Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 4, 2025, p. 745-762

Evaluation of Yield and Yield Components of Different Ecotypes of Black Seed (*Nigella sativa* L.) to Planting Date in Gorgan

Mohammad Sadeq Ashrafi[1], Farshid Ghaderi-Far[2]*, Elias Soltani[3], Ebrahim Zeinali[4] and Asieh Siahmarguee[4]

1, 2 and 4- M.Sc. Graduate, Professor and Associate, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran
(*- Corresponding author's Email: farshidghaderifar@gau.ac.ir)

Received: 07-08-2024
Revised: 27-10-2024
Accepted: 09-11-2024
Available Online: 22-01-2025

How to cite this article:
Ashrafi, M.S., Ghaderi-Far, F., Soltani, E., Zeinali, E., & Siahmarguee, A. (2025). Evaluation of yield and yield components of different ecotypes of black seed (*Nigella sativa* L.) to planting date in Gorgan. *Journal of Agroecology*, *16*(4), 745-762. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/ /AGRY.2024.89219.1206

Introduction

The use of medicinal plants has been done since ancient times and may even be considered the origin of modern medicine. Medicinal plants are a source of biomolecules with therapeutic potential and lead to development of new drugs. Black Seed (*Nigella sativa* L.), often referred to as a "miracle herb," is a medicinal plant that has been used worldwide for centuries in the treatment and prevention of diseases such as cancer and diabetes. Additionally, it has been valued as a spice and flavouring agent in products like bread and sweets . Various factors influence the growth and yield of black seed per unit area, with the planting date being particularly significant. The timing of planting affects environmental conditions during the plant's growth stages, influencing the rates of vegetative and reproductive growth and ultimately impacting yield. Therefore, selecting the appropriate planting time is crucial for the successful cultivation of any crop, including black seed. The aim of this research is to determine the most suitable planting date of black seed for this plant and the response of different ecotypes of this medicinal plant to the planting date in the weather conditions of Gorgan city.

Materials and Methods

In order to evaluate different ecotypes of black seed in response to planting dates in Gorgan, a field experiment with four planting dates was carried out in the cropping year of 2020-2021 at the research farm of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. The experiment was carried out in the form of split plots based on completely randomized block statistical design with three replication, in which four planting dates were 18th December, 17th January, 16th February and 18th March as the main plot and thirteen ecotypes (Such as Tafaresh, Gardmiran, Razan, Hamedan, Arak, Esfahan, Semirom, Eqlid, Ashkazar, Zabol,

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/ /AGRY.2024.89219.1206

Bajestan, Sarayan and Khaf) with three replication were considered as sub-plot. In this research, the attributes of plant height, number of branches per plant, number of follicles per plant, number of grains per follicle, weight of 1000 grains and grain yield were measured. After harvesting, measurements were taken and then the data were analyzed with SAS 9.4 statistical software and means comparison was done with LSD's test in significance at 5% probability level. Graphs were prepared using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that the interaction effects of planting date and ecotype on plant height, number of branches per plant, number of capsules per plant, number of grains per capsule and 1000-grain weight were significant. However, the main effects of planting date and ecotype on grain yield were significant, and the interaction effects were not significant. With the delay in planting, all measured traits decreased. The highest grain yield was obtained from the first planting date (December 18) with 1245 kg per ha. The highest grain yield was obtained from Khaf (1245 $kg.ha^{-1}$), Sarayan (1179 $kg.ha^{-1}$), Bajestan (1156 $kg.ha^{-1}$), Zabol (1141 $kg.ha^{-1}$) and Esfahan (1117 $kg.ha^{-1}$) ecotypes. In contrast, the lowest grain yield was obtained from the fourth (March 18) planting date with 694 $kg.ha^{-1}$. The lowest grain yield was obtained from Arak and Gardmiran ecotypes with 903 and 890 kg.ha, respectively. With the delay in planting, the grain yield of high-yield ecotypes decreased linearly (8-9 kg.ha for each day of delay in planting), with the difference that the decrease in grain yield in the Bajestan ecotype (5.8 kg.ha for each day of delay in planting) was less than other ecotypes, which indicates the high adaptability of this ecotype to the planting date and environmental conditions of Gorgan. Also, there is a positive and significant correlation between grain yield and traits of plant height (0.73**), number of branches per plant (0.56**), number of follicles per plant (0.83**), number of grains per follicle (0.84**) and 1000- grain weight (0.55**).

Conclusion

In general, the results of this research showed that planting date and ecotype have a significant effect on black seed yield, and it is recommended to plant high-yield ecotypes in December to obtain higher grain yield in Gorgan and additional tests should be done in this area for final confirmation.

Keywords: Environmental conditions, Medicinal plant, Neglected plants

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۳، ص ۷٦۲-۷٤٥

ارزیابی عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) به تاریخ کاشت در گرگان

محمدصادق اشرفی[۱]، فرشید قادری‌فر[۲*]، الیاس سلطانی[۳]، ابراهیم زینلی[٤] و آسیه سیاهمرگویی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در پاسخ به تاریخ کاشت، آزمایش مزرعه‌ای با چهار تاریخ کاشت در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در شهرستان گرگان به اجرا در آمد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت که در آن چهار تاریخ کاشت ۲۸ آذرماه، ۲۸ دی‌ماه، ۲۸ بهمن‌ماه و ۲۸ اسفندماه به‌عنوان فاکتور اصلی و ۱۳ اکوتیپ (جمع‌آوری شده از نقاط مختلف ایران) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. در این تحقیق، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت، کلیه صفات اندازه‌گیری شده کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه از تاریخ کاشت اول (۱۲۴۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. همچنین از اکوتیپ‌های خواف، سرایان، بجستان، زابل و اصفهان بیشترین عملکرد دانه به‌دست آمد. با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه اکوتیپ‌های پرعملکرد به‌صورت خطی کاهش یافت (۹-۸ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت)، با این تفاوت که کاهش عملکرد دانه در اکوتیپ بجستان (۵/۸ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت) کمتر از سایر اکوتیپ‌ها بود که بیانگر سازگاری بالای این اکوتیپ به تاریخ کاشت و شرایط محیطی گرگان می‌باشد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته (۰/۷۳)، تعداد شاخه در بوته (۰/۵۶)، تعداد فولیکول در بوته (۰/۸۳)، تعداد دانه در فولیکول (۰/۸۴) و وزن هزار دانه (۰/۵۵) وجود داشت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تاریخ کاشت و اکوتیپ تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه سیاهدانه دارند و ازاین‌رو، توصیه می‌شود که برای حصول عملکرد دانه بالاتر در گرگان، اکوتیپ‌های پرعملکرد در آذرماه کاشت شود و برای تأیید نهایی آزمایشات تکمیلی در این منطقه صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: شرایط محیطی، گیاهان فراموش شده، گیاه دارویی

مقدمه

امروزه گیاهان دارویی به‌عنوان منبع ارزشمندی از ترکیبات طبیعی برای استفاده در تولید داروهای ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی در نظر گرفته می‌شوند (Ketabchi & Papari Moghadamfard, 2021). تمایل به مصرف گیاهان دارویی امروزه با افزایش چشم‌گیری مواجه شده است (Gerami et al., 2024). برای رفع نیاز فزاینده به داروهای گیاهی، بایستی اقدامات لازم در خصوص کاشت و اهلی سازی این گیاهان انجام پذیرد. تأمین مواد اولیه برای صنایع داروسازی، نیاز به افزایش تولید محصول در واحد سطح دارد که عملی

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: farshidghaderifar@gau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2024.89219.1206

ترین و اقتصادی‌ترین روش دستیابی به این مهم، افزایش کارآیی نهاده‌های مورد استفاده در زراعت گیاهان دارویی می‌باشد (Moosazadeh, 2011).

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) از خانواده آلاله (Ranunculaceae) به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی می‌باشد که دانه‌ها، بخش دارویی این گیاه را تشکیل می‌دهند (Abbasnezhad, 2015; Khan, 1999). خواص دارویی متعددی از قبیل شیرآوری، ضد نفخ، مسهل و ضد انگل، ضد صرع و ضد ویروس، ضد باکتری، ضد سرطان، مسکن و کاهنده قند خون و محرک ایمنی برای این گیاه داوریی ذکر شده است (Khorsandi et al., 2014). این گیاه در گذشته برای اقشار کم‌درآمد و ضعیف جامعه از اهمیت زیادی برخوردار بوده و همچنین بخشی از سطح زیر کشت محصولات زراعی را به‌خود اختصاص می‌داد. در ادامه به‌دلیل کاهش تنوع زیستی کشاورزی و رواج تک‌کشتی در ایران در راستای توجه بیش از حد به چند محصول مانند گندم (*Triticum aestivum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) از کشت سیاهدانه و دیگر گونه‌ها که می‌توانند نقش بسزایی در تأمین امنیت غذایی[1] داشته باشند، چشم‌پوشی شد. به تعبیری دیگر، این گیاه را می‌توان جزء گیاهان بسیار قدیمی به‌عنوان گیاهان فراموش شده در نظر گرفت که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان و کشاورزان قرار گرفته است و ازاین‌رو، تحقیقات در جنبه‌های زراعی و اکولوژیکی به‌منظور افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کمّی و کیفی دانه‌های سیاهدانه در حال انجام می‌باشد. یکی از جنبه‌های زراعی مهم برای حصول عملکرد بالا در هر گیاه، تعیین تاریخ کاشت مناسب می‌باشد، به‌طوری‌که در تاریخ کاشت و شرایط محیطی مناسب، مراحل رویشی و زایشی گیاهان با شرایط مطلوب محیطی منطبق شده و موجب افزایش تولید می‌گردد (Vatandoost & Madandoust, 2021).

تحقیقات مختلفی در زمینه اثرات تاریخ کاشت بر عملکرد سیاهدانه صورت گرفته است. در پژوهشی که در شهر قاینات انجام شد، مشاهده شد که اثر تاریخ کاشت بر صفات عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، شاخص برداشت، تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول سیاهدانه تأثیر معنی‌داری داشت. در این پژوهش بیان شد که کاشت زودهنگام سیاهدانه به‌دلیل پایین بودن دمای خاک و صدمات ناشی از یخبندان موجب استقرار ضعیف گیاه در بهار می‌گردد و تأخیر در کاشت به‌علت کوتاه شدن دوره رشد گیاه و احتمال برخورد دوره گل‌دهی با درجه حرارت بالا منجر به کاهش عملکرد سیاهدانه می‌گردد (Rezvani Moghaddam & Ahmadzadeh Motlagh, 2007) در بررسی دیگری که پژوهشگران روی تاریخ کاشت گیاه سیاهدانه در مشهد انجام دادند، بیان کردند که تفاوت در فصل کاشت، تأثیر معنی‌داری در عملکرد و اجزاء عملکرد این گیاه دارد (Safaei et al., 2017). نتایج حاصل از پژوهشی که روی گیاه سیاهدانه به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزاء عملکرد این گیاه انجام شد، بیانگر این بود که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر صفات ذکر شده علی‌الخصوص عملکرد دانه دارد، به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت، کاهش معنی‌داری در صفاتی همچون عملکرد دانه، تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه مشاهده شد (Rezvani et al., 2021). در رابطه با تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد گیاه سیاهدانه، پژوهشی روی این گیاه در مرکز تحقیقات ملی بذر گیاهان ادویه‌ای هندوستان (ICAR[2]) انجام شد و از نتایج این بررسی تأثیرپذیری عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه سیاهدانه از تاریخ کاشت‌های متفاوت استنتاج شد (Kant et al., 2018). آن‌ها نیز مانند دیگر پژوهشگران به این نتیجه که با کاشت تأخیری، به‌دلیل کاهش طول دوره رشد و هم‌زمانی مرحله زایشی، به‌ویژه گرده‌افشانی و پرشدن دانه با درجه حرارت بالا، عملکرد و اجزاء عملکرد نیز کاهش می‌یابند، دست یافتند. در مطالعه‌ای دیگر که روی تاریخ کاشت‌های متفاوت گیاه سیاهدانه در چهار تاریخ کاشت (۵ نوامبر، ۲۰ نوامبر، ۵ دسامبر، ۲۰ دسامبر) در بنگلادش انجام شد، مشاهده شد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه دارد (Masud, 2021). همچنین در پژوهشی که در کردستان عراق روی تاریخ کاشت دو گونه سیاهدانه در دو فصل پاییز (۲ نوامبر، ۲۱ نوامبر، ۱۱ دسامبر، ۳۱ دسامبر و ۲۰ ژانویه) و بهار (۱ مارس، ۲۰ مارس، ۱۰ آوریل و ۱ می) صورت گرفت، نشان داده شد که صفاتی همچون تعداد گل در بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در هر دو فصل متغیر و تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفتند. به‌طوری‌که تمامی صفات در کشت پاییزه، بیشترین مقدار را ثبت کردند (Al-Zubaidy et al.,

1- Food security

2- Indian Council of Agricultural Research

2020).

در طی چند سال اخیر، کاشت سیاهدانه مورد استقبال کشاورزان استان گلستان قرار گرفته است، امّا آمار دقیقی از سطح زیر کاشت این گیاه وجود ندارد و براساس آمار غیررسمی خبرگزاری‌ها، در چند ساله گذشته حدود ۱۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی استان زیر کشت این گیاه رفته است. امّا اطلاعات چندانی در زمینه تاریخ کاشت این گیاه در استان وجود ندارد. همچنین کشاورزان به رقم اصلاح شده یا اکوتیپ با پتانسیل عملکرد بالا دسترسی ندارند و اکثراً از بذرهای بدون شناسنامه مشخص و با عملکرد پایین و نامناسب برای برداشت مکانیکی استفاده می‌کنند. ازاین‌رو، استفاده از یک اکوتیپ یا رقم با خصوصیات زراعی مطلوب و عملکرد بالا در افزایش سودآوری کشاورزان حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت این موضوع، هدف از این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای این گیاه و واکنش اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه به تاریخ کاشت در شرایط آب‌وهوایی شهر گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت در گرگان، آزمایش مزرعه‌ای در مزرعه آموزشی شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در کیلومتر ۴ جاده قدیم گرگان- کردکوی در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی انجام شد. ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۲ متر با وضعیت آب‌وهوایی معتدل و نیمه‌مرطوب (مدیترانه‌ای) با متوسط بارندگی ۶۰۷ میلی‌متر در سال و متوسط کمینه و بیشینه دما به‌ترتیب ۳/۴ و ۳۳/۲ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱). بافت خاک مزرعه لوم رسی سیلتی می‌باشد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی در طول فصل رشد سیاهدانه

Table 1- Meteorological information during the growing season of black seed

	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July
کمینه دما $T_{Minimum}$ (°C)	2.58	1.75	4.81	4.15	11.48	16.73	20.71
بیشینه دما $T_{Maximum}$ (°C)	15.81	19.33	14.61	18.51	25.77	30.71	33.45
میزان بارندگی Precipitation (mm)	27.9	37.4	65.1	74.7	46.2	10.2	22.3
درصد رطوبت نسبی Relative humidity (%)	74.05	75.69	80.99	84.42	76.35	64.62	62.48

بذرهای ۱۳ اکوتیپ مختلف سیاهدانه از مناطق مختلف ایران جمع‌آوری و در دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان پاکدشت دانشگاه تهران کشت شد (جدول ۲). ازاین‌رو، بذرهای اکوتیپ‌ها از دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان تهیه و برای کاشت در این طرح استفاده شد.

به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، ابتدا توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم و سپس دو مرتبه عمودبرهم دیسک زده شد. جهت تسطیح زمین در مرحله آخر یک ماله به انتهای دیسک متصل گردید. قبل از عملیات دیسک، کودهای مورد نیاز (۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود اوره) به‌صورت دستی به خاک اضافه شد. همچنین کود اوره به‌صورت سرک به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله گل‌دهی همراه با آبیاری به خاک اضافه شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014). آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات[1]) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا گردید. در این آزمایش، تاریخ کاشت در چهار سطح (۲۸ آذر ماه، ۲۸ دی ماه، ۲۸ بهمن ماه و ۲۵ اسفند ماه ۱۳۹۹) به‌عنوان فاکتور اصلی و اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در ۱۳ سطح به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. کاشت اکوتیپ‌های مختلف به‌صورت دستی در تاریخ کاشت‌های مورد نظر انجام شد. در هر تکرار، ۱۳ جمعیت به‌صورت چهار خط دو متری با

1- Split-plot

فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر کشت شد. برای اطمینان از تراکم مطلوب (۱۰۰ بوته در متر مربع)، بذرها در ردیف‌های کاشت با تراکم بذر بالا کاشت شدند. سپس بعد از سبز شدن، عملیات تنک نهایی برای حصول تراکم مطلوب انجام شد. برای مقابله با علف‌های هرز در طول فصل رشد، وجین دستی انجام شد.

جدول ۲- اسامی اکوتیپ‌های سیاهدانه مورد مطالعه
Table 2- Names of studied black seed ecotypes

Ecotypes name	نام اکوتیپ
Tafresh	تفرش
Gardmiran	گردمیران
Razan	رزن
Hamedan	همدان
Arak	اراک
Esfahan	اصفهان
Semirom	سمیرم
Eqlid	اقلید
Ashkezar	اشکذر
Zabol	زابل
Bajestan	بجستان
Sarayan	سرایان
Khaf	خواف

آبیاری زمین نیز به‌صورت غرقابی در دو مرحله در طی فصل رشد صورت گرفت. زمان برداشت گیاه سیاهدانه براساس ظهور علائم رسیدگی در گیاه انجام گرفت. علایم رسیدگی سیاهدانه شامل زرد شدن و خشک شدن بوته‌ها و ریزش برگ‌ها، قهوه‌ای شدن فولیکول و سیاه و سفت شدن بذور در فولیکول بود. برای اندازه‌گیری اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در هر تاریخ کاشت، ابتدا ۱۰ بوته از هر تکرار برداشت شده و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه موجود در هر فولیکول و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و ثبت گردید. لازم به ذکر است که تاریخ برداشت با توجه به تاریخ کاشت و اکوتیپ متفاوت بود که در تاریخ کاشت اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۲۰۴-۱۹۲، ۱۸۳-۱۶۸، ۱۵۳-۱۴۰ و ۱۳۰-۱۲۰ روز از کاشت تا برداشت بین اکوتیپ‌ها متغیر بود. به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه، در هر کرت پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کرت و حذف دو خط کناری، به‌دلیل از بین بردن اثرات حاشیه، عملکرد دانه‌های دو ردیف میانی به‌طول یک متر از هر کرت برداشت و توزین شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها، برازش مدل‌های رگرسیون خطی و نمودار جعبه‌ای[5] با نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام شد و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد شاخه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت، اکوتیپ و اثرات متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در تاریخ کاشت اول و دوم، بیشترین تعداد شاخه در بوته در اکوتیپ‌های زابل و بجستان مشاهده شد. درحالی‌که در تاریخ کاشت سوم، اختلاف آماری بین اکوتیپ‌ها مشاهده نشد و در تاریخ کاشت چهارم، بیشترین تعداد شاخه در اکوتیپ‌های گردمیران و رزن مشاهده شد. با نزدیک شدن به تاریخ کاشت چهارم به‌دلیل همزمانی دوره رشدی گیاه با دمای بالا، فرصت رشد رویشی از گیاه کاسته شده و در نهایت، بدون تکمیل اندام‌های رویشی همانند شاخه-ها در مقایسه با تاریخ کاشت مطلوب، گیاه وارد فاز زایشی می‌شود. در پژوهشی روی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* willd) مشاهده شد که کاهش سهم اندام رویشی گیاه با تأخیر در کاشت، دلیل کاهش تعداد شاخه‌ها است. همچنین در این پژوهش بیان شد که اختلاف در صفات رویشی از اختلاف و تفاوت‌های ژنتیکی اکوتیپ‌های مختلف حاصل می‌شود (Fazeli et al., 2021). در پژوهشی که روی گیاه سیاهدانه صورت گرفت، مشاهده شد که بین اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در تعداد شاخه‌های جانبی تنوع وجود دارد. همچنین با توجه به اینکه شرایط محیطی مطالعه برای همه اکوتیپ‌ها برابر بود، بیان شد که تفاوت‌های موجود در اکوتیپ‌ها در اثر تفاوت ژنتیکی آن‌ها ایجاد شده است (Mohebodini et al., 2019). همچنین در پژوهشی که روی گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) انجام شد، مشاهده شد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی دارد. براساس نتایج این پژوهش بیان شد که در تاریخ کاشت‌های زودتر با توجه به مصادف شدن دوره رشدی گیاه با دمای مطلوب‌تر، فرصت بیشتری برای رشد و توسعه وجود داشته است، امّا در تاریخ کاشت‌های دیرتر به‌علت وجود دمای بالا با کاهش رشد و توسعه گیاه، از میزان شاخه‌های جانبی گیاه کاسته است (Zeynali

5- Box-plot

(Charkandi et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرفولوژیک، اجزاء عملکرد و عملکرد دانه اکوتیپ‌های سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت‌های مختلف

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for morphological traits, yield components and seed yield of black seed ecotypes in response to different planting dates

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	ارتفاع در زمان رسیدگی برداشت Plant height	تعداد فولیکول در بوته No. of follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول No. of grain in the follicle	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.04^{ns}	5.46^{ns}	0.17^{ns}	20.51**	0.0228**	72220.4^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (D)	3	44.45**	3992.07**	30.46**	11503.87**	0.64**	2869369.9**
خطای ۱ Error 1	6	0.03	5.89	0.17	16.63	0.08	80638.2
اکوتیپ Ecotype (E)	12	0.49**	49.00**	0.95**	118.06**	0.41**	176840.4**
E × D	36	1.025**	39.12**	0.87**	60.81**	0.05**	27496.3^{ns}
خطای ۲ Error 2	96	0.10	7.60	0.26	1.72	0.0006	25991.8
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.08	4.22	9.65	1.92	1.17	15.54

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین اکوتیپ‌ها و تاریخ کاشت‌ها و همچنین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت در ارتفاع بوته در زمان رسیدگی اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت، میزان ارتفاع بوته در زمان رسیدگی در اکوتیپ‌ها کاهش یافت. بیشترین مقدار کاهش ارتفاع برای اکوتیپ اشکذر بود و کمترین مقدار کاهش ارتفاع برای اکوتیپ‌های سمیرم و تفرش به ثبت رسید. همچنین در تمام تاریخ کشت‌ها، اختلاف بین اکوتیپ‌ها از نظر ارتفاع در زمان رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۵)، به‌طوری‌که در تاریخ کاشت اول، بیشترین ارتفاع در زمان رسیدگی متعلق به اکوتیپ زابل و در تاریخ کاشت دوم و سوم، بیشترین ارتفاع در زمان رسیدگی متعلق به اکوتیپ تفرش بود. همچنین در تاریخ کاشت چهارم، اکوتیپ‌های اراک و اشکذر بیشترین ارتفاع را در زمان رسیدگی برداشت داشتند. با نزدیک شدن به زمان تاریخ کاشت چهارم، به‌دلیل کاهش طول دوره رشدی گیاه سیاهدانه و همزمانی این دوره با گرمای هوا و ورود به فاز زایشی سبب کاهش ارتفاع بوته در زمان گل‌دهی شد. همچنین ویژگی ژنتیکی برخی از اکوتیپ‌ها در معنی‌دار شدن این صفت تأثیر بسزایی دارد. به عبارت دیگر، اکوتیپ‌هایی از قبیل تفرش، گردمیران و سمیرم با تأخیر در کاشت، ارتفاع بوته آن‌ها تغییر چندانی نکرد و دارای ارتفاع بوته ثابتی بودند. در مطالعه‌ای اعلام شد که با تأخیر در کاشت از ۱۵ اکتبر تا ۳۰ نوامبر با کوتاه‌تر شدن دوره رشد به‌طور قابل توجهی ارتفاع بوته کاهش یافت (Mahmood et al., 2012). نتایج حاصل از مطالعه‌ای که روی سیاهدانه در مناطق گرمسیری و مرطوب هند صورت گرفت، نشان داد که تاریخ کاشت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع این گیاه داشت (Giridhar et al., 2017). در رابطه با تأثیر اکوتیپ بر ارتفاع بوته، نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های پژوهشی که در اتیوپی و ایران روی ارقام مختلف سیاهدانه انجام شد، همسو بود. در این پژوهش بیان شد که بین این ارقام از لحاظ ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (Assefa et al., 2015; Saydi et al., 2022). همچنین در مطالعه‌ای که روی ۳۰ اکوتیپ از سیاهدانه صورت گرفته بود، مشاهده شد که بین اکوتیپ‌های مختلف از سیاهدانه و همچنین

تاریخ کاشت‌های مختلف از نظر ارتفاع بوته در زمان برداشت اختلاف معنی‌دار وجود دارد (Golkar & Nourbakhsh, 2019).

تعداد فولیکول در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت و اکوتیپ بر تعداد فولیکول در بوته معنی‌دار بود، همچنین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت نیز بر تعداد فولیکول در بوته تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۳). نتایج بیانگر این است که با تأخیر در کاشت، تعداد فولیکول در بوته در همه اکوتیپ‌ها کاهش یافت. تعداد فولیکول در بوته بین اکوتیپ‌های مختلف در تاریخ کاشت‌های مختلف متفاوت بود (جدول ۶). در تاریخ کاشت اول، اکوتیپ زابل بیشترین تعداد فولیکول در بوته را به خود اختصاص داد. در تاریخ کاشت دوم، اکوتیپ تفرش بیشترین تعداد فولیکول در بوته را داشت و همچنین در تاریخ کاشت-های سوم و چهارم، بیشترین تعداد فولیکول در بوته از اکوتیپ‌های بجستان، سرایان و خواف به‌دست آمد. با نزدیک شدن به تاریخ کاشت چهارم، به‌دلیل کوتاه شدن طول دوره رشد و محدود شدن رشد رویشی و تولید شاخه‌های جانبی کمتر و به‌دنبال آن تولید تعداد گل کمتر در فاز زایشی، تعداد فولیکول در هر بوته نیز تحت تأثیر قرار گرفته و کاهش پیدا می‌کند. این پدیده در اکوتیپ‌های دیررس‌تر مشهودتر بود.

جدول ٤- مقایسه میانگین تعداد شاخه جانبی در بوته اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت

Table 4- Mean comparison of the average number of branches per plant of different black seed ecotypes in response to planting date

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت اول First planting date	تاریخ کاشت دوم Second planting date	تاریخ کاشت سوم Third planting date	تاریخ کاشت چهارم Fourth planting date
تفرش Tafresh	7.00	6.33	6.33	4.33
گردمیران Gardmiran	6.00	6.00	6.67	5.33
رزن Razan	7.00	6.00	6.67	5.33
همدان Hamedan	6.33	7.00	6.67	5.00
اراک Arak	6.33	6.00	6.67	5.00
اصفهان Esfahan	7.00	7.00	6.67	4.33
سمیرم Semirom	7.00	7.00	6.67	4.00
اقلید Eqlid	6.00	7.00	6.33	3.33
اشکذر Ashkezar	7.00	7.00	6.33	3.67
زابل Zabol	8.00	7.00	6.00	4.33
بجستان Bajestan	8.00	7.00	6.00	4.67
سرایان Sarayan	6.67	7.00	6.00	4.67
خواف Khaf	7.00	6.00	6.33	4.33
LSD (0.05)	0.001^{**}	0.27^{**}	0.878^{ns}	1.01^{**}

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

در نتایج حاصل از مطالعه‌ای که روی تاریخ کاشت‌های مختلف سیاهدانه صورت گرفت، مشاهده شد که تاریخ کاشت تأثیر بسزایی بر تعداد فولیکول در بوته دارد (Kazerani et al., 2005). در پژوهشی که با بررسی سه تاریخ کاشت نیمه اول و دوم اسفند و نیمه اول فروردین در سیاهدانه انجام شد، گزارش شد که دو تاریخ کاشت اول به‌دلیل استفاده از بارندگی و استقرار بهتر گیاه در خاک، بیشترین تعداد فولیکول در بوته را داشتند. همچنین بیان شد که سیاهدانه، گیاهی گل انتهایی و رشد محدود است و گل و میوه فقط در انتهای هر شاخه تشکیل می‌شود و تعداد فولیکول در بوته از تعداد شاخه‌های گل دهنده تبعیت می‌کند و احتمالاً تأخیر در کاشت باعث کاهش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده و از طرفی، برخورد مرحله گل‌دهی سیاهدانه با هوای گرم شده است که این موضوع باعث ریزش گل‌ها و کاهش تعداد فولیکول در گیاه گردید که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق همسو می‌باشد (Javadi, 2008).

تعداد دانه در فولیکول

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده این است که اثرات اصلی تاریخ کاشت و اکوتیپ و همچنین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر تعداد بذر در فولیکول تأثیر معنی‌داری دارد (جدول ۳). همان‌طور که در نتایج نشان داده شد، این تأثیر به‌صورت کاهشی است. همچنین در همه تاریخ کاشت‌ها، بین اکوتیپ‌ها در تعداد دانه در فولیکول اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۷)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در تاریخ کاشت اول و دوم در اکوتیپ اصفهان، در تاریخ کاشت سوم در اکوتیپ رزن و در تاریخ کاشت چهارم در اکوتیپ‌های اراک و بجستان مشاهده شد. کاهش تعداد دانه در فولیکول در تاریخ کاشت‌های انتهایی به‌دلیل خلأ رشد گیاه در طول دوره رشد و کم بودن سطح سبز گیاه می‌باشد. پرشدن دانه از انتقال مجدد مواد ذخیره شده در برگ‌ها تبعیت می‌کند. بنابراین، هر چه طول دوره رشد کمتر باشد، تعداد شاخه فرعی و برگ در بوته کمتر و به دنبال آن انتقال کمتر و در نهایت، کاهش تعداد دانه در فولیکول رخ می‌دهد.

در این رابطه، محققان مطالعاتی را انجام دادند و بیان داشتند که تأخیر در زمان کاشت با کوتاه شدن طول دوره رشد سبب تأثیر منفی بر محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است. کاشت دیرهنگام باعث کوتاه شدن دوره رشد رویشی می‌شود و گیاه زودتر از آن وارد مرحله زایشی شده است. بنابراین احتمالاً همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل سبب کاهش شدید دانه در فولیکول می‌شود. همچنین پژوهشگران دیگری نیز در مطالعات خود اظهار داشتند که با تأخیر در کاشت، کاهش محسوسی در تعداد دانه در فولیکول حادث می‌شود. (Bahramifar & Baziar, 2022; Mahmood et al., 2012; Majumder et al., 2012)

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزاردانه تحت تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی اکوتیپ، تاریخ کاشت و اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۳). همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده، روند کاهش در وزن هزاردانه از تاریخ کاشت اول الی تاریخ کاشت چهارم بین اکوتیپ‌ها قابل شهود است (جدول ۸). به این ترتیب که در تاریخ کاشت اول و چهارم اکوتیپ خواف، در تاریخ کاشت دوم اکوتیپ اشکذر و در تاریخ کاشت سوم اکوتیپ بجستان، بیشترین وزن هزاردانه را به خود اختصاص دادند.کاهش در وزن هزاردانه همانند دیگر صفات اجزاء عملکرد دانه به‌دلیل کاهش طول دوره رشد و همچنین عدم تکمیل اندام‌های فتوسنتزکننده و به دنبال آن خلأ در انتقال مجدد طی پرشدن دانه رخ می‌دهد. به این ترتیب، کاهش وزن هزاردانه با نزدیک شدن به تاریخ کاشت چهارم قابل شهود است. در این خصوص، تحقیقات مختلفی صورت گرفت که نشان داد، وزن هزار دانه تحت تأثیر معنی‌دار اکوتیپ و تاریخ کاشت قرار گرفت و با نتایج حاصل از این تحقیق برابر بود. در نتایج حاصل از مطالعه‌ای بیان شد که صفت وزن هزاردانه تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت قرار گرفت. برای توجیه این نتیجه این‌طور بیان شد که ممکن است در تاریخ کاشت مطلوب به‌دلیل مساعد بودن عوامل محیطی در طول دوره رشد، گیاه قادر است تا علاوه‌بر رشد رویشی بیشتر، تولید محصولات فتوسنتزی بیشتر و ذخیره در منبع (source) و در نهایت، تقسیم و انتقال بهتر و بیشتر به مخزن (sink) را داشته باشد که با یافته‌های حاصل از این تحقیق برابری می‌کند (Waliullah et al., 2021). در همین راستا، در پژوهشی که روی گیاه سیاهدانه انجام شد، مشاهده گردید که تاریخ کاشت تأخیری به سبب کاهش دوره طول رشد و خلاء در انتقال مواد به دانه تأثیر بسزایی در کاهش وزن هزاردانه دارد (MASUD, 2021). در مطالعه-

ای که روی ۱۰ رقم سیاهدانه صورت گرفت، مشاهده شد که بین ارقام مختلف سیاهدانه از نظر وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق هم‌خوانی دارد (Prakhova, 2022).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد تحت تأثیر معنی‌دار اکوتیپ و تاریخ کاشت قرار گرفت، امّا اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۳). با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه در همه اکوتیپ‌ها به‌صورت خطی کاهش یافت. میانگین عملکرد دانه در تاریخ کاشت اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۱۳۵۵، ۱۰۲۰، ۱۰۸۰ و ۶۹۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱- الف). همچنین بیشترین عملکرد دانه از اکوتیپ خواف با ۱۲۴۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۱- ب). همچنین اکوتیپ‌های سرایان، بجستان، زابل و اصفهان به‌ترتیب با عملکرد دانه ۱۱۷۹، ۱۱۵۶، ۱۱۴۱ و ۱۱۱۷ کیلوگرم در هکتار بعد از اکوتیپ خواف دارای بالاترین عملکرد دانه بودند. کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب از اکوتیپ‌های اراک و گردمیران با عملکرد ۹۰۳ و ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

جدول ۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در زمان رسیدگی برداشت اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت

Table 5- Mean comparison of the average plant height (cm) at the time of harvest of different black seed ecotypes in response to planting date

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت اول First planting date	تاریخ کاشت دوم Second planting date	تاریخ کاشت سوم Third planting date	تاریخ کاشت چهارم Fourth planting date
تفرش Tafresh	67.00	62.33	54.00	52.33
گردمیران Gardmiran	70.67	61.33	48.33	54.67
رزن Razan	71.67	56.00	49.67	50.33
همدان Hamedan	69.00	54.67	43.67	53.33
اراک Arak	70.33	57.67	43.00	57.67
اصفهان Esfahan	67.33	52.00	45.00	43.67
سمیرم Semirom	68.67	59.67	54.00	52.67
اقلید Eqlid	70.33	54.00	47.00	46.00
اشکذر Ashkezar	72.67	49.00	43.33	57.67
زابل Zabol	75.67	55.00	49.33	48.67
بجستان Bajestan	75.00	49.33	48.33	49.67
سرایان Sarayan	70.67	52.67	46.67	53.00
خواف Khaf	69.67	50.67	45.00	52.33
LSD (%5)	3.658**	1.615**	1.674**	7.124**

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

برای درک بهتر واکنش عملکرد دانه اکوتیپ‌های سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت، معادله رگرسیون خطی ساده به داده‌های

عملکرد دانه در مقابل تاریخ کاشت برازش داده شد (شکل ۲). همان طور که مشاهده می‌شود، با تأخیر در کاشت در کلیه اکوتیپ‌ها، عملکرد دانه به‌صورت خطی کاهش یافت که شیب کاهش عملکرد بین اکوتیپ‌ها متفاوت بود. بیشترین کاهش عملکرد دانه به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت در اکوتیپ‌های سرایان، خواف، زابل و اصفهان با ۸-۹ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت مشاهده شد. کمترین کاهش عملکرد در پاسخ به تاریخ کاشت در اکوتیپ اشکذر با ۳/۹ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت مشاهده شد. کاهش عملکرد سایر اکوتیپ‌ها نیز با حدود ۴-۶ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد دانه به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت بود. نکته قابل توجه این است که اکوتیپ‌های مورد استفاده در این مطالعه که دارای عملکرد دانه بالایی بودند (به‌استثنای بجستان) به تاریخ کاشت حساس‌تر بوده و کاهش عملکرد بیشتری در پاسخ به تاریخ کاشت نسبت به سایر اکوتیپ‌ها داشتند. امّا اکوتیپ بجستان با اینکه عملکرد دانه بالایی دارند، نسبت به اکوتیپ‌های پرعملکرد، حساسیت کمتری به تاریخ کاشت داشت و به‌ازای هر روز تأخیر در کاشت، کاهش عملکرد کمتری در آن مشاهده می‌شود، ازاین‌رو می‌توان بیان داشت که در بین اکوتیپ‌های پرعملکرد سیاهدانه، اکوتیپ بجستان علاوه‌بر عملکرد دانه بالاتر، سازگاری بیشتری به تاریخ کاشت داشته و کاهش عملکرد دانه کمتری دارد و می‌توان این اکوتیپ را به‌عنوان اکوتیپ برتر برای کاشت در این منطقه انتخاب کرد که برای تأیید آن نیاز به آزمایش‌های تکمیلی در مطالعات آتی دارد.

جدول ٦- مقایسه میانگین تعداد فولیکول در بوته اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت

Table 6- Mean comparison of the average number of follicle per plant of different black seed ecotypes in response to planting date

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت اول First planting date	تاریخ کاشت دوم Second planting date	تاریخ کاشت سوم Third planting date	تاریخ کاشت چهارم Fourth planting date
تفرش Tafresh	6.67	6.67	5.67	4.00
گردمیران Gardmiran	6.33	5.67	5.00	5.00
رزن Razan	6.00	5.67	5.33	5.00
همدان Hamedan	5.67	5.67	6.00	5.00
اراک Arak	6.00	5.33	5.67	5.00
اصفهان Esfahan	6.67	5.67	5.00	4.00
سمیرم Semirom	6.67	5.67	5.33	4.00
اقلید Eqlid	6.00	5.67	6.00	3.00
اشکذر Ashkezar	6.33	5.33	6.00	4.00
زابل Zabol	8.00	5.33	6.00	4.00
بجستان Bajestan	7.33	5.33	6.00	5.00
سرایان Sarayan	7.00	5.67	6.00	5.00
خواف Khaf	7.33	6.33	6.00	5.00
LSD (%5)	1.374^{*}	1.013^{ns}	0.562^{**}	0.002^{**}

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین تعداد دانه در فولیکول اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت

Table 7- Mean comparison of the average number of grains in the follicle of different black seed ecotypes in response to planting date

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت اول First planting date	تاریخ کاشت دوم Second planting date	تاریخ کاشت سوم Third planting date	تاریخ کاشت چهارم Fourth planting date
تفرش Tafresh	74.00	57.67	54.33	23.67
گردمیران Gardmiran	77.00	47.67	56.33	33.67
رزن Razan	72.33	52.33	63.33	31.67
همدان Hamedan	68.67	48.67	52.67	29.67
اراک Arak	75.33	48.00	46.00	37.67
اصفهان Esfahan	82.00	62.33	63.00	35.67
سمیرم Semirom	78.33	57.67	55.33	34.67
اقلید Eqlid	68.33	48.67	47.00	28.67
اشکذر Ashkezar	73.00	53.00	52.00	36.67
زابل Zabol	71.33	56.67	50.33	24.67
بجستان Bajestan	75.33	56.67	44.33	37.67
سرایان Sarayan	81.00	53.67	46.33	33.67
خواف Khaf	73.33	53.33	45.33	35.67
LSD (%5)	1.853**	2.638**	1.843**	0.001**

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

با تأخیر در کاشت، عملکرد به موازات کاهش در اجزاء عملکرد کاهش می‌یابد. همان طور که هر یک از عواملی همچون کاهش طول دوره رشد، کاهش رشد و پیکره رویشی گیاه، همزمانی گل‌دهی و گرده‌افشانی با دمای بالای هوا و خلأ در انتقال مجدد مواد فتوسنتزی طی پر شدن دانه سبب کاهش اجزاء عملکرد می‌شود، برآیند این عوامل موجب کاهش در عملکرد دانه نیز می‌گردد. در پژوهشی که در مزرعه تحقیقات کشاورزی دانشگاه هارینپور پاکستان روی گیاه سیاهدانه انجام شد، مشاهده گردید که عملکرد دانه تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت قرار دارند. پژوهشگران در این بررسی اظهار داشتند که در کاشت با تأخیر به‌دلیل کاهش طول دوره رشد و همچنین همزمانی مرحله زایشی با شرایط نامطلوب هوایی، کاهش در عملکرد و اجزاء عملکرد مشهود است (Mehmood, 2018). در پژوهشی که در شرایط آب‌وهوایی شهرستان فسا روی گیاه سیاهدانه انجام شد، نشان داده شد که بین تاریخ کاشت‌های مختلف از نظر عملکرد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. در این رابطه بیان شد که کاشت دیرهنگام باعث کوتاه شدن دوره رشد رویشی می‌شود و گیاه زودتر از آن وارد مرحله زایشی شده است. بنابراین احتمالاً به‌دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل سبب کاهش شدید عملکرد می‌شود (Bahramifar & Baziar, 2022). نتایج پژوهش دیگر که روی ۲۰ اکوتیپ از سیاهدانه انجام شد، نشان دهنده این بود که با تأخیر در کشت، کاهش چشمگیری در عملکرد مشاهده-شد. گزارش‌ها حاکی از آن است که بین اکوتیپ‌های سیاهدانه از لحاظ عملکرد دانه اختلاف وجود دارد (Shahbazi, 2019).

جدول ۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه (گرم) اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت

Table 8- Mean comparison of the average 1000 grain weight (grams) of different black seed ecotypes in response to planting date

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت اول First planting date	تاریخ کاشت دوم Second planting date	تاریخ کاشت سوم Third planting date	تاریخ کاشت چهارم Fourth planting date
تفرش Tafresh	2.229	1.921	1.921	1.938
گردمیران Gardmiran	2.165	2.091	1.853	1.952
رزن Razan	2.094	2.117	1.892	1.990
همدان Hamedan	2.164	1.903	1.853	1.748
اراک Arak	2.277	1.835	1.714	1.750
اصفهان Esfahan	2.469	2.328	2.155	2.052
سمیرم Semirom	2.234	1.825	1.665	1.608
اقلید Eqlid	2.147	1.835	1.605	1.856
اشکذر Ashkezar	2.435	2.355	2.106	2.001
زابل Zabol	2.204	1.988	1.928	1.910
بجستان Bajestan	2.195	2.192	2.169	2.071
سرایان Sarayan	2.005	2.313	2.095	2.015
خواف Khaf	2.583	2.178	2.125	2.084
LSD (%5)	0.072*	0.029*	0.013*	0.002*

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

*, ** and ns: are significant at 0.05 and 0.01 probability levels and non significant, respectively

در پژوهشی در شهر مشهد نشان داده شد که اکوتیپ‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارند (Javadi Hedayatabad et al., 2014).

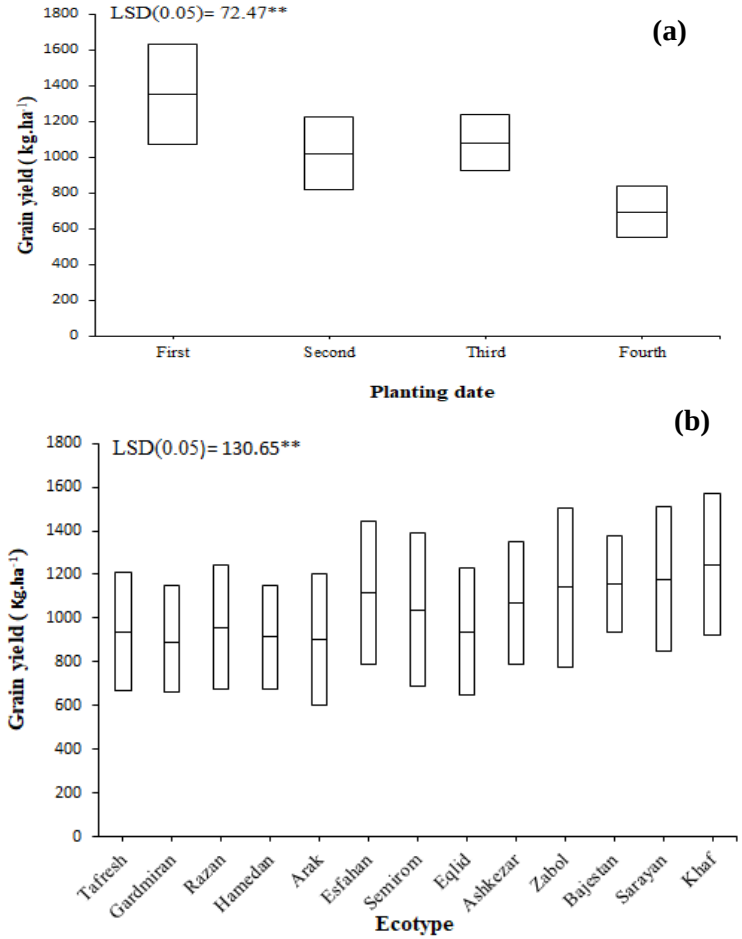
در مطالعه دیگری که روی ۲۸ اکوتیپ سیاهدانه در خراسان صورت گرفت مشاهده شد که اکوتیپ‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه دارند (Faravani et al., 2006). در پژوهشی دیگر که در دو شهر اسپارتا[1] و اسکی‌شهیر[2] ترکیه روی پنج جمعیت بومی سیاهدانه صورت گرفت، مشاهده شد که عملکرد دانه تحت تأثیر معنی‌دار جمعیت قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد را جمعیت اوساک در هر دو منطقه و هر دوسال به ثبت رسانید (Kara et al., 2015).

1- Isparta,Turkey
2- Iski Chahir,Turkey

همبستگی صفات

عملکرد دانه در سیاهدانه با تعداد شاخه در بوته (۰/۷۴)، ارتفاع بوته در زمان رسیدگی برداشت (۰/۵۷)، تعداد فولیکول در بوته (۰/۸۳)، تعداد دانه فولیکول (۰/۸۴) و وزن هزار دانه (۰/۵۵) همبستگی مثبت و معنی‌نشان داد (جدول ۹). به عبارت دیگر، با افزایش این صفات، عملکرد دانه در اکوتیپ‌های سیاهدانه افزایش می‌یابد. در واقع می‌توان بیان داشت که علت افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های مطلوب و اکوتیپ‌های پرعملکرد به‌دلیل ارتفاع و تعداد شاخه بیشتر و به دنبال آن تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه بیشتر می‌باشد. ازاین‌رو، این صفات از صفات

تأثیرگذار بر عملکرد دانه در گیاه سیاهدانه می‌باشد که می‌تواند در تحقیقات آینده مدنظر اصلاح‌گران این گیاه قرار گیرد.



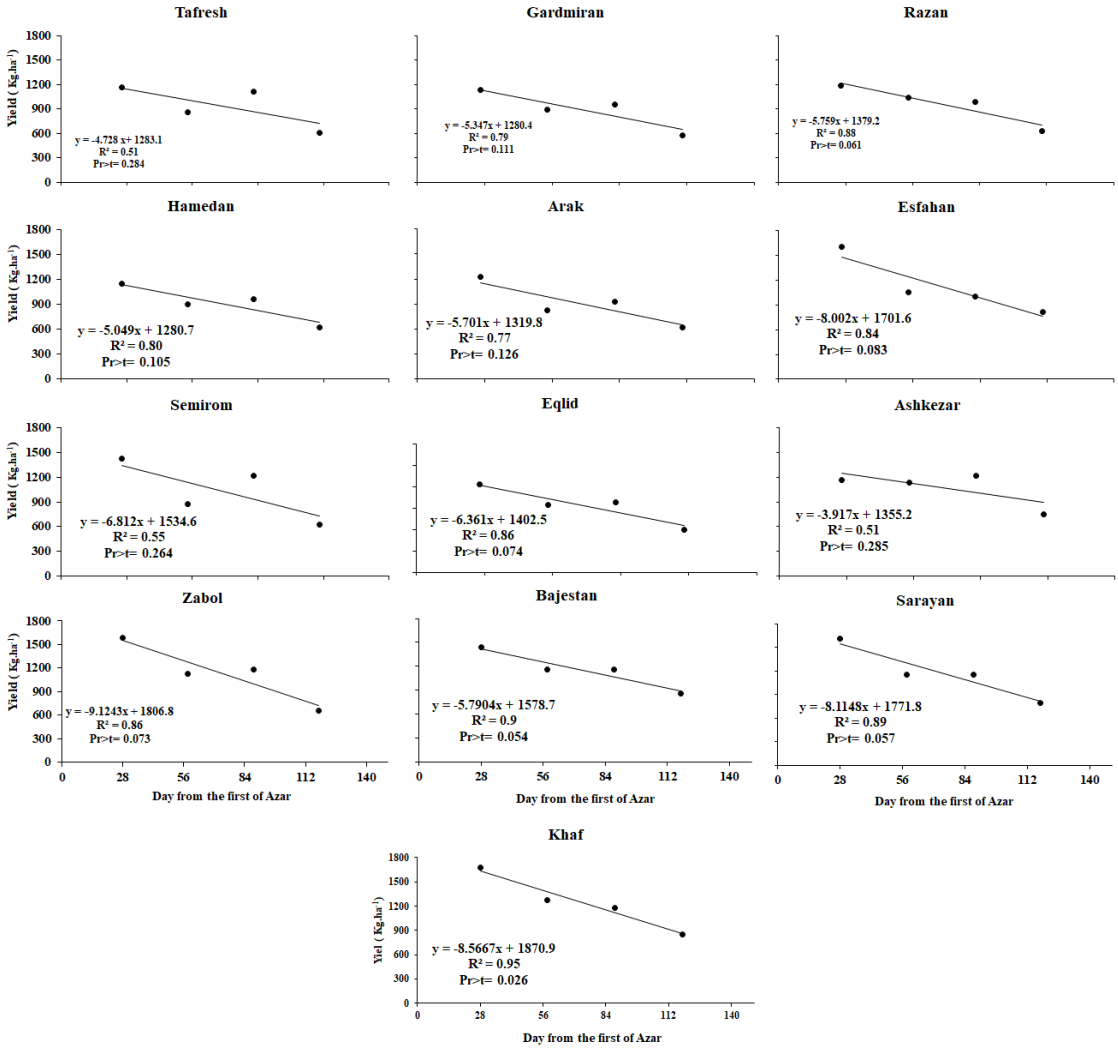
شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد سیاهدانه در پاسخ به تاریخ کاشت (a) و اکوتیپ (b) در شرایط اقلیمی گرگان

Fig. 1- Mean comparison of average yield of black seed in response to planting date (a) and ecotypes (b) In the climatic conditions of Gorgan

جدول ۹- همبستگی صفات اندازه‌گیری شده با عملکرد دانه اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه

Table 9- Correlation of measured traits with seed yield of different black seed ecotypes

	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	ارتفاع بوته در زمان رسیدگی برداشت Height at harvesting	تعداد فولیکول در بوته No. of follicleper plant	تعداد دانه فولیکول No. of grain in the follicle	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	1					
ارتفاع بوته در زمان رسیدگی برداشت Height at harvesting	0.518 **	1				
تعداد فولیکول در بوته No. of follicleper plant	0.805 **	0.668 **	1			
تعداد دانه در فولیکول No. of grain in the follicle	0.776 **	0.736 **	0.79 **	1		
وزن هزار دانه 1000-grain weight	0.323*	0.325*	0.38 **	0.438 **	1	
عملکرد دانه Grain yield	0.734 **	0.567 **	0.833 **	0.841 **	0.553 **	1



شکل ۲- برازش مدل رگرسیون خطی به داده‌های عملکرد دانه در پاسخ به تاریخ کاشت در اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه

Fig. 2- Fitting the linear regression model to the grain yield data in response to planting date in different black seed ecotypes

محور ایکس زمان براساس روز از اول آذر می‌باشد.R^2، ضریب تبیین معادله و Pr>t سطح احتمال معنی‌داری را نشان می‌دهد.

x-axis is time based on days from the first of Azar. R^2, the coefficient of explanation of the equation and Pr>t indicates a significant probability level.

در مطالعه‌ای که روی گیاه سیاهدانه صورت گرفت، گزارش شد که ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (Akbarinia et al., 2005). در پژوهشی دیگر که در گیاه سیاهدانه صورت گرفت نشان داده شد که عملکرد دانه با تعداد دانه در فولیکول، وزن فولیکول، ارتفاع گیاه و وزن زیست‌توده دارای همبستگی بالا و مثبتی است (Ghorbanzadeh Neghab & Zare Mehrjerdi, 2018).

نتیجه‌گیری

از مجموع یافته‌های این تحقیق مشخص می‌شود که عملکرد دانه سیاهدانه تحت تأثیر مثبت اکوتیپ و تاریخ کاشت‌های مختلف می‌باشد. انتخاب تاریخ کاشت مناسب در ابتدا بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تأثیرگذار بوده و در ادامه، با فراهم‌سازی مدت زمان مناسب برای طول دوره رشد گیاه و رشد رویشی کامل و همچنین عدم همزمانی گل‌دهی و گرده‌افشانی گیاه با شرایط محیطی نامناسب، تأثیر بسزایی در عملکرد و کیفیت دانه خواهد داشت. همچنین انتخاب اکوتیپ‌های مناسب و سازگار با شرایط محیطی منطقه به‌دلیل

خصوصیات ژنتیکی و طول دوره رشد متناسب با شرایط محیطی مورد نظر می‌تواند در حصول عملکرد بالای دانه تأثیرگذار باشد. ازاین‌رو، در برنامه به‌زراعی تولید گیاه دارویی سیاهدانه می‌توان تاریخ کاشت مطلوب و اکوتیپ متناسب با منطقه مورد تحقیق را توصیه نمود که در این تحقیق با توجه به نتایج، اکوتیپ‌های مختلف در تاریخ کاشت آذرماه بیشترین عملکرد را داشتند. همچنین می‌توان برای حصول عملکرد دانه بالاتر در این منطقه از اکوتیپ‌هایی پرعملکرد از قبیل بجستان، سرایان، زابل، اصفهان و خواف استفاده کرد که برای تأیید نهایی آن نیاز به تکرار آزمایش در چندین سال می‌باشد.

References

1. Abbasnezhad, A. (2015). Physiological effects of *Nigella sativa* seed on different body systems: A review study [review]. *Internal Medicine Today*, *21*(4), 71-81.
2. Akbarinia, A., Khosravifard, M., Rezaii, M.B., & Sharifi Ashoorabadi, E. (2005). Comparison of fall and spring cultivation on seed yield of some medicinal plant under irrigation and no-irrigation conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *21*(3), 319-334. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2005.115088
3. Al-Zubaidy, A.M., Ghafoor, B.S., & Rasul, A.A. (2020). The performance of two species of black cumin (*Nigella sativa* L.) and (*Nigella arvensis* L.) under different sowing dates in spring and autumn at Hallabja Governorate/Iraqi Kurdistan region. *Ibn AL-Haitham Journal for Pure and Applied Sciences*, *33*(3), 1-10. https://doi.org/10.30526/33.3.2465
4. Assefa, E., Alemayehu, A., & Mamo, T. (2015). Adaptability study of black cumin (*Nigella sativa* L.) varieties in the mid and high land areas of Kaffa zone, South West Ethiopia. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, *4*(1), 14-17. https://doi.org/10.11648/j.aff.20150401.13
5. Bahramifar, A., & Baziar, M.R. (2022). Improving the nutrient content, physiological indices and grain yield of black seed (*Nigella sativa* L.) with the application of vermicomposting at different planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(2), 163-178. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72537.1088
6. Faravani, M., Razavi, A.R., & Farsi, M. (2006). Study of variation in some agronomic and anatomic characters of *Nigella sativa* landraces in Khorasan. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *22*(3), 193-197. (In Persian with English abstract). https://ijmapr.areeo.ac.ir/article_101941_4115f2973f2ad5ff55d317a3ab38a5cf.pdf
7. Fazeli ,F., Akbari, G., Akbari, G.A., Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. (2021). Response of different quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes to planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(2), 41-49. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.303866.654725
8. Gerami, M., Akbari Nodehi, D., Amiri, M., & Darvakh, E. (2024). Effects of calcium nano-particle on some physiologic and biochemical characteristics of *Ocimum basilicum* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *40*(2), 415-400. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.131551
9. Ghorbanzadeh Neghab, M., & Zare Mehrjerdi, M. (2018). The study of genetic diversity, correlation between traits and path analysis in black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes. *Journal of Plant Production Research*, *25*(3), 1-12. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2018.12268.2111
10. Giridhar, K., Reddy, G.S., Kumari, S.S., Kumari, A.L., & Sivasankar, A. (2017). Influence of sowing window and plant density on growth, phenology, yield and quality of *Nigella sativa* L. in coastal humid tropic. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(9), 499-512. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.060
11. Golkar, P., & Nourbakhsh, V. (2019). Analysis of genetic diversity and population structure in *Nigella sativa* L. using agronomic traits and molecular markers (SRAP and SCoT). *Industrial Crops and Products*, *130*, 170-178. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.074
12. Javadi, H. (2008). Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yieldcomponents of black cumin (*Nigella Sativa* L.) *Iranian Journal of Field Crop Research*, *6*(1), 59-66. (In Persian with English abstract).

https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1176
13. Javadi Hedayatabad, F., Nezami, A., Kafi, M., & Shabahang, J. (2014). Response of black seed ecotypes yeild (*Nigella sativa* L.) to planting dates in Mashhad conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 632-640. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45146
14. Kant, V., Meena, S., Meena, N., & Lal, G. (2018). Influence of different dates of sowing, fertilizer level and weedicides on growth and yield of nigella (*Nigella sativa* L.) under semi-arid conditions. *International Journal of Current Micribiology and Applied Sciences*, *7*(9), 1156-1167. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.137
15. Kara, N., Katar, D., & Baydar, H. (2015). Yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) populations: The effect of ecological conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(1), 9-14. https://doi.org/10.17557/.23190
16. Kazerani, N., Abadi, L.S., Naeini, F.S., & Dashti, P. (2005). Effect of sowing date and sowing method on yield and yield components of medicinal plant of black cumin. National Conference of Medicinal Plants Sustainable Development. Mashhad, Iran. p. 175-176.
17. Ketabchi, S., & Papari Moghadamfard, M. (2021). Medicinal plants effective in the prevention and control of coronaviruses [Review paper]. *Complementary Medicine Journal*, *10*(4), 296-307. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.32598/cmja.10.4.1014.1
18. Khan, M.A. (1999). Chemical composition and medicinal properties of *Nigella sativa* Linn. *Journal of Inflammopharmacology*, *7*, 15-35. https://doi.org/10.1007/s10787-999-0023-y
19. Khorsandi, T., Nezami, A., Kafi, M., & Goldani, M. (2014). Effects of late spring forst on black seed (*Nigella sativa* L.) under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 665-676. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45150
20. Mahmood, T., Idress, M., Muhammad, N., Aslam, M., Akram, H.M., Sattar, A., & Ghaffar, A. (2012). Effect of sowing dates and method of sowing on the yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). National seminar on role of agronomy in national food security. Conference paper. Pakistan Society of Agronomy str. p.72-79.
21. Majumder, C., Pariari, A., Khan, S., & Singh, L. (2012). Determination of optimum date of sowing of black cumin (*Nigella sativa* L.) for gangetic alluvial plains of West Bengal. Proceedings of State level Seminar on Production and Management of Spices in West Bengal. https://sites.google.com/site/bckvspices/home/abs20121/abstract-16
22. Masud, A.A. (2021). Effect of date of sowing and spacing on growth and seed yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). A Thesis Submitted to the Institute of Seed Technology Sher-e-Bangla Agricultural University.
23. Mehmood, A. (2018). Sowing time and nitrogen application methods impact on production traits of kalonji (*Nigella sativa* L.). *Journal of Pure and Applied Biology*, *7*(2), 476-485. https://doi.org/10.19045/BSPAB.2018.70060
24. Mohebodini, M., Mehri, N., & Fathi, R. (2019). Evaluation of genotype and environment effects on agro-morphological traits in black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes. *Journal of Crop Breeding*, *11*(30), 108-117. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/jcb.11.30.108
25. Moosazadeh, M., & Baradaran, R. (2011). Effect of density and time of urea foliar application on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *9*(3), 422-427. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v9i3.11977
26. Prakhova, T.Y. (2022). Ecological aspects of the productivity of nigella varieties under the conditions of the Middle Volga region. *Journal of Russian Agricultural Sciences*, *48*(3), 169-173. https://doi.org/10.3103/S1068367422030090
27. Rezvani, H., Azimi Atarkale, R., Tazikeh, N., & Shahsavani, E. (2021). The effect of planting date and plant density on black cumin yield and yield components (*Nigella sativa* L.) in *Gorgan* Congress of Medicinal Plants; Mechanization and Processing. https://civilica.com/doc/1486647
28. Rezvani Moghaddam, P., & Ahmadzadeh Motlagh, M. (2007). Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*) inIslamabad-Ghayein. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, *76*, 62-68. (In Persian with English abstract)
29. Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M., & Azad, M. (2014). Effect of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *30*, 260-274. (In Persian with English abstract)
30. Safaei, Z., Azizi, M., Davarynejad, G., & Aroiee, H. (2017). The effect of planting seasons on quantitative and qualitative characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-products*, *6*(1),

27-33. https://doi.org/10.22092/jmpb.2017.113147

31. Saydi, Z., Abbasi, N., Zarea, M., & Zarei, B. (2022). Effects of nitroxin biofertilizer on morpho-physiological characteristics of black seed (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress. *Journal of Agroecology*, *14(3)*, 485-507. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2021.20298.0
32. Shahbazi, E. (2019). Genotype selection and stability analysis for seed yield of *Nigella sativa* using parametric and non-parametric statistics. *Scientia Horticulturae*, *253*, 172-179. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.047
33. Vatandoost, M., & Madandoust, M. (2021). Improving the quantitative and qualitative yield of *Dracocephalum moldavica* L. with vermicompost in different planting dates. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *19*(3), 249-260. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.68798.1022
34. Waliullah, M., Hossain, M.M., & Rahman, M.H. (2021). Influence of sowing dates and sowing methods on growth and seed yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Tropical Crop Science*, *8*(2), 124-133. https://doi.org/10.29244/JTCS.8.02.124-133
35. Zeynali charkandi, Z., Roshdi, M., & Yousefzadeh, S. (2021). Changes in essential oil content and plant yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) affected by sowing date and nitrogenfertilizer in Khoy region. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *3*(1), 25-38. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.2021.276139.1090