Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 4, 2025, P. 827-846

Effect of biological and chemical fertilizers on yield and some agronomical traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress

Nasser Nourzadeh [a], Asghar Rahimi [*a], Amir Dadrasi [b]

[a] Genetics and Plant Production, Vali Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
[b] Charles University Environment Centre, Prague, Czech Republic

[*]Corresponding Author: rahimia@vru.ac.ir

Received: 22 October 2024 Accepted: 29 December 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2025.484717.1445**

How to cite this article:
Nourzadeh, N., Rahimi, A. and Dadrasi, A., 2025. Effect of biological and chemical fertilizers on yield and some agronomical traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(4), 827-846. https://doi.org/10.22034/csrar.2025.484717.1445

Abstract

Introduction: Sesame, as the queen of oilseeds, is world-famous for its resistance to drought stress. This feature justifies its cultivation in arid and semi-arid regions and enables the production of high-quality oil. However, this crop, like other crops, is affected by drought stress, and its yield decreases under severe drought conditions. Nevertheless, proper nutritional management can reduce the adverse effects of drought on sesame yield. In this regard, the use of biological fertilizers alongside chemical fertilizers can improve soil quality, increase crop yields, and reduce the negative effects of chemical fertilizers. Consequently, the use of biofertilizers in sesame farming has received significant attention in recent years.

Materials and Methods: A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was performed to investigate the effect of chemical and biological fertilizers application on yield and some agronomical traits under drought stress during the 2022-2023 season in two regions of Hormozgan province (Sarkahnan and Dashthouz). Treatments included two levels of drought stress (full irrigation (based on 90 mm evaporation from Class A evaporation pan) and drought stress (based on 150 mm evaporation from Class A evaporation pan)) and eight levels of fertilizer (bacteria (B), mycorrhizal fungus (MY), chemical fertilizer (NPK), bacteria + mycorrhizal fungus (B+MY), bacteria+ chemical fertilizer (B+NPK), mycorrhizal fungus + chemical fertilizer (NPK+MY), bacteria+ mycorrhizal fungus+ chemical fertilizer (B+MY+NPK) and control). In this experiment, Pseudomonas putida bacteria and a mixture of Rhizophagos intraradices and Funneliformis mosseae fungi. All plots were evenly irrigated with a pressurized system until they reached the 3-4 leaf stage. After thinning, drought stress was applied by carefully controlling the amount of water based on evaporation rates measured using evaporation pans and meteorological stations.The traits measured in this research included days to flowering, days to poding, chlorophyll

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

index, plant height, stem dry weight, leaf dry weight, oil content of seeds, oil content of meal, grain yield, and biological yield. The relationship between these traits and grain yield was also examined. Finally, Statistical analysis of the collected data was conducted using ANOVA in SAS software. Significant differences between means were evaluated at the probability level of 0.05 by Duncan's test.

Results and Discussion: The results indicated an acceleration of phenology with the application of drought stress. Flowering and podding occurred 3 and 6 days earlier, respectively, in the stressed treatments. Drought stress also caused a decrease of 0.16%, 9.10%, and 3% in plant height, chlorophyll index, and oil percentage of the meal, and an increase of 4% in seed oil compared to the control treatment (full irrigation). The results also showed that the application of fertilizer treatments, especially the combination of bacteria + mycorrhizal fungi + chemical fertilizer, improved the traits under stress and non-stress conditions in sesame. The highest dry weight of leaves (390 g/m²), dry weight of stem (501 g/m²), seed yield (2960 kg/ha), and biological yield (20240 kg/ha) were observed in the Sarkahnan region under non-stress conditions and treatment with bacteria + mycorrhizal fungi + chemical fertilizer. The lowest seed yield and biological yield were 953 and 4250 kg/ha, respectively, for crops under drought stress and no fertilizer application in the Dashthouz region. Correlation of traits also showed a high positive correlation of seed yield with dry weight of leaves (0.80**), dry weight of stem (0.75**), and biological yield (0.74**), and a small negative correlation with days to podding (-0.21*).

Conclusion: Based on these results, the combined use of biological and chemical fertilizers can be considered a suitable strategy to reduce the negative effects of drought stress in arid and semi-arid regions for sesame.

Keywords: Abiotic stress, Oil crop, Phenology, Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), Plant nutrition management

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره چهارم، زمستان۱۴۰۴، ص ۸۴۶-۸۲۷

مقاله پژوهشی

بررسی استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و برخی صفات زراعی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط تنش خشکی

ناصر نورزاده[۱]، اصغر رحیمی*[۱]، امیر دادرسی[۲]

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲- مرکز علوم محیطی دانشگاه چالرز، پراگ، جمهوری چک

* مسئول مکاتبه: rahimia@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹ **DOI: 10.22034/CSRAR.2025.484717.1445**

چکیده

برای ارزیابی استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی بر صفات زراعی و عملکرد کنجد، پژوهشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه تحقیقاتی واقع در استان هرمزگان (سرکهنان و دشت حوض) در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل: تنش خشکی در دو سطح (آبیاری معمول (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی (براساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)) و کوددهی در هشت سطح (باکتری محرک رشد (B)، قارچ مایکوریز (MY)، کود شیمیایی (NPK)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز (B+MY)، باکتری محرک رشد+ کود شیمیایی (B+NPK)، قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (NPK+MY)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (B+MY+NPK) و شاهد) بودند. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب تسریع فنولوژی و کاهش ۱۶/۰، ۱۰/۹ و ۳/۰ درصدی ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، درصد کنجاله و افزایش ۴ درصدی محتوای روغن نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نیز به‌ترتیب با ۲۹۶۰ و ۲۰۲۴۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی و عدم تنش خشکی در منطقه سرکهنان حاصل شد. کمترین میزان نیز در تیمار تنش خشکی و عدم استفاده از کود در منطقه دشت حوض مشاهده گردید. نتایج همچنین مبنی بر همبستگی بالای عملکرد دانه با وزن خشک برگ (۰/۸۰**) و وزن خشک ساقه (۰/۷۵**) بود. براساس نتایج، استفاده تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند راهکاری مناسب جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی در مناطق کم‌آب برای گیاه کنجد در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، تنش غیرزیستی، فنولوژی، گیاه روغنی، مدیریت تغذیه گیاهی

مقدمه

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده پدالیاسه می‌باشد. این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دانه روغنی و سازگار به نواحی گرم و نیمه‌گرم است و از دیرباز به عنوان ملکه‌ی گیاهان دانه روغنی شناخته شده است (Jeyaraj and Beevy, 2024). کنجد دارای ۵۰ درصد روغن، ۲۵ درصد پروتئین و همچنین سرشار از آهن، منیزیم، منگنز، مس و کلسیم و حاوی ویتامین E، A، B می‌باشد (Li *et al*., 2024; Abbas *et al*., 2024). برخلاف سایر گیاهان دانه روغنی، کنجد نسبت به خشکی تحمل بیشتری دارد. با این حال، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش خشکی اغلب همراه با گرما یا دماهای بالا رخ می‌دهد (Fan *et al*., 2024). تولید کنجد را می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مختل کند (Kouighat *et al*., 2021).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید کنجد به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Fang *et al*., 2024; Ahmed *et al*., 2024). به‌طوری‌که گزارشات نشان می‌دهند، تنش خشکی می‌تواند با تاثیر منفی بر اجزای عملکرد مانند تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن در کنجد گردد (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021; Hamedani *et al*., 2022; Parsa *et al*., 2024). تنش خشکی همچنین از طریق تغییر در ترکیب اسیدهای چرب، می‌تواند سبب کاهش کیفیت روغن شود (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). سایر پژوهش‌ها نیز اثر منفی تنش خشکی بر سنتز کلروفیل، فنولوژی گیاه و صفات رویشی گیاهان

دانه روغنی را گزارش کرده‌اند (Bijani *et al.*, 2023; Sima *et al.*, 2024).

بنابراین جهت افزایش بهره‌وری تولید کنجد در مناطق خشک و نیمه‌خشک به ناچار باید از روش‌هایی استفاده کرد که اثرات منفی تنش را بر عملکرد دانه و روغن گیاه کاهش دهد. یکی از روش‌های مورد توجه در این زمینه استفاده از انواع کود در کشاورزی است. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی جهت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان روغنی از دیرباز مورد توجه بوده است، اما تحقیقات در چند دهه اخیر نشان می‌دهند که کاربرد کودهای شیمیایی می‌تواند باعث تخریب خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب شود و سلامت انسان، حیوانات و گیاهان را تهدید کند (Wang *et al.*, 2018). بنابراین یک رویکرد مناسب، انتخاب یک روش بیولوژیکی فعال، پایدار و دوستانه است. چنین فرآیندی می‌تواند شامل استفاده همزمان از کودهای زیستی به‌خصوص قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در کنار استفاده متعادل از کود شیمیایی باشد (Pourhosseini *et al.*, 2024). در این شرایط باکتری حل‌کننده فسفات به حل‌کردن فسفات معدنی پیچیده در خاک کمک می‌کند و قارچ‌های میکوریز آنها را جذب کرده و به گیاه منتقل می‌کنند (Yadav *et al.*, 2022; El-Shaboury *et al.*, 2023). در پژوهشی نیز گزارش شد که استفاده از کودهای زیستی در کنار کود شیمیایی در شرایط تنش خشکی، شرایط مساعدتری را برای رشد گیاه فراهم می‌آورد که این موضوع می‌تواند از اثر هم‌افزایی کودهای مورد استفاده باشد (Chaharlang Badi *et al.*, 2022).

باکتری‌های حل‌کننده فسفات نوعی از باکتری‌های محرک رشد محسوب می‌شوند (Luo *et al.*, 2024). مطالعات نیز ثابت کرده‌اند که این باکتری‌ها بدون ایجاد روابط همزیستی، توانایی تحریک رشد گیاه میزبان را دارند. این باکتری‌ها با فعالیت در سطح ریشه یا داخل ریشه به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با استفاده از یک یا چند مکانیسم خاص مانند تولید سیدروفورهای کمپلکس‌کننده‌ی آهن، تولید هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکنین، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید ویتامین‌ها و دیگر ترکیبات مواد محرک رشد، عملکرد گیاه را در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده از جمله تنش خشکی بهبود می‌بخشند (Ahluwalia *et al.*, 2021; Kálmán *et al.*, 2024). علاوه‌برآن افزایش جذب مواد غذایی به‌خصوص فسفر با گسترش هیف‌های قارچ میکوریزا نیز مورد تایید قرار گرفته است (Tiepo *et al.*, 2024). بنابراین تعامل بین میکروارگانیسم‌های خاک‌زی مانند قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفر، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در بهبود رشد گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، موثر واقع شود. با توجه به گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران و اهمیت تولید کنجد در کشاورزی کشور، استفاده از این ریزجانداران در کنار کودهای شیمیایی به‌عنوان یک راهکار مناسب برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی بر این گیاه پیشنهاد می‌شود. این پژوهش با هدف تعیین بهترین روش کاربرد این ریزجانداران همراه با کود شیمیایی برای بهبود عملکرد کنجد در شرایط تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

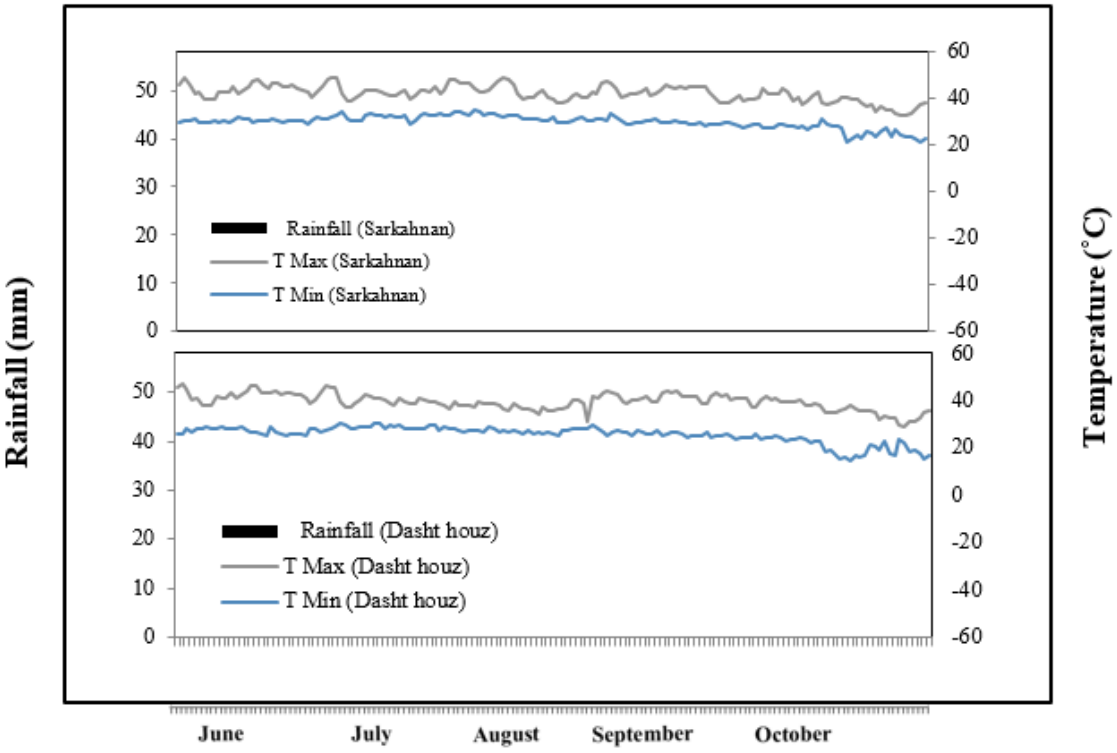
منطقه مورد آزمایش و طرح آزمایشی

مطالعه حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه‌های تحقیقاتی متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان واقع در شهرستان رودان (دشت حوض و سرکهنان) با فاصله تقریبی ۸۰ کیلومتر از یکدیگر اجرا شد. سرکهنان در طول ۵۷/۱۲ درجه شرقی و عرض ۲۷/۲۵ درجه شمالی و دشت حوض در طول ۵۷/۱۰ درجه شرقی و عرض ۲۷/۴۰ درجه شمالی واقع شده است. براساس میانگین ۳۰ ساله هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه در سرکهنان و دشت حوض به‌ترتیب ۲۳۸ و ۲۱۸ میلی‌متر است. اطلاعات هواشناسی مناطق مورد بررسی نیز در طول دوره کشت در شکل ۱ ارائه شده است.

طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. شایان ذکر است که در این تحقیق، هر دو فاکتور (تنش خشکی و کوددهی) از اهمیت یکسانی برخوردار بودند و باید اثرات آن‌ها با دقت مشابهی بررسی می‌شد. بنابراین، طرح فاکتوریل به‌دلیل هم‌وزن بودن هر دو فاکتور، انتخاب بهتری محسوب می‌شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در دو سطح (آبیاری معمول (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی

(براساس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)) و کوددهی در هشت سطح (باکتری محرک رشد (B)، قارچ مایکوریز (MY)، کود شیمیایی (NPK)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز (B+MY)، باکتری محرک رشد+ کود شیمیایی (B+NPK)، قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (NPK+MY)، باکتری محرک رشد+ قارچ مایکوریز+ کود شیمیایی (B+MY+NPK) و شاهد) بودند. در این آزمایش، باکتری *Pseudomonas putida* و ترکیبی از قارچ‌های *Rhizophagos intraradices* و *Fanliformis Mose* براساس دستورالعمل شرکت سازنده مورد استفاده قرار گرفتند. قارچ مایکوریزا از شرکت ریشه‌گستر ویرا و باکتری محرک رشد از شرکت زیست‌فناور روناک تهیه شد.

قبل از انجام آزمایش نیز، نمونه‌گیری از خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انجام شد، که نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- میانگین بارش و دما در مکان‌های مورد آزمایش در طول فصل رشد (۱۴۰۲-۱۴۰۱)

Figure 1- Average precipitation and temperature of the experimental sites during the growing season of 2022-2023

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق دشت حوض و سرکهنان

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of experimental sites

مکان Location	عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی Ec (ds/m)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic matter (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	نیتروژن N (%)	بافت خاک soil texture		
								رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
سرکهنان Sarkahnan	0-30	5.41	7.59	0.78	40.5	182	0.05	10	22	68
دشت حوض Dashthouz	0-30	2.1	7.95	0.64	5.2	208	0.04	4	16	80

اجرای طرح آزمایشی و مدیریت زراعی

زمین آزمایش در نیمه اول فروردین شـــخم و در نیمه دوم خرداد دیسک زده شد. قبل از کشت و براساس نقشه طرح در منطقه سرکهنان و دشت حوض به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ســوپرفســفات تریپل و ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در کرت‌های مورد نظر اعمال شد. کود اوره نیز براساس عرف منطقه به‌صورت سرک و در دو مرحله به خاک اضـــافه گردید. مرحله اول قبل از گلدهی (زمانی که بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر رشد کرده بودند) و مرحله دوم همزمان با شروع تشکیل کپسول‌ها در گیاه بود. مجموع کود اوره در منطقه سرکهنان و دشت حوض به‌ترتیب معادل با ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد.

قبل از کشـــت کنجد، کود حاوی قارچ میکوریزا با ماســـه اســـتریل مخلوط و به‌ازای هر بذر، یک‌دهم گرم در محل شـــیار ایجاد شده برای کشت کنجد پاشیده و سپس لایه‌ی نازکی از خاک بر روی آن ریخته شد. پس از آن، کشت بذر کنجد (رقم دشـــتســـتان ۲) با تراکم بالا به‌صـــورت جوی و پشـــته‌ای در ردیف‌هایی به‌فاصله‌ی ۵۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۴ متر با فاصله بین کرت ۱/۵ متر، در نیمه دوم تیرماه (۱۷ تیرماه در سرکهنان و ۲۶ تیرماه در دشت حوض) به‌صورت دستی انجام شد. عمل تنک‌کردن در مرحله ۳ تا ۴ برگی بوته‌ها برای رسیدن به تراکم مطلوب با فاصله ۸ سانتی‌متر مربع در روی هر ردیف صورت گرفت و پس از تنک‌کردن نیز تیمار باکتری اعمال شد. به این صورت که یک کیلوگرم باکتری در یک لیتر آب حل شد و سپس محلول به‌دست آمده در صد لیتر آب ریخته و کاملا بهم‌زده شد تا محلول یکنواختی به‌دست آید. پس از آن محلول تهیه شده از طریق آبیاری به گیاهان داده شد.

آبیاری به‌صورت تحت فشار (میکرو) بود و اولین آبیاری پس از کشـــت انجام و تا مرحله ۴-۳ برگی گیاه، برای تمام کرت‌ها به‌صورت یکسان (براساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) انجام شد. پس از این مرحله تنش خشکی برای گیاه اعمال شد. جهت اعمال تنش، میزان تبخیر از طریق تشـــتک تبخیر (براســـاس ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشـــتک تبخیر کلاس A) یا از طریق اســـتعلام از ایســـتگاه‌های اداره‌ی هواشـــناســـی تعیین‌شـــده و در میزان‌های مشـــخص تبخیر، حجم آبیاری محاسبه و به‌وسیله‌ی کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ مترمکعب به کرت‌های مورد نظر داده شد. میزان آبیاری در شـرایط تنش خشکی و عدم تنش خشکی در مجموع معادل با ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ مترمکعب بود (Jafari *et al*., 2019). علاوه‌برآن در طول فصل رشـد، آفت مگس سـفید مشـاهده شـد که با سـم کنفیدور و اســـتامی‌پراید کنترل گردید. وجین علف‌های هرز و یادداشـــت برداری‌های لازم نیز صورت گرفت.

اندازه‌گیری صفات گیاهی

در طول دوره رشد، صفات فنولوژیک از جمله روز تا گلدهی و روز تا کپســـول‌دهی ثبت گردید. در مرحله‌ی گلدهی نیز ۱۰ برگ توســـعه یافته انتخاب و شـــاخص کلروفیل با دســـتگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD unit 502) اندازه‌گیری شـــد. پس از آن برگ و ساقه بوته‌های انتخابی جدا گردید و به‌صورت جداگانه به‌مدت ۷۲ ســاعت در دمای ۷۰ درجه ســلســیوس در آون قرار داده شـد. در نهایت وزن خشـک آن‌ها با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد.

دوره رســـیدگی فیزیولوژیکی گیاهان در تیمارهای مختلف بین ۲۵ مهرماه تا ۱۷ آبان‌ماه متغیر بود. در زمان رســـیدگی فیزیولوژیک، ۴ مترمربع از هر کرت با حذف اثر حاشـــیه‌ای در نظر گرفته شـد. پس از آن ده بوته از میان آنها انتخاب و ارتفاع بوته ثبت گردید. در مرحله آخر نیز تمام بوته‌ها به‌طور جداگانه کف‌بر شدند و پس از خشک شدن در هوای آزاد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

برای تعیین درصد روغن، ۱۰ گرم از هر نمونه پودرشده را درون کاغذ صـافی قرار داده و روغن آن با اسـتفاده از دسـتگاه ســوکســله و افزودن حلال پترولیوم اتر اســتخراج گردید. برای حذف حلال از نمونه‌ها، از دستگاه روتاری استفاده شد. درصد روغن نمونه‌ها، پس از توزین روغن به‌دســـت آمده از هر نمونه محاسبه گردید.

آنالیزهای آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با اســـتفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایســـه میانگین‌ها نیز براســـاس آزمون دانکن انجام شـــد و نمودارها با اسـتفاده از نرم‌افزار Excel رسـم گردید. شـایان ذکر اســـت که با توجه به نتایج آزمون بارتلت که نشـــان‌دهنده عدم همگنی واریانس‌ها بود، برای تحلیل داده‌ها از روش تجزیه مرکب استفاده شد.

نتایج و بحث

روز تا گلدهی و کپسول‌دهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده مکان، تنش خشکی و کودهای مورد استفاده بر روز تا گلدهی و روز تا کپسول‌دهی معنی‌داری ($p\leq 0.01$) بود (جدول ۲). اما برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه اثر معنی‌داری بر فنولوژی کنجد نداشتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر ساده مکان مبنی بر آن بود که گلدهی و کپسول‌دهی کنجد در منطقه سرکهنان به‌ترتیب ۶ و ۵ روز دیرتر از منطقه دشت حوض رخ داد (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی نشان داد که اعمال تنش خشکی سبب تسریع مراحل فنولوژی در گیاه گردید، به‌طوری‌که روز تا گلدهی و روز تا کپسول‌دهی در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی به‌ترتیب ۳ و ۶ روز نسبت به تیمار عدم تنش کاهش نشان داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد کود نیز حاکی از برتری گیاهان تیمار یافته با کودهای زیستی و شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) بود. به‌طوری‌که بیشترین تعداد روز تا گلدهی و کپسول‌دهی به‌ترتیب با مقادیر ۵۵/۴۶ و ۶۲/۰۰ روز مربوط به تلفیق باکتری محرک رشد و کود شیمیایی بود (جدول ۳)، که با تیمار میکوریزا+ کود شیمیایی و گیاهان تیمار یافته با کود شیمیایی در گروه‌های آماری یکسان قرار گرفتند. کمترین تعداد روز تا گلدهی و کپسول‌دهی نیز به‌ترتیب با مقادیر ۵۰/۳۵ و ۵۹/۲۰ روز در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) مشاهده شد (جدول ۳).

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که کمبود آب و عناصر غذایی، باعث تحریک تولید هورمون‌های اتیلن و اسید آبسیزیک در گیاه می‌شود که دوره رشد و نمو گیاه را تسریع می‌کنند (Karimzadeh *et al.*, 2019). این پاسخ فیزیولوژیکی که به‌عنوان زودرسی شناخته می‌شود، به گیاه اجازه می‌دهد تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و نسل بعدی را تضمین کند (Yashavanthakumar *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر نیز تسریع دوره گلدهی و کپسول‌دهی با همین موضوع مرتبط باشد که با سایر پژوهش‌ها نیز همخوانی دارد (Bijani *et al.*, 2023). این در حالی است که یافته‌ها این موضوع را ثابت می‌کنند که مدیریت تغذیه گیاه می‌تواند سبب تاخیر در مراحل فنولوژی گیاه گردد (Parande *et al.*, 2019). زیرا باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا، برخی آنزیم‌های فسفاتاز ترشح می‌کنند که ارتوفسفات‌ها را حل می‌کنند، بنابراین نه تنها جذب فسفر، بلکه جذب سایر مواد مغذی مانند Mg، N، Zn، Cu، Fe، Ca، Se نیز افزایش می‌یابد (Shivhare *et al.*, 2024). مواد معدنی جذب‌شده می‌توانند مستقیماً بر فیتوهورمون‌ها تأثیر گذاشته و با تغییر هورمون‌های رشد سبب تغییر در فنولوژی گیاه گردند (Shivhare *et al.*, 2024). طولانی‌شدن دوره زندگی گیاه، امکان انجام کامل‌تر مراحل فنولوژیکی و در نتیجه بهبود عملکرد گیاه را فراهم می‌کند. علاوه‌برآن از دیگر عوامل موثر بر دوره فنولوژی می‌توان شرایط محیطی را مطرح نمود. چرا که مساعد بودن شرایط محیطی در منطقه سرکهنان سبب طولانی‌تر بودن فنولوژی در کنجد نسبت به دشت حوض گردیده است. منطقه سرکهنان به‌دلیل وجود باغات متعدد در اطراف زمین‌های زیر کشت و همچنین چرخش تناوبی محصولات کشاورزی و باقی‌ماندن بقایای گیاهی، از پتانسیل بالایی برای حفظ رطوبت خاک برخوردار است. این امر سبب طولانی‌تر شدن دوره فنولوژی کنجد در این منطقه، حتی در شرایط تنش خشکی شده است. نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) نیز نشان می‌دهد که میزان کربن آلی، فسفر و نیتروژن خاک در منطقه سرکهنان به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از دشت حوض است. این تفاوت می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر طولانی‌شدن دوره فنولوژی و بهبود عملکرد گیاهان در منطقه سرکهنان باشد. کربن آلی علاوه‌بر بهبود ساختار خاک، به افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک نیز کمک می‌کند. گزارشات نیز حاکی از تاثیر شرایط محیطی بر فنولوژی گیاهان دانه روغنی است (Bijani *et al.*, 2023).

ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی و کود بر شاخص کلروفیل و ارتفاع بوته و اثر ساده مکان تنها بر ارتفاع بوته کنجد معنی‌دار ($p\leq 0.01$) بود (جدول۲). در بررسی برهم‌کنش تیمارها نیز مشخص شد که به‌جز اثر دوگانه مکان× کود بر ارتفاع بوته ($p\leq 0.05$) سایر برهم‌کنش‌ها بر

صفات مورد بررسی معنی‌دار نبودند (جدول ۲). نتایج اثر ساده تنش خشکی حاکی از آن بود که گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی از کاهش ۱۶/۰ و ۱۰/۹ درصدی به‌ترتیب در ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) برخوردار بودند (جدول ۳). با این حال نتایج اثر ساده کود نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی سبب افزایش ارتفاع بوته و بهبود سنتز کلروفیل در گیاه گردید. تیمار ترکیبی کود شیمیایی و قارچ میکوریز بیشترین تاثیر مثبت را بر ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل در کنجد داشته است. این تیمار باعث افزایش ۷/۹ درصدی ارتفاع بوته و ۲۰ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به گیاهان شاهد (عدم استفاده از کود) شده است. گیاهان تیمار یافته با کود شیمیایی نیز با بهبود ۸/۶ درصدی در ارتفاع بوته و ۲۱/۳ درصدی در شاخص کلروفیل، در گروه‌های آماری یکسان با تیمار ترکیبی کودهای شیمیایی+ قارچ میکوریز قرار گرفت (جدول ۳). کمترین ارتفاع بوته با ۱۲۶/۵۶ و ۱۲۲/۱۸ سانتی‌متر به‌ترتیب به تیمار شاهد و تیمار باکتری تعلق داشت. کمترین شاخص کلروفیل نیز با ۴۰/۷۷، ۴۲/۶۱ و ۴۲/۲۷ به‌ترتیب در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود)، تیمار باکتری و تیمار کود شیمیایی+ باکتری+ میکوریز مشاهده شد (جدول ۳).

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه روغنی کنجد

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of some measured characteristics of sesame

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا کپسول‌دهی Days to poding	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	درصد روغن Oil content	درصد کنجاله meal	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
مکان Site	1	854.42**	647.92**	49.30^{ns}	88567.42**	185847.2**	81672.5**	91.65**	91.45**	8886534**	582051278**
تکرار (مکان) (Site) Replication	4	8.49	4.22	26.54	369.60	38567.4	778.6	0.81	0.82	84459	3173191
تنش خشکی Drought stress	1	29.26*	20.16**	193.75**	9284.63**	230623.4**	55185.6**	72.10**	71.24**	7773678**	41216535**
کود Fertilizer	7	44.81**	10.99**	278.52**	511.93**	69789.3**	54643.5**	8.93^{ns}	8.89^{ns}	3716419**	109067807**
مکان* تنش خشکی Drought stress*Site	1	0.09^{ns}	0.04^{ns}	3.68^{ns}	140.40^{ns}	27367.8**	4627.3*	1.81^{ns}	1.78^{ns}	2202204**	16118745**
مکان* کود Fertilizer*Site	7	0.13^{ns}	0.02^{ns}	11.58^{ns}	183.68*	13127.8**	1450.2^{ns}	1.16^{ns}	1.15^{ns}	109591^{ns}	20053739**
تنش خشکی * کود Drought stress* Fertilizer	7	2.37^{ns}	2.71^{ns}	14.56^{ns}	18.83^{ns}	19905.8**	7918.6**	3.48^{ns}	3.52^{ns}	472896**	3528397*
مکان* تنش خشکی* کود Drought *Site Fertilizer*stress	7	0.08^{ns}	0.005^{ns}	20.91^{ns}	43.58^{ns}	13865.8*	3313.97*	3.32^{ns}	3.35^{ns}	263178*	6251700**
خطا Error	60	5.65	1.99	18.22	79.02	2508.9	1122.5	5.75	5.74	124736	1579801
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.51	2.33	9.14	6.70	14.68	15.28	5.35	4.33	16.89	11.54

**،* و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری می باشد

ns, *, ** are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent, respectively.

نتایج برهم‌کنش مکان× کود بر ارتفاع بوته حاکی از آن بود که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۷۷ سانتی‌متر از تیمار کاربرد تلفیقی باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی در منطقه سرکهنان به‌دست آمد (شکل ۲). این تیمار با تیمارهای کود شیمیایی (۱۷۱ سانتی‌متر)، کود شیمیایی+ میکوریزا (۱۷۰ سانتی‌متر)، باکتری+ کود شیمیایی (۱۶۷ سانتی‌متر) در منطقه

سرکهنان اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). کمترین ارتفاع بوته نیز با میانگین ۹۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) در منطقه دشت حوض بود (شکل ۲). شایان ذکر است که در منطقه دشت حوض به‌جز تیمار شاهد (عدم استفاده از کود)، سایر تیمارها در گروه‌های آماری یکسان قرار گرفتند. از این نتیجه می‌توان استنباط نمود که هر کدام از کودهای مورد استفاده در این منطقه به‌صورت جداگانه و یا تلفیقی در منطقه دشت حوض می‌تواند اثرات یکسانی بر افزایش ارتفاع بوته اعمال نمایند (شکل ۲).

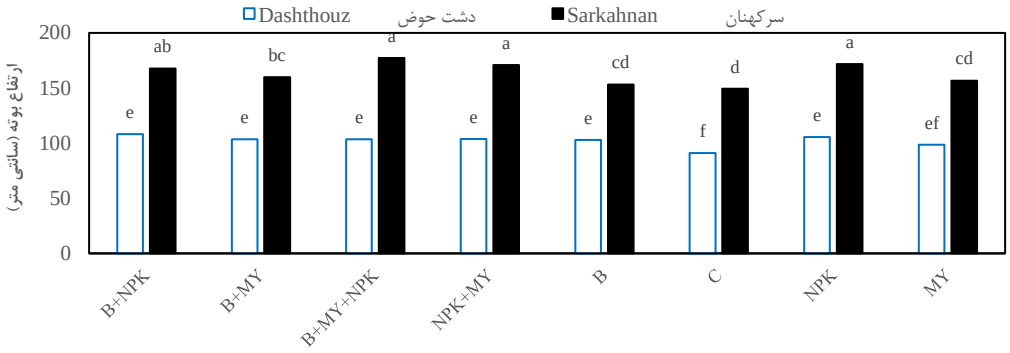
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه روغنی کنجد

Table 3- Mean comparison of of some measured characteristics of sesame

تیمارها Treatment	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا کپسول‌دهی Days to capsule	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g.m^2$)	وزن خشک ساقه Stem dry weight ($g.m^2$)	درصد کنجاله meal (%)	درصد روغن Oil content (%)	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^2$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g.m^2$)
مکان										
سرکهنان Sar Kahnan	55.69^{a}	63.13^{a}	162.98^{a}	47.37^{a}	248.4 ^{a}	385.1 ^{a}	54.26 ^{b}	45.75 ^{a}	2395.0^{a}	13348.6^{a}
دشت حوض Dasht Hoz	49.72^{b}	57.93^{b}	102.23^{b}	45.94^{a}	190.0 ^{b}	297.1 ^{a}	56.21 ^{a}	43.80 ^{b}	1786.5^{b}	8424.0^{b}
تنش خشکی										
شاهد (عدم تنش خشکی) Control (no stress)	55.26^{a}	63.99^{a}	142.44^{a}	46.97^{a}	243.2 ^{a}	390.1 ^{a}	56.10 ^{a}	43.91 ^{b}	2375.3^{a}	11541.5^{a}
تنش خشکی Drought stress	52.16^{b}	58.07^{b}	122.77^{b}	42.33^{b}	195.2 ^{b}	292.0 ^{b}	54.37 ^{b}	45.64 ^{a}	1806.2^{b}	10231.1^{b}
کود										
باکتری + کود شیمیایی Bacteria+ Chemical fertilizer	55.46^{a}	62.00^{a}	137.92^{a}	50.92^{a}	270.3 ^{b}	414.4 ^{a}	56.40 ^{a}	43.59 ^{a}	2524.6^{a}	13757.4^{a}
باکتری + میکوریزا Bacteria+ mycorrhiza	51.41^{cd}	59.73^{bc}	131.56^{ab}	42.27^{b}	211.9 ^{c}	297.6 ^{c}	55.89 ^{a}	44.12 ^{a}	1848.2^{b}	8490.6^{b}
باکتری + میکوریزا + کود شیمیایی Bacteria+ mycorrhiza+ Chemical fertilizer	53.35^{bc}	60.95^{ab}	139^{a}	51.01^{a}	302.3 ^{a}	437.7 ^{a}	54.37 ^{a}	45.62 ^{a}	2624.5^{a}	13940.6^{a}
میکوریزا + کود شیمیایی Mycorrhiza+ Chemical fertilizer	55.11^{ab}	61.47^{a}	137.40^{a}	50.65^{a}	254.5 ^{b}	423.3 ^{a}	56.39 ^{a}	43.63 ^{a}	2526.7^{a}	12956.3^{a}
باکتری Bacteria	51.05^{d}	60.07^{bc}	122.18^{c}	42.61^{b}	126.76 ^{e}	247.1 ^{d}	55.08 ^{a}	44.92 ^{a}	1502.0^{c}	8339.9^{b}
شاهد (بدون مصرف کود) Control (no fertilizer)	50.35^{d}	59.20^{c}	126.56^{bc}	40.77^{b}	137.0 ^{e}	264.8 ^{cd}	54.60 ^{a}	45.41 ^{a}	1491.7^{c}	7743.3^{b}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	53.53^{ab}	60.95^{ab}	138.58^{a}	51.84^{a}	278.7 ^{ab}	353.3 ^{b}	54.48 ^{a}	45.54 a	2712.8^{a}	14066.4^{a}
میکوریزا Mycorrhiza	51.40^{cd}	59.90^{bc}	127.65^{bc}	43.15^{b}	172.2 ^{d}	289.2 ^{cd}	54.67 ^{a}	45.35 ^{a}	1496.2^{c}	7795.8^{b}

در هر ستون تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

*and ** and Ns are significant at the level of 0.05 and 0.01 and non-significant, respectively.



شکل ۲- نتایج مقایسه برهم‌کنش مکان× کود بر ارتفاع بوته

تیمارها به‌ترتیب شامل :باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، شاهد (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 2- Interaction effect of site× fertilizer on plant height of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

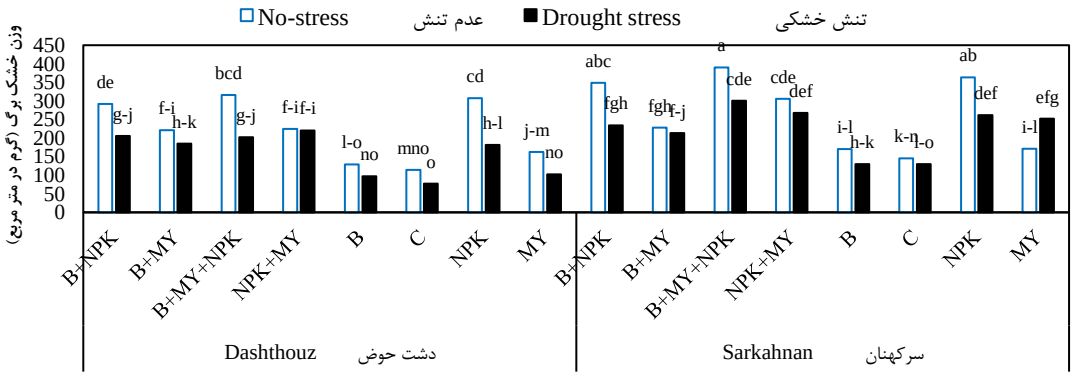
عوامل نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان زراعی و روغنی می‌گردد (Hao *et al*., 2024). این عناصر قدرت تخریب بالایی داشته و می‌توانند به ساختارهای سلولی از جمله کلروپلاست حمله کرده و اثر سوء بر سنتز و پایداری کلروفیل داشته باشند (Hao *et al*., 2024). تخریب کلروفیل به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن در کنجد پیش از این نیز مورد تایید پژوهشگران قرار گرفته است (Fang *et al*., 2024). از دیگر عوامل تخریب کلروفیل می‌تواند با این موضوع مرتبط باشد که در شرایط تنش خشکی گلوتامات به‌عنوان ماده پیش‌ساز کلروفیل و پرولین، جهت تولید پرولین مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه سنتز کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (Nazar Nezhad, 2024). کلروفیل در برگ نشان‌دهنده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و بنابراین با کاهش آن، فتوسنتز نیز کاهش یافته و رشد رویشی گیاه نیز کم می‌شود. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل کاهش ارتفاع بوته نیز این مورد باشد. برخی دیگر از مطالعات کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش را با اختلال در میتوز عنوان نمودند (Anwar *et al*., 2022; Dan *et al*., 2024; Nazar Nezhad, 2024). در پژوهشی جهت بررسی اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته کنجد گزارش شد که تنش خشکی سبب کاهش ۲۳ درصدی ارتفاع گیاه در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری کامل) شد (Ghasemipamah *et al*., 2020). آنها اذعان داشتند که این مورد می‌تواند با رقابت بیش از حد بین بوته‌ها جهت به‌دست آوردن آب و در نتیجه کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه مرتبط باشد (Ghasemipamah *et al*., 2020). با این حال پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی استفاده از کودهای شیمیایی به‌دلیل تامین عناصر غذایی گیاه و کودهای زیستی به‌عنوان میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر سنتز کلروفیل و رشد گیاهان تأثیر بگذارند (Li *et al*., 2024). این میکروارگانیسم‌ها با ایجاد همزیستی با ریشه گیاه به بهبود جذب مواد مغذی، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت افزایش رشد رویشی و بهبود تولید کلروفیل در گیاه کمک می‌کنند (Basyal, 2024). در پژوهشی بر روی کنجد گزارش شد که اثر هم‌افزایی کودهای شیمیایی در تلفیق با کودهای زیستی می‌تواند سبب بهبود رشد رویشی گیاه و افزایش ارتفاع بوته در کنجد گردد (Rezaee *et al*., 2018).

شایان ذکر است که بالاتر بودن ارتفاع بوته در منطقه سرکهنان می‌تواند علاوه‌بر شرایط آب‌وهوایی مناسب‌تر با خاک منطقه مورد مطالعه نیز مرتبط باشد (جدول ۱). در واقع فسفر موجود در کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف به ترکیبات نامحلول تبدیل می‌شود و در نتیجه از دسترس گیاه خارج می‌گردد. در خاک‌های آهکی، فسفر به‌صورت تری‌کلسیم‌فسفات و در خاک‌های اسیدی به‌صورت فسفات آهن و آلومینیوم تثبیت می‌شود (Van Doorn *et al*., 2024). این در حالی است که خاک منطقه سرکهنان تقریباً خنثی و خاک منطقه دشت حوض

به سمت قلیایی تمایل دارد، به نظر می‌رسد که استفاده توام از باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ‌های میکوریزا و کودهای شیمیایی به افزایش دسترسی کنجد به فسفر و در نتیجه افزایش رشد آن‌ها کمک گیاه شایانی نموده است.

وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه

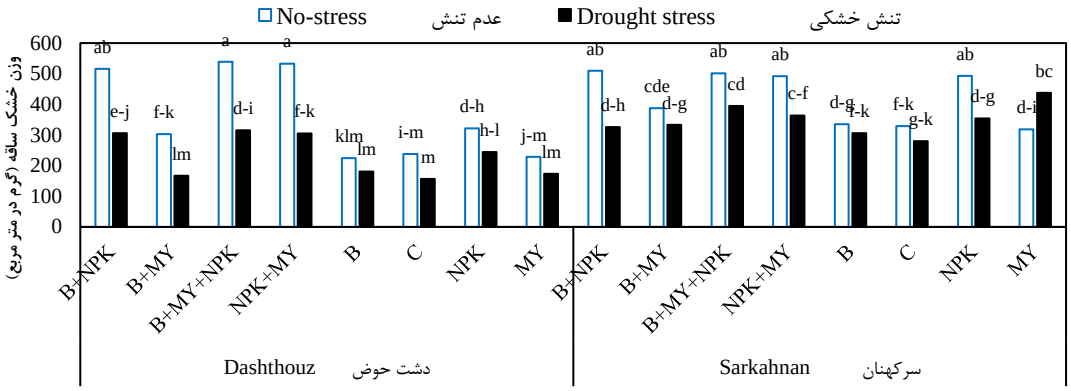
نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی کنجد حاکی از معنی‌داری ($p\leq 0.01$) اثر ساده مکان، تنش خشکی و کود بر وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه بود (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارها نیز نشان داد به‌جز اثر دوگانه مکان× کود بر وزن خشک برگ، سایر اثرات دوگانه ($p\leq 0.01$) و سه‌گانه ($p\leq 0.05$) معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر مکان× تنش خشکی× کود نشان داد که در گیاهان پرورش یافته با تیمار تنش خشکی صفات مورد بررسی از افت قابل‌توجهی برخوردار بودند. با این حال اضافه کردن کودهای زیستی و شیمیایی به‌خصوص در منطقه سرکهنان با بهبود رشد و افزایش وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه همراه بوده است. نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش، تیمار کود شیمیایی، تیمار باکتری+ کود شیمیایی، تیمار باکتری+ میکوریز+ کود شیمیایی در منطقه سرکهنان با بهبود ۲۸، ۳۲ و ۲۳ درصدی وزن خشک برگ و بهبود ۲۸، ۳۶ و ۲۱ درصدی وزن خشک ساقه نسبت به تیمار متناظر خود در تنش خشکی، بیشترین میزان از این لحاظ را به‌خود اختصاص دادند (شکل‌های ۳ و ۴). چنین به نظر می‌رسد که منطقه سرکهنان با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی از لحاظ صفات رشدی نسبت به منطقه دشت حوض برتری داشته است. به‌طوری‌که کمترین میزان از این لحاظ در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) و تیمار باکتری با وزن خشک برگ به‌ترتیب ۷۷ و ۹۶ گرم در مترمربع و وزن خشک ساقه به‌ترتیب ۱۵۶ و ۱۸۰ گرم در مترمربع در شرایط تنش خشکی و در منطقه دشت حوض مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). علاوه‌برآن چنین به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط تنش خشکی و عدم تنش خشکی مکمل یکدیگر بوده و استفاده همزمان از آن‌ها منجر به بهبود قابل توجه وزن خشک بخش‌های هوایی گیاه شده است. این موضوع در مقایسه بین تیمار باکتری+ میکوریز+ کود شیمیایی با تیمار منفرد باکتری به‌خوبی قابل مشاهده است (شکل‌های ۳ و ۴). این نتیجه این مورد را گوشزد می‌کند که برای دستیابی به کشاورزی پایدار و تولید محصولاتی با کیفیت و کمیت مناسب، ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند یک رویکرد مناسب در نظر گرفته شود.



شکل ۳- اثر برهمکنش مکان× تنش خشکی× کود بر وزن خشک برگ

تیمارها به‌ترتیب شامل :باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 3- Interaction effect of site×drougt stress × Fertilizer on Leaf dry weight of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)



شکل ۴- اثر برهمکنش مکان× تنش خشکی× کود بر وزن خشک ساقه

تیمارها به‌ترتیب شامل :باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

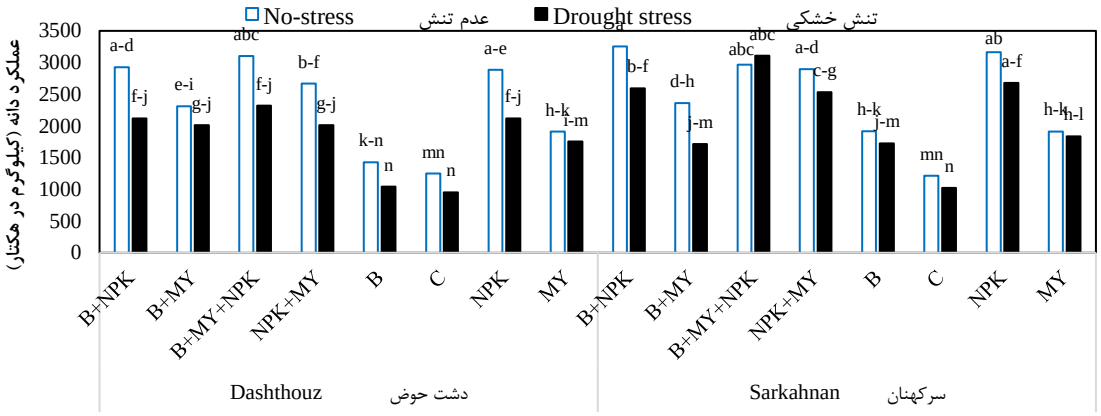
Figure 4- Interaction effect of site×drougt stress × Fertilizer on Stem dry weight of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

اگرچه تنش خشکی از طریق تاثیر سوء بر محتوای کلروفیل، کاهش تقسیم سلولی، کاهش سطح برگ، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش میزان پرولین و مالون‌دی‌آلدئید سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Bijani *et al.*, 2023; Nazar Nejad, 2024). اما مدیریت صحیح تغذیه می‌تواند در این شرایط به بهبود رشد گیاه کمک نماید. همان‌طور که در نتایج مشخص شد استفاده از کودهای شیمیایی در کنار کودهای زیستی وزن خشک بالاتر برگ و ساقه را به‌خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد که اثرمتقابل مثبت بین کودهای شیمیایی، قارچ میکوریز و باکتری حل‌کننده فسفات بر یکدیگر، منجر به بهبود قابل‌توجه میکروبیولوژی خاک، افزایش تولید ترکیبات مفید مانند اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز و در نهایت بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Yadav *et al.*, 2022; Shivhare *et al.*, 2024; Tiepo *et al.*, 2024). این ترکیبات، شرایط رشد گیاه را به‌مراتب بهتر از زمانی که هر یک از این عوامل به‌تنهایی استفاده شود، بهبود می‌بخشند. بنابراین در تیمارهای تلفیقی از کودهای شیمیایی، میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas putida*) رشد گیاه در شرایط تنش و غیرتنش به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سایر تیمارها بود. در پژوهشی مشخص شد که با کاربرد قارچ میکوریزا و کوددهی با سوپرفسفات تریپل، صفات مورفولوژیکی به‌خصوص وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه در گیاه کنجد به‌طور قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Ahmed *et al.*, 2023). آنها اذعان داشتند که با افزایش انحلال عناصر غذایی به‌خصوص فسفر توسط قارچ میکوریزا و افزایش جذب آن به‌وسیله هیف‌های گسترش یافته، سنتز اسید نوکلئیک افزایش یافته و این عامل سبب بهبود رشد رویشی گیاه می‌گردد. این نتیجه در سایر پژوهش‌ها نیز مورد تایید قرار گرفته است که با پژوهش حاضر هم‌خوانی کامل دارد (Tiepo *et al.*, 2024; Ru *et al.*, 2024). شایان ذکر است که بالاتر بودن رشد در منطقه سرکهنان علاوه‌بر شرایط آب‌وهوایی می‌تواند با حاصلخیزی بیشتر و اسیدیته مناسب‌تر خاک (جدول ۱) جهت کشت کنجد مرتبط باشد. در سایر پژوهش‌ها نیز به موثر بودن ویژگی‌های خاک بر رشد و عملکرد گیاه کنجد اشاره شده است (Noor *et al.*, 2020).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده مکان، تنش خشکی و کود بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار ($p\leq 0.01$) بود (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارها نیز حاکی از آن بود که به‌غیر از اثر دوگانه مکان× کود، سایر برهم‌کنش‌ها اثر معنی‌دار بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۲۵۵ کیلوگرم در

هکتار مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد تلفیقی باکتری+ کود شیمیایی بود که در منطقه سرکهنان مشاهده شد (شکل ۵). شایان ذکر است که تیمار مذکور با تیمار کود شیمیایی به‌تنهایی و ترکیب کود شیمیایی+ میکوریزا+ باکتری در منطقه سرکهنان و با تیمارهای مشابه در منطقه دشت حوض اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. کمترین عملکرد دانه نیز با میانگین ۹۵۳/۰ و ۱۰۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تنش خشکی و عدم کاربرد کود به‌ترتیب به منطقه دشت حوض و سرکهنان تعلق داشت (شکل ۵). عملکرد دانه در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) در شرایط غیرتنش در منطقه دشت حوض و سرکهنان به‌ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد بالاتر از شرایط تنش بود (شکل ۵).



شکل ۵- اثر برهمکنش مکان× تنش خشکی× کود بر عملکرد دانه کنجد

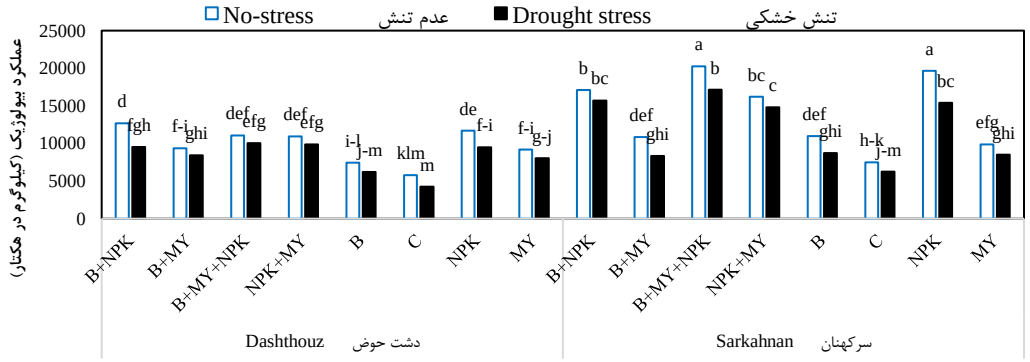
تیمارها به‌ترتیب شامل :باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 5- Interaction effect of site× drought stress× fertilizer on grain yield of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

نتایج برهم‌کنش سه‌گانه مکان× تنش خشکی× کود بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که منطقه سرکهنان نسبت به منطقه دشت حوض در تمامی تیمارهای کودی و حتی تیمار شاهد عملکرد بیولوژیک بالاتری را به‌خود اختصاص داد (شکل ۶). بیشترین عملکرد بیولوژیک بدون وجود اختلاف معنی‌دار مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی+ باکتری+ میکوریزا (۲۰۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کود شیمیایی (۱۹۶۷۰ کیلوگرم در هکتار) در منطقه سرکهنان بود (شکل ۶). جهت مقایسه عملکرد بیولوژیک در دو منطقه مورد بررسی می‌توان چنین گزارش کرد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در منطقه دشت حوض در شرایط عدم تنش خشکی و تیمار کود شیمیایی مشاهده شد که ۶۹ درصد کمتر از تیمار متناظر خود در منطقه سرکهنان بود. علاوه‌برآن در نتایج به‌وضوح می‌توان مشاهده نمود که اعمال تنش خشکی در تمام تیمارها به‌خصوص تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) سبب کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه گردید. به نظر می‌رسد که تیمار باکتری نیز در هر دو منطقه سبب افزایش قابل‌توجهی در عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی نگردید. به‌طوری‌که کمترین عملکرد بیولوژیک با ۴۲۵۸ و ۶۲۳۹ کیلوگرم در هکتار به شرایط تنش خشکی در تیمارهای شاهد (عدم استفاده از کود) و تیمار باکتری در منطقه دشت حوض اختصاص یافت (شکل ۶).

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برای دستیابی به عملکرد مطلوب و پایدار در کشاورزی، لازم است به‌طور همزمان به عوامل مختلفی مانند مکان کشت، مدیریت آبیاری و نوع کوددهی مناسب توجه شود. این سه عامل به‌طور مستقل و همزمان بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. برای مثال تنش خشکی از طریق کاهش جذب عناصر غذایی و تاثیر منفی بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، سبب تاثیر منفی بر متابولیسم عناصر و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه و در نهایت سبب کاهش

فتوسنتز، تنفس و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Hamedani *et al*., 2022; Fang *et al*., 2024). با این حال انتخاب مکانی با شرایط آب‌وهوایی و خاکی مناسب و استفاده بهینه از کودهای شیمیایی و زیستی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاهان زراعی و روغنی شود، که این عامل می‌تواند یکی از عوامل کلیدی در برتری عملکرد در منطقه سرکهنان نسبت به دشت حوض باشد.



شکل ۶- اثر برهم‌کنش مکان× تنش خشکی× کود بر عملکرد بیولوژیک کنجد

تیمارها به‌ترتیب شامل :باکتری+ کود شیمیایی (B+NPK)، باکتری+ میکوریزا (B+MY)، باکتری+ میکوریزا+ کود شیمیایی (B+MY+NPK)، کود شیمیایی+ میکوریزا (NPK+MY)، باکتری (B)، کنترل (C)، کود شیمیایی (NPK) و میکوریزا (MY) می‌باشد.

Figure 6- Interaction effect of site× drought stress× fertilizer on grain yield of Sesame (The treatments include: bacteria+chemical fertilizer (B+NPK), bacteria+mycorrhiza (B+MY), bacteria+mycorrhiza+chemical fertilizer (B+MY+NPK), chemical fertilizer+mycorrhiza (NPK+MY), bacteria (B), control (C), chemical fertilizer (NPK) and mycorrhiza (MY).)

مطالعات نشان می‌دهد با تامین عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر ریزمغذی، می‌توان به تقویت سیستم ایمنی گیاه، بهبود رشد ریشه، افزایش فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی کمک نمود (Basal and Szabó, 2020). چنین به نظر می‌رسد که استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد با ترشح آنزیم‌هایی سبب تعدیل اسیدیته خاک گردیده و با افزایش انحلال عناصر غذایی در خاک از تخلیه آن از منطقه ریشه جلوگیری به‌عمل آورده است (Yadav *et al*., 2021). هم‌افزایی استفاده از کود شیمیایی در کنار میکروارگانیسم‌ها زمانی نمودارتر می‌شود که این عناصر غذایی توسط هیف‌های گسترش یافته میکوریز جذب گیاه می‌گردد و به بهبود عملکرد کمک می‌کند. به‌طوری‌که برخی از پژوهش‌های کاربرد همزمان قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را به‌عنوان فرصت امیدوارکننده برای بهبود رشد و عملکرد کنجد مطرح کرده‌اند (Yadav *et al*., 2021). در پژوهشی بر روی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی و کودهای زیستی و شیمیایی گزارش شد که در شرایط بدون تنش بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای کود شیمیایی حاصل شد، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه در کنجد در استفاده از کودهای زیستی قابل مشاهده بود (Rezaee *et al*., 2018). آن‌ها اذعان داشتند که در شرایط تنش خشکی، کاربرد کودهای زیستی می‌تواند یک راه‌حل مناسب جهت افزایش تولید کنجد در نظر گرفته شود (Rezaee *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر مشخص شد که استفاده از باکتری محرک رشد می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه در شرایط خشک و نیمه‌خشک که آب عامل اصلی در تعیین عملکرد محصول است، حیاتی باشد (Thuc *et al*., 2023). سایر پژوهش‌ها نیز استفاده همزمان از کودهای زیستی و شیمیایی را جهت افزایش عملکرد گیاهان روغنی مورد تایید قرار داده‌اند (Yousefpoor and Yadav, 2014).

درصد روغن و کنجاله

درصد روغن و کنجاله تنها تحت تاثیر اثر ساده مکان و تنش خشکی قرار گرفتند (جدول ۲). برهم‌کنش تیمارها نیز اثر معنی‌داری بر درصد روغن و کنجاله نداشتند (جدول ۲). نتایج

مقایسه میانگین مربوط اثر ساده مکان بر درصد روغن نشان داد که درصد روغن در منطقه سرکهنان ۵ درصد بالاتر از دشت حوض بود (جدول ۳). از آن‌جایی‌که بین درصد روغن و کنجاله خاصیت جبرانی وجود دارد، بنابراین بالاترین درصد کنجاله با میانگین ۵۶/۲۱ درصد مربوط به منطقه دشت حوض و کمترین میزان نیز با میانگین ۵۴/۲۶ درصد مربوط به منطقه سرکهنان بود (جدول ۳). اثر ساده تنش خشکی نیز حاکی از افزایش ۴ درصدی روغن و کاهش ۳ درصدی کنجاله در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳).

یافته‌ها حاکی از آن است که درصد روغن توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، اما می‌تواند تحت تاثیر شرایط محیطی از جمله شرایط آب‌وهوایی و تنش خشکی قرار گیرد (Safavi Fard *et al*., 2018).

تنش خشکی می‌تواند تأثیر پیچیده و متناقضی بر درصد روغن در گیاهان روغنی داشته باشد. این تأثیر به عوامل مختلفی از جمله رقم گیاه، میزان و شدت تنش، مرحله رشد، شرایط محیطی و تغذیه گیاه بستگی دارد. در پژوهشی گزارش شد در شرایط تنش خشکی، برخی ارقام سویا (مانند L17 و Ds2) افزایش درصد روغن را تجربه کردند، درحالی‌که در ارقام دیگر (مانند سحر، ویلیامز) این روند کاهشی بود. دلیل اصلی افزایش درصد روغن در ارقام مذکور، کاهش اندازه دانه و تخصیص یافتن حجم بیشتری از فضای دانه به روغن در شرایط تنش خشکی گزارش شد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که تنش ملایم منجر به افزایش درصد روغن در سویا می‌شود (Navabpour *et al*., 2017).

جدول ۴- ضرایب همبستگی صفات اندازه گیری شده در کنجد تحت تنش خشکی

Table 4- Correlation coefficients among the measured traits of sesame under drought stress

	ارتفاع بوته PH	شاخص کلروفیل SP	روز تا گلدهی DF	روز تا کپسول دهی DP	عملکرد دانه GY	عملکرد بیولوژیک BY	درصد روغن OS	درصد کنجاله M	وزن خشک برگ DWL	وزن خشک ساقه DWS
ارتفاع بوته PH	1									
شاخص کلروفیل SP	0.23 *	1								
روز تا گلدهی DF	-0.60 **	0.14 ns	1							
روز تا کپسول دهی DP	-0.75 **	0.08 ns	0.71 **	1						
عملکرد دانه GY	0.59 **	0.58 **	-0.11 ns	-0.21 *	1					
عملکرد بیولوژیک BY	0.73 **	0.60 **	-0.21 **	-0.34 **	0.74 **	1				
درصد روغن OS	0.21 *	-0.004 ns	-0.37 **	-0.38 **	-0.04 ns	0.11 ns	1			
درصد کنجاله M	-0.21 *	0.004 ns	0.37 **	0.38 **	0.04 ns	-0.11 ns	-1.00 **	1		
وزن خشک برگ DWL	0.54 **	0.59 **	-0.08 ns	-0.16 ns	0.80 **	0.73 **	-0.05 ns	0.05 ns	1	
وزن خشک ساقه DWS	0.56 **	0.39 **	-0.07 ns	-0.18 ns	0.75 **	0.61 **	-0.14 ns	0. 14 ns	0.74 **	1

**،* و ns به‌ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد.

ns, *, ** are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent. Respectively

صفات به‌ترتیب شامل: ارتفاع بوته (PH)، شاخص کلروفیل (SP)، روز تا گلدهی (DF)، روز تا کپسول دهی (DP)، عملکرد دانه (GY)، عملکرد بیولوژیک (BY)، درصد روغن (OS) و درصد کنجاله (M)، وزن خشک برگ (DWL) و وزن خشک ساقه (DWS) می‌باشد.

Traits include: plant height (PH), chlorophyll index (SP), days to flowering (DF), days to podding (DP), Grain yield (GY), biological yield (BY), seed oil percentage (OS). and meal oil percentage (M), leaf dry weight (DWL) and stem dry weight (DWS).

برخی دیگر از مطالعات نیز حاکی از افزایش درصد روغن در شرایط تنش خشکی است که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (Rahmani *et al*., 2008). علاوه‌برآن چنین به نظر می‌رسد که شرایط آب‌وهوایی نیز می‌تواند بر درصد روغن گیاه موثر واقع شود. در پژوهشی گزارش شد که اعمال تنش خشکی در سال ۲۰۱۷ با افزایش درصد روغن و تکرار آزمایش در سال ۲۰۱۸ با کاهش درصد روغن همراه بود (Naservafaei *et al*., 2024).

همبستگی صفات

نتایج مرتبط با همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در کنجد نشان داد بالاترین همبستگی معنی‌دار و مثبت در وزن خشک برگ با صفت‌های عملکرد دانه (۰/۸۰**)، عملکرد بیولوژیک (۰/۷۳**) و وزن خشک ساقه (۰/۷۴**) مشاهده شد (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین شاخص کلروفیل با صفت‌های عملکرد دانه (۰/۵۸**) و عملکرد بیولوژیک (۰/۶۰**) قابل مشاهده بود. این نتیجه مبنی بر سهم قابل‌توجه وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و شاخص کلروفیل بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کنجد است. این در حالی است که ارتفاع بوته همبستگی منفی و معنی‌داری با روز تا گلدهی (-۰/۶۰**) و روز تا کپسول‌دهی (-۰/۷۵**) و همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن خشک برگ (۰/۵۴**) و وزن خشک ساقه (۰/۵۶**) داشت. درک این همبستگی‌ها بینش‌های ارزشمندی را در مورد روابط بین این صفات فراهم می‌کند که برای بهینه‌سازی رشد و بهره‌وری گیاه در زمینه‌های کشاورزی حیاتی است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در دو منطقه مورد مطالعه (سرکهنان و دشت حوض) تنش خشکی سبب تسریع در فنولوژی (روز تا کپسول‌دهی و روز تا گلدهی)، کاهش شاخص کلروفیل، کاهش وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه در گیاه روغنی کنجد شد. علاوه‌برآن کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد کنجاله نیز در گیاهان تیمار یافته با تنش خشکی قابل مشاهده بود. با این حال درصد روغن با اعمال تنش خشکی افزایش یافت. اما به نظر می‌رسد در شرایط تنش، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (باکتری حل‌کننده فسفات و میکوریز) در کنار استفاده از کودهای شیمیایی به‌خصوص در منطقه سرکهنان تا حد مناسبی از تاثیر سوء تنش خشکی و کاهش عملکرد دانه جلوگیری به‌عمل آورد. اثر هم‌افزایی کودهای مورد استفاده بر بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط عدم تنش نیز به‌وضوح قابل مشاهده بود. بنابراین استفاده از کودهای زیستی در کنار کاربرد مناسب کود شیمیایی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت بهبود تولید کنجد در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته شود.

References

Abbas, M.S., Doweidar, M.M. and Saleh, S.A., 2024. Evaluation of healthy pan bread enriched with sesame, peanut and sun flower seeds. *Egyptian Journal of Chemistry*, *67*, pp.89-108. https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.244716.8782

Ahluwalia, O., Singh, P.C. and Bhatia, R., 2021. A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, *5*, pp.1-14. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032

Ahmed, H.A., Amro, A., Mahdy, A.Y. and Imara, D.A., 2023. Potential of arbuscular mycorrhizal fungi against charcoal rot of sesame and optimized fertilization for enhancing growth, productivity, and nutrient uptake. *Egyptian Journal of Phytopathology*, *51*, pp.76-89. https://doi.org/10.21608/ejp.2023.229040.1102

Ahmed, N.J. and Ali, K.A., 2024. Effect of exogenous salicylic acid foliar spray on growth, yield and chemical content of sesame crop (*Sesamum Indicum* L.) under drought stress. *Sarhad Journal of Agriculture*, *40*, pp.702-712. https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.3.702.712

Anwar, M., Saleem, M.A., Dan, M., Malik, W., Ul-Allah, S., Ahmad, M.Q., Abdul Qayyum, A., Amjid, M.W., Ullah Zia, Z., Afzal, H., Asif, M., Ur Rahman, M.A. and Hu, Z., 2022. Morphological, physiological and molecular assessment of cotton for drought tolerance under field conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*, pp.444-452. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.009

Basal, O. and Szabó, A., 2020. The combined effect of drought stress and nitrogen fertilization on soybean. *Agronomy*, *10*, pp.1-18. https://doi.org/10.3390/agronomy10030384

Basyal, B., 2024. Plant-arbuscular mycorrhizal fungi association under drought stress. in arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture: nutrient and crop management. *Springer Nature Singapore*, pp.211–221. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0300-5_10

Bijani, M., Soufizadeh, S., Shiranirad, A., Jabbari, S., 2023. Evaluation of spring oilseed rape cultivars response to terminal drought stress in Karaj. *Journal of Crops Improvemen*, *25*, pp.920-933. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2022.347418.2740

Chaharlang Badil, F., Azizi, K., Eisvand, H., Nasrollahi, A. and Ismaili, A., 2022. Effect of biological and chemical fertilizers and salicylic acid spraying on yield and some physiological traits of wheat under drought stress. *Plant Productions*, *45*, pp.397-408. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.40567.2026

Dan, L., Huibo, Z., Zian, W., Jing, X., Yiting, L., Jiajia, W., Ren Deyong, R., Zhenyu, G., Guojun, D., Qiang, Z., Lan, S., Qing, L., Qian, Q., Songping, H.and Guangheng, Z., 2024. Leaf morphology genes SRL1 and RENL1 Co-regulate cellulose synthesis and affect plant drought tolerance. *Rice Science*, *13*, pp.103-117. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.10.001

El-Shaboury, H.A., El-Emshaty, A.M. and Baddour, A.G., 2023. an investigation of the effect of phosphate dissolving bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi, dry yeast, and their stimulating effects on faba bean plants and plant uptake of nutrients. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, *14*, pp.363-370. https://doi.org/10.21608/jssae.2023.249010.1199

Fan, X., Hu, X., Ma, Y., Pang, Y., Sun, J. and Hou, P., 2024. Influence of high temperature and drought stress at jointing stage on crop physiological responses and growth in summer maize plants (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Physiology*, *2*, pp.1-18. https://doi.org/10.3389/fphgy.2024.1331421

Fang, S., Yang, H., Tao, Y., Shi, J. and Wang, M., 2024. Sesame (*Sesamum indicum* L.) growth properties and yield attributes are associated with potassium level in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, *47*, pp.1364-1377. https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2308194

Ghasemipamah, M., Aminian, R., Gholamhoseini, M., Farhad Habibzadeh, F., 2020. Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars response to full and low irrigation regimes. *Field crop science*, *51*, pp.151-163. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2019.250447.654439

Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R., 2021. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, *262*, pp.1-15. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108035

Hamedani, N.G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F. and Amiri, B., 2022. Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. *Agricultural Water Management*, *266*, pp.1-16. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107569

Hao, X., Cao, H., Wang, Z., Jia, X., Jin, Z. and Pei, Y., 2024. Hydrogen sulfide improves plant drought tolerance by regulating the homeostasis of reactive oxygen species. *Plant Growth Regulation*, *104*(2), pp.803-821. https://doi.org/10.1007/s10725-024-01197-z

Jafari, H., Noorgholipour, F. and Rajaee, M., 2019. Determination of the optimal irrigation interval on yield and yield components of sesame in Sesame field region of Iran using class A evaporation pan. *Iranian of Irrigation & Water Engineering*, *9*, pp.208-222. [In Persian]. https://doi.org/10.22125/iwe.2019.90264

Jeyaraj, S. and Beevy, S.S., 2024. Insights into the drought stress tolerance mechanisms of sesame: the queen of oilseeds. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*, pp.3370–3391. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11353-4

Kálmán, C.D., Nagy, Z., Berényi, A., Kiss, E. and Posta, K., 2024. Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. *Cereal Research Communications*, *52*, pp.129-150. https://doi.org/10.1007/s42976-023-00388-0

Karimzadeh Soureshjani, H.K., Nezami, A., Kafi, M. and Tadayon, M., 2019. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *213*, pp.270-279. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.038

Kouighat, M., Hanine, H., El Fechtali, M. and Nabloussi, A., 2021. First report of sesame mutants tolerant to severe drought stress during germination and early seedling growth stages. *Plants*, *10*, pp.1-18. https://doi.org/10.3390/plants10061166

Li, M., Luo, J., Nawaz, M.A., Stockmann, R., Buckow, R., Barrow, C., Dunshea, F. and Rasul Suleria, H.A., 2024. Phytochemistry, bioaccessibility, and bioactivities of sesame seeds: An overview. *Food Reviews International*, *40*, pp.309-335. https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2168280

Luo, D., Shi, J., Li, M., Chen, J., Wang, T., Zhang, Q., Yang , L., Zhu, N. and Wang, Y., 2024. Consortium of phosphorus-solubilizing bacteria promotes maize growth and changes the microbial community composition of rhizosphere soil. *Agronomy*, *14*, pp.1-16. https://doi.org/10.3390/agronomy14071535

Naservafaei, S., Sohrabi, Y., Moradi, P. and Weisany, W., 2024. Improving oil content and fatty acid composition in dragon's head grain under drought stress with exogenous salicylic acid application. *Journal of Agriculture and Food Research*, *17*, pp.1-13. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101232

Navabpour, S., Hezarjaribi, E. and Mazandarani, A., 2017. Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*, pp.491-503. [In Persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.102

Nazar Nezhad., G., 2024. Effect of organic fertilizer and planting date on yield, physiological and qualitative traits of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under drought and salinity stresses. PhD thesis, Faculty of Agriculture, University of shahrekord. [In Persian].

Noor, R.S., Hussain, F., Abbas, I., Umair, M. and Sun, Y, 2020. Effect of compost and chemical fertilizer application on soil physical properties and productivity of sesame (*Sesamum Indicum* L.). *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*, pp.905-915. https://doi.org/10.1007/s13399-020-01066-5

Parande, S., Eslami., V. Al-Ahmadi, M., 2019. Effects of shading and nitrogen on phenology and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in competition with white pigweed (*Amaranthus albus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*, pp.961-972. [In persian]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1338.1280

Parsa Motlagh, B., Shahdadi, F., Salehi Sardoei, A., Parviz, L. and Ghorbanpour, M., 2024. Foliar-applied melatonin alters grain yield and the fatty acid profile of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Journal of Crop Health*, *76*, pp.725–73. https://doi.org/10.1007/s10343-024-00977-x

Pourhosseini, S.H., Azizi, A., Seyedi, F.S. and Hadian, J., 2024. Bio-fertilizer as a pathway to minimize nitrate leaching from chemical fertilizer in high yield peppermint production. *Journal of Cleaner Production*, *41*, pp.1417–1437. https://doi.org/10.1007/s00299-022-02866-x

Rahmani, N., Valadabadi, S., Daneshian, J. and Bigdeli, M., 2008., The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of Calendula officinalis L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *24*, pp.101-108. [In Persian].

Rezaee, P., Kochaki, A., Nasiri, M. and Jahan, M., 2018. Yield and yield components of sesame influenced by chemical and biological fertilizers and irrigation levels. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, *27*, pp.172-189. [In Persian].

Ru, C., Hu, X., Wang, W. and Yan, H., 2024. Impact of nitrogen on photosynthesis, remobilization, yield, and efficiency in winter wheat under heat and drought stress. *Agricultural Water Management*, *302*, pp.1-13. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109013

Safavi Fard, N.S., Abad, H.H.S., Rad, A.S., Heravan, E.M. and Daneshian, J., 2018. Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products*, *114*, pp.87-92. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.082

Shivhare, R., Semwal, P., Mishra, S.K. and Chauhan, P.S., 2024. Pseudomonas putida facilitates pearl millet growth in cold environments and alleviates drought stress by modulating phytohormone, antioxidant, and secondary metabolite pathways. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*(11), pp.4199-4218. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11384-x

Sima, N.A.K., Jabbari, H., Ebadi, A., Ghaffari, M.R. and Koobaz, P., 2024. Comparative analysis of exogenous hormone application on contrasting canola (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *24*, pp.308-317. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01527-6

Thuc, L. V., Thu, L.T.M., Huu, T.N., Nghi, P.H., Quang, L.T., Xuan, D.T. and Khuong, N.Q., 2023. Effects of phosphorus fertilizers and phosphorus-solubilizing rhizosphere bacteria on soil fertility, phosphorus uptake, growth, and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivated on alluvial soil in dike. *Geomicrobiology Journal*, *40*, pp.527-537. https://doi.org/10.1080/01490451.2023.2204860

Tiepo, A.N., Fávaro, M.H., Amador, T.S., Tavares, L.F., Hertel, M.F., Calzavara, A.K. and Stolf-Moreira, R., 2024. Associative bacteria and arbuscular mycorrhizal fungus increase drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) through morphoanatomical, physiological, and biochemical changes. *Plants*, *13*, pp.1-14. https://doi.org/10.3390/plants13121667

Van Doorn, M., van Rotterdam, D., Ros, G., Koopmans, G.F., Smolders, E. and de Vries, W., 2024. The phosphorus saturation degree as a universal agronomic and environmental soil P test. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *54*, pp.385-404. https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2240211

Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S. and Wang, Y., 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. *Journal of Cleaner Production*, *199*, pp.882-890. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222

Yadav, R., Chakraborty, S. and Ramakrishna, W., 2022. Wheat grain proteomic and protein–metabolite interactions analyses provide insights into plant growth promoting bacteria–arbuscular mycorrhizal fungi–wheat interactions. *Plant Cell Reports*, *41*, pp.1417-1437. https://doi.org/10.1007/s00299-022-02866-x

Yashavanthakumar, K.J., Baviskar, V.S., Navathe, S., Patil, R.M., Bagwan, J.H., Bankar, D.N. and Singh, G.P., 2021. Impact of heat and drought stress on phenological development and yield in bread wheat. *Plant Physiology Reports*, *26*, pp.357-367. https://doi.org/10.1007/s40502-021-00586-0

Yousefpoor, Z. and Yadavi, A., 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *24*, pp.95-112. [In Persian].