Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 4, 2024 p: 13-22

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Some Cumin Ecotypes Based on Selection Index of Ideal Genotype

Masoud Golestani[1]

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran,
(Corresponding author: ma_golestani@pnu.ac.ir)

Received: 12 February, 2024 Accepted: 28 April, 2024

Extended Abstract

Background: Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is one of the most important and economic medicinal plants from the Apiaceae family with a considerable distribution in different regions of Iran. The cumin plant is one of the most important medicinal plants in Iran, which needs a lower irrigation to complete the growth stages. Therefore, cumin is one of the most valuable plants for cultivation in arid and semiarid regions of the world. The variety of cultivars is considered one of the important factors affecting the performance of plants. Therefore, the accurate and correct identification of the genotypes and landraces is very useful, in addition to being necessary for crop improvement programs of these plants; it is also very effective in preserving genetic reserves. The objectives of this research were to identify the superior cumin ecotypes based on grain yield and some agronomical traits using the selection index of ideal genotype (SIIG) method, classify cumin ecotypes using the cluster analysis method, and determine the most important traits affecting the essential oil yield trait using stepwise regression.

Methods: To evaluate cumin ecotypes using the SIIG, an experiment was conducted on 12 cumin ecotypes based on a randomized complete block design with three replications in the 2022-2023 cropping season. The studied ecotypes were collected from Yazd (Ardakan, Abarkouh, Ashkzar, Bafgh, and Khatam), Fars (Shiraz and Abadeh), Isfahan (Isfahan and Semirom), and Kerman (Kerman, Rafsanjan, and Sirjan). Agronomical traits, including plant height, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of seeds per umbel, 1000-seed weight (TSW), grain yield, biological yield, harvest index, essential oil percentage, and essential oil yield, were measured in this research. The SIIG method and cluster analysis were used to select superior cumin ecotypes.

Results: The results of the analysis of variance (ANOVA) revealed that ecotypes significantly affected all studied traits at the 1% probability level, except for TSW. Mean comparisons showed that the Sirjan ecotype produced the maximum value of grain yield (642.3 kg/ha), followed by Kerman, Khatam, and Ardakan ecotypes (634, 614.2, and 594 kg/ha, respectively). The minimum values of grain yield were seen in Ashkzar (456.3 kg/ha) and Bafgh (467.11 kg/ha) ecotypes. Mean comparisons showed that Sirjan, Khatam, Kerman, and Ardakan ecotypes attained the highest values in the most traits. The minimum values of plant height were recorded in Kerman and Sirjan, and the maximum value belonged to Bafgh and Ashkzar ecotypes. Sirjan, Kerman, Khatam, and Ardakan ecotypes showed the minimum distance from the ideal genotype (d_i^+), the maximum distance from the non-ideal genotype (d_i^-), and the maximum SIIG value (0.937, 0.926, 0.769, and 0.667, respectively); thus, they were introduced as favorable ecotypes. Ashkzar, Bafgh, and Shiraz showed the maximum distance from the ideal genotype (d_i^+), the minimum distance from the non-ideal genotype (d_i^-), and the minimum SIIG value (0.059, 0.094, and 0.166, respectively); hence, they were introduced as the weakest studied ecotypes. Cluster analysis on significant traits in ANOVA based on the Ward method and using Euclidian distance classified the studied ecotypes into three groups. Sirjan, Kerman, Khatam, Abadeh, and Ardakan ecotypes were placed in the first group, Ashkzar, Shiraz, and Bafgh ecotypes in the second group, and Abarkouh, Isfahan, Semirom, and Rafsanjan in the third group. Grain yield and the most studied traits were higher in the first group ecotypes than in the other groups and the whole mean. Ecotypes of the second group produced the least grain yield and the other studied traits, except

Copyright ©2024 Golestani. 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.

for the plant height trait. The third group ecotypes showed average values of the studied traits. The result of the distance between centers of groups obtained from cluster analysis showed that the maximum genetic distance was between ecotypes in the first and second groups. Thus, it could be claimed that the cross between ecotypes in the first and second groups probably produces higher heterosis and genetic variation. For stepwise regression, the essential oil yield trait was selected as the dependent variable, and the other studied traits as independent variables. The result of stepwise regression showed that four traits, including the number of umbel per plant, the number of branches per plant, the number of seed per umbel, and essential oil percentage, were entered the stepwise regression model and could explain 99.5% of the variability among the essential oil yield trait.

Conclusion: The results of cluster analysis using the studied traits are similar to those of ecotype ranking based on the SIIG method. The present study showed that the SIIG method could properly classify the ecotypes. The result of cluster analysis and the SIIG method showed that Sirjan, Kerman, Khatam, Abadeh, and Ardakan were the best ecotypes, which can be used in breeding programs and the cultivation development of this plant. Ashkzar, Shiraz, and Bafgh were the worst ecotypes according to cluster analysis and SIIG values.

Keywords: Analysis of variance, Cluster analysis, Grain yield, Medicinal plant, Stepwise regression

How to Cite This Article: Golestani, M. (2024). Evaluation of Some Cumin Ecotypes Based on the Selection Index of Ideal Genotype. *J Crop Breed,* 16(4), 13-22. DOI: 10.61186/jcb.16.4.13

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی برخی اکوتیپ‌های زیره سبز بر اساس شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل

مسعود گلستانی[۱]

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، (نویسنده مسوول: ma_golestani@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۹

صفحه: ۱۳ تا ۲۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) یکی از مهمترین و اقتصادی‌ترین گیاهان دارویی از تیره چتریان است و دارای پراکنش قابل‌توجهی در نقاط مختلف کشور می‌باشد. زیره سبز از مهمترین گیاهان دارویی ایران است که نیاز آبی پایینی جهت تکمیل دوره رشد دارد؛ بنابراین یکی از گیاهان با ارزش جهت کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌شمار می‌رود. تنوع ارقام یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد محسوب می‌شود. بنابراین شناسایی دقیق و صحیح ژنوتیپ‌ها و توده‌های بومی علاوه بر اینکه در برنامه‌های به‌زراعی این گیاهان ضرورت دارد؛ در حفظ ذخایر ژنتیکی نیز بسیار مؤثر است. در این تحقیق از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بر اساس عملکرد دانه و برخی از صفات زراعی برای شناسایی اکوتیپ‌های برتر زیره سبز، از روش تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد مطالعه و از روش رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین مهمترین صفات مؤثر بر عملکرد اسانس استفاده شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی اکوتیپ‌های زیره سبز با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بر روی دوازده اکوتیپ زیره سبز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت مزرعه‌ای در شهر ابرکوه اجرا شد. اکوتیپ‌های مورد بررسی از استان‌های یزد (اردکان، ابرکوه، اشکذر، بافق و خاتم)، فارس (شیراز و آباده)، اصفهان (اصفهان و سمیرم) و کرمان (کرمان، رفسنجان و سیرجان) جمع‌آوری گردید. صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد و عملکرد اسانس در این پژوهش اندازه‌گیری شد. در این تحقیق به‌منظور انتخاب اکوتیپ‌های برتر زیره سبز از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل و روش تجزیه خوشه‌ای استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اکوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه در اکوتیپ سیرجان به‌میزان ۶۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار و پس از آن اکوتیپ‌های کرمان، خاتم و اردکان (به‌ترتیب ۶۳۴، ۶۱۴/۲ و ۵۹۴ کیلوگرم در هکتار) قرار داشتند. کمترین مقدار عملکرد دانه در اکوتیپ‌های اشکذر (۴۵۶/۳ کیلوگرم در هکتار) و بافق (۴۶۷/۱۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، کرمان و اردکان در اغلب صفات مؤثر بر عملکرد دانه بیشترین مقدار را داشتند. کمترین مقدار ارتفاع بوته در اکوتیپ‌های کرمان و سیرجان و بیشترین آن در اکوتیپ‌های بافق و اشکذر مشاهده گردید. اکوتیپ‌های سیرجان، کرمان، خاتم و اردکان با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+)، بیشترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (d_i^-) و بیشترین مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (به‌ترتیب ۰/۹۳۷، ۰/۹۲۶، ۰/۷۶۹ و ۰/۶۶۷) به‌عنوان اکوتیپ‌های مطلوب معرفی شدند و اکوتیپ‌های اشکذر، بافق و شیراز با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+)، کمترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (d_i^-) و کمترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۰۵۹، ۰/۰۹۴ و ۰/۱۶۶) به‌عنوان ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی انتخاب شدند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای حاصل از صفات معنی‌دار در تجزیه واریانس به‌روش وارد و با محاسبه فاصله اقلیدسی، اکوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه مجزا قرار گرفتند. اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، آباده، کرمان و اردکان در گروه اول، اکوتیپ‌های اشکذر، شیراز و بافق در گروه دوم و اکوتیپ‌های ابرکوه، اصفهان، سمیرم و رفسنجان در گروه سوم قرار گرفتند. اکوتیپ‌های گروه اول از نظر عملکرد دانه و اکثر صفات مورد بررسی از گروه‌های دیگر و میانگین کل برتر بودند. اکوتیپ‌های گروه دوم کمترین مقدار عملکرد دانه و سایر صفات به‌جز ارتفاع بوته را داشتند. اکوتیپ‌های گروه سوم از نظر صفات مورد مطالعه دارای مقادیر متوسط بودند. نتایج فواصل بین مرکز گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای نشان داد که بیشترین فاصله ژنتیکی بین اکوتیپ‌های گروه‌های اول و اکوتیپ‌های گروه دوم وجود داشت و بنابراین می‌توان بیان کرد که تلاقی بین اکوتیپ‌های گروه اول با اکوتیپ‌های گروه دوم احتمالاً تنوع ژنتیکی و میزان هتروزیس بالاتری را ایجاد خواهد نمود. به‌منظور انجام روش تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام عملکرد اسانس به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات مورد بررسی به عنوان متغییر مستقل انتخاب شدند. نتایج رگرسیون گام به گام نشان داد که چهار صفت تعداد چتر در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در چتر و درصد اسانس وارد معادله رگرسیون گام‌به‌گام شدند و توانستند ۹۹/۵ درصد از کل تغییرات عملکرد اسانس را تبیین کنند.

نتیجه‌گیری: نتایج تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از صفات مورد بررسی و رتبه‌بندی ارقام با استفاده از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل تطابق زیادی با یکدیگر داشتند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که روش SIIG به‌خوبی توانسته است اکوتیپ‌ها را دسته‌بندی نماید. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و مقادیر روش SIIG می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، آباده، کرمان و اردکان به‌عنوان برترین اکوتیپ‌ها می‌باشند و از این اکوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی و توسعه کشت این گیاه استفاده نمود. بر اساس نتایج این پژوهش اکوتیپ‌های اشکذر، شیراز و بافق به‌عنوان ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه واریانس، رگرسیون گام‌به‌گام، عملکرد دانه، گیاه دارویی

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L. گیاهی علفی و یکساله از خانواده چتریان است (Soorni & Kahrizi, 2015). بذرهای این گیاه منبع غنی از مواد معدنی مانند آهن، مس، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، روی و منگنز می‌باشد. همچنین مقدار زیادی از ترکیبات فیتوشیمیایی مانند ویتامین‌های A، B، E و C، تیامین، نیاسین، ریبوفلاوین، ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانت‌هایی نظیر کاروتن‌ها، زئاگزانتین و لوتئین در بذرهای این گیاه مشاهده شده است (Moghaddam *et al.*, 2015). از زیره سبز در درمان بیماری‌های مختلف به‌عنوان ضد صرع، ضد تشنج، تقویت‌کننده معده، ادرارآور، ضد نفخ و سوءهاضمه و محرک تعریق استفاده می‌شود (Hagir Alsadat *et al.*, 2011). این گیاه به‌دلیل فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم و ارزش اقتصادی بالا به‌عنوان یکی از محصولات اصلی در

مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد الگوی کشت شده است (Karimi Afshar *et al.*, 2014). این گیاه در حال حاضر در ایران در استان‌های خراسان، آذربایجان شرقی، یزد، سمنان، اصفهان، گلستان، فارس و کرمان کشت می‌گردد (Ghanbari *et al.*, 2017).

تنوع ژنتیکی نقش مهمی در اصلاح نباتات داشته و استفاده از این تنوع مورفوفنولوژیکی و فیتوشیمیایی سبب موفقیت در برنامه‌های اصلاحی و بهبود عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Dubey *et al.*, 2017). از آنجایی‌که زیره سبز زیستگاه‌های بسیار متفاوتی را اشغال می‌کند و به‌دلیل وجود تنوع در شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور، فرض بر این است که تنوع فنوتیپی زیادی بین توده‌های زیره در مناطق مختلف کشور وجود دارد (Azizi & Mirmiran, 2023). به‌طور کلی داشتن تنوع در نمونه‌های گیاهان دارویی، از اهمیت خاصی برخوردار است. ارزیابی تنوع ژنتیکی گونه‌های گیاهی به‌ویژه اکوتیپ‌های مختلف، به‌منظور نگهداری منابع ژنتیکی و دستیابی به عملکرد بیشتر، در برنامه‌های اصلاحی امری حیاتی است (Moghaddam & Farhadi, 2015). اگرچه عملکرد مهمترین معیار گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب است، ولی وراثت پیچیده و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، کارایی آن‌را در برنامه‌های اصلاحی محدود ساخته است (Gholizadeh & Dehghani, 2016). عملکرد دانه ناشی از اثرات تجمعی اجزای متشکله و برهمکنش آنها می‌باشد. بنابراین ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گیاهی باید بر مبنای مجموعه‌ای از صفات و اجزای عملکرد صورت گیرد (Hashemi *et al.*, 2023).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از صفات، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل را افزایش می‌دهد. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل[1] (SIIG) یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بر اساس مجموعه‌ای از صفات یا شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های مطلوب را شناسایی می‌کند (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2016). از آنجایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک صفت یا شاخصی ژنوتیپ برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، ولی به‌کمک روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص واحد درآمده، رتبه‌بندی شده و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که صفات یا شاخص‌های به‌کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (Najafi Mirak *et al.*, 2018). هر چقدر شاخص SIIG برای ژنوتیپی به عدد یک نزدیک باشد، آن ژنوتیپ از نظر تمام صفات مطالعه شده مطلوبیت بیشتری دارد. نکته جالب توجه این شاخص این است که به هر میزان تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها برای یک صفت بیشتر باشد، سهم آن صفت در مقدار عددی SIIG برای آن ژنوتیپ بیشتر خواهد بود (Zali & Barati, 2020). در واقع شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ(ها) از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌کار می‌رود و با استفاده از این شاخص محقق تصمیم نهایی را در انتخاب بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه می‌گیرد (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2016).

تکنیک SIIG برای اولین‌بار برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (Zali *et al.*, 2016) و روش‌های مختلف تجزیه پایداری (Zali *et al.*, 2015)، برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل استفاده شده است. این تکنیک برگرفته از مدل اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)[2] می‌باشد که نخستین بار به‌وسیله ونگ و یون (Hwang & Yoon, 1981) به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن، می‌توان از تمام صفات اعم از مورفولوژیک و فیزیولوژیک استفاده نمود و هیچ محدودیتی وجود ندارد (Abdollahi Hesar *et al.*, 2020). بر اساس این تکنیک، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و دورترین ژنوتیپ از ژنوتیپ غیرایده‌آل است. ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هریک از صفات یا شاخص‌ها به‌دست می‌آید (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2016). از روش SIIG، به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از ادغام صفات مختلف مورفو–فنولوژیک در کلزا (Abdollahi Hesar *et al.*, 2020)، جو (Zali & Barati, 2020)، گندم دوروم (Tadili *et al.*, 2020) و عدس (Amiri *et al.*, 2021) استفاده شده است. تجزیه خوشه‌ای ابزار قوی برای کمک به انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت اصلاحی فراهم می‌نماید. به‌عبارتی، این روش به‌عنوان روشی مؤثر برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در راستای هدف اصلاحی موردنظر (شامل شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و سایر صفات مطلوب زراعی) به‌کار گرفته می‌شود (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2012).

با توجه به ارزش اقتصادی زیره سبز، مطالعات به‌نژادی آن از اهمیت زیادی برخوردار است که اساس این مطالعات بررسی تنوع ژنتیکی این گونه با ارزش می‌باشد. با توجه به این که در کشور ایران بیشتر از اکوتیپ‌های بومی زیره سبز استفاده می‌شود و این اکوتیپ‌ها از نظر خصوصیات کمی و کیفی متفاوت هستند، بنابراین در راستای تولید و معرفی اکوتیپ‌های برتر زیره سبز، علاوه بر میزان عملکرد دانه، مطالعه همزمان صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد دانه و استفاده از این روش در انتخاب اکوتیپ‌های برتر دارای اهمیت بالایی می‌باشد. با توجه به بررسی منابع تاکنون مطالعه‌ای در مورد انتخاب اکوتیپ‌های برتر بر اساس مجموعه‌ای از صفات در گیاه زیره سبز با استفاده از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) انجام نشده است. بنابراین این تحقیق به‌منظور شناسایی اکوتیپ‌های برتر زیره سبز بر اساس عملکرد دانه و برخی از صفات زراعی با استفاده از روش SIIG، گروه‌بندی اکوتیپ‌های موردمطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و تعیین مهمترین صفات مؤثر بر عملکرد اسانس با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد.

1- Selection index of ideal genotype
2- Technique of order preference by similarity to ideal solution

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای واقع در شهر ابرکوه با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۰ متر انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و ۱۲ اکوتیپ زیره سبز به‌صورت تصادفی به کرت‌ها اختصاص یافتند. اکوتیپ‌های مورد بررسی از استان‌های یزد (اردکان، ابرکوه، اشکذر، بافق و خاتم)، فارس (شیراز و آباده)، اصفهان (اصفهان و سمیرم) و کرمان (کرمان، رفسنجان و سیرجان) جمع‌آوری گردید. بذرهای جمع‌آوری شده در تاریخ ۱۰ بهمن سال ۱۴۰۱ کشت شدند. ابعاد هر واحد آزمایشی دو متر در سه متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از یکدیگر ۵ سانتی‌متر بود. برای آماده‌سازی زمین از شخم نیمه‌عمیق، دو دیسک عمود برهم برای از بین بردن کلوخه‌های سطحی خاک و تسطیح نهایی استفاده شد. در فصل برداشت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای از هر اکوتیپ تعداد ده بوته به تصادف انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از هر کرت به مساحت دو متر مربع، گیاهان برداشت شدند و گیاهان در هوای آزاد خشک شدند. سپس، بذور از کاه و کلش جدا و وزن گردیدند. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید (Ghanbari *et al.*, 2017). شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک بر حسب درصد به‌دست آمد. با استفاده از دستگاه اسانس‌گیری کلونجر با روش تقطیر با آب به‌مدت 3 ساعت، اسانس استخراج گردید (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017) و سپس درصد اسانس اندازه‌گیری شد. عملکرد اسانس از طریق حاصلضرب عملکرد دانه در درصد اسانس به‌دست آمد.

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و ادغام صفات مورفولوژیک از روش SIIG استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح ذیل می‌باشد:

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها:

با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها (رابطه ۱) به‌صورت زیر تشکیل شد.

(رابطه ۱)

$$D=\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & & X_{2m} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار صفت iام ($i = 1, 2, \dots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \dots m$) می‌باشد.

۲- تبدیل ماتریس داده‌های اولیه (ماتریس D) به یک ماتریس نرمال (ماتریس R):

از رابطه ۲ برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد:

$$r_{ij}=\frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^2}} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

بعد از نرمال نمودن داده‌های اولیه (ماتریس D)، ماتریس R به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف) برای هر صفت: در این مرحله با توجه به نوع صفت، برای هر صفت به‌صورت جداگانه، بهترین ژنوتیپ (ایده‌آل) و ضعیف‌ترین ژنوتیپ (غیر ایده‌آل) انتخاب می‌شود. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد دانه، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ مقدار ایده‌آل و پایین‌ترین مقدار عملکرد دانه به‌عنوان ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف) در نظر گرفته شد. همچنین، در مورد ارتفاع بوته مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) و ژنوتیپ‌های ضعیف (d_i^-): در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d_i^+) (رابطه ۴) و ژنوتیپ‌های ضعیف (d_i^-) (رابطه ۵) محاسبه شد.

$$d_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(r_{ij}-r_j^+)^2} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$d_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(r_{ij}-r_j^-)^2} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در روابط فوق r_{ij} مقدار نرمال شده ژنوتیپ iام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با صفت jام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. r_j^+ و r_j^- به‌ترتیب مقادیر نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر صفت jام ($j = 1, 2, \dots m$) است.

۵- در آخر برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه ۶ استفاده شد.

(رابطه ۶)

$$SIIG=\frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad 0 \le SIIG \le 1 \text{ و } i=1, \dots, m$$

مقدار SIIG بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس این روش، بهترین ژنوتیپ،

نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است (Zali *et al.*, 2015; Zali *et al.*, 2016).

در این تحقیق، برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات به‌روش دانکن از نرم‌افزار SAS، برای انجام تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار Minitab و برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اکوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱) که این موضوع نشان می‌دهد تنوع ژنتیکی بالایی بین اکوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت. در مطالعات دیگر نیز تنوع ژنتیکی در جوامع مختلف زیره سبز گزارش شده است (Salamati & Zeinali, 2013; Karimi Afshar *et al.*, 2014). نتایج مقایسه میانگین صفات در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول بیشترین عملکرد دانه در اکوتیپ سیرجان به‌میزان ۶۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار و پس از آن اکوتیپ‌های کرمان، خاتم و اردکان به‌ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۶۳۴، ۶۱۴/۲ و ۵۹۴ کیلوگرم در هکتار قرار داشتند. کمترین مقدار عملکرد دانه در اکوتیپ‌های اشکذر (۴۵۶/۳ کیلوگرم در هکتار) و بافق (۴۶۷/۱۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ سیرجان با مقدار ۱۵۸۹/۳ کیلوگرم در هکتار و کرمان با مقدار ۱۵۳۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در اکوتیپ اشکذر با مقدار ۱۲۱۷/۴ کیلوگرم در هکتار وجود داشت. از نظر شاخص برداشت بیشترین مقدار در اکوتیپ کرمان و کمترین آن در اکوتیپ شیراز مشاهده گردید. بیشترین تعداد چتر در بوته در اکوتیپ سیرجان با مقدار ۳۷/۳۲ و سپس در اکوتیپ کرمان با مقدار ۳۵/۸ و کمترین تعداد چتر در بوته در اکوتیپ اشکذر با مقدار ۲۱/۱۴ و سپس در اکوتیپ بافق با مقدار ۲۲/۲۴ دیده شد. اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم و کرمان به‌ترتیب با مقدار ۲۰/۱۲، ۱۹/۵۲ و ۱۹/۱۷ بیشترین و اکوتیپ بافق و شیراز کمترین تعداد دانه در چتر را داشتند. اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم و کرمان بیشترین و اکوتیپ‌های اشکذر و بافق کمترین تعداد شاخه در بوته را داشتند. بیشترین مقدار ارتفاع بوته در اکوتیپ‌های بافق و اشکذر به‌ترتیب با مقدار ۲۹/۱ و ۲۸/۲۵ سانتی‌متر و کمترین آن در اکوتیپ‌های کرمان و سیرجان مشاهده گردید. بیشترین درصد و عملکرد اسانس در اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم و کرمان و کمترین آن در اکوتیپ‌های اشکذر و بافق مشاهده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 1. Analysis of variance for studied traits in cumin ecotypes

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	تعداد دانه در چتر No. of seed per umbel
تکرار Replication	2	53.4^{ns}	718.6^{ns}	1.2^{ns}	1.7^{ns}	1.3^{ns}
اکوتیپ Ecotype	11	11525.8**	35373.8**	7.8**	91.3**	11.9**
خطا Error	22	540.2	2798.4	0.9	1.1	0.7
ضریب تغییرات (٪) CV	-	4.2	3.8	2.4	3.7	4.9

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels respectively

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 1 Continued. Analysis of variance for studied traits in cumin ecotypes

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه 1000 seed weight	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	0.24^{ns}	1.6^{ns}	0.14^{ns}	0.13^{ns}	4.4^{ns}
اکوتیپ Ecotype	11	2.6**	29.7**	0.11^{ns}	0.7**	51.2**
خطا Error	22	0.4	0.7	0.06	0.06	1.9
ضریب تغییرات (٪) CV	-	13.4	3.6	8.4	10.04	10.06

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels respectively

جدول ۲– مقایسه میانگین صفات در اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 2. Mean comparison of traits in cumin ecotypes

اکوتیپ Ecotype	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)	تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	تعداد دانه در چتر No. of seed per umbel	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	درصد اسانس (٪) Essential oil percentage (%)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار) Essential oil yield (kg/ha)
سیرجان Sirjan	642.3^{a}	1589.3^{a}	40.41^{a}	37.32^{a}	20.12^{a}	6^{a}	20.14^{gh}	2.97^{ab}	19.07^{a}
خاتم Khatam	614.17^{abc}	1492^{bc}	41.16^{a}	31.17^{c}	19.52^{ab}	5.67^{ab}	22.15^{f}	2.86^{abc}	17.56^{ab}
آباده Abadeh	582^{cde}	1434.2^{cd}	40.6^{a}	28.52^{d}	18.85^{abc}	5^{a-d}	22.84^{ef}	2.8^{abc}	16.32^{bc}
اشکذر Ashkzar	456.3^{i}	1217.4^{h}	37.48^{cd}	21.14^{i}	15.18^{fg}	3^{f}	28.25^{ab}	1.87^{e}	8.53^{g}
ابرکوه Abarkouh	524^{fg}	1367^{def}	38.34^{bc}	24.74^{fg}	16.1^{ef}	4^{def}	25.76^{c}	2.19^{de}	14.49^{ef}
شیراز Shiraz	481^{hi}	1315.6^{efg}	36.56^{d}	22.54^{hi}	14.84^{fg}	3.92^{def}	27.34^{b}	1.94^{e}	9.32^{fg}
اصفهان Isfahan	511.2^{gh}	1286^{fgh}	39.74^{ab}	23.38^{gh}	16.78^{de}	4.67^{b-e}	25.11^{cd}	1.9^{e}	9.71^{fg}
سمیرم Semirom	549.4^{efg}	1354.1^{de}	40.57^{a}	27.15^{de}	15.92^{ef}	4.2^{cde}	24.14^{de}	2.46^{cd}	13.51^{de}
کرمان Kerman	634^{ab}	1538^{ab}	41.23^{a}	35.8^{a}	19.17^{abc}	5.8^{ab}	19.2^{h}	3.12^{a}	19.79^{a}
بافق Bafgh	467.1^{i}	1248.3^{gh}	37.41^{cd}	22.24^{hi}	14.21^{g}	3.67^{ef}	29.1^{a}	1.76^{e}	8.2^{g}
اردکان Ardakan	594^{bcd}	1465^{bc}	40.54^{a}	33.4^{b}	18.35^{bc}	5.33^{abc}	21.42^{fg}	2.61^{bcd}	15.49^{bcd}
رفسنجان Rafsanjan	554^{def}	1397.2^{cde}	39.65^{ab}	25.62^{ef}	17.62^{cd}	4.5^{cde}	23.86^{de}	2.53^{bcd}	14.03^{cd}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test.

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

به‌منظور انتخاب بهترین اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی از روش SIIG استفاده گردید. اکوتیپ‌های سیرجان، کرمان، خاتم و اردکان با کمترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+)، بیشترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (d_i^-) و بیشترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۹۳۷، ۰/۹۲۶، ۰/۷۶۹ و ۰/۶۶۷) به‌عنوان اکوتیپ‌های مطلوب معرفی شدند (جدول ۳). بر اساس نتایج جدول ۲ بیشترین مقدار عملکرد دانه و اکثر صفات مورد مطالعه و کمترین مقدار ارتفاع بوته به این اکوتیپ‌ها اختصاص داشت. اکوتیپ‌های اشکذر، بافق و شیراز با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+)، کمترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (d_i^-) و کمترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۰۵۹، ۰/۰۹۴ و ۰/۱۶۶) به‌عنوان ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی انتخاب شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که این اکوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و اکثر صفات مورد مطالعه کمترین مقدار و از نظر ارتفاع بوته بیشترین مقدار را داشتند (جدول ۲). در پژوهشی از روش شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب گیاه روغنی کاملینا استفاده گردید و استفاده از این روش برای تشخیص ژنوتیپ‌های برتر مورد تأیید قرار گرفت (Amiri *et al.*, 2023). در مطالعه‌ای دیگر، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب عدس در شرایط دیم استفاده و کارایی این روش در تشخیص ژنوتیپ‌های برتر از نظر همه صفات، تأیید گردید (Amiri *et al.*, 2021). از روش SIIG در ۲۴ ژنوتیپ آفتابگردان بر اساس عملکرد دانه و صفات زراعی مورد استفاده قرار گرفت و این روش توانست ژنوتیپ‌های ضعیف و برتر را از یکدیگر تفکیک کند (Gholizadeh *et al.*, 2021). در ارزیابی ۲۲ ژنوتیپ پاییزه کلزا با روش SIIG مشخص شد که این روش برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مؤثر بوده و از ویژگی‌های مهم این روش ادغام صفات با واحدهای مختلف می‌باشد (Abdollahi Hesar *et al.*, 2020).

جدول ۳- رتبه‌بندی اکوتیپ‌های زیره سبز بر اساس مقدار SIIG

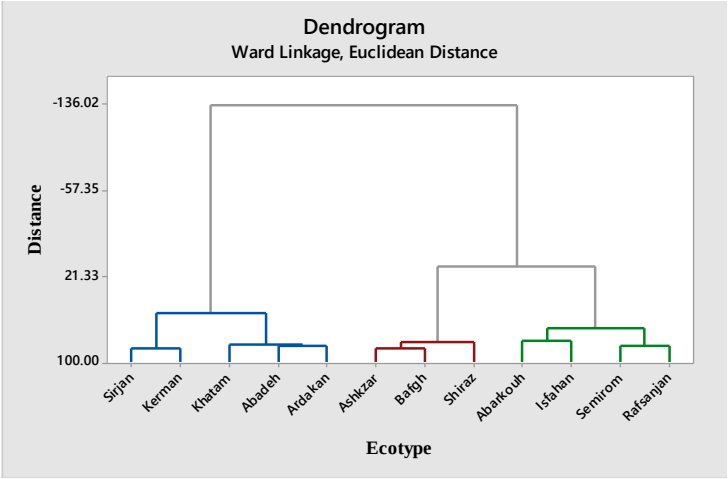
Table 3. Ranking of cumin ecotypes based on SIIG

اکوتیپ (Ecootype)	d^+	d^-	SIIG	رتبه‌بندی (Ranking)
سیرجان (Sirjan)	0.026	0.379	0.937	1
خاتم (Khatam)	0.098	0.327	0.769	3
آباده (Abadeh)	0.152	0.278	0.646	5
اشکذر (Ashkzar)	0.415	0.026	0.059	12
ابرکوه (Abarkouh)	0.302	0.126	0.294	8
شیراز (Shiraz)	0.367	0.073	0.166	10
اصفهان (Isfahan)	0.329	0.132	0.287	9
سمیرم (Semirom)	0.247	0.18	0.421	7
کرمان (Kerman)	0.031	0.384	0.926	2
بافق (Bafgh)	0.407	0.042	0.094	11
اردکان (Ardakan)	0.137	0.273	0.667	4
رفسنجان (Rafsanjan)	0.225	0.208	0.479	6

تجزیه خوشه‌ای

به‌منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس صفات معنی‌دار در جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) از تجزیه خوشه‌ای به‌روش وارد (Ward) و با محاسبه فاصله اقلیدسی استفاده شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که اکوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۱).

اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، آباده، کرمان و اردکان در گروه اول قرار گرفتند که مقادیر عملکرد دانه و اکثر صفات مؤثر در عملکرد دانه در این گروه از دو گروه دیگر و حتی در مقایسه با میانگین کل بالاتر و مقدار ارتفاع بوته در این گروه از دو گروه دیگر پایین‌تر بود (جدول ۴). اکوتیپ‌های اشکذر، شیراز و بافق در گروه دوم جای گرفتند که به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار عملکرد دانه و سایر صفات به‌جز ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۴). گروه سوم شامل اکوتیپ‌های ابرکوه، اصفهان، سمیرم و رفسنجان بود که از نظر صفات مورد مطالعه دارای مقادیر متوسط بودند (جدول ۴). نتایج رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها با روش SIIG (جدول ۳) با نتایج گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشت. لاین‌های پیشرفته کاملیا تحت شرایط دیم با استفاده از تجزیه خوشه‌ای در سه گروه مجزا قرار گرفتند و مشخص شد که بین نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و روش SIIG در تفکیک ژنوتیپ‌های برتر از ضعیف تطابق وجود داشت (Amiri *et al.*, 2023). تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های پنبه را در دو گروه قرار داد و چنین نتیجه‌گیری شد که استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای و روش SIIG توانست ژنوتیپ‌های مورد بررسی را تقریباً به‌صورت مشابه گروه‌بندی کند (Vanda *et al.*, 2023).



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس صفات مورد مطالعه
Figure 1. Dendrogram of cluster analysis based on studied traits

جدول ۴- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در اکوتیپ‌های زیره سبز
Table 4. Comparison of clusters obtained from cluster analysis in cumin ecotypes

عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار) Essential oil yield (kg/ha)	درصد اسانس (٪) Essential oil percentage (%)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	تعداد دانه در چتر No. of seed per umbel	تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	شاخص برداشت (٪) Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	گروه Group
17.65^{a}	2.87^{a}	21.15^{c}	5.56^{a}	19.2^{a}	33.24^{a}	40.8^{a}	1503.7^{a}	613.3^{a}	گروه ۱ Group 1
8.68^{c}	1.86^{c}	28.23^{a}	3.53^{c}	14.74^{c}	21.97^{b}	37.16^{c}	1260.4^{c}	468.1^{c}	گروه ۲ Group 2
12.18^{b}	2.27^{b}	24.72^{b}	4.34^{b}	16.6^{b}	25.22^{b}	39.6^{b}	1351.1^{b}	534.7^{b}	گروه ۳ Group 3
13.58	2.42	24.11	4.65	17.22	27.75	39.5	1392	550.8	میانگین Mean

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test

نتایج جدول ۵ نشان داد که بیشترین فاصله ژنتیکی بین گروه‌های اول و دوم وجود دارد. بنابراین می‌توان بیان کرد که تلاقی بین اکوتیپ‌های گروه اول با اکوتیپ‌های گروه دوم احتمالاً تنوع ژنتیکی و میزان هتروزیس بالاتری را ایجاد خواهد نمود. با توجه به اینکه اعضای درون هر یک از گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای دارای قرابت ژنتیکی بیشتری نسبت به گروه‌های دیگر هستند (Amiri *et al.*, 2023)، می‌توان در برنامه‌های اصلاحی با توجه به ارزش میانگین صفات، از اکوتیپ‌های گروه اول در تلاقی با گروه دوم به‌منظور به‌دست آوردن حداکثر تنوع و بهره‌وری از هتروزیس استفاده کرد.

جدول ۵- فواصل بین مرکز گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 5. Distances between centers of groups obtained from cluster analysis

گروه ۳ Group 3	گروه ۲ Group 2	گروه ۱ Group 1	گروه Group
3.74	6.55	-	گروه ۱ Group 1
2.94	-	-	گروه ۲ Group 2

رگرسیون گام‌به‌گام

به‌منظور تعیین صفات مهم در عملکرد اسانس از روش تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. برای این منظور عملکرد اسانس به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. بر اساس نتایج جدول رگرسیون (جدول ۶) مشاهده می‌شود که مقادیر میزان تحمل (Tolerance, TOL) و عامل تورم واریانس (Variance Inflation Factor, VIF) برای متغیرهایی که وارد مدل شده‌اند، تقریباً قابل‌قبول می‌باشد و بنابراین بین متغیرهای مستقل در این تحقیق رابطه هم‌خطی وجود نداشت. نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که چهار صفت تعداد چتر در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در چتر و درصد اسانس به‌عنوان صفات مؤثر وارد مدل شدند و توانستند ۹۹/۵ درصد از کل تغییرات عملکرد اسانس را تبیین کنند (جدول ۶). بر اساس نتایج رگرسیون گام‌به‌گام چنین به‌نظر می‌رسد که از این صفات می‌توان در جهت بهبود عملکرد اسانس در زیره سبز و انجام گزینش برای این‌منظور استفاده کرد. سایر صفات تغییرات بسیار جزئی را در عملکرد اسانس به‌وجود آوردند و با توجه به اینکه رگرسیون گام‌به‌گام صفات مستقل را بر اساس میزان تأثیری که بر متغیر وابسته دارند وارد مدل می‌کند، بنابراین بقیه صفات مستقل به‌علت نداشتن این ویژگی نتوانستند وارد مدل رگرسیون گام‌به‌گام شوند. تجزیه رگرسیون چندگانه خطی به‌روش گام‌به‌گام در اکوتیپ‌های زیره سبز نشان داد که صفات وزن بوته، تعداد چترک، وزن هزار دانه و مساحت تاج پوشش توانستند ۶۰ درصد از تغییرات عملکرد اسانس در مدل نهایی را توجیه کنند (Faravani *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای دیگر بر روی زیره سبز صفات وزن هزار دانه، تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و تعداد انشعابات ساقه از جمله صفاتی بود که وارد مدل رگرسیون عملکرد دانه شدند (Karimi Afshar *et al.*, 2016). اکبری و همکاران (Akbari *et al.*, 2016) در گزینش صفات مؤثر بر عملکرد در ارقام و اکوتیپ‌های رازیانه با استفاده از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان دادند که صفات قطر ساقه، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در چتر بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند.

جدول ۶- نتایج رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد اسانس در اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 6- Results of stepwise regression analysis for essential oil yield in cumin ecotypes

مراحل رگرسیون Regression steps	عدد ثابت Constant	صفات وارد شده به مدل Added traits to model				ضریب تبیین Adjusted R2	F رگرسیون Regression F
		درصد اسانس Essential oil percentage	تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	تعداد دانه در چتر No. of seed per umbel		
1	-6.05**	8.12**	-	-	-	0.982	933.2**
2	-7.35**	6.35**	0.2**	-	-	0.994	1260.04**
3	-7.47**	6.28**	0.16**	0.32*	-	0.995	995.6**
4	-8.38**	6.2**	0.14**	0.25	0.12	0.995	786.9**
TOL	-	0.31	0.2	0.33	0.27	-	-
VIF	-	3.2	5.14	2.99	3.77	-	-

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: significant at 5% and 1% level, respectively

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اکوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، کرمان و اردکان در اغلب صفات مورد بررسی بیشترین مقدار را داشتند. اکوتیپ‌های سیرجان، کرمان، خاتم و اردکان با دارا بودن بیشترین مقدار SIIG به‌عنوان اکوتیپ‌های مطلوب و اکوتیپ‌های اشکذر، بافق و شیراز با داشتن کمترین مقدار SIIG به‌عنوان ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی بودند. اکوتیپ‌های سیرجان، خاتم، آباده، کرمان و اردکان که در یک گروه قرار گرفتند از نظر مقادیر عملکرد دانه و اکثر صفات مؤثر در عملکرد دانه از دو گروه دیگر و حتی در مقایسه با میانگین کل بالاتر و مقدار ارتفاع بوته در این گروه از دو گروه دیگر پایین‌تر بود و بنابراین می‌توان بیان کرد که این اکوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی برتر بودند. نتایج رتبه‌بندی اکوتیپ‌ها با روش SIIG با نتایج گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشت. نتایج نشان داد که صفات تعداد چتر در بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد دانه در چتر و درصد اسانس به‌عنوان صفات مؤثر وارد مدل رگرسیون گام‌به‌گام برای صفت عملکرد اسانس شدند.

References

Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A., & Zali, H. (2020). Evaluation of some autumn canola genotypes based on agronomy traits and SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 151-159. [In Persian]

Akbari, A., Izadi-Darband, A., Bahmani, K., & Ramshini, H. A. (2016). Relationships between seed yield and plant characteristics in synthetic cultivars and elite ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(4), 301 -314. [In Persian]

Amiri, R., Rostami-Ahmadvandi, H., & Sayyahfar, M. (2023). Evaluation of the genetic variation of oil-rich camelina advanced lines under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 152-164. [In Persian]

Amiri, R., Pezeshkpour, P., & Karami, I. (2021). Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 140-151. [In Persian]

Azizi, N., & Mirmiran, S. M. (2023). Investigation of the agromorphological diversity of some Iranian stands of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under climatic conditions of Mashhad. *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 21-29. [In Persian]

Dubey, P., Saxena, S., Mishra, B., Solanki, R., Vishal, M., Singh, B., & Yogi, A. (2017). Preponderance of cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil constituents across cumin growing Agro-Ecological Sub Regions, India. *Industrial Crops and Products*, *95*, 50-59.

Faravani, M., Jafari, A. A., Ranjbar, M., Negari, A., & Azizi, N. (2018). Study of phenological, morphological and phytochemical characteristics of cumin ecotypes under Mashhad climatic conditions. *Applied Research in Field Crops*, 31(3), 95-113. [In Persian]

Ghanbari, J., Khajoei-nejad, Gh. R., & Mohammadi-nejad, Gh. (2017). Study of ecotype and sowing date interaction in cumin (*Cuminum cyminum* L.) using different univariate stability parameters. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), 87-102. [In Persian]

Gholizadeh, A., & Dehghani, H. (2016). Graphic analysis of trait relations of Iranian bread wheat germplasm under non-saline and saline conditions using the biplot method. *Genetika*, 48, 473-486.

Gholizadeh, A., Ghaffari, M., & Shariati, F. (2021). Use of selection index of ideal genotype (SIIG) in order to select new high yielding sunflower hybrids with desirable agronomic characteristics. *Journal of Crop Breeding*, 13(38), 116-123. [In Persian]

Hagir Alsadat, F., Vahidi, E., Saboor, M., Azim Zadeh, M., Kalantar, M., & Sharifaldini, M. (2011). Evaluation the active compounds and the antioxidant properties of native cumin of Yazd. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*, 19(4), 472- 481. [In Persian]

Hashemi, P., Mohammadi, A., Alizadeh, B., Mostafavi, Kh., & Amiri Oghan, H. (2023). Simultaneous selection of oil yield and other agronomic characteristics in winter rapeseed hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 15(45), 60-68. [In Persian]

Hwang, C. L., & Yoon, K. P. (1981). Multiple attribute decision making methods and applications. Springer. New York.

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., & Mohammadi-Nejad, Gh. (2016). Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding*, 8(18), 160-165. [In Persian]

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., Mohammadinejad, G., & Abedi, J. (2014). Evaluation of cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes under drought stress based on tolerance indices. 1st International and 13th Iranian Genetics Congress. Tehran, Iran. [In Persian]

Khoshgoftarmanesh, A. H., Sharifi, H. R., Afiuni, D., & Schulin, R. (2012). Classification wheat genotypes by yield and densities of grain zinc and iron using cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 121, 49-54. [In Persian]

Moghaddam, M, & Farhadi, N. (2015). Influence of environmental and genetic factors on resin yield, essential oil cotton and chemical composition of *Ferula assa-foetida* L. populations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2, 69-76.

Moghaddam, M., Miran, S. N. K., Pirbalouti, A. G., Mehdizadeh, L., & Ghaderi, Y. (2015). Variation in essential oil composition and antioxidant activity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) fruits during stages of maturity. *Industrial Crops and Products*, *70*, 163-169.

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H. (2018). Assessment of nonparametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20, 126-138. [In Persian]

Salamati, M. S. & Zeinali, H. (2013). Evaluation of genetic variation in different populations of *Cuminum cyminum* L. using morphological traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29 (1), 51-62. [In Persian]

Shekofteh, H., & Dehghani Fatehabad, R. (2017). Effect of water stress and potassium on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Production Technology*, 8(2), 167-178. [In Persian]

Soorni, J., & Kahrizi, D. (2015). Effect of genotype, explant type and 2,4-D on cell dedifferentiation and callus induction in cumin (*Cuminum cyminum* L.) medicinal plant. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 265-270.

Tadili, S., Asghari, A., Karimizadeh, R., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2020). Evaluation of drought stress tolerance in advanced lines durum wheat using the selection index of ideal genotype (SIIG). *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(1), 45-62. [In Persian]

Vanda, M., Hekmat, M., & Alishah, O. (2023). Investigation of genetic diversity and identification of superior cotton cultivars (*Gossypium Hirsutum* L.) using SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 181-189. [In Persian]

Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Jornal of Crop Breeding*, 12(34), 93-104. [In Persian]

Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., & Zeinalabedini, M. (2016). Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 77-90. [In Persian]

Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asghari, A., & Hoseini, S. M. (2015). Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum-An International Journal*, 7(2), 703-711.