۷ روز تا گل‌دهی به‌عنوان دیرگل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند، در حالی‌که جمعیت ملایر با ۵۷ روز تا گل‌دهی و مرسین با ۵۹ روز تا گل‌دهی، زودگل‌ترین ژنوتیپ‌ها محسوب گردیدند. در زمینه صفات رویشی، جمعیت نجف‌آباد با میانگین ارتفاع ۱۸۷/۵۰سانتی‌متر و جمعیت اصفهان با ارتفاع ۱۸۳/۰۷ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را دارا بودند، در حالی‌که مرسین (۵۸/۳۳ سانتی‌متر)، قونیه (۵۹/۴۷ سانتی‌متر) و آکدنیز (۶۳ سانتی‌متر) کمترین ارتفاع را نشان دادند. از نظر قطر ساقه، جمعیت اراک با ۱/۵۶ سانتی‌متر و جمعیت مرسین با ۰/۶۳ سانتی‌متر، به ترتیب قطورترین و نازک‌ترین ساقه‌ها را تشکیل دادند.در بخش عملکرد، جمعیت‌های اکدنیز، قونیه و مرسین به ترتیب با وزن هزاردانه ۱۱/۵۸، ۱۲/۵۷ و ۱۱/۱۰ گرم، برترین ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت بودند. از نظر عملکرد دانه در واحد سطح، جمعیت تتماج با ۴۱۱۶/۶۷ گرم در متر مربع و جمعیت اصفهان با ۳۹۲۵ گرم در متر مربع، بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. اگرچه عملکرد بیولوژیک در سال دوم افزایش چشمگیری یافت، اما شاخص برداشت کاهش محسوسی را تجربه نمود. جمعیت‌های تتماج و شیراز به ترتیب با شاخص برداشت۵/۸۸ و ۶/۳۵ درصد، پایین‌ترین کارایی تبدیل ماده خشک به دانه را نشان دادند، در حالی‌که مرسین و آکدنیز بالاترین شاخص برداشت را با مقدار۲۵/۹۵ و ۲۷/۵۴ درصد در بین تمامی جمعیت‌ها به خود اختصاص دادند. از نظر صفات مرتبط با اسانس، جمعیت تتماج با درصد اسانس ۲/۳۸ درصد و عملکرد اسانس ۶۳/۶۷ کیلوگرم در هکتار و جمعیت اصفهان با عملکرد اسانس ۶۳/۴۹ کیلوگرم در هکتار، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر کمیت اسانس شناخته شدند.

مقایسه جامع داده‌های دو سال متوالی مطالعه نشان‌دهنده وجود تغییرات معنی‌دار در بیان صفات مورد ارزیابی است. از منظر فنولوژی، سال دوم با تسریع در مرحله گلدهی همراه بود به‌طوری که میانگین روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی از ۸۳/۲ روز در سال اول به ۷۱/۵ روز در سال دوم کاهش یافت. از جنبه رشد رویشی، سال دوم با بهبود قابل توجهی در شاخص‌های رشد همراه بود به‌گونه‌ای که میانگین ارتفاع گیاه از۱۰۷/۶ به ۱۲۱/۸ سانتی‌متر و عملکرد بیولوژیک از ۸۵۳/۵ به ۱۲۴۰/۷ گرم در متر مربع افزایش یافت. عملکرد دانه نیز از ۲۶/۱۸ به ۳۸/۶۴ گرم در هر بوته ارتقاء یافت، اما شاخص برداشت کاهش چشمگیری از ۳۳/۷۵ درصد به ۱۵/۳۳ درصد را تجربه کرد که نشان‌دهنده کارایی کمتر تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش اقتصادی محصول در سال دوم است. در بین ژنوتیپ‌ها، جمعیت‌های آکدنیز، قونیه و مرسین در هر دو سال وزن هزار دانه بالایی را حفظ کردند که بیانگر پایداری ژنتیکی این صفت است، در حالی که جمعیت‌های ارومیه، مشهد و ابهر از پایداری عملکرد عمومی برخوردار بودند. جمعیت تتماج با ۱۴۳ درصد افزایش عملکرد، بیشترین واکنش مثبت را به شرایط سال دوم نشان داد. این یافته‌ها به‌وضوح بر وجود برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط تأکید دارند و نشان می‌دهند که شرایط محیطی سال دوم اگرچه موجب تحریک رشد رویشی و افزایش عملکرد بیولوژیک شد، اما به‌دلیل کاهش کارایی انتقال مواد به دانه، نتوانست به بهبود متناسب عملکرد اقتصادی منجر شود. این پدیده می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله رشد رویشی بیش از حد گیاه، واکنش به سرمای زمستان، تنش‌های دمایی در دوره پرشدن دانه و یا عدم تعادل در جذب عناصر غذایی باشد که نیازمند بررسی‌های تکمیلی است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۷- میانگین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در سال دوم رشدی

Table 7. Mean values of traits in the studied fennel populations during the second growth year

NU	NLB	PL	UD	SD	LFH	PH	DM	DTS	DTF	جمعیت Population
48.4	8.8	15.7	9.24	0.98	68.9	120.3	156.33	119.67	67	Urmia (ارومیه)
56.6	7.2	9.98	5.2	1.56	91.67	161.8	159	116	77.33	Arak (اراک)
67.2	11.1	7.7	8.6	1.23	109.33	183.0	177.33	131	82.67	Isfahan (اصفهان)
45.27	9.33	7.04	8.83	1.23	114	187.5	180	129	84.67	Najafabad (نجف آباد)
43.93	16	7.98	8.33	0.67	38.6	63	147.67	113	60.67	Akdeniz (اکدنیز)
32.33	17.33	9.66	8.27	0.66	38.67	59.47	148.33	113.67	63	Konya (قونیه)
33.93	18.2	9.29	8.59	0.63	41.17	58.33	148.67	114.67	59	Mersin (مرسین)
57.47	10.93	8.24	10.2	0.97	78.67	118.6	156	116.33	74	Mashhad (مشهد)
49.93	9.88	4.01	6.17	1.26	95	175.2	174.67	139.33	83.33	Shirvan (شیروان)
63.07	9.8	8.89	8.3	1	71.8	108	154.33	114.67	67	Abhar (ابهر)
40.53	9.4	8.85	10.17	0.94	66.8	108.2	153.33	116.33	65	Zanjan (زنجان)
54.93	10.33	4.99	6.23	1.16	96.67	146.7	178.67	134.67	80.33	Shiraz (شیراز)
62.13	11.2	9.07	6.7	1.32	117	180.3	178.67	131	84.67	Tetmaj (تتماج)
32.4	9.6	9.15	10.17	0.88	70.2	106.2	155	115.67	63	Kermanshah (کرمانشاه)
61.8	11.67	11.17	10.4	0.94	75.33	109.5	129	117.33	65.33	Ebnesina (ابن سینا)
54.53	7.8	9.02	9.23	0.94	66.97	108.4	158	118	64	Razan (رزن)
41.53	9.67	9.75	10.47	1.05	72	110.9	151.33	113.67	57	Malayer (ملایر)
35.8	10.53	8.32	4.7	1.14	92.53	147.6	172.33	127.33	79	Yazd (یزد)
31.60	2.99	0.75	1.13	0.22	11.96	17.46	4.20	3.74	4.88	LSD(0.05)

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی:DTF ، روز تا ۵۰٪ بذر دهی:DTS ، روز تا رسیدگی:DTM ، ارتفاع گیاه:PH ، ارتفاع اولین گل:LFH ، قطر ساقه:SD ، قطر چتر:UD ، طول دم گل:PL ، تعداد شاخه فرعی:NLB ، تعداد چتر در بوته:NU

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter: UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branch: NLB, Number of umbels: NU

ادامه جدول ۷- میانگین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در سال اول رشدی

Table 7 (Continued). Mean values of traits in the studied fennel populations during the first growth year)

EOY	EOP	SR	HI	BYM	SYM	SPB	SPSY	TSW	NUU	جمعیت Population
53.6	1.83	82.54	13.74	2476	349.5	239.3	62.03	6.76	17.67	Urmia (ارومیه)
52.56	1.62	100	15.44	2074	316.79	346	32.01	5.28	17	Arak (اراک)
63.49	1.52	100	10.78	3925	422.09	233.6	34.57	5.12	17	Isfahan (اصفهان)
36.54	1.56	96.49	7.39	3185	231.69	153	25.22	5.76	16	Najafabad (نجف آباد)
17.18	1.76	60.38	27.54	839.1	200.77	80.42	18.33	11.85	13	Akdeniz (اکدنیز)
12.12	1.71	45.4	21.47	790.4	116.65	103.5	46.17	12.57	13	Konya (قونیه)
12.55	1.2	47.63	25.95	570.2	105.46	78.67	13.22	11.1	15	Mersin (مرسین)
55.28	1.49	95.96	12.53	3015	361.48	198.3	46.85	7.17	20	Mashhad (مشهد)
38.08	1.48	100	7.28	3478	254.68	148	29.61	5.74	13	Shirvan (شیروان)
54.94	1.4	100	21.11	2064	409.79	141.0	47.08	7.99	19.67	Abhar (ابهر)
39.72	1.36	92.67	17.91	1547	275.98	122.6	40.79	7.33	22.67	Zanjan (زنجان)
23.76	1.77	100	6.35	2228	136.85	124.6	26.31	4.64	17.67	Shiraz (شیراز)
63.67	2.38	96.97	5.88	4117	258.48	318	26.69	5.62	19	Tetmaj (تتماج)
42.36	1.31	95.96	17.22	2026	335.83	94.77	28.9	7.94	24	Kermanshah (کرمانشاه)
43.98	1.09	100	21.69	1984	420.93	186.3	49.76	5.88	22	Ebnesina (ابن سینا)
32.65	1.16	97.78	20.09	1452	271.5	147.9	32.83	7.07	18	Razan (رزن)
36.46	1.18	96.08	17.09	1761	298.53	143.2	37.8	7.09	26	Malayer (ملایر)
19.77	1.35	100	6.51	2304	145.68	174.3	23.32	4.43	16	Yazd (یزد)
25.13	0.117	27.57	9.52	1077.58	157.53	146.47	37.68	1.284	3.39	LSD (0.05)

تعداد چترک در چتر:NUU ، وزن هزاردانه:TSW ، عملکرد دانه تک‌بوته:SPSY ، بیوماس تک‌بوته:SPB ، عملکرد دانه در متر مربع:SY ، عملکرد بیولوژیک در متر مربع:BYM ، شاخص برداشت:HI ، درصد بقاء:SR ، درصد اسانس:EOP ، عملکرد اسانس:EOY

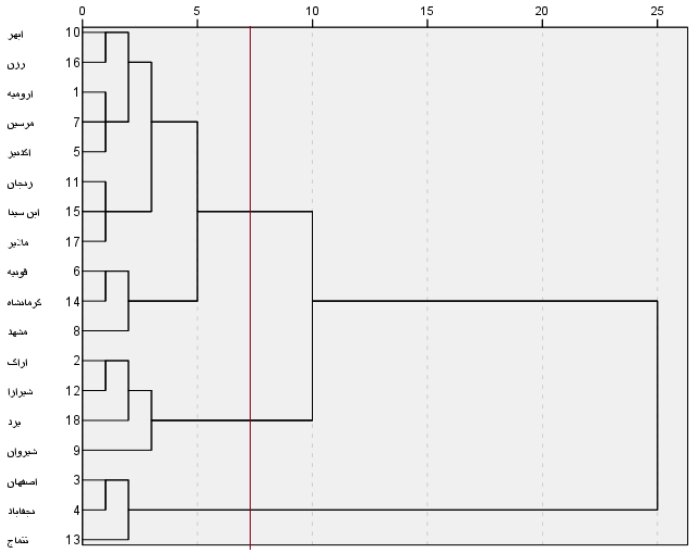
, Number of umbellate: NUU, 1000 Seed weight: TSW, Single plant seed yield: SPSY, Single plant Biomass: SPB, Seed yield: SY, Biological yield: BYM, Harvest index: HI, Survival percentage: SP, Essential oil Percentage: EOP, Essential oil yield: EOY

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

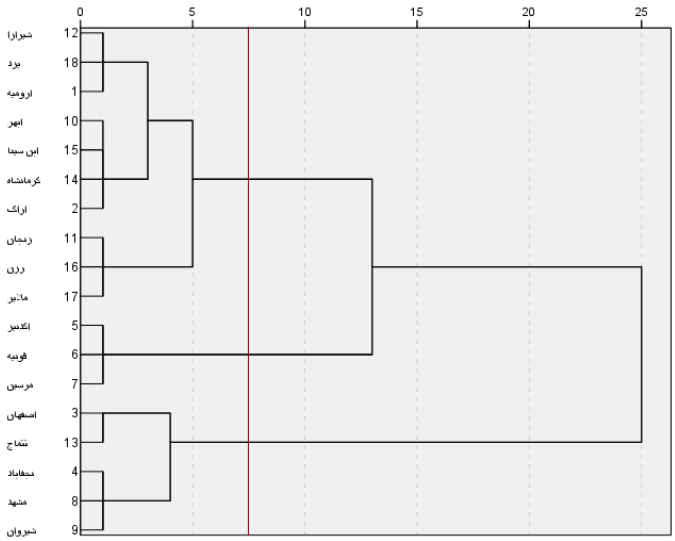
تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش Ward برای گروه‌بندی ۱۸ ژنوتیپ رازیانه بر اساس صفات مورفولوژیک و زراعی مرتبط با عملکرد در دو سال متوالی انجام شد. انتخاب محل برش بر اساس بیشترین میزان آماره F اختلاف بین گروه‌ها نسبت به درون گروه‌ها (به‌صورت چندمتغیره) برای محل برش‌های مختلف انجام شد. این تحلیل الگوهای گروه‌بندی متمایزی را نشان داد. در تجزیه خوشه‌ای سال اول (شکل ۱)، دندروگرام حاصل از روش ward تشکیل سه خوشه اصلی را نشان داد. خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های ارومیه، مرسین، اکدنیز، ابهر، رزن، زنجان، ابن سینا و ملایر بود که با فاصله نزدیک از قونیه، کرمانشاه و مشهد به‌عنوان گروه زودرس و پرمحصول شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌ها دارای گل‌دهی زودرس (۷۸-۷۵ روز)، ارتفاع بوته کمتر، عملکرد دانه بالاتر (۵۸-۴۱ گرم در پنج بوته) و شاخص برداشت بالا (۵۶-۴۸ درصد) بودند. خوشه دوم شامل ژنوتیپ‌های اراک، شیراز، یزد و شیروان بود که به‌عنوان گروه متوسطرس با دوره گل‌دهی متوسط و عملکرد متوسط شناخته شدند. خوشه سوم متشکل از ژنوتیپ‌های اصفهان، نجف‌آباد، تتماج بود که به‌عنوان گروه دیررس و کم‌محصول شناسایی شدند و دارای گل‌دهی دیررس (۱۱۲-۹۰ روز)، گیاهان بلندتر و عملکرد دانه کمتر (۱۷-۹ گرم در پنج بوته) بودند.



شکل ۱- تجزیه کلاستر جمعیت‌های رازیانه در سال رشدی اول به روش وارد

Figure 1. Cluster analysis of fennel populations in the first growth year using Ward's method



شکل ۲- تجزیه کلاستر جمعیت‌های رازیانه در سال رشدی دوم به روش وارد

Figure 2. Cluster analysis of fennel populations in the second growth year using Ward's method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

در تجزیه خوشه‌ای سال دوم (شکل ۲)، الگوی خوشه‌بندی بازآرایی‌هایی را نشان داد، درحالی‌که روابط اصلی حفظ شد. خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های ارومیه، مشهد، کرمانشاه، اراک، شیراز و یزد بود که با فاصله اندک از گروه ژنوتیپ‌های زنجان، رزن، ملایر به‌عنوان گروه با اسانس بالا شناسایی شدند و دارای محتوای اسانس بالا (۲/۴-۱/۷ درصد) و درصد بقای خوب بودند. خوشه دوم شامل، اکدنیز، قونیه و مرسین بود که به‌عنوان گروه با ارتفاع کم، وزن هزاردانه بالا، و شاخص برداشت بالا شناخته شدند. خوشه سوم متشکل از ژنوتیپ‌های اصفهان، نجف‌آباد، مشهد، شیروان و تتماج بود که به‌عنوان گروه دیررس با چرخه رشد طولانی و رسیدگی دیررس و عملکرد پایدار شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های اکدنیز، مرسین و اکدنیز و همچنین اصفهان، نجف‌آباد، شیروان، شیراز و تتماج در هر دو سال با هم هم‌گروه شدند که نشان‌دهنده روابط ژنتیکی نزدیک آنها است. عمده ژنوتیپ‌ها با ارتفاع متوسط، وزن هزاردانه متوسط و طول دوره رشد متوسط مثل ابهر و ابن‌سینا مجاورت ثابتی در الگوهای خوشه‌بندی نشان دادند. در نتیجه‌گیری نهایی، تجزیه خوشه‌ای با روش وارد با موفقیت ژنوتیپ‌های رازیانه را بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیک و زراعی به گروه‌های معنی‌دار طبقه‌بندی کرد. الگوهای مشاهده‌شده نشان داد که ژنوتیپ‌ها با منشأ جغرافیایی نزدیک یا اقلیم مشابه از لحاظ صفات اگرومورفولوژیک و فنولوژیک رفتارهای یکسانی دارند و این امر بینش ارزشمندی را برای انتخاب لاین‌های والدینی در برنامه‌های دورگ‌گیری، توسعه راهبردهای به‌نژادی برای محیط‌های خاص و حفاظت از منابع ژنتیکی بر اساس گروه‌بندی‌های متمایز فراهم می‌کند. تغییرات بین سالی اهمیت ارزیابی چند محیطی را برای تصمیم‌گیری‌های انتخاب پایدار برجسته می‌کنند، درحالی‌که ارتباطات ثابت نشان‌دهنده روابط ژنتیکی قابل‌اعتمادی هستند که می‌توان در برنامه‌های بهبود رازیانه از آن بهره برد. این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب تجزیه خوشه‌ای با تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها می‌تواند ابزار قدرتمندی برای درک ساختار ژنتیکی جمعیت‌های گیاهی و هدایت برنامه‌های به‌نژادی باشد (Yaldiz & Camlica, 2022). در نتایج مشابه، تجزیه‌ای خوشه‌ای دو ژنوتیپ مختلف رازیانه و پنج ژنوتیپ محلی از ترکیه نشان داد که ژنوتیپ‌های با سرمنشأ جغرافیایی مختلف در گروه‌های مختلف قرار گرفتند، اما ژنوتیپ‌های محلی جمع‌آوری‌شده از ترکیه در یک گروه و زیرگروه یکسان قرار گرفتند. این نتیجه با یافته‌های دیگر نیز مطابقت دارد و می‌تواند در انتخاب والدین مکمل برای دورگ‌گیری مفید باشد (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014).

ضرایب همبستگی

ماتریس ضرایب همبستگی (جدول ۸) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک (۰/۷۱) =r و همبستگی منفی معنی‌دار بین روز تا رسیدگی و شاخص برداشت (۰/۷۶-) =r را نشان داد. این نتیجه حاکی از آن است که ژنوتیپ‌های زودرس تمایل به شاخص برداشت بالاتر دارند که با یافته‌های دیگر همسو است (Shojaiefar *et al*., 2015). همبستگی مثبت معنی‌داری بین عملکرد گیاه و عملکرد تک‌بوته (۰/۶۲) =r، تعداد چتر (۰/۵۶) =r، و درصد بقا (۰/۶۹) =r وجود داشت. درصد بقای جمعیت‌ها در فصل زمستان با ارتفاع گیاه (۰/۶۱)=r، قطر ساقه (۰/۵۸)=r، ارتفاع اولین گل (۰/۶۳)=r، عملکرد دانه (۰/۶۹)=r، عملکرد بیولوژیک (۰/۵۵)=r و شاخص برداشت (۰/۵۴)=r همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و با تعداد شاخه فرعی (۰/۶۲-)=r و وزن هزار دانه (۰/۶۲-)=r همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. گیاهان رازیانه دارای طول دوره رشد بیشتر به‌طور مشخص بذور ریزتری دارند و ضریب همبستگی روز تا رسیدگی و وزن هزار دانه منفی (۰/۷۲-)=r است. در یک پژوهش، تنوع ژنتیکی ۱۱ اکوتیپ رازیانه در شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید. عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد چترک در چتر، تعداد چتر در بوته و تعداد شاخه‌های فرعی بود (Riahinia & Danesh Gilevaei, 2023).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

جدول ۸- جدول ماتریس ضرایب همبستگی صفات

Table 8. The correlation matrix of traits

Traits (صفات)	DTF	DTS	DTM	PH	LFH	SD	UD	PL	NLB	NU
DTF										
DTS	0.23*									
DTM	0.33**	0.86**								
PH	0.54**	0.69**	0.76**							
LFH	0.65**	0.62**	0.68**	0.91**						
SD	0.67**	0.34**	0.43**	0.77**	0.76**					
UD	0.23*	-0.40**	-0.46**	-0.26**	-0.07	0				
PL	0.26**	-0.44**	-0.42**	-0.21*	-0.1	0.15	0.57**			
NLB	-0.59**	0.41**	0.31**	-0.04	-0.19	-0.42**	-0.51**	-0.50**		
NU	-0.36**	0.27**	0.23*	0.24*	0.04	0.05	-0.41**	-0.37**	0.49**	
NUU	-0.18	0.20*	0.16	0.25**	0.25**	0.22*	0.13	0.03	0.09	0.20*
TSW	-0.56**	-0.37**	-0.43**	-0.72**	-0.72**	-0.69**	0.1	-0.09	0.36**	0.02
SPSY	-0.39**	-0.03	-0.08	-0.05	-0.20*	-0.09	-0.13	-0.09	0.31**	0.68**
SPB	0.11	0.48**	0.51**	0.63**	0.46**	0.54**	-0.36**	-0.16	0.26**	0.67**
SYM	-0.36**	-0.13	-0.23*	0.01	-0.1	-0.03	0.05	-0.03	0.07	0.56**
BYM	-0.01	0.66**	0.64**	0.71**	0.54**	0.34**	-0.46**	-0.46**	0.41**	0.64**
HI	-0.18	-0.76**	-0.76**	-0.67**	-0.58**	-0.33**	0.36**	0.29**	-0.37**	-0.24*
SR	0.36**	0.34*	0.32*	0.61**	0.63**	0.58**	-0.06	-0.14	-0.52**	0.40**
EOP	0.46**	0.34*	0.48**	0.32*	0.31*	0.27	-0.40**	0.01	0.07	0.15
EOY	0.30*	0.13	0.14	0.51**	0.49**	0.56**	0.17	0.22	-0.40**	0.64**

ا* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

روز تا ۵۰٪ گل‌دهی:DTF ، روز تا ۵۰٪ بذر دهی: DTS، روز تا رسیدگی: DTM، ارتفاع گیاه: PH، ارتفاع اولین گل: LFH، قطر ساقه: SD، قطر چتر: UD، طول دم گل: PL، تعداد شاخه فرعی: NLB، تعداد چتر در بوته: NU.

Days to 50% flowering: DTF, Days to 50% flowering: DTS, Days to maturity: DTM, Plant height: PH, Lower flower height: LFH, Stem diameter: SD, Umbel diameter::UD, Peduncle length::PL, Number of lateral branches: NLB, Number of umbels: NU

ادامه جدول ۸- جدول ماتریس تجزیه همبستگی صفات

Table 8 (Continued). The correlation matrix analysis of traits

Traits (صفات)	TSW	NUU	SPSY	SPB	SYM	BYM	HI	SR	EOP	EOY
TSW		-0.30**								
SPSY	0.27**	0.09								
SPB	-0.32**	0.26**	0.49**							
SYM	0.08	0.26**	0.62**	0.34**						
BYM	-0.35**	0.29**	0.35**	0.73**	0.41**					
HI	0.42**	-0.32**	0.07	-0.49**	0.16	-0.64**				
SR	-0.68**	0.39**	0.26	0.36**	0.55**	0.54**	-0.51**			
EOP	-0.04	-0.32*	0.26	0.30*	-0.15	0.37**	-0.34*	-0.11		
EOY	-0.43**	0.39**	0.56**	0.70**	0.88**	0.72**	-0.21	0.52**	0.19	

ا* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

تعداد چترک در چتر: NUU، وزن هزاردانه: TSW، عملکرد دانه تک‌بوته: SPSY، بیوماس تک‌بوته: SPB، عملکرد دانه در متر مربع: SY، عملکرد بیولوژیک در متر مربع: BYM، شاخص برداشت: HI، درصد بقاء: SR، درصد اسانس: EOP، عملکرد اسانس: EOY.

, Number of umbellate: NUU, 1000-Seed weight: TSW, Single plant seed yield: SPSY, Single plant Biomass: SPB, Seed yield: SY, Biological yield: BYM, Harvest index: HI, Survival percentage: SP, Essential oil Percentage: EOP, Essential oil yield: EOY

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

رگرسیون گام‌به‌گام

به‌منظور تعیین سهم صفات مؤثر بر عملکرد دانه تک‌بوته، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بر اساس مدل رگرسیون خطی چندمتغیره انجام شد.

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_4 + \varepsilon_i$$

که در آن، Y عملکرد دانه تک‌بوته، X_1 تعداد چتر، X_2 وزن هزار دانه، X_3 بیوماس تک‌بوته، X_4 تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، β_0 عرض از مبدأ، β_1 تا β_4 ضرایب رگرسیونی متغیرهای مستقل و ε_i جمله خطای تصادفی هستند.

در این مطالعه، برای بررسی روابط کمی بین صفات مؤثر بر عملکرد دانه تک‌بوته، از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با بهره‌گیری از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. مدل رگرسیونی برازش شده به‌صورت زیر است:

چهار صفت تعداد چتر، وزن هزار دانه، بیوماس تک‌بوته و روز تا رسیدگی در مجموع ۶۰/۴ درصد (R2=۰/۶۰۴) از تغییرات عملکرد دانه تک‌بوته را تبیین کردند. این مقدار ضریب تعیین بیانگر برازش مناسب مدل و نقش قابل‌توجه این صفات در تبیین تغییرات عملکرد است، به‌گونه‌ای که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مؤثر در برنامه‌های اصلاح نباتات و گزینش غیرمستقیم برای بهبود عملکرد استفاده کرد. در یک مطالعه بر روی ۵۰ ژنوتیپ رازیانه، نتیجه تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که وزن زیست‌توده خشک، شاخص برداشت، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد برگ‌ها، طول دمگل و تعداد پنجه به ترتیب ۵۵/۵۸، ۳۹/۴، ۱/۵۷، ۱/۱۴، ۰/۴۳ و ۰/۲ درصد از تغییرات عملکرد دانه را تبیین کردند (Bahmani *et al.*, 2012).

تجزیه علیت

نتایج تجزیه علیت (جدول ۹) نشان دادند که بیشترین اثر مستقیم و مثبت به ترتیب مربوط به صفات تعداد چتر، بیوماس تک‌بوته و وزن هزاردانه و نیز اثر مستقیم و منفی مربوط به صفت روز تا رسیدگی بود و این صفات وارد مدل شدند.

جدول ۹- بررسی اثرات مستقیم و غیر مستقیم تجزیه علیت صفات بر روی ۱۸ جمعیت رازیانه

Table 9. Direct and indirect effects in the path analysis of traits across 18 fennel populations

همبستگی کل با عملکرد دانه Correlation with seed yield	اثر غیرمستقیم به‌وسیله Indirect effect by				اثر مستقیم Direct effect	Variable
	DTM	SPB	TSW	NU		
0.674	-0.064	0.271	0.005	-	0.462**	NU
0.269	0.120	-0.129	-	0.009	0.269**	TWS
0.485	-0.143	-	-0.086	0.310	0.404**	SPB
-0.08	-	0.206	-0.116	0.106	-0.280**	DTM
					0.629	Residual

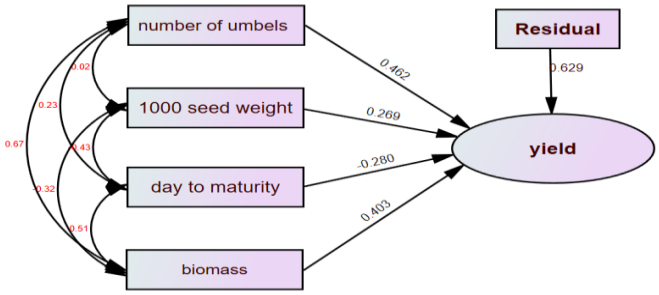
تعداد چتر: NU، وزن هزاردانه: TWS، بیومس تک‌بوته: SPB، روز تا رسیدگی: DTM، باقیمانده: Residual

Number of umbels: NU, 1000-seed weight: TSW, Single-plant biomass: SPB, Days to maturity: DTM

صفت تعداد چتر با بیشترین همبستگی با عملکرد تک‌بوته (r=۰/۶۷۴) بیشترین اثر مستقیم را بر این صفت داشت (β=۰/۴۶۲) و اثر غیر مستقیم آن نیز از طریق بیوماس تک‌بوته (۰/۲۷۱) قابل توجه و از طریق وزن هزار دانه و روز تا رسیدگی ناچیز بود. پس از تعداد چتر، بیوماس تک‌بوته بالاترین اثر مستقیم (β= ۰/۴۰۴) و رتبه دوم را در همبستگی با صفت عملکرد تک‌بوته به خود اختصاص داده است (r=۰/۴۸۵) که بیشترین اثر غیر مستقیم را از صفت تعداد چتر داشت (۰/۳۱۰). وزن هزار دانه با اثر مستقیم (β=۰/۲۶۹) اثر معنی‌دار بر روی عملکرد دانه تک‌بوته داشت، همبستگی آن نیز مثبت و معنی‌دار بود (r=۰/۲۶۹) و نیز اثرات غیر مستقیم آن از طریق بیوماس تک‌بوته معکوس و از طریق روز تا رسیدگی مثبت بود. اثر مستقیم تعداد روز تا رسیدگی با عملکرد تک‌بوته معنی‌دار و معکوس بود (β=-۰/۲۸۰) ولی همبستگی بسیار ناچیزی با عملکرد تک‌بوته داشت و اثرات غیر مستقیم از طریق بیوماس تک‌بوته و تعداد چتر مثبت و از طریق وزن هزار دانه منفی بودند. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون و علیت، گزینش برای تعداد چتر، بیوماس تک‌بوته و وزن هزار دانه به‌عنوان معیارهای غیرمستقیم و مؤثر برای بهبود عملکرد دانه در رازیانه پیشنهاد می‌گردد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]



شکل ۳- دیاگرام علیت صفات و اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات بر عملکرد تک‌بوته
Figure 3. The path diagram of traits and their direct and indirect effects on yield

در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است که تعداد چتر در هر گیاه اثر مستقیم مثبت و قابل توجهی بر عملکرد دانه رازیانه داشته است و این صفت به‌عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین‌کننده عملکرد دانه شناخته می‌شود. مطالعات اشاره کرده‌اند که انتخاب برای افراد برتر در این صفت به‌طور مستقیم می‌تواند منجر به بهبود عملکرد دانه شود (Jat & Choudhary, 2022; Kumawat *et al.,* 2020; Patidar & Singh, 2022; Sefidan *et al.,* 2014). در تعدادی از نتایج تجزیه علیت، وزن هزار دانه نیز اثر مستقیم مثبت و قابل توجهی بر عملکرد دانه رازیانه نشان داده است (Yadav *et al.,* 2013). این صفت بیانگر کیفیت و پرشدن دانه‌ها است و اثر آن بر عملکرد نهایی، چه به‌صورت مستقیم و چه از طریق اثرات غیر مستقیم بر سایر صفات، حائز اهمیت است (Kumawat *et al.*, 2020). اثر مدت زمان تا رسیدگی بر عملکرد دانه در تجزیه علیت می‌تواند متغیر باشد. در برخی مطالعات، تعداد روز تا رسیدگی دارای اثر مستقیم مثبت و نسبتا بالا بر عملکرد دانه بود (Jat & Choudhary, 2022; Yadav *et al.,* 2022). بنا بر این، ارقام با دوره رشد طولانی‌تر ممکن است فرصت کافی برای سنتز فتوسنتز و پر شدن دانه‌ها داشته باشند و عملکرد بالاتری را تولید کنند (Yadav *et al.,* 2022). بیوماس در بسیاری از مطالعات به‌عنوان مؤثرترین صفت بر عملکرد دانه در گیاه رازیانه نام برده شده است؛ این نشان می‌دهد که رشد رویشی قوی و تولید ماده خشک بالا ارتباط مستقیمی با افزایش عملکرد دانه دارند. در نتیجه، انتخاب مثبت برای وزن بیومس خشک به‌منظور بهبود عملکرد دانه توصیه می‌شود (Bahmani *et al.,* 2012).

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه وجود تنوع ژنتیکی قابل توجهی را در ژرم‌پلاسم جمعیت‌های رازیانه مورد مطالعه تأیید کرد که یک سرمایه ارزشمند برای برنامه‌های به‌نژادی است. جمعیت‌های وارداتی ترکیه، اگرچه برای صفات زودرسی و وزن هزاردانه برتر بودند، اما به‌دلیل عدم سازگاری و بقای زمستانی بسیار پایین، برای کشت چندساله در شرایط ایران توصیه نمی‌شوند. در مقابل، جمعیت‌های بومی ایرانی مانند اصفهان، نجف‌آباد و تتماج به‌دلیل بقای بالای زمستانی و عملکرد پایدار و بالا در سال دوم، به‌عنوان منابع ژنتیکی با ارزش برای معرفی به‌عنوان ارقام مستقل یا استفاده به‌عنوان والد در برنامه‌های هیبریداسیون پیشنهاد می‌شوند، اما ارقام متوسط با عملکرد پایدار در دو سال داخلی شامل رزن، ملایر، ابن‌سینا، زنجان، ابهر و غیره برای تولید پایدار در شرایط فعلی اقلیمی مناسب ارزیابی می‌شوند. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون و علیت، گزینش برای تعداد چتر، بیوماس تک‌بوته و وزن هزار دانه به‌عنوان معیارهای غیر مستقیم و مؤثر برای بهبود عملکرد دانه در رازیانه پیشنهاد می‌گردد. انتخاب برای زودرسی نیز می‌تواند مفید باشد، اما باید توجه داشت که این انتخاب ممکن است به‌طور غیر مستقیم با کاهش عملکرد دانه و احتمالاً کاهش بقای زمستانی همراه باشد.

References

Akbari, A., Bahmani, K., Kazan, M., Bilgin, Ö. F., Rahimi, J., Darbandi, A. I., Kafkas, N. E., & Kafkas, S. (2025). Analysis of fennel breeding populations based on distinctness, uniformity, and stability (DUS) testing via morphological descriptors and DNA molecular markers. *Genetic Resources and Crop Evolution,* 72(1), 325–342. DOI: https://doi.org/10.1007/s10722-024-01934-3

Bagheri, M., Tahmasebi, Z., & Geravandi, M. (2024). Genetic diversity and relationships between some agronomic traits of desi chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under autumn sowing conditions. *Journal of Crop Breeding,* 16(3), 114–124. DOI: https://doi.org/10.61186/jcb.16.3.114 [In Persian]

Bahmani, K., Akbari, A., Izadi-Darbandi, A., & Ghamari, T. (2024). Phenological traits, seed yield, and essential oil yield of fifty populations of bitter fennel (*Foeniculum vulgare*). *International Journal of*

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

Horticultural Science and Technology, 11(3), 391–410. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.361704.659 [In Persian].

Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Noori, S. A. S., Jafari, A. A., & Moradi, N. (2012). Determination of interrelationships among phenotypic traits of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using correlation, stepwise regression and path analyses. *Journal of Essential Oil Bearing Plants,* 15(3), 424–444. DOI:10.1080/0972060X.2012.10644070

Debnath, S., Kumar, H., & Sharma, A. (2023). Foeniculum vulgare Mill. from spice to pharma: Recent advances in its medicinal value, bioactivities, and perspectives. *Traditional and Integrative Medicine,* 8(2), 217–229. DOI: https://doi.org/10.18502/tim.v8i2.13087

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). FAOSTAT. https://www.fao.org/faostat/.

Hosseini, E., Majidi, M. M., Saeidnia, F., & Ehtemam, M. H. (2022). Genetic analysis and physiological relationships of drought response in fennel: Interaction with mating system. *PLOS ONE,* 17(11), e0277926. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277926

Jat, M., & Choudhary, S. (2022). Character association and path analysis for yield improvement in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Annals of Plant and Soil Research,* 24(2), 309–312. DOI: https://doi.org/10.47815/apsr.2022.10167

Kumawat, S. K., Rachhoya, H. K., Sharma, M., Singh, D., & Sastry, E. V. D. (2020). Correlation and path coefficient analysis for yield and yield component traits in S6 progenies of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 9(3), 152–158. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.018

Lal, G., Meena, N., Meena, R., Chaudhary, N., Choudhary, M., & Saxena, S. (2023). Stability analysis of yield, yield attributes and essential oil content in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) evaluated under a long-term organic production system. *Journal of Horticultural Sciences,* 18(1), 90–97. DOI: https://doi.org/10.24154/jhs.v18i1.2151

Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M. R., & Talebi, M. (2014). An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Taxonomy and Biosystematics,* 6(18), 77–86. [In Persian]

Magon, G., Palumbo, F., & Barcaccia, G. (2025). Genetics, genomics and breeding of fennel. *BMC Plant Biology,* 25(1), 595. DOI: https://doi.org/10.1186/s12870-025-06608-5

Malhotra, S. (2012). Fennel and fennel seed. In Handbook of Herbs and Spices (pp. 275–302). Elsevier. DOI: https://doi.org/10.1533/9780857095688.275

Meena, S., Singh, B., & Meena, A. (2013). Variability in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) for yield and yield attributes. *Indian Research Journal of Genetics and Biotechnology,* 5(2), 117–124.

Nirmal Babu, K., Sastry, E., Saji, K., Divakaran, M., Akshitha, H., Aarthi, S., Sharon, A., Ravindran, P., & Peter, K. (2015). Diversity and erosion in genetic resources of spices. In Genetic Diversity and Erosion in Plants: Indicators and Prevention (pp. 225–261). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-25637-5_9

Ozkan, U., Benlıoglu, B., & Ozgen, Y. (2017). Karyotype analysis of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Ankara province. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi,* 10(2), 1–3.

Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Hashemi, M. (2019). Physiological response of fennel (Foeniculum vulgare Mill.) to drought stress and plant growth regulators. *Russian Journal of Plant Physiology,* 66(5), 795–805. DOI: https://doi.org/10.1134/S1021443719050170

Patidar, A., & Singh, D. (2022). Studies on genetic variability and character association in fennel (Foeniculum vulgare Mill.). *International Journal of Plant & Soil Science,* 34(21), 696–704. DOI: https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2131321

Rashed Mohassel, M., Nezami, A., Bagheri, A., Hajmohammadnia, K., & Bannayan, M. (2009). Evaluation of freezing tolerance of two fennel (*Foeniculum vulgare* L.) ecotypes under controlled conditions. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants,* 15(2), 131–140. DOI: https://doi.org/10.1080/10496470903139249

Riahinia, S., & Danesh Gilevaei, M. (2023). Evaluation of morphological traits variation in different fennel ecotypes using multivariate statistical methods. *Crop Science Research in Arid Regions,* 5(2), 413–427. DOI: https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.334423.1213 [In Persian]

Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes,* 14(1), 174. DOI: https://doi.org/10.3390/genes14010174

Sefidan, A. Y., Valizadeh, M., Aharizad, S., & Sabzi, M. (2014). Path analysis of grain yield, some morphological traits and essential oil content in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences,* 4(5), 10–15.

Shojaiefar, S., Mirlohi, A., Sabzalian, M. R., & Yaghini, H. (2015). Seed yield and essential oil content of fennel influenced by genetic variation and genotype × year interaction. *Industrial Crops and Products,* 71, 97–105. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.055

Smith, S., Bubeck, D., Nelson, B., Stanek, J., & Gerke, J. (2015). Genetic diversity and modern plant breeding. In Genetic Diversity and Erosion in Plants: Indicators and Prevention (pp. 55–88). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-25637-5_3

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]

Yadav, P., Pandey, V., & Yadav, Y. (2013). Variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices & Aromatic Crops,* 22(2).

Yadav, U., Kaushik, I., Khurana, S., & Prakash, K. (2022). Bioactive compounds in fennel seed. In Spice Bioactive Compounds (pp. 315–338). CRC Press. DOI: https://doi.org/10.1201/9781003215387-15

Yaldiz, G., & Camlica, M. (2022). Breeding improvement of fennel genotypes of different origins (*Foeniculum vulgare* L.) using morphological and yield parameters. Ciencia e Investigación Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura, 49(2), 97–111. DOI: https://doi.org/10.7764/ijanr.v49i2.2345

Zali, H., Pour-Aboughadareh, A., & Vanda, M. (2025). Evaluation of genetic diversity in two- and six-row barley genotypes with an emphasis on the selection of superior genotypes using multivariate methods. *Journal of Crop Breeding,* 17(2), 43–55. DOI: https://doi.org/10.61882/jcb.2024.1577 [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1651]