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

Research Article
Vol. 16, No. 3, 2024, p. 493-511

Exploring the Impact of Drought Stress on the Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes

Vahid Bazrafshan[1], Farzad Paknejad[2*], Hamid Reza Fanaei[3], Davoud Habibi[4] & Morteza Siavoshi[5]

1- Ph.D. Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
2- Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3- Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4- Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
5- Assistant Professor Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: Farzadpaknejad@yahoo.com)

Received: 30-10-2023
Revised: 24-12-2023
Accepted: 28-01-2024
Available Online: 09-11-2024

How to cite this article:
Bazrafshan, V., Paknejad, F., Fanaei, H. R., Habibi, D., & Siavoshi, M. (2024). Exploring the impact of drought stress on the yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Journal of Agroecology*, *16*(3), 493-511. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/ agry.2024.85108.1172

Introduction

Drought stress poses a significant challenge to cumin production in Iran, particularly during the flowering and seed-setting stages. Cumin is a valuable crop with numerous medicinal properties and applications in various industries. Despite its short growing season, the economic importance of cumin makes it imperative to find ways to mitigate the effects of drought stress on seed yield. Addressing the negative effects of drought stress is crucial for improving cumin seed yield. One effective strategy is to identify drought-resistant cumin cultivars. By selecting cultivars that are more resilient to drought conditions, farmers can enhance their chances of achieving higher yields, even in challenging environments.

Materials and Methods

This two-year study (2020-2021) aimed to assess the drought tolerance of 15 cumin ecotypes under field conditions in Karaj, Iran. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. The ecotypes evaluated were: Tabriz, Torbat Jam 8, Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Yazd 8, Torbat Jam 9, Khorasan Razavi 8, Pakistan, Isfahan, Hindi, Khorasan Razavi 12, Isfahan 13, Sabzevar, Torbat Heydarieh. Two treatments were applied: full irrigation and drought stress. Irrigation under full irrigation was carried out every 10

©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.2024.85108.1172

days according to soil and weather conditions, while irrigation was withheld from 50% flowering to the end of the growth period under drought stress.

Results and Discussion

The results of this study showed that drought stress reduced the yield and yield components of cumin ecotypes, but increased the essential oil content. The highest seed yield of 102.78 g m-2 was achieved by the ecotype Turbat Jam 8 under full irrigation conditions, which was statistically similar to the ecotypes Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Turbat Jam 9 and Sabzevar under normal irrigation conditions. The lowest seed yield of 65.8 g m-2 was recorded for the ecotype Khorasan Razavi 12. These results demonstrate the differential tolerance of cumin ecotypes to drought stress and highlight the potential of Turbat Jam 8 as a drought-tolerant ecotype. The Afghani ecotype proved to be drought-resistant, showing consistent grain yield under both normal irrigation and drought stress. Conversely, the Khorasan Razavi 12 ecotype was vulnerable to drought stress, exhibiting reduced biological and grain yields under these conditions. Notably, a strong positive correlation (0.973) was observed between essential oil content and seed yield, indicating that breeding for high essential oil content could also improve drought resistance and yield. In addition to the strong correlation between essential oil content and seed yield, other correlations were observed. The amount of essential oil was positively correlated with harvest index (0.787) and the weight of one thousand seeds (0.721). Seed yield also showed positive and significant correlations with the number of umbrellas per plant (0.396), harvest index (0.287) and the number of seeds per umbrella (0.232). No other traits showed significant correlations. Biological performance had positive and significant correlations with plant height, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of umbels per umbel, and number of seeds per umbel. According to result of cluster analysis based on Ward's method, divided the ecotypes into 3 groups. The highest number of ecotypes was in the third group (7 ecotypes) and the second group (6 ecotypes). The Afghani ecotype formed the first group alone. According to the type of ecotypes placed in a cluster, it can be said that the ecotypes in a cluster were very similar in terms of morphological and molecular characteristics, and the Afghani ecotype was different from other ecotypes.

Conclusion

Drought stress and ecotype interactions had a significant impact on plant height, biological yield, and grain yield. The variation in ecotype responses to drought stress may be attributed to genetic differences. The Afghani ecotype demonstrated strong resistance to drought, showing no significant reduction in grain yield under both normal irrigation and drought stress conditions, while also achieving the highest essential oil content. In contrast, the Khorasan Razavi 12 ecotype was highly sensitive to drought stress, exhibiting markedly lower biological and grain yields compared to other ecotypes.

Key words: Environmental stresses, Essential oil, Irrigation, Seed yield

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۱۱-۴۹۳

بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی

وحید بذرافشان[۱]، فرزاد پاک‌نژاد[۲*]، حمید رضا فنایی[۳]، داود حبیبی[۴] و مرتضی سیاوشی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۱/۰۸

چکیده

تنش خشکی، تولید زیره در ایران را خصوصاً در مراحل گل‌دهی با چالش جدی مواجه می‌کند. لذا، به‌منظور بررسی عملکرد و شناسایی منابع ژنتیکی متحمل، ۱۵ اکوتیپ زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۰- ۱۳۹۸) در کرج مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش نرمال، از کاشت تا پایان دوره رشد و در آزمایش تنش خشکی، از کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی آبیاری گردیدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های زیره سبز شد. بیشترین عملکرد دانه، (۱۰۳ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ تربت جام ۸ در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های افغانی، خراسان-بیرجند، یزد ۷، تربت جام ۹ و سبزوار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار این شاخص (۶۵/۸ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود. عملکرد دانه اکوتیپ افغانی، در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی یکسان بود. اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ نیز اکوتیپ حساس به تنش خشکی بود، زیرا کمترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی داشت. تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس زیره سبز نسبت به آبیاری نرمال شد و در میان اکوتیپ‌ها، بیشترین درصد اسانس زیره سبز مربوط به اکوتیپ افغانی بود. تنش خشکی، کاهش عملکرد اکوتیپ‌های مورد مطالعه زیره سبز را به همراه داشت، امّا در این میان، اکوتیپ افغانی را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ مقاوم به تنش و دارای اسانس مطلوب معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، آبیاری، تنش‌های محیطی، عملکرد دانه

مقدمه

کشت گیاهان دارویی از دیرباز تا به اکنون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. گیاهان دارویی به‌دلیل وجود اسانس و مشتقات دارویی و کاربرد فراوان آن‌ها در زمینه بهداشتی، درمانی و صنایع غذایی، بخش مهمی از اقتصاد کشورها را به خود اختصاص داده است و استفاده از گیاهان دارویی به‌عنوان ادویه، دارو و مکمل‌های غذایی از گذشته‌های دور تا امروز بسیار رایج بوده است (Rasool et al., 2020). زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، به‌دلیل فصل رشد کوتاه و همچنین ارزش اقتصادی بالا، از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان می‌باشد. زیره سبز دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی فراوان، خواص ضدباکتریایی و درمانی فراوان از جمله بهبود عملکرد

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۳- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۳- استادیار گروه علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Farzadpaknejad@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/ agry.2024.85108.1172

دستگاه گوارش می‌باشد. همچنین کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد. گیاهی مقاوم به خشکی است که شکل برگ‌ها، کوتاه بودن بوته‌ها، رنگ و پوشش سطح اندام‌های گیاه همگی نشان از سازگاری گیاه زیره سبز به شرایط تنش خشکی دارد (Allaq et al., 2020; Omidbaigi, 2007) . علاوه‌براین، زیره سبز به‌عنوان یک ادویه مهم شناخته شده است که بعد از فلفل دومین ادویه مهم دنیا به‌شمار می‌رود (Mortazavian et al., 2018).

از سوی دیگر، تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر جنبه‌های مختلف ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیرگذار است و از طریق ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان گیاه موجب تنش اکسیداتیو می‌گردد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عامل اصلی کاهش تولید محصولات است(Soares et al., 2018) . در ایران اکثر مناطق کشت زیره سبز مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند. در این مناطق، زیره سبز اغلب در مراحل گل‌دهی تا مرحله دانه‌بندی با تنش خشکی مواجه شده و عملکرد دانه زیره سبز تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و کاهش عملکرد دانه را به همراه دارد. بنابراین، مبارزه با اثرات منفی ناشی از تنش خشکی یکی از ارکان مهم در راستای افزایش عملکرد این گیاه پرخاصیت است. از طرف دیگر، شناخت ارقام مناسب و متحمل به خشکی می‌تواند امکان استفاده بهینه از منابع آبی را فراهم سازد (Bahraminejad et al., 2011). به نظر می‌رسد که گیاهان دارویی واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند. با توجه به تفاوت ژنتیکی اکوتیپ‌های مختلف گیاهان، عملکرد گیاهان متفاوت است و عملکرد گیاهان در اکوسیستم‌های مختلف تحت تأثیر عوامل متعددی مانند اکوتیپ‌ها، نوع گونه گیاهی، خاک، مشخصات جغرافیایی، عوامل ژنتیکی و اقلیم قرار دارد که هریک از این عوامل می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد، کمیت و کیفیت گیاهان داشته باشد (Ebrahimiyan et al., 2017; Soorni et al., 2021).

بررسی صفات اجزاء عملکرد از قبیل تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در چتر اهمیت به‌سزایی در تعیین عملکرد در گیاهان خانواده چتریان، خصوصاً زیره سبز دارند. صفت تعداد چتر در بوته پراهمیت‌ترین جزء عملکرد دانه، به‌دلیل اثر مستقیم و همبستگی بالا بر عملکرد دانه، به‌شمار می‌رود و معیاری مناسب برای بررسی توان تولید دانه زیره سبز می‌باشد (Afshar et al., 2016; Moslemi et al., 2023). در همین راستا گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد پنج اکوتیپ مختلف زیره سبز شده و اکوتیپ خوسف دارای بیشترین عملکرد دانه بود. همچنین صفات تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در بوته می‌توانند منجر به حصول بیشترین عملکرد شود و این صفات مهم‌ترین عوامل در تعیین عملکرد دانه می‌باشند (Moslemi et al., 2023). علاوه‌براین، گزارش شده است که تنش خشکی صفات ریخت‌شناسی زیره سبز را کاهش داد و اکوتیپ بیرجند بهترین اکوتیپ بررسی شده بود (Soorni et al., 2021). با توجه به محدودیت‌های شدید منابع آبی در کشور ما، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش تأثیرگذار بر گیاهان شناخته شده است و شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی و استفاده بهینه از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند باعث افزایش سطح زیر کشت و افزایش تولید گیاهان شود. در تولید گیاهان دارویی مقدار اسانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و شناخت اکوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی اسانس آنان دچار تغییر و کاهش نمی‌شود، بسیار حائز اهمیت است. لذا با توجه به خشکسالی و اثرات منفی حاصل از تنش خشکی، پژوهش حاضر با هدف بررسی شناخت ارقام مناسب زیره سبز به تنش خشکی و با آستانه تحمل بالا نسبت به تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عملکرد و تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های زیره سبز (*cuminum cyminum* L.) و شناسایی منابع ژنتیکی متحمل، تعداد ۱۵ اکوتیپ زیره سبز دریافتی از بانک ژن گیاهی ملی ایران در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج (مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریا) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). تیمارهای مطالعه حاضر عبارتند از ۱۵ اکوتیپ زیره سبز شامل: تبریز، تربت جام ۸، افغانی، خراسان- بیرجند، یزد ۷، یزد ۸، تربت جام ۹، خراسان رضوی ۸، پاکستان، اصفهان، هندی، خراسان رضوی ۱۲، اصفهان ۱۳، سبزوار و تربت حیدریه که در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی (قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد) بود. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک

مزرعه تحقیقاتی (جدول ۲) و روند دما و بارندگی در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی در کرج (شکل ۱) نشان داده شده است.

براساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره جهت تأمین نیتروژن در مرحله پنج برگی همزمان با تنک کردن استفاده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش بنومیل به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. هر اکوتیپ در یک واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت با طول دو متر کشت شدند، بذر هر اکوتیپ در دو ردیف کاشت بر روی هر پشته به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر با میزان بذر بالا کشت و در زمان چهار تا شش برگی، تنک‌کردن بوته‌ها تا دستیابی به تراکم مناسب انجام شد.

در آزمایش آبیاری بهینه، اکوتیپ‌ها براساس نیاز آبی تا پایان دوره رشد آبیاری شدند، دو نوبت آبیاری تا سبز شدن، آبیاری در مرحله پنج برگی، مرحله چتردهی، مرحله گل‌دهی و مرحله پر شدن دانه، در حالی‌که اکوتیپ‌ها در آزمایش تنش خشکی از مرحله گل‌دهی تا پایان دوره رشد قطع آبیاری شدند، ولی تا مرحله گل‌دهی مشابه با آزمایش نرمال آبیاری شدند. به‌منظور جلوگیری از نشت رطوبت، فاصله بین دو آزمایش از هم شش متر منظور شد. آبیاری به‌صورت نشتی انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه، در دو مرحله (اواسط فروردین و اواسط اردیبهشت) کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و توسط نیروی انسانی انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات اکوتیپ‌های مورد مطالعه

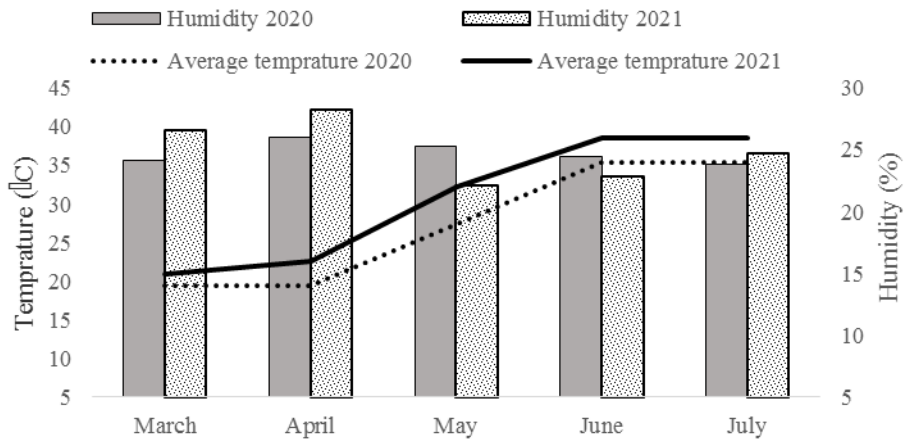
Table 1- Characteristics of studied ecotypes

ردیف Row	کد اکوتیپ در بانک ژن Ecotype code in gene bank	اکوتیپ‌ها ecotypes	محل جمع‌آوری Gathering location	منشأ Origin
1	49-124	تبریز Tabriz	تبریز Tabriz	ایران Iran
2	49-132	تربت جام ۸ Tobate Jam 8	تربت جام Tobate Jam	ایران Iran
3	49-120	افغانی Afghani	سیستان Sistan	افغانستان Afghanistan
4	49-101	خراسان-بیرجند Khorasan-Birjand	خراسان-بیرجند Khorasan-Birjand	ایران Iran
5	49-74	یزد ۷ Yazd 7	یزد Yazd	ایران Iran
6	49-108	یزد ۸ Yazd 8	یزد Yazd	ایران Iran
7	49-129	تربت جام ۹ Torbate Jam 9	تربت جام Torbate Jam	ایران Iran
8	49-113	خراسان رضوی ۸ Khorasane Razavi 8	خراسان رضوی Khorasane Razavi	ایران Iran
9	49-138	پاکستان Pakestan	زاهدان Zahedan	پاکستان Pakistan
10	49-19	اصفهان Esfehan	اصفهان Esfehan	ایران Iran
11	49-128	هندی Hendi	سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	هندوستان India
12	49-105	خراسان رضوی ۱۲ Khorasan Razavi 12	خراسان رضوی Khorasan Razavi	ایران Iran
13	49-115	اصفهان ۱۳ Esfehan 13	اصفهان Esfehan	ایران Iran
14	49-137	سبزوار Sabzevar	سبزوار Sabzevar	ایران Iran
15	49-144	تربت حیدریه Torbat Heidarieh	تربت حیدریه Torbat Heidarieh	ایران Iran

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physical and chemical properties of field's soil

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت Texture	فسفر قابل جذب P (A.v) p.p.m	پتاسیم قابل جذب K (A.v) p.p.m	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
2020	0-30	لومی –رسی Loam clay	5.29	228	8.5	0.45	1.26
2021	0-30	لومی– رسی Loam clay	6.13	235	8	0.51	1.21



شکل ۱- روند تغییرات دما و رطوبت در ماه‌های مختلف در طی دوره رشد زیره سبز سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۸

Fig. 1- Temperature and humidity changes in different months during the growth period of cumin (2020-2021)

براساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره جهت تأمین نیتروژن در مرحله پنج برگی همزمان با تنک کردن استفاده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش بنومیل به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. هر اکوتیپ در یک واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول دو متر کشت شدند، بذر هر اکوتیپ در دو ردیف کاشت بر روی هر پشته به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر با میزان بذر بالا کشت و در زمان چهار تا شش برگی، تنک‌کردن بوته‌ها تا دستیابی به تراکم مناسب انجام شد. صفات ریخت‌شناسی و اجزاء عملکرد مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین عملکرد دانه پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای و انتهای خطوط هرکرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، بوته‌ها در مرحله رسیدگی (۸۰ درصد زرد شدن بوته) در سطحی معادل یک مترمربع برداشت و پس از خشک شدن کامل بوته‌ها، اقدام به کوبیدن و جداسازی بذور از کاه و کلش شد. وزن هزار دانه با توزین چهار نمونه ۲۵۰ تایی با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم مشخص گردید. قبل از جداسازی دانه از بوته، وزن کل بوته‌ها با ترازو توزین و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد که به‌صورت درصد بیان شد. اسانس زیره سبز به‌روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور، ۳۰ گرم نمونه بذری از هر کرت وزن گردید و پس از آسیاب شدن در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به‌مدت سه ساعت جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود. سپس، درصد اسانس به‌روش وزنی و عملکرد اسانس براساس حاصلضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه گردید (Eikani et al., 2007).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد (جدول ۳). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین صفات با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

جدول ۳- نتایج آزمون بارتلت

Table 3- Bartlett test results

	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percentage
مقدار *P*	0.372	0.456	0.375	0.208	0.381	0.258	0.419	0.526	0.402
توزیع کای ۲- *chi-square*	0.014	0.037	0.621	0.653	0.255	0.311	0.102	0.273	0.359

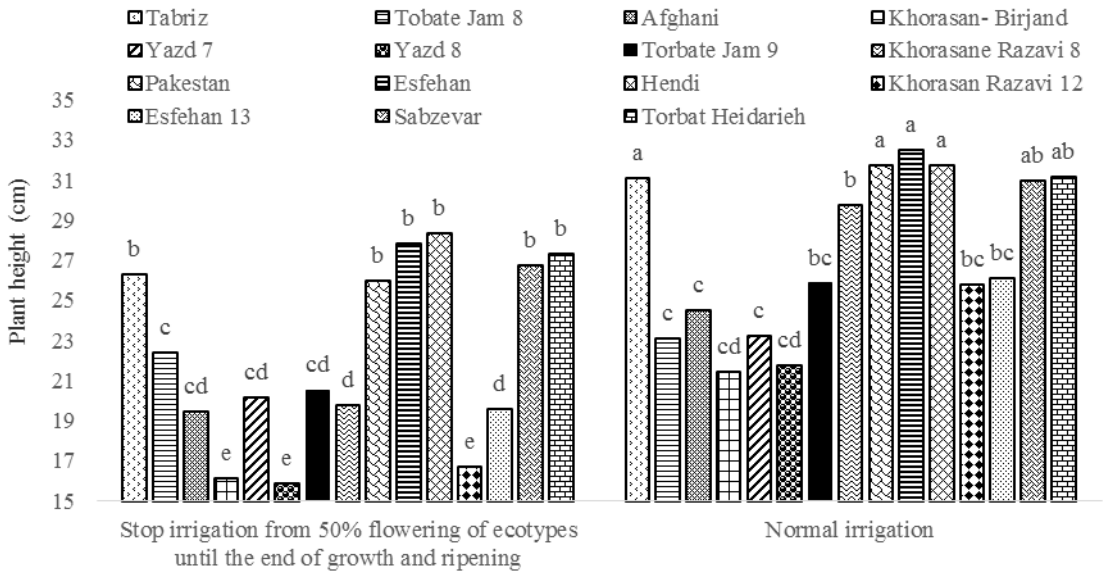
نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر آبیاری با احتمال خطای یک درصد، اثر اکوتیپ و اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته در تمامی اکوتیپ‌های بررسی شده نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد و بیشترین ارتفاع بوته ۳۱/۱ سانتی‌متر مربوط به اکوتیپ تبریز در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های پاکستان، اصفهان، هندی، سبزوار و تربت حیدریه در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۱۶/۱ سانتی‌متر) نیز مربوط اکوتیپ خراسان- بیرجند در شرایط تنش خشکی بود که با اکوتیپ‌های یزد ۸ و خراسان رضوی ۱۲ اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع زیره سبز شد و نتایج حاصل از پژوهش حاضر با سایر محققین روی زیره سبز مطابقت داشت(Moslemi et al., 2023). با قطع آبیاری، ارتفاع گیاه در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش یافت و آبیاری نرمال به‌دلیل فراهم بودن میزان دسترسی کافی به آب و عناصر غذایی سبب افزایش رشد اکوتیپ‌ها شد. در شرایط تنش خشکی، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه کاهش می‌یابد که به نظر می‌رسد، این امر به کاهش ارتفاع بوته منجر می‌شود. تنش خشکی بعد از استقرار کامل گیاه و در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اعمال شد، بنابراین در این مرحله گیاه تقریباً رشد طولی خود را سپری کرده است و دیگر مریستم انتهایی رشدی ندارد و اگر رشد طولی هم داشته باشد مربوط به میان‌گره است و با قطع آبیاری در این مرحله از رشد گیاه، احتمالاً کاهش رشد میان‌گره سبب کاهش ارتفاع بوته شده است (Abbasi et al., 2023). از طرف دیگر، در شرایط تنش خشکی کاهش فشار آماس و به دنبال آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها رخ می‌دهد، همچنین تنش خشکی موجب کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و در اثر آن ارتفاع بوته، سرعت رشد و در نهایت، فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Baghbani Arani et al., 2017). نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است. محققان اعلام داشتند که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته زیره سبز در تمامی اکوتیپ‌های مورد مطالعه شده است (Moslemi et al., 2023).

تعداد شاخه در بوته

اثر آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای یک درصد بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). تنش خشکی کاهش تعداد شاخه در بوته را به همراه داشت و در تیمارهای آبیاری بیشترین تعداد شاخه در بوته (۸/۲۲ شاخه)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد شاخه در بوته (۹/۳۳ شاخه) مربوط به اکوتیپ هندی بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۶/۷۹ شاخه)، مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی بود (جدول ۶). می‌توان دلیل کاهش تعداد شاخه در بوته در شرایط تنش خشکی را این‌گونه توجیه نمود که در شرایط تنش خشکی، سنتز هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلول‌ها، تعداد شاخه در بوته نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر ارتفاع بوته زیره سبز

Fig. 2- Interaction of irrigation and ecotypes on plant height of cumin

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات اجزاء عملکرد زیره سبز

Table 2- Variance analysis of cumin yield components traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel
سال Year (Y)	1	8.45^{ns}	3.55^{ns}	544**	387**
آبیاری Irrigation (I)	1	178**	28.0**	162**	256**
Y ×I	1	20.6^{ns}	1.42^{ns}	4.47^{ns}	3.75^{ns}
تکرار Replication (Y × I)	8	89.9	27.9	199	43.3
اکوتیپ Ecotypes (E)	14	32.1*	7.22**	85.1**	11.4*
E × Y	14	18.8^{ns}	1.41^{ns}	34.2^{ns}	1.46^{ns}
E × I	14	63.4*	1.69^{ns}	16.8^{ns}	2.27^{ns}
Y × E × I	14	3.95^{ns}	2.74^{ns}	10.9^{ns}	4.54^{ns}
خطا Error	112	8.77	2.09	21.7	2.86
ضریب تغییرات C.V (%)		11.7	10.5	12.9	13.8

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns: فاقد اثر معنی‌دار.

ns: not significant,* and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

علاوه‌براین، در تیمارهای تنش خشکی به‌دلیل جذب کمتر نیتروژن، باروری شاخه‌های فرعی کاهش می‌یابد که در نهایت کاهش تعداد شاخه را به همراه دارد. تنش خشکی با کاهش دوره رشد، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش طول دوره جذب و انتقال شیره پرورده موجب کاهش تعداد شاخه در بوته می‌شود (Soorni et al., 2021; Moslemi et al., 2023). در همین راستا گزارش شد که اعمال تنش خشکی، کاهش تعداد شاخه در بوته در اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز را به همراه داشته است (Tabatabaei et al., 2014).

تعداد چتر در بوته

اثر سال، آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای یک درصد، بر تعداد چتر در بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). تعداد چتر در بوته در سال دوم ۱۸/۷ درصد نسبت به سال اول افزایش داشت که احتمال می‌رود، به‌دلیل رطوبت نسبی بیشتر و دمای بیشتر شرایط محیطی در مقایسه با سال اول باشد. زیرا با توجه به اطلاعات ثبت شده هواشناسی مجموع رطوبت نسبی در ماه‌های دوره رشد گیاه در سال دوم بیشتر از سال اول بوده است (شکل ۱). علاوه‌براین، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که سبب فراهمی مواد مغذی بیشتر برای گیاه شده است (جدول ۲). تنش خشکی موج کاهش تعداد چتر در بوته شد. در تیمارهای آبیاری بیشترین تعداد چتر در بوته (۲۱/۲ چتر)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد چتر در بوته (۹/۳ شاخه) مربوط به اکوتیپ سبزوار (۲۶/۲ چتر) و تربت حیدریه (۲۵/۵ چتر) بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۱۷ چتر)، مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۸ و ۱۶/۷ چتر در اکوتیپ اصفهان ۸ مشاهده شد (جدول ۶). یکی از صفات مهم در اجزاء عملکرد گیاهان خانواده چتریان، تعداد چتر در بوته است که این صفت به‌دلیل ارتباط مستقیم با عملکرد دانه، سبب افزایش عملکرد دانه در زیره سبز می‌شود. در شرایط تنش خشکی، تعداد چتر در بوته کاهش یافت که می‌توان گفت، به‌دلیل کمبود آب و کاهش توانایی فتوسنتز، سبب کاهش انباشت ماده خشک در گیاه می‌شود و گیاه فرصت برای رشد کافی نداشته است و با کاهش تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد چتر در بوته نیز کاهش یافت. علاوه‌براین، می‌توان بیان داشت که کاهش تعداد چتر در بوته نیز به‌دلیل ریزش گل و سقط دانه‌های تازه تشکیل شده در بوته در شرایط تنش خشکی باشد که باعث کاهش تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در بوته می‌شود (Abbasi et al., 2023). پیرو این امر گزارش شد که تنش خشکی با کاهش فتوسنتز سبب کاهش تعداد چتر در بوته زیره سبز شد (Soorni et al., 2021).

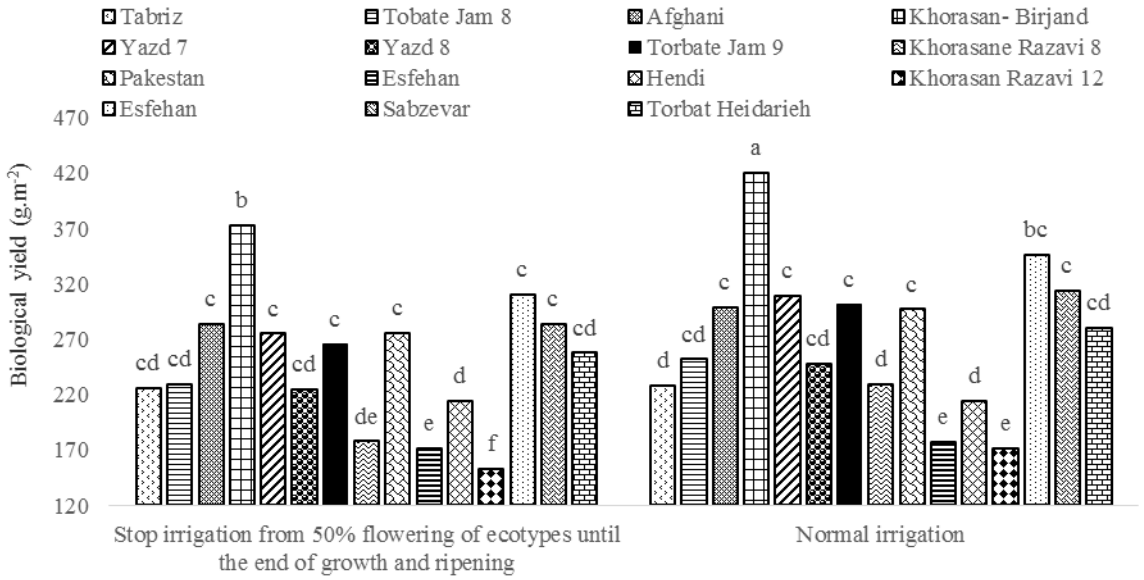
تعداد دانه در چتر

اثر سال، آبیاری با احتمال خطای یک درصد و اثر اکوتیپ با احتمال خطای پنج درصد بر تعداد دانه در چتر معنی‌دار شد (جدول ۴). تعداد دانه در چتر در سال اول ۲۵/۶۳ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشت که می‌توان گفت مربوط به رطوبت نسبی بیشتر و دمای بیشتر در مقایسه با سال اول باشد (شکل ۱). عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شد (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در چتر شد. در تیمارهای آبیاری، بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۳/۳ دانه)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۳/۶ دانه) مربوط به اکوتیپ تبریز بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۱۰ دانه)، مربوط به اکوتیپ خراسان- بیرجند و ۹/۵ دانه مربوط به اکوتیپ یزد ۷ بود (جدول ۶). صفت تعداد دانه در چتر تعیین‌کننده ظرفیت مخزن است، هرچه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه مخزن بزرگ‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده دارد و افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد گیاه خواهد شد. گمان می‌رود که تنش خشکی با اختلال در گرده‌افشانی و همچنین کاهش طول دوره گرده‌افشانی، موجب عدم تلقیح مناسب گل‌ها و کاهش تعداد دانه در بوته شده است. کمبود آب قابل جذب در گیاه زیره سبز، منجر به بروز تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل محدودیت فتوسنتز و بسته شدن روزنه‌ها شد (Batool et al., 2023). کاهش تعداد دانه در تیمارهای تنش خشکی به‌علت کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش فتوسنتز در مرحله پر شدن دانه است که نتایج مشابهی با سایر محققین گزارش شده است (Soares et al., 2018).

عملکرد بیولوژیک

اثر سال، آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل سال در اکوتیپ و اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

نتایج اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری نشان داد که تنش خشکی کاهش عملکرد بیولوژیک را در تمامی اکوتیپ‌ها به همراه داشت و بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۲۰ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان- بیرجند در شرایط آبیاری نرمال و کمترین مقدار (۱۵۲ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود (شکل ۳). زیره سبز به‌طور کلی، گیاهی مقاوم به کم‌آبی است، امّا واکنش اکوتیپ‌های این گیاه نسبت به کم‌آبی متفاوت است. در مطالعه حاضر، اکثر اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط تنش خشکی دچار افت عملکرد بیولوژیک شدند که می‌توان اظهار داشت، کاهش عملکرد بیولوژیک ممکن است به‌دلیل کاهش بزرگ شدن سلول و پیری بیشتر برگ ناشی از کاهش فشار تورژسانس باشد یا ممکن است به‌دلیل کاهش فتوسنتز و تغییر ساختار تاج‌پوشش در اثر قطع آبیاری باشد. علاوه‌براین، در شرایط تنش خشکی تخصیص مواد کربوهیدراتی بین قسمت‌های مختلف گیاه دچار تغییر و اختلال می‌شود و جذب مواد غذایی و انتقال آن‌ها از ریشه به اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد. بنابراین، رشدونمو گیاه کاهش می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش عملکرد در طول تنش خشکی بیشتر می‌توان به انتساب بیشتر مواد فتوسنتز به ریشه در مقایسه با بخش هوایی گیاه اشاره کرد (Batool et al., 2023). نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر محققین مطابقت داشته است. پژوهشگران اظهار داشتند که تنش خشکی با محدودیت فتوسنتز و عدم انتقال مناسب شیره پرورده به اندام هوایی گیاه سبب کاهش رشد گیاه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه اکوتیپ‌های زیره سبز شد که کاهش این صفات سبب کاهش عملکرد بیولوژیک زیره سبز گردید (Moslemi et al., 2023).



شکل ۳- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز

Fig. 3- Interaction of irrigation and ecotypes on biological yield of cumin

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر سال با احتمال خطای یک درصد دارد. همچنین اثر آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۵). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین، وزن هزار دانه در سال دوم ۸/۵۷ درصد نسبت به سال اول افزایش یافت که می‌توان اظهار داشت، به‌دلیل رطوبت نسبی و دمای بیشتر در مقایسه با سال اول باشد (شکل ۱). علاوه‌براین، عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شد (جدول ۲). تنش خشکی، کاهش وزن هزار دانه را به همراه داشت و بیشترین مقدار وزن هزار دانه (۴/۲۳ گرم) در آبیاری نرمال مشاهده شد. در میان اکوتیپ‌ها نیز بیشترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۸، (۴/۳۳ گرم) و اکوتیپ هندی (۴/۳۵ گرم) بود. کمترین مقدار نیز مربوط به اکوتیپ تربت حیدریه (۳/۶۲ گرم) بوده است (جدول ۶). در پژوهش حاضر قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد اعمال شد و با

توجه به قطع آبیاری قبل از مرحله تشکیل دانه، کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی قابل انتظار بود. صفت وزن هزار دانه بیانگر وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آن‌جا که با آغاز گل‌دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌کنند، باید بین وزن هزار دانه در حالت تنش خشکی، در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال تفاوت وجود داشته باشد. در تنش خشکی، سهم مواد فتوسنتزی اختصاص داده شده به هر چتر کاهش یافته که این موضوع موجب کاهش وزن هزار دانه می‌شود. از طرف دیگر، گیاه برای رهایی از تنش خشکی، رشد خود را سریع‌تر به پایان می‌رساند و طول دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد، در نتیجه کاهش دوره رشد گیاه سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود(Piri et al., 2019) . مشابه با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، کاهش وزن هزار دانه در تیمارهای تنش خشکی به‌علت کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش فتوسنتز جاری توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Soares et al., 2018).

جدول ۵- تجزیه واریانس سایر صفات اجزاء عملکرد زیره سبز

Table 5- Variance analysis of other attributes of cumin yield components

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال Year (Y)	1	178983**	4.8**	213**	851**	7.32^{ns}	8.76^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	1	15942**	0.03*	6068**	79.7^{ns}	0.51^{ns}	2475**
Y × I	1	1986^{ns}	0.0004^{ns}	12.1^{ns}	104^{ns}	2.86^{ns}	21.10^{ns}
تکرار Replication (Y×I)	8	13656	0.19	4687	215	8.97	138
اکوتیپ Ecotypes (E)	14	43134**	0.45*	1252**	1325**	35.1**	1786**
E× Y	14	1675**	0.23^{ns}	75.2^{ns}	23.9^{ns}	0.83^{ns}	1.24^{ns}
E × I	14	18807**	0.26^{ns}	26.1^{ns}	14.7^{ns}	1.94^{ns}	84.5**
Y × E × I	14	3745^{ns}	0.19^{ns}	24.6^{ns}	21.5^{ns}	1.36^{ns}	2.28^{ns}
خطا Error	112	3650	0.11	116	49.2	4.53	9.51
ضریب تغییرات CV		11.1	10.4	12.4	9.51	8.76	12.3

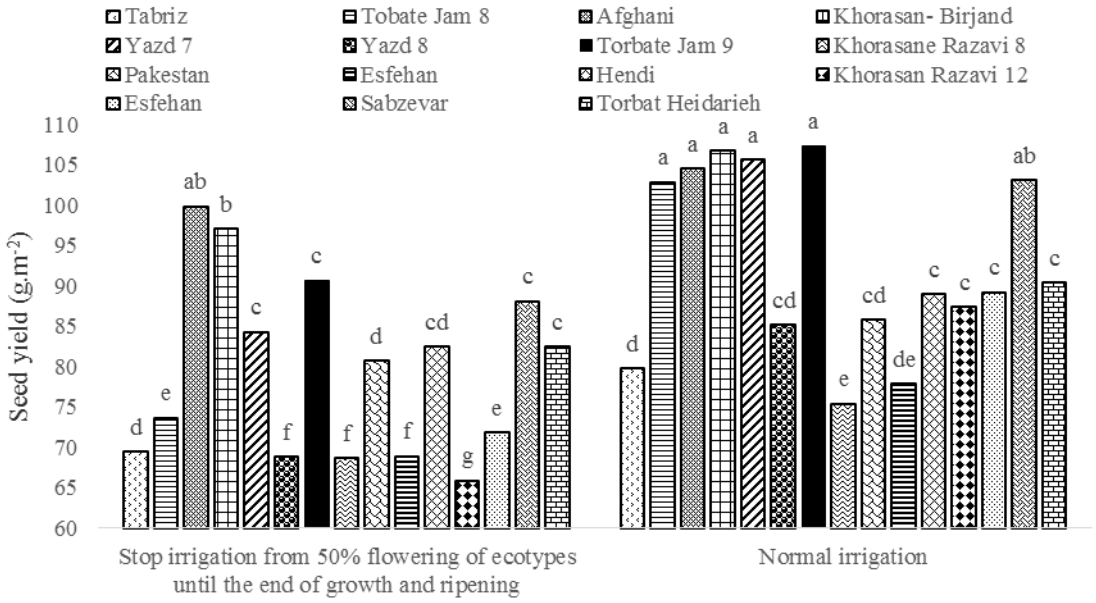
** و *: به‌ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.

ns: not significant,* and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

عملکرد دانه

اثر سال، آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه را در تمامی اکوتیپ‌ها به‌جز اکوتیپ افغانی شد و بیشترین عملکرد دانه (۱۰۲/۷ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ تربت جام ۸ در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های افغانی، خراسان- بیرجند، یزد ۷، تربت جام ۹ و سبزوار در شرایط آبیاری نرمال در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین مقدار این شاخص (۶۵/۸ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود (شکل ۳). علت معنی‌دار شدن اثر اصلی سال در عملکرد دانه را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که مجموع رطوبت نسبی و دمای بیشتر در

مقایسه با سال اول می‌باشد (شکل ۱). عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شده است (جدول ۲). می‌توان گفت کاهش عملکرد دانه در تنش خشکی حاصل از کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی باشد. هنگام تنش خشکی، کاهش طول دوره فتوسنتزی، کاهش انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، (کاهش انتقال شیره پرورده) سبب کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه شده و در نهایت، کاهش عملکرد دانه را به همراه دارد. بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک طرف و تحت تأثیر قرار گرفتن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از طرف دیگر، موجب افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Pouryousef et al., Piri et al., 2019 ;2012)پیرو این امر، سایر پژوهشگران نیز بیان داشتند که تنش خشکی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک زیره سبز را از طریق افت عملکرد فتوسنتز جاری کاهش داد (Abbasi et al., 2023).



شکل ٤- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد دانه زیره سبز

Fig. 4- Interaction of irrigation and ecotypes on seed yield of cumin

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال و اثر آبیاری با احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۵). شاخص برداشت در سال اول ۲۹/۸۸ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشته است. در میان اکوتیپ‌ها، اکوتیپ هندی دارای بیشترین شاخص برداشت (۴۷/۲ درصد) و اکوتیپ‌های یزد ۷ به‌مقدار ۳۲/۴ درصد و سبزوار دارای کمترین مقدار شاخص برداشت (۳۱/۹ درصد) بود (جدول ۶). علت معنی‌دار شدن اثر سال در شاخص برداشت را می‌توان از جانب عملکرد بیشتر دانه در سال دوم دانست. به‌طور کلی، رطوبت نسبی و دمای هوا در مقایسه با سال اول بیشتر بود (شکل ۱). همچنین عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز جهت رشد گیاه شد (جدول ۲). شاخص برداشت بیان‌کننده درصد نسبی سهم عملکرد دانه از ماده خشک کل می‌باشد. در آزمایش حاضر با توجه به اینکه تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد اعمال شد، اعمال تنش خشکی سبب کاهش در عملکرد بیولوژیک از طریق کاهش رشد مریستم‌های انتهایی و همچنین کاهش در عملکرد دانه از طریق کاهش وزن هزار دانه و تعداد چتر در هر بوته شده است که کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی قابل انتظار بود. در راستای نتایج به‌دست آمده، گزارش شده است که اعمال تنش خشکی موجب کاهش عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت شد.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات اجزاء عملکرد زیره سبز

Table 6- Comparison of the average attributes of cumin yield components

تیمارها Treatments	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	وزن هزار دانه Thousand seeds weight	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percentage
سال Year						
سال اول First year	7.37[a*]	18.5[b]	14.4[a]	3.85[b]	38.1[a]	1.39[a]
سال دوم Second year	8.26[a]	22.0[a]	11.4[b]	4.18[a]	29.3[b]	1.34[a]
آبیاری Irrigation						
آبیاری کامل Normal irrigation	8.22[a]	21.2[a]	13.3[a]	4.23[a]	34.5[a]	1.54[b]
قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد و رسیدگی Stop irrigation from 50% flowering of ecotypes until the end of growth and ripening	7.02[b]	19.3[b]	11.5[b]	3.70[b]	34.7[a]	1.79[a]
اکوتیپ‌ها Ecotypes						
تبریز Tabriz	7.83[cd]	20.6[bc]	13.6[a]	3.82[e]	33.5[f]	1.82[b]
تربت جام ۸ Tobate Jam 8	7.41[d]	19.6[d]	12[b]	4.05[c]	37.8[d]	1.84[b]
افغانی Afghani	7.83[cd]	20.6[bc]	12.5[b]	3.83[e]	35.1[e]	1.94[a]
خراسان-بیرجند Khorasan-Birjand	7.58[d]	19.7[d]	10[c]	3.86[e]	25.7[i]	1.69[c]
یزد ۷ Yazd 7	8.5[b]	21.6[b]	9.5[c]	3.91[d]	32.4[fg]	1.67[c]
یزد ۸ Yazd 8	8.01[c]	17.4[f]	12[b]	4.17[b]	39.4[c]	1.54[d]
تربت جام ۹ Torbate Jam 9	8.08[c]	19.8[d]	12.5[b]	4.18[b]	35.0[e]	1.83[b]
تربت جام ۸ Khorasane Razavi 8	6.33[f]	17.0[g]	12.5[b]	4.33[a]	35.4[e]	1.52[d]
پاکستان Pakestan	7.91[c]	20.4[bc]	12[b]	4.17[b]	29.8[h]	1.43[e]
اصفهان Esfehan	7.51[d]	18.7[e]	12[b]	3.98[cd]	43.0[b]	1.39[e]
هندی Hendi	9.33[a]	20.5[bc]	12[b]	4.35[a]	47.2[a]	1.83[b]
خراسان رضوی ۱۲ Khorasan Razavi 12	6.79[e]	20.2[c]	12.5[b]	3.84[e]	33.9[f]	1.28[f]
اصفهان ۱۳ Esfehan 13	7.66[d]	16.7[g]	12.5[b]	4.05[c]	24.4[j]	1.04[h]
سبزوار Sabzevar	8.58[b]	26.2[a]	12[b]	3.97[cd]	31.9[g]	1.18[g]
تربت حیدریه Torbat Heidarieh	8.53[b]	25.5[ab]	12.5[b]	3.62[f]	33.1[f]	1.17[g]

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

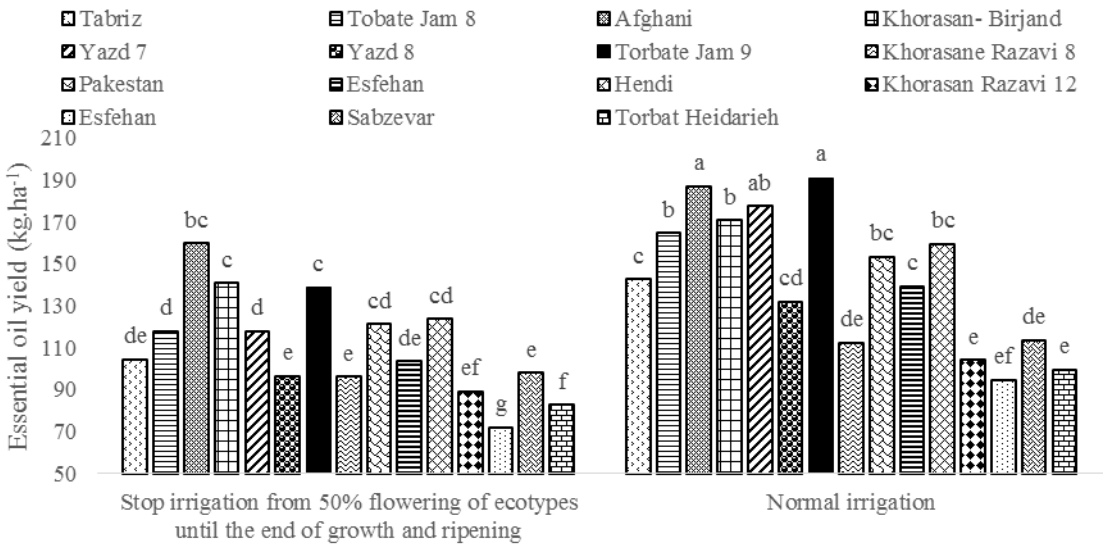
کاهش رطوبت در محیط اطراف ریشه و در شرایط رشد گیاه باعث کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، کاهش ارتفاع، تعداد چتر و تعداد شاخه‌ها شده است که این امر سبب کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود. در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد بیولوژیکی بیشتر است. به همین علت، شاخص برداشت کاهش می‌یابد(Abbasi et al., 2023) .

درصد و عملکرد اسانس

اثر آبیاری و اثر اکوتیپ‌ها با احتمال خطای یک درصد بر درصد اسانس معنی‌دار شد. همچنین اثر آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل آن‌ها با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد اسانس معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن است که تنش خشکی، درصد اسانس را نسبت به شرایط بدون تنش، ۱۶/۲ درصد افزایش داد. درصد اسانس در اکوتیپ افغانی نسبت به اکوتیپ اصفهان ۱۳، ۸۶/۵ درصد افزایش اسانس داشت (جدول ۶). نتایج عملکرد اسانس نشان داد که اکوتیپ‌ها در تیمارهای آبیاری کامل نسبت به تیمارهای تنش خشکی، دارای عملکرد اسانس بیشتری بودند. عملکرد اسانس در اکوتیپ‌های تربت جام ۹ (۱۶۶ درصد)، اکوتیپ افغانی (۱۶۰ درصد) و اکوتیپ یزد ۷ (۱۴۶ درصد) در شرایط آبیاری کامل بیشتر از عملکرد اسانس اکوتیپ اصفهان (کمترین عملکرد اسانس) در شرایط تنش خشکی بود (شکل ۵). گیاهان دارویی برخلاف اغلب گیاهان زراعی که در شرایط تنش دچار کاهش عملکرد و آسیب می‌شوند، تحت تنش تولید اسانس بیشتر و بازده اقتصادی مطلوب‌تری را به همراه دارند. تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس در اغلب گیاهان دارویی شده است. چون در موارد تنش، متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد، باعث جلوگیری از عمل اکسایش (اکسیداسیون) در یاخته می‌شوند. متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی نتیجه بارز تنش‌ها هستند. به‌گونه‌ای‌که گزارش شده است، درصد اسانس تحت تأثیر تنش خشکی در اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تا ۵۶ درصد افزایش داشته است (Kazemi et al., 2017). در همین راستا گزارش شده است که درصد اسانس در میوه گیاهان دارویی خانواده چتریان، می‌تواند یک سازوکار سازگاری این گیاهان در برابر تنش خشکی باشد (Olle & Bender, 2010). بااین‌حال، با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، درصد اسانس در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش داشت که این بیانگر آن است که اکوتیپ‌های زیره نسبت به شرایط تنش مقاوم بودند. عملکرد اسانس چون تابعی از عملکرد دانه و درصد اسانس می‌باشد و تیمارهای دارای درصد اسانس بالا، عملکرد اسانس بالایی ندارند، به همین دلیل با وجود بالا بودن درصد اسانس در شرایط تنش خشکی و به‌دلیل کمتر بودن عملکرد دانه، عملکرد اسانس کاهش پیدا می‌کند. زیرا با محدودیت در آبیاری در مرحله زایشی گیاه به‌دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه، گیاه با محدودیت منبع مواجه شده و مواد کمتری به دانه‌ها منتقل می‌شود. به‌طور کلی، اعمال هر گونه تنش کم‌آبی در طی این مراحل می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر بسیار منفی بگذارد و سبب محدود شدن گنجایش ذخیره دانه، کاهش وزن دانه و در نهایت، کاهش عملکرد دانه شود. گیاهان دارویی با توجه به نوع گونه گیاهان و ژنوتیپ، واکنش متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند. بنابراین، مدیریت آب از نظر تأمین عملکرد گیاه و افزایش اسانس گیاه بسیار حائز اهمیت است (Abbasi et al., 2023). در همین راستا گزارش شده است که در شرایط تنش، درصد اسانس در زیره سبز افزایش پیدا می‌کند، امّا تنش خشکی متوسط سبب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس زیره سبز شد (Bahrami et al., 2023).

همبستگی صفات

نتایج همبستگی صفات بیانگر آن است که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۹۷۳) بین درصد اسانس و عملکرد دانه رخ داده است. همچنین درصد اسانس و شاخص برداشت (۰/۷۸۷) و وزن هزار دانه (۰/۷۲۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری را داشتند. عملکرد دانه با تعداد چتر در بوته (۰/۳۹۶)، شاخص برداشت (۰/۲۸۷) و تعداد دانه در چتر (۰/۲۳۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. سایر صفات بررسی شده همبستگی معنی‌دار نداشتند. عملکرد بیولوژیک نیز با صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. عملکرد اسانس نیز بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه (۰/۹۸۱)، درصد اسانس (۰/۹۲۴) و وزن هزار دانه (۰/۸۲۶) داشت (جدول ۵).



شکل ۵- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد اسانس زیره سبز

Fig. 5- Interaction of irrigation and ecotypes on essential oil yield of cumin

بررسی همبستگی بین صفات از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا زمانی‌که برای صفتی گزینش در نظر گرفته می‌شود، باید به تأثیر آن صفت بر صفات دیگر توجه شود. وجود همبستگی بالا و مثبت بین درصد اسانس، عملکرد دانه و عملکرد اسانس بسیار توجیه‌کننده و قابل انتظار بود، زیرا با افزایش عملکرد دانه، به‌علت دسترسی مناسب گیاه به مواد مغذی و به‌وجود آمدن شرایط محیطی مناسب برای رشد گیاه، خصوصاً انتقال بهتر مواد آلی از ریشه به اندام هوایی و گسترش تشکیل دانه، اسانس موجود در دانه نیز افزایش می‌یابد. نتایج بیانگر آن است که عملکرد دانه تحت تأثیر تعداد چتر در بوته، شاخص برداشت و تعداد دانه در چتر قرار گرفته است و پیرو این امر، سایر پژوهشگران گزارش کردند که عملکرد دانه زیره سبز تحت تأثیر تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر قرار دارد و همبستگی مثبتی را گزارش کردند (Moslemi et al., 2023).

تجزیه کلاستر

دندوگرام حاصل از تجزیه کلاستر اکوتیپ‌ها را به سه خوشه گروه‌بندی کرد که در خوشه اول اکوتیپ افغانی، در خوشه دوم اکوتیپ‌های اصفهان، اصفهان ۱۳، خراسان رضوی ۱۲، خراسان رضوی ۸، سبزوار، یزد ۸، در خوشه سوم اکوتیپ‌های تربت حیدریه، هندی، تربت جام ۹، تربت جام ۸، پاکستان، یزد ۷، خراسان-بیرجند و تبریز قرار گرفتند (شکل ۶). مطابق نتایج تجزیه واریانس حاصل از پژوهش حاضر، بین اکوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات اختلاف معنی‌دار وجود داشت که نشان‌دهنده وجود تنوع زیاد بین اکوتیپ‌های مورد بررسی برای صفات اندازه‌گیری شده بود. تنوع بین اکوتیپ‌های مورد بررسی با توجه به موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری شده مورد انتظار بود. تجزیه خوشه‌ای برای پیدا کردن گروه‌های واقعی و همچنین کاهش تعداد داده‌ها می‌باشد. به‌عبارت دیگر، هدف شناسایی تعداد کمتری از خوشه‌ها می‌باشد. بنابراین اکوتیپ‌هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند، در یک گروه قرار داده می‌شوند و می‌توان گفت که تجزیه خوشه‌ای، اصولی‌ترین روش برای برآورد شباهت بین افراد در یک مجموعه است(Nouraein et al., 2020) . براساس نتایج حاصل از گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با تجزیه خوشه‌ای براساس روش وارد، برش دندروگرام، اکوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کرد. بیشترین تعداد اکوتیپ‌ها در گروه سوم (۷ اکوتیپ) و گروه دوم (۶ اکوتیپ) قرار گرفتند. اکوتیپ افغانی، به‌تنهایی گروه اول را تشکیل داد. باتوجه به نوع اکوتیپ‌های قرار گرفته در یک کلاستر، می‌توان گفت اکوتیپ-های موجود در یک کلاستر از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و مولکولی شباهت زیادی به هم داشتند و اکوتیپ افغانی متفاوت از سایر اکوتیپ‌ها بود.

جدول ۷- همبستگی عملکرد دانه و سایر صفات

Table 7- Correlation of grain yield and other traits

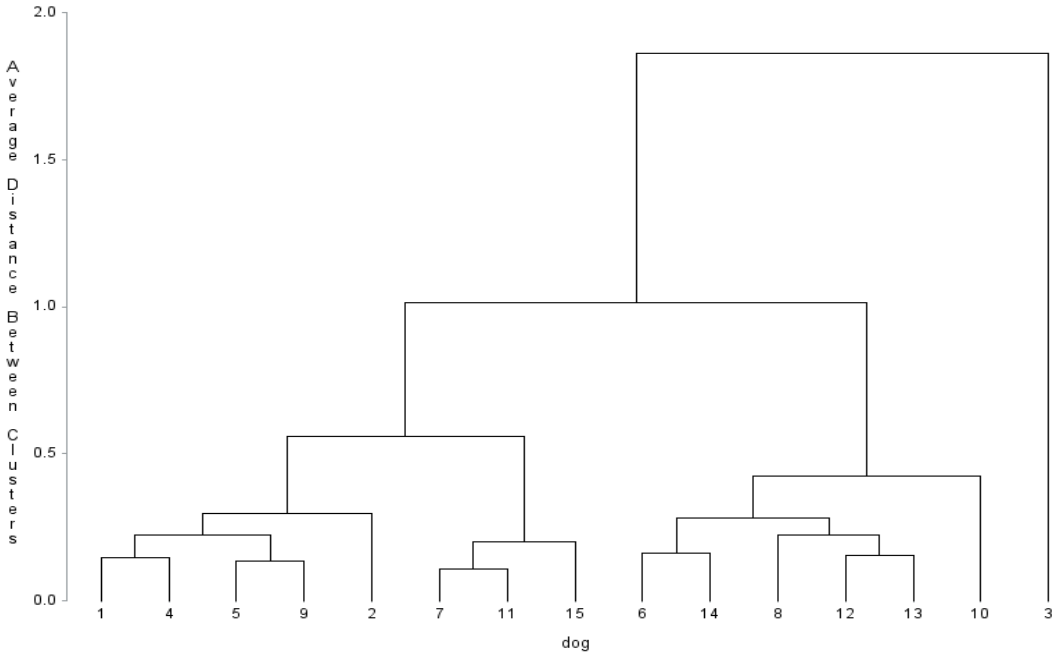
n=60

	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه Thousand seeds weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
ارتفاع بوته Plant height	1	0.416^{ns}	0.386^{ns}	0.127^{ns}	0.234**	0.168^{ns}	-0.122^{ns}	-0.053^{ns}	0.345^{ns}	0.442^{ns}
تعداد شاخه در بوته Branch number in plant		1	0.378^{**}	0.055^{ns}	0.206^{**}	0.191^{ns}	0.099^{ns}	0.192^{ns}	0.283^{ns}	0.315^{ns}
تعداد چتر در بوته Umbel number in plant			1	0.224^{ns}	0.824^{**}	0.106^{ns}	0.211^{**}	0.396^{**}	0.411^{**}	0.689^{**}
تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel				1	0.698^{**}	0.193^{**}	0.104^{**}	0.232^{**}	0.549^{**}	0.703^{**}
عملکرد بیولوژیک Biological yield					1	0.006^{ns}	0.184^{ns}	0.121^{ns}	0.659^{**}	0.675^{**}
وزن هزار دانه Thousand seeds weight						1	-0.039^{ns}	0.270^{ns}	0.721^{**}	0.826^{**}
شاخص برداشت Harvest index							1	0.287^{**}	0.787^{**}	0.787^{**}
عملکرد دانه Seed yield								1	0.973^{**}	0.981^{**}
درصد اسانس Essential oil percentage									1	0.924^{**}
عملکرد اسانس Essential oil yield										1

**: معنی‌دار با احتمال خطای یک درصد، ns: فاقد اثر معنی‌دار.

ns: not significant, **: significant at 1% levels of probability, respectively

احتمال می‌رود که اصل و منشأ اکوتیپ‌های قرار گرفته در یک گروه یکسان بوده و در اثر گذشت زمان و تحت تأثیر شرایط محیطی از یکدیگر تا حدودی فاصله گرفتند. بنابراین، اکوتیپ افغانی را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ برتر معرفی کرد. نتایج کلاستر محققان دیگر در بررسی اکوتیپ‌های زیره سبز نشان داد که ۶۴ اکوتیپ بررسی شده در پنج گروه قرار گرفتند، درحالی‌که خوشه‌های اول و دوم، حداکثر عملکرد دانه و برخی اجزاء عملکرد را نشان دادند و خوشه‌های چهارم و پنجم، حداکثر متغیرهای مقاومت به بیماری را نشان دادند(Nouraein et al., 2020) .



شکل ٦- دندوگرام حاصل از تجزیه کلاستر اکوتیپ‌های زیره سبز

Figure 6- Dandogram resulting from cluster analysis of cumin ecotypes

شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، به‌ترتیب اکوتیپ‌های تبریز، تربت جام ۸، افغانی، خراسان-بیرجند، یزد ۷، یزد ۸، تربت جام ۹، خراسان رضوی، پاکستان، اصفهان، هندی، خراسان رضوی، اصفهان، سبزوار، تربت حیدریه می‌باشد

Numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, according to the ecotypes of Tabriz, Torbat Jam 8, Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Yazd 8, Torbat Jam 9, Khorasan Razavi, Pakistan, Isfahan, Indian, Khorasan Razavi, Isfahan, Sabzevar, Torbat Heydarieh.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر، حاکی از آن است که اثرات متقابل تنش خشکی و اکوتیپ بر ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار داشت که این اختلاف احتمالاً ناشی از تفاوت ساختار ژنتیکی اکوتیپ‌ها در شرایط تنش و شرایط نرمال می‌باشد و تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و صفات مورد مطالعه در تمامی اکوتیپ‌های زیره سبز شد. امّا در اکوتیپ افغانی، عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت و می‌توان این اکوتیپ را به‌عنوان اکوتیپ مقاوم به تنش خشکی معرفی کرد. بیشترین درصد اسانس مربوط به اکوتیپ افغانی بود. اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ نیز اکوتیپ حساس به تنش خشکی بود، زیرا کمترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی به همراه داشت. نتایج به‌دست آمده از تجزیه کلاستر، اکوتیپ‌ها را به سه خوشه گروه‌بندی کرد که در خوشه اول اکوتیپ افغانی، در خوشه دوم اکوتیپ‌های اصفهان، اصفهان ۱۳، خراسان رضوی ۱۲، خراسان رضوی ۸، سبزوار، یزد ۸، و در خوشه سوم اکوتیپ‌های تربت حیدریه، هندی، تربت جام ۹، تربت جام ۸، پاکستان، یزد ۷، خراسان- بیرجند و تبریز قرار گرفتند. به‌طور کلی، تنش خشکی کاهش عملکرد اکوتیپ-

های مورد مطالعه زیره سبز را بـه همـراه داشـت، امّـا در ایـن میـان، اکوتیپ افغانی را می‌توان به‌عنوان اکوتیـپ مقـاوم بـه تـنش و دارای اسانس مطلوب معرفی کرد.

References

1. Abbasi, N., Sohrabi, Y., & Kiani, H. (2023). Using tragacanth gum mitigated the effects of drought stress on the black cumin (*Nigella sativa*) plant. *Agricultural Water Management, 84*(1), 86-109. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108406
2. Afshar, A. K., Baghizadeh, A., & Mohammadi-Nejad, G. (2016). Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding, 18*, 160-165.
3. Allaq, A. A., Sidik, N. J., Abdul-Aziz, A., & Ahmed, I.A. (2020). Cumin (*Cuminum cyminum* L.), a review of its ethno pharmacology, photochemistry. *Biomedical Research and Therapy, 7*(9), 4016-4021. https://doi.org/10.15419/bmrat.v7i9.634
4. Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products, 109*(15), 346-357. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049
5. Bahrami, H., Armin, M., jamimoeini, M., & Abhari, A. (2023). The effect of different irrigation cut-off times on yield and yield components of cumin in weed interference conditions. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(2), 291-304. https://doi.org/10.22034/csrar.2022.291654.1098
6. Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, G.H., & Khadir, M. (2011). Genetic diversity evaluation of cumin (*Cumin cyminum* L.) based on phenotypic traits. *Australian Journal of Crop Science*, *5*, 301-307.
7. Batool, M., El-Badri, A. M., Hassan, M.U., Haiyun, Y., Chunyun, W., Zhenkun, Y., Jie, K., Wang, B., & Zhou, G. (2023). Drought stress in *Brassica napus*: Effects, tolerance mechanisms, and management strategies. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(1), 21–45. https://doi.org/10.21608/jpp.2015.52096
8. Ebrahimiyan, M., Ebrahimi, M., Mortazavian, S.M.M., & Ramshini, H. (2017). The structure and genetic diversity of Iranian cumin populations (*Cuminum cyminum* L.) using SCoT molecular markers. *New Genetic*, *2*(12), 285-292.
9. Eikani, M. H., Golmohammad, F., Mirza, M., & Rowshanzamir, S. (2007). Extraction of volatile oil from cumin (*Cuminum cyminum* L.) with superheated water. *Journal of Food Process Engineering*, *30*, 255-266. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00117.x
10. Kazemi, H., Mortazavian, S.M.M., & Ghorbani Javid, M. (2017). Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(4), 1099-1113. (In Persian).
11. Mortazavian, S. M. M., Safari, B., Sadat Noori, S.A., & Foghi, B. (2018). Evaluation of diverse cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes for seed yield under normal and water stress condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *20*(1), 359-372.
12. Moslemi, E., Akbarian, M. M., Ravari, S.Z., Yavarzadeh, M.R., & ModafehBehzadi, N. (2023). Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of *Cuminum cyminum* L. ecotypes in climatic conditions of Kerman province. *Eco Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *10*(4), 107-119. (In Persian).
13. Nouraein, M., Khavari-Khorasani, S., & Akhavan, M. (2020). Screening cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cumini. *Australasian Plant Pathology*, *49*(1), 295–305. https://doi.org/10.1007/s13313-020-00707-7
14. Olle, M., & Bender, I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research, 8*(3), 687-696.
15. Omidbaigi, R. (2007). Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. II). Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. Astan Ghods Publication, Mashhad, Iran. 438 p. (In Persian)
16. Piri, R., Balouchi, H., & Salehi, A. (2019). Improvement of cumin (*Cuminum cyminum*) seed performance under drought stress by seed coating and bio priming. *Scientia Horticulturae*, *257*(1), 357-384. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108667
17. Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M., & Barkhordari, K. (2012). Effects of drought stress and harvesting time

on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare Mill*.). *National Congress on Medicinal Plants*, *315*, 16-17. (In Persian).

18. Rasool, A., Bhat, K. M., Sheikh, A., Jan, A., & Hassan, S. (2020). Medicinal plants: Role, distribution and future. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(2), 2111-2114.
19. Soares, C., Carvalho, M. E., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2018). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany. 161*, 4-25.
20. Soorni, J., Roustakhiz, J., Salimi, K. H., & Noori, E. (2021). Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Environmental Stress in Crop Science*, *13*(4), 1125-1134. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624
21. Tabatabaei, S. M., Mohammadi-Nejad, G., & Yousefi, K. (2014). Yield assessment and drought tolerance indices in cumin ecotypes. *Journal of Water Research in Agriculture*, *28*(1), 163-170. (In Persian).