

Original article

Response of some characteristics of oilseed and nut sunflower (*Helianthus annuus*) under two irrigation regimes

Zohreh Falahati¹, Reza Amiri Fahlani^{2*}, Masoud Dehdari², Hamid Reza KhademHamzeh³

1. MSc. in Plant Breeding, Agronomy & Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

2. Associate Professor in Plant Breeding, Agronomy & Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

3. Assistant Professor in Crop Physiology, Fars Agriculture and Natural Resources Research Center, Agronomic and Horticultural Science Research Department, Zarghan, Iran

Received 6 February 2024; Revised 12 April 2024; Accepted 16 April 2024

Extended abstract

Introduction

With the increasing population, ensuring food security is one of the most important challenges for humans. Oilseeds are considered strategic crops, and due to the role they play in providing fats, proteins, and vitamins, they are among the most important food sources. Water deficit and drought stress severely reduce crop production and are the most significant abiotic stress worldwide, posing a crisis in Iran. Seed production and the sustainability of sunflower (*Helianthus annuus*) under drought stress are limited especially in arid and semi-arid regions. To understand the effects of stress on crops, it is essential to consider drought stress conditions in breeding programs to identify tolerant genetic materials. The response of sunflowers to drought stress depends on genotype, stress intensity, and the time of occurrence. Due to the annual damage caused by drought stress and the lack of sufficient information regarding the tolerance levels of different sunflower genotypes, the present study aimed to evaluate some common genotypes of sunflower under drought stress.

Materials and methods

This research was conducted in 1401 in the Dasht-e Roum region of Boyer-Ahmad County, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, with geographical coordinates of 30° 34' north latitude and 51° 31' east longitude, at an altitude of 2095 m. Two separate experiments were performed in a randomized complete block design with three replications. The first experiment was conducted under non-stress conditions (providing 100% of the water requirement), and the second experiment was conducted under stress conditions (providing 50% of the water requirement). The experimental treatments included 10 genotypes, including oilseed sunflowers (Lakomka, Progress, Shams, Qasim, Golsa, Biotech, and Zarrin) and nut sunflowers (Shamshiri, Kalleh Ghoochi, and Pakan Bazaar). In April 1401, plowing operations were carried out, followed by the creation of furrows at a distance of 50 centimeters. Plots with dimensions of 4x3 meters were considered, and oilseed sunflowers were planted with a spacing of 20 centimeters between rows, while nut sunflowers were planted with a spacing of 25 centimeters. The planting depth was 5 centimeters in the last of June. Irrigation regimes were applied after the plants reached the 4 to 6-leaf stage.

Results and discussion

Based on the analysis of variance, the effect of genotype on the head diameter was not significant under stress conditions, but it was significant at the 1% level of probability under non-stress conditions. Under

* Corresponding author: Reza Amiri Fahlani; E-Mail: amiri@yu.ac.ir



non-stress conditions, nut genotypes including Shamsiri, Local Pakan Bazar, and Kallegouchi did not show any significant difference in head diameter. Among the oilseed genotypes, Shams had the highest head diameter, although it did not show a significant difference compared to other genotypes except for the Zarrin genotype. Based on the combined analysis of variance, the main effect of genotype and irrigation regime was significant at a 1% level of probability on the number of filled grains per head. The comparison of the mean effect of the irrigation regime showed that with the application of drought stress, the number of filled grains per head decreased by 20.03%. Among the oilseed genotypes, Ghassem had the highest and Biotech had the lowest number of filled grains per head. Among the nut genotypes, the local Pakan Bazar genotype had the highest number of filled grains per head, while the Kalleh Qouchi genotype had the lowest. The combined analysis of variance showed that the percentage of seed oil, hundred-seed weight, seed yield, and biological yield of sunflower were significantly influenced by genotype-by-irrigation regime interaction with 99% confidence. The comparison of mean oil percentage for genotypes at different levels of irrigation regime showed that under non-stress conditions, the Ghassem genotype had the highest oil percentage among the oilseed genotypes. Among the nut genotypes, the local Pakan Bazar genotype had a higher oil percentage compared to the Shamsiri and Kalleh Qouchi genotypes. Under stress conditions, the Golsa genotype showed the highest oil percentage. Among the nut genotypes, the Kalleh Qouchi and local Pakan Bazar genotypes had a higher oil percentage compared to the Shamsiri genotype. Under non-stress conditions, the Biotech genotype had the highest hundred-seed weight. Additionally, among the nut genotypes, the Shamsiri genotypes had the highest hundred-seed weight under this irrigation condition. Under stress conditions, among the oilseed genotypes, the Biotech genotype showed the highest hundred-seed weight. Similarly, among the nut genotypes, the Shamsiri genotype had the highest hundred-seed weight. The results of comparing the mean of genotypes at different levels of irrigation regime indicated a decrease in seed yield with the occurrence of stress. Under non-stress and stress conditions, among the nut genotypes, the Shamsiri genotype had the highest seed yield, while among the oilseed genotypes, the Shams genotype had the highest seed yield. Under non-stress conditions, the Shams genotype had the highest biological yield, although the local Pakan Bazar genotype did not show a significant statistical difference compared to the Shamsiri genotype. Under stress conditions, among the oilseed genotypes, the Shams and Golsa genotypes had the highest biological yield. Among the nut genotypes, the Shamsiri genotype also had the highest biological yield.

Conclusion

Based on the obtained results and the response of different sunflower genotypes in the present study, the Shams genotype among the oilseed types and the Shamsiri genotype among the nut types can be considered tolerant genotypes to water deficit for cultivation.

Keywords: Drought Stress, Low Irrigation, Oil Percentage, Seed Yield, Sunflower

واکنش برخی ویژگی‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus*) روغنی و آجیلی تحت تأثیر دو رژیم آبیاری

زهره فلاحی^۱، رضا امیری فلهلیانی^{۲*}، مسعود دهداری^۲، خادم حمزه^۳

۱. کارشناس ارشد اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۲. دانشیار اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج
۳. استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقاتی علوم زراعی و باغی، زرقان

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آفتابگردان تنش خشکی درصد روغن عملکرد دانه کم آبیاری	کمبود آب، تولید گیاهان زراعی را در دنیا به شدت کاهش می‌دهد و خشکی اصلی‌ترین تنش غیرزیستی است. به منظور بررسی برخی خصوصیات ژنوتیپ‌های آفتابگردان (<i>Helianthus annuus</i>) تحت تأثیر دو رژیم آبیاری، دو آزمایش جداگانه در شرایط بدون تنش (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش ۵۰ درصدی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. ژنوتیپ‌های روغنی لاکومکا، پروگرس، شمس، قاسم، گلسا، بیوتک و زرین و ژنوتیپ‌های آجیلی شمشیری، کله‌قوچی و محلی اصفهان آفتابگردان مورد ارزیابی قرار گرفتند. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های آجیلی از نظر قطر طبق تفاوتی نشان ندادند. از میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ‌های قاسم و شمس از بالاترین قطر طبق برخوردار بودند، اگرچه با دیگر ژنوتیپ‌ها به استثنای ژنوتیپ زرین اختلافی نشان ندادند. بر پایه نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر ژنوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه بر در طبق معنی‌دار گردید. با اعمال تنش، تعداد دانه بر در طبق نسبت به شرایط نرمال کاهش ۲۰/۰۳ درصدی نشان داد. از ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ قاسم و از ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ محلی اصفهان بیشترین تعداد دانه بر در طبق را نشان دادند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد درصد روغن دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی آفتابگردان در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) تحت تأثیر برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری قرار گرفتند. به‌طور کلی از بین ژنوتیپ‌های آجیلی، ژنوتیپ شمشیری و از بین ژنوتیپ‌های روغنی ژنوتیپ شمس نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از عملکرد دانه و عملکرد زیستی بیشتری در هر دو حالت بدون تنش و تنش برخوردار بودند و بنابراین این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های پیشنهادی در شرایط محدودیت آبیاری و شرایط مشابه جهت کشت معرفی می‌شوند. همچنین، با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت که ارقام آجیلی نسبت به انواع روغنی در منطقه مورد بررسی از وضعیت بهتری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش برخوردار بودند.

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت، تأمین نیازهای غذایی یکی از مهم‌ترین مشکلات انسان است (Hussain et al., 2018). از عمده محصولات غذایی که کشور ایران همواره در تأمین نیاز داخلی آن با مشکل مواجه بوده است، روغن خوراکی است. دانه‌های روغنی به‌عنوان ماده اولیه روغن نباتی از جمله محصولات راهبردی در کشور ما به حساب می‌آیند (Kiani et al., 2016). درواقع روغن‌های خوراکی از منابع مهم تأمین انرژی برای فرآورده‌های حیاتی در بدن انسان هستند و به دلیل نقشی که دانه‌های روغنی در تأمین نیازهای چربی، پروتئین و ویتامین‌ها دارند، پس از مواد نشاسته‌ای در زمره مهم‌ترین مواد غذایی محسوب می‌شوند (Copra et al., 2020).

کمبود آب، تولید گیاهان زراعی را در دنیا به شدت کاهش می‌دهد و تنش خشکی، اصلی‌ترین تنش غیرزیستی در یک‌سوم اراضی دنیا و یک‌چهارم اراضی قابل کشت است (Al-

با افزایش روزافزون جمعیت، تأمین نیازهای غذایی یکی از مهم‌ترین مشکلات انسان است (Hussain et al., 2018). از عمده محصولات غذایی که کشور ایران همواره در تأمین نیاز داخلی آن با مشکل مواجه بوده است، روغن خوراکی است. دانه‌های روغنی به‌عنوان ماده اولیه روغن نباتی از جمله محصولات راهبردی در کشور ما به حساب می‌آیند (Kiani et al., 2016). درواقع روغن‌های خوراکی از منابع مهم تأمین

در هکتار به دست آمد که نشان‌دهنده کاهش ۱۹ درصدی میانگین عملکرد در اثر تنش خشکی است (Safavi, 2020). با توجه به خسارتی که هرساله تنش خشکی به تولید گیاهان زراعی و ازجمله گیاه آفتابگردان در کشور وارد می‌سازد و نبود اطلاعات کافی در رابطه با میزان تحمل ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان، تحقیق حاضر به ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های مرسوم آفتابگردان در مواجهه با تنش خشکی در کشور ایران پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ در منطقه دشتروم واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان بویراحمد از استان کهگیلویه و بویراحمد با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۲۰۹۵ متر از سطح دریا انجام گرفت. تحقیق حاضر در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آزمایش اول در شرایط بدون تنش (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و آزمایش دوم در شرایط تنش (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) اجرا شد. تیمارهای آزمایش، ۱۰ ژنوتیپ مختلف آفتابگردان شامل هیبریدهای آفتابگردان روغنی لاکومکا، پروگرس، شمس، قاسم، گل‌سا، بیوتک و زرین و آفتابگردان‌های آجیلی شمشیری، کله‌قوچی و محلی اصفهان بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، کرج، ایران تهیه شد. در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱ عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل شخم با عمق حدود ۱۵ سانتی‌متر و دیسک صورت گرفت. پس‌از آن توسط فاروئر پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد گردید و زمین به‌صورت جوی و پشته آماده شد. برای این منظور کرت‌هایی با ابعاد ۳×۴ متر و شامل ۵ پشته و فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک ۵۰ سانتی‌متر (یک ردیف نکاشت) و فاصله‌ی بین بلوک‌ها نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. بذرها با قارچ‌کش متالاکسیل-مانکوزب به نسبت یک در هزار ضدعفونی شد. آفتابگردان روغنی روی ردیف‌های کاشت بافاصله ۲۰ سانتی‌متر و آفتابگردان آجیلی بافاصله ۲۵ سانتی‌متر (Fatemi et al., 2020) و در عمق ۵ سانتی‌متری در نیمه اول خردادماه با دست کشت شدند. تمام کرت‌های آزمایشی تا زمان استقرار کامل گیاه (۴-۵ برگی) به‌طورمعمول با توجه به آبیاری رایج منطقه و نیاز آبی گیاه انجام گرفت. عمل تنک کردن در مرحله ۴-۵ برگی انجام شد.

(Arjani et al., 2020) و بحران آن در کشور ایران جدی است. تنش خشکی روی فرایندهای رشد و نمو مؤثر است و به‌صورت تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بروز می‌کند (Deka et al., 2018). با گرم شدن شرایط آب و هوایی بر روی کره زمین، اثرات خشکی نیز رو به افزایش خواهد بود. بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تا سال ۲۰۵۰، خشکی در بیش از ۵۰ درصد اراضی زراعی دنیا عامل اصلی محدودکننده تولیدات کشاورزی خواهد بود (Czarnocka and Karpinski, 2018). یکی از مهم‌ترین مدیریت‌های مزرعه برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد جامعه گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی در مراحل حساس رشد، جهت جلوگیری از بروز تنش (Mohammadi et al., 2019) و معرفی ارقام متحمل خشکی است.

آفتابگردان زراعی (*Helianthus annuus*)، یکی از مهم‌ترین منابع تولید روغن خوراکی پس از سویا، کلزا و بادام‌زمینی به شمار می‌رود. ارقام زراعی آفتابگردان به دو نوع روغنی و آجیلی تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع آجیلی درصد روغن کمتر از ۳۰ درصد بوده و دارای درصد پروتئین بالایی می‌باشند (Ziaiefard et al., 2016). این گیاه نسبت به تنش خشکی، نیمه مقاوم است. تنش خشکی، تولید دانه آفتابگردان و پایداری در عملکرد آن را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند و بنابراین میزان و توزیع آبیاری می‌تواند بر عملکرد دانه و روغن این گیاه روغنی تأثیرگذار باشد. به‌منظور توجه بیشتر به آثار تنش در تولید گیاهان زراعی، بهتر است شرایط تنش خشکی در برنامه‌های به‌نژادی و کنترل ژنتیکی صفات نیز در نظر گرفته شود تا بتوان مواد ژنتیکی متحمل را شناسایی نمود (Carvalho et al., 2018). واکنش آفتابگردان به تنش خشکی مانند سایر گیاهان به ژنوتیپ، شدت تنش و زمان وقوع تنش بستگی دارد و کاهش شدید عملکرد دانه و طول دوره رویشی در آفتابگردان در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Adiredjo et al., 2014).

حسن و محمد (Hassan and Mohamed, 2019) کاهش معنی‌دار قطر ساقه، قطر طبق و ارتفاع اندام هوایی آفتابگردان در پاسخ به تنش خشکی را گزارش دادند. روغن دانه ارقام آفتابگردان در اثر برخورد با تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Rauf et al., 2012). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان در شرایط بدون تنش، ۷۱۵ کیلوگرم و در شرایط تنش خشکی ۵۷۹ کیلوگرم

مترمکعب در هکتار بود. دلیل مصرف آب بیشتر برای ژنوتیپ‌های آجیلی نسبت به انواع روغنی دیررسی آن‌ها و نیاز به دفعات آبیاری بیشتر بود.

جهت اندازه‌گیری قطر طبق، ۵ بوته در مرحله پر شدن دانه به صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها برای هر کرت در نظر گرفته شد. تعداد دانه پر در طبق و وزن صد دانه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی و عملکرد دانه دو مترمربع از هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. درصد روغن دانه به وسیله دستگاه سوکسله با استفاده از پترولیوم اتر از رابطه زیر استفاده شد (Johnson and Ulrich, 1959).

$$\text{درصد روغن} = \frac{\text{وزن نمونه پس از استخراج روغن} - \text{وزن نمونه اولیه}}{\text{وزن نمونه اولیه}} \times 100$$

[۴]

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری v. 9.2 SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، مقایسه میانگین‌ها از طریق برش‌دهی با استفاده از رویه LS-Means انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد ارزیابی، آزمون بارتلت جهت بررسی همگنی واریانس‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در صورت معنی‌دار بودن آزمون بارتلت برای صفات، از تجزیه واریانس جداگانه برای هر کدام از شرایط آبیاری استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

برهم‌کنش رژیم آبیاری در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه آفتابگردان معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف رژیم آبیاری، نشان‌دهنده کاهش عملکرد دانه با بروز تنش است (جدول ۲). در شرایط بدون تنش، در میان ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ شمشیری با میانگین ۵۸۰۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار از بیشترین و ژنوتیپ کله‌قوچی با میانگین ۵۱۹۹/۷۱ کیلوگرم در هکتار، از کم‌ترین عملکرد دانه برخوردار بودند و اختلافی ۱۱/۵۵ درصدی را نشان دادند. در بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس با میانگین ۵۱۰۶/۷۶ کیلوگرم در هکتار از بیشترین عملکرد دانه برخوردار بود و ژنوتیپ بیوتک با

طی فصل رشد نیز به دفعات لازم، وجین دستی علف‌های هرز انجام گرفت. زمانی که گیاهان به مرحله‌ی ۴ تا ۶ برگ‌ری رسیدند و پس از تنک کردن، رژیم‌های آبیاری اعمال گردید. رطوبت حجمی در عمق موردنظر (با نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) برای حالت اشباع خاک حدود ۴۰ درصد، ظرفیت مزرعه حدود ۳۳ درصد و برای نقطه پژمردگی حدود ۱۹/۵ درصد وزنی محاسبه گردید.

مقدار آب لازم برای آبیاری از طریق تشتک تبخیر کلاس A (Allen et al., 1998; Snyder, 1992) محاسبه و دور آبیاری هفت‌روزه برای هر دو آزمایش تنش و بدون تنش اجرا گردید. مقدار آب لازم برای آبیاری از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$In = ((ETc/1000) \times A) / IE \quad [1]$$

که در آن، مقدار آب آبیاری موردنیاز (m^3)، ETc مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) برای دوره‌ی هفت‌روزه، A مساحت مجموع کرت‌های آزمایشی (m^2)، در هر شرایط رطوبتی، IE راندمان آبیاری (آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد) است. مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز) از رابطه زیر محاسبه گردید (Allen et al., 1998).

$$ETc = \sum_l ET_0 \times Kc \quad [2]$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm \ d^{-1}$) و Kc مقدار ضریب گیاهی آفتابگردان است و در مراحل رشد اولیه (از تاریخ جوانه‌زدن بذر تا ۱۰ درصد رشد گیاه)، مرحله‌ی توسعه (از ۱۰ درصد رشد تا شروع گلدهی)، مرحله‌ی میانی (از آغاز گلدهی تا رسیدن محصول) و مرحله‌ی پایانی (از انتهای مرحله‌ی میانی تا برداشت محصول) به ترتیب برابر با ۰/۳۲، ۰/۷۵، ۱/۱۵ و ۰/۵۸ در نظر گرفته شد (Kiani et al., 2013). تبخیر و تعرق گیاه مرجع از رابطه زیر محاسبه گردید (Zareabyaneh et al., 2011).

$$ET_0 = Epan \times Kp \quad [3]$$

که در آن $Epan$ تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A ($mm \ d^{-1}$) و Kp ضریب تشتک (بدون واحد) است. ضریب تشتک از روش (Snyder, 1992) و بر اساس میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میانگین روزانه رطوبت نسبی برحسب درصد و فاصله تشتک از پوشش گیاهی محاسبه گردید. مقدار آب مصرفی در آزمایش‌های بدون تنش و تنش برای ژنوتیپ‌های روغنی به ترتیب ۲۵۶۷۰ و ۱۴۲۷۰ مترمکعب در هکتار و برای ژنوتیپ‌های آجیلی به ترتیب ۲۹۵۸۰ و ۱۵۱۷۰

۱۴۶۷/۸۲ کیلوگرم در هکتار از کم‌ترین عملکرد دانه برخوردار بودند (جدول ۲). نوسانات تعداد دانه در طبق می‌تواند تأثیر بسزایی در عملکرد دانه آفتابگردان داشته باشد. تنش خشکی می‌تواند در روند فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام رویشی به دانه‌ها تأثیر منفی گذاشته و در نتیجه منجر به کاهش وزن دانه‌ها و چروکیدگی آن‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه شود (Yadollahi et al., 2017).

میانگین ۱۹۹۴/۳۰ کیلوگرم در هکتار نیز کم‌ترین عملکرد دانه را نشان داد (جدول ۲). در شرایط تنش ۵۰ درصدی خشکی، در بین ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ شمشیری با میانگین ۵۲۱۱/۷۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نشان داد. ژنوتیپ کله‌قوچی نیز با میانگین ۳۷۸۶/۷۴ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را داشت. در میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس با میانگین ۴۷۹۶/۰۱ کیلوگرم در هکتار از بیشترین و ژنوتیپ بیوتک با میانگین

جدول ۱. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب اثر رژیم آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد و اجزای عملکرد در آفتابگردان

Table 1. The results of the combined analysis of variance of the effect of irrigation regime and genotype on yield and yield components in sunflower

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه پر در طبق Full Seed per head	وزن صد دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	روغن دانه Seed oil
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	1	159258.62**	40.80**	6424486.96**	67488269**	571.28**
تکرار درون آبیاری R(I)	4	1244.21	0.55	44452.68	133996.3	5.63
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	9	47225.93**	103.06**	9871178.67**	52489177.8**	568.67**
رژیم آبیاری × ژنوتیپ G×I	9	2741.35 ^{ns}	2.23**	172719.81**	1156834.2**	28.21**
خطا Error	36	2257.93	0.55	50555.79	230870.2	2.27
ضریب تغییرات CV (%)		8.39	8.91	5.79	5.15	4.03

^{ns}, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای آماری پنج و یک درصد
ns, * and **: non-significant and significant at the level of five and one percent statistical probability, respectively

در سطح تنش در بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس و گلسا بیشترین و ژنوتیپ بیوتک کم‌ترین عملکرد زیستی را دارا بودند. در میان ژنوتیپ‌های آجیلی نیز ژنوتیپ شمشیری بیشترین و ژنوتیپ کله‌قوچی کم‌ترین عملکرد زیستی را دارا بودند (جدول ۲). چنین به نظر می‌رسد که تنش خشکی با کاهش شاخص سطح برگ موجب کاهش سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک و بنابراین کاهش عملکرد زیستی در گیاه می‌شود (Yadollahi et al., 2017). محققان بیان نمودند که کاهش عملکرد زیستی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای بالا بردن غلظت شیرهای سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و یا افزایش حجم ریشه باشد (Meerajipour et al., 2013).

عملکرد زیستی

بر طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، برهم‌کنش ژنوتیپ و رژیم آبیاری نیز در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۱). در سطح بدون تنش و از میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس از بیشترین (۱۱۹۵۴/۴۹ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ بیوتک کم‌ترین (۵۶۳۸/۶۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد زیستی را دارا بودند که اختلافی ۱/۱۳ برابری را نشان دادند. در شرایط بدون تنش و از میان ژنوتیپ‌های آجیلی، ژنوتیپ شمشیری بیشترین عملکرد زیستی را داشت و با ژنوتیپ محلی اصفهان در یک گروه آماری قرار گرفت. این در حالی است که ژنوتیپ کله‌قوچی کم‌ترین عملکرد زیستی را در بین ژنوتیپ‌های آجیلی دارا بود (جدول ۲).

وزن صد دانه

اثرات ژنوتیپ و رژیم آبیاری و هم‌چنین برهم‌کنش رژیم آبیاری در ژنوتیپ، در سطح احتمال یک درصد بر وزن صد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۱). در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ بیوتک با میانگین ۷/۷۰ گرم بیشترین وزن صد دانه و ژنوتیپ گل‌سا کمترین وزن صد دانه (۴/۹۱ گرم) را در بین ژنوتیپ‌های روغنی نشان دادند (جدول ۲). هم‌چنین در این شرایط آبیاری، بیشترین و کمترین وزن صد دانه در میان

ژنوتیپ‌های آجیلی به ترتیب با میانگین‌های ۱۷/۱۳ و ۱۳/۱۵ گرم متعلق به ژنوتیپ‌های شمشیری و محلی اصفهان بود. در شرایط تنش، در بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ بیوتک با میانگین ۵/۹۶ گرم بیشترین وزن صد دانه و ژنوتیپ گل‌سا کمترین وزن صد دانه را با میانگین ۴/۶۳ گرم را نشان دادند. هم‌چنین، در بین ژنوتیپ‌های آجیلی بیشترین و کمترین وزن صد دانه به ترتیب متعلق به ژنوتیپ شمشیری با میانگین‌های ۱۳/۶۲ و ژنوتیپ محلی اصفهان با میانگین ۱۱/۴۲ گرم بود (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ در آبیاری برای ژنوتیپ‌ها به روش برش‌دهی در هر شرایط بدون تنش و تنش بر اساس عملکرد و اجزای عملکرد در آفتابگردان

Table 2. Mean comparison of the genotype×irrigation interaction effect for genotypes using the slicing method at non-stress and stress conditions each based on yield and yield components in sunflower

ژنوتیپ Genotype	وزن ۱۰۰-دانه 100-seed weight		عملکرد دانه Seed yield		عملکرد زیستی Biological yield		روغن دانه Seed oil	
	بدون تنش no-stress	تنش Stress	بدون تنش no-stress	تنش Stress	بدون تنش no-stress	تنش Stress	بدون تنش no-stress	تنش Stress
	----- g -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- g -----		----- g -----	
لاکومکا Lacomka	7.32 ^c	4.77 ^d	3291.39 ^f	3074.73 ^f	8232.79 ^e	6453.87 ^e	39.22 ^d	32.25 ^e
پروگرس Progres	6.23 ^d	5.45 ^c	4492.56 ^e	3968.48 ^d	10561.79 ^d	9253.64 ^c	43.95 ^c	39.62 ^{cd}
شمس Shams	6.51 ^{cd}	5.93 ^c	5106.76 ^c	4796.01 ^b	11954.49 ^c	10694.17 ^b	45.59 ^{bc}	44.1 ^b
گل‌سا Golsa	4.91 ^e	4.63 ^d	4744.93 ^d	4165.3 ^d	11106.53 ^{cd}	9727.27 ^c	48.32 ^a	46.62 ^b
قاسم Ghasem	6.63 ^c	5.12 ^{cd}	3485.65 ^f	2723.61 ^g	8621.3 ^e	6097.23 ^e	50.21 ^a	39.54 ^d
زرین Zarrin	5.38 ^e	5.08 ^d	2436.94 ^c	1778.79 ^h	6447.3 ^f	4330.93 ^f	47.69 ^b	41.78 ^c
بیوتک Biotech	7.7 ^c	5.96 ^c	1994.3 ^h	1467.82 ⁱ	5638.6 ^g	3792.3 ^f	44.09 ^c	38.09 ^d
کله‌قوچی Kalleh Qouchi	16.63 ^a	13.11 ^a	5199.71 ^c	3786.74 ^e	13089.36 ^b	8847.51 ^d	28.22 ^f	22.68 ^f
محلی اصفهان Esfahan Local	13.15 ^b	11.42 ^b	5519.77 ^b	4554.96 ^c	13793.51 ^a	11369.62 ^{ab}	35.69 ^e	22.31 ^f
شمشیری Shamshiri	17.13 ^a	13.62 ^a	5800.61 ^a	5211.72 ^a	14411.35 ^a	12079.13 ^a	23.58 ^g	14.47 ^g
میانگین Average	9.16	7.51	4207.27	3552.82	10385.70	8264.57	40.49	34.32

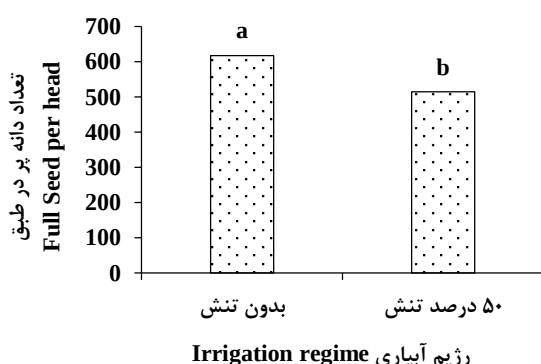
در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

In each column, means with at least one common letter do not any statistical difference based on LSD test at 0.05 probability level.

فتوسنتزی و اختلال در انتقال مجدد مواد ذخیره در اندام گیاهی و تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و این

وقوع تنش خشکی و کاهش رطوبت قابل‌دسترس در مرحله گلدهی و پر شدن دانه، موجب کاهش تولید مواد

معنی‌دار گردید ولی برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری نشان داد با اعمال تنش خشکی، از تعداد دانه پر در طبق نسبت به شرایط نرمال کاهش ۲۰/۰۳ درصدی حاصل شده است (شکل ۱). از بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ قاسم با میانگین ۶۸۰/۱۰ عدد از بیشترین و ژنوتیپ بیوتک با میانگین ۵۲۵/۶۰ عدد از کمترین تعداد دانه پر در طبق برخوردار بود. در بین ژنوتیپ‌های آجیلی نیز ژنوتیپ محلی اصفهان با میانگین ۵۱۷/۷۷ عدد از بیشترین و ژنوتیپ کله‌قوچی با میانگین ۱۴۲/۲۳ عدد از کمترین تعداد دانه پر در طبق برخوردار بود (شکل ۲). تعداد دانه در طبق، از جمله اجزای عملکردی است که کاملاً تحت تأثیر پتانسیل ژنوتیپ‌ها و عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Yadollahi et al., 2017). کمبود آب، به‌واسطه خشک شدن دانه‌های گرده و کلالة مادگی و همچنین کاهش فعالیت حشرات، می‌تواند در کاهش تعداد دانه پر در طبق مؤثر باشد (Hassan and Mohamed, 2019).



شکل ۱. مقایسه میانگین تعداد دانه پر در طبق برای رژیم‌های آبیاری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵

Fig. 1. irrigation regimes mean comparison for Full Seed per head in sunflower using LSD test at 0.05 probability level

قطر طبق

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر ژنوتیپ بر قطر طبق در شرایط تنش معنی‌دار نگردید اما در شرایط بدون تنش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های آجیلی شمشیری، محلی اصفهان و کله‌قوچی از نظر قطر طبق در یک گروه آماری قرار گرفتند. از میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس با میانگین ۱۶/۲۶ میلی‌متر از بالاترین قطر طبق برخوردار بود که با دیگر

موضوع، کاهش وزن صد دانه را به همراه دارد (Soleymani and Pirzad, 2016). تحت شرایط تنش خشکی در آفتابگردان، وزن دانه و همچنین طول دوره رویشی و زایشی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Rauf et al., 2012). نتایج این آزمایش نیز با گزارش مربوطه هم‌خوانی دارد.

درصد روغن دانه

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ، رژیم آبیاری و همچنین برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن دانه معنی‌دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین درصد روغن برای ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف رژیم آبیاری، نشان داد در سطح بدون تنش در بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ قاسم با ۵۰/۲۱ درصد بیشترین و ژنوتیپ لاکومکا با میانگین ۳۹/۲۲ درصد کمترین درصد روغن را دارا بودند و اختلافی ۲۸/۰۲ درصدی را نشان دادند. از میان ژنوتیپ‌های آجیلی، ژنوتیپ محلی اصفهان نسبت به دو ژنوتیپ شمشیری و کله‌قوچی درصد روغن بیشتری را نشان داد (جدول ۲). در سطح تنش، ژنوتیپ گل‌سا بیشترین درصد روغن (۴۸/۳۲ درصد) و ژنوتیپ لاکومکا کمترین درصد روغن (۳۲/۲۵ درصد) را در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارا بودند (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ‌های کله‌قوچی و محلی اصفهان از نظر آماری تفاوتی در درصد روغن نداشتند ولی نسبت به ژنوتیپ شمشیری از میزان بیشتری برخوردار بودند. درصد روغن یک صفت کمی است و توسط چندین ژن کنترل می‌شود، بنابراین آسیب دیدن تعداد زیادی از ژن‌های کنترل‌کننده در اثر تنش خشکی، بعید به نظر می‌رسد. از این‌رو کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی جزئی است (Yadollahi et al., 2017). گزارش شده است که تنش شدید خشکی سبب کاهش مقدار روغن تولیدی در گیاهان روغنی می‌شود و با کاهش بیشتر مقدار اسیدهای چرب غیراشباع (دارای پیوند دوگانه) و افزایش نسبت اسیدهای چرب اشباع، در نهایت موجب بالا رفتن درجه اشباع روغن می‌گردد (Toupchi Khosrowshahi et al., 2020). در آزمایش حاضر درصد روغن در شرایط تنش نسبت به عدم تنش کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱).

تعداد دانه پر در طبق

بر پایه نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر اصلی ژنوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه پر در طبق

کاهش یافت (Ahmadian and Nourzad, 2014) که نتایج پژوهش حاضر با آن مطابقت دارد. در تحقیق یداللهی و همکاران (Yadollahi et al., 2017) قطر طبق آفتابگردان در دو ژنوتیپ موردبررسی با افزایش تنش خشکی کاهش حدود ۴۱ درصدی و معنی‌داری را نسبت به شرایط بدون تنش نشان داد. آن‌ها بیان نمودند که در شرایط تنش، فتوسنتز کاهش یافته و مواد فتوسنتزی کافی در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد. همچنین به دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ، تقسیم و رشد سلولی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نهایت قطر طبق کاهش می‌یابد.

جدول ۴. مقایسه میانگین قطر طبق ژنوتیپ‌های آفتابگردان در آزمایش‌های اول (بدون تنش) و دوم (تنش)

Table 4. Mean comparison of the sunflower genotypes concerning head diameter in the first (No stress) and the second (Stress) experiments

Genotype	ژنوتیپ	قطر طبق Head Diameter(mm)	
		بدون تنش No-stress	تنش Stress
Lacomka	لاکومکا	15.86 ^b	12.40 ^{ab}
Progress	پروگرس	15.60 ^b	11.73 ^b
Shams	شمس	16.13 ^b	13.60 ^{ab}
Golsa	گل‌سا	14.60 ^{bc}	13.33 ^{ab}
Ghasem	قاسم	16.26 ^b	12.06 ^{ab}
Zarrin	زرین	13.20 ^c	12.13 ^{ab}
Biotech	بیوتک	15.60 ^b	12.46 ^{ab}
Kalleh Qouchi	کله‌قوچی	19.46 ^a	13.80 ^{ab}
Local Esfahan	محلی اصفهان	20.06 ^a	14.06 ^a
Shamshiri	شمشیری	20.93 ^a	13.73 ^{ab}
Average	میانگین	16.77	12.93

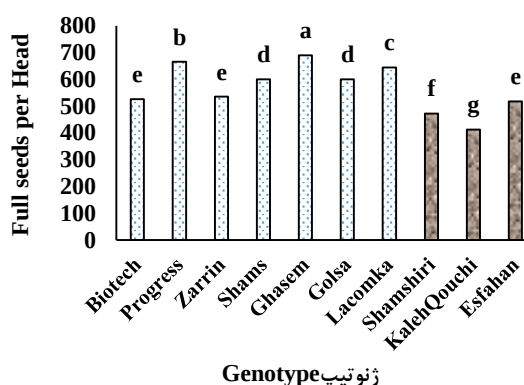
در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

In each column, means with at least one common letter do not any statistical difference based on LSD test at 0.05 probability level.

نتیجه‌گیری نهایی

برهم‌کنش رژیم آبیاری در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه آفتابگردان، عملکرد زیستی، وزن صد دانه و درصد روغن دانه معنی‌دار گردید. تعداد دانه پر در طبق در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) تحت تأثیر اثر اصلی ژنوتیپ و رژیم آبیاری قرار گرفت ولی برهم‌کنش این دو عامل بر این ویژگی معنی‌دار نبود.

ژنوتیپ‌ها به‌استثنای ژنوتیپ زرین اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴).



شکل ۲. مقایسه میانگین تعداد دانه پر در طبق ژنوتیپ‌های آفتابگردان با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵

Fig. 2. Genotypes mean comparison for Full Seed per head in sunflower using LSD test at 0.05 probability level

جدول ۳. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به قطر طبق ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 3. The analysis of variance related to head diameter of sunflower genotypes

Source of variation	درجه آزادی Df	قطر طبق Head Diameter	
		بدون تنش No-stress	تنش Stress
تکرار Replication	2	2.77 ^{ns}	0.45 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype (G)	9	19.04 ^{**}	2.20 ^{ns}
خطای آزمایش Error	18	1.18	1.12
ضریب تغییرات CV(%)		6.47	8.21

چنانچه تنش در مرحله زایشی رخ دهد، کاهش قطر طبق به‌واسطه کاهش دوره پر شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها قابل توجیه است (Farhoudi and Modhej, 2018). تنش خشکی با اثر گذاشتن بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، سبب تغییر در صفات مورفولوژیکی گیاه شده و اختصاص بیشتر مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود و همین امر موجب کاهش قطر طبق می‌گردد (Meerajipour et al., 2013). گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی، قطر طبق در بابونه به‌طور معنی‌داری

در درصد روغن نداشتند ولی نسبت به ژنوتیپ شمشیری از میزان بیشتری برخوردار بودند. بدیهی است درصد روغن در ژنوتیپ‌های آجیلی از اهمیت چندانی برخوردار نیست و حتی تلاش بر آن است که از حد زیادی برخوردار نباشد.

با اعمال تنش خشکی، تعداد دانه پر در طبق نسبت به شرایط نرمال کاهش ۲۰/۰۳ درصدی را نشان داد. از بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ قاسم از بیشترین و ژنوتیپ بیوتک از کمترین تعداد دانه پر در طبق برخوردار بودند. در بین ژنوتیپ‌های آجیلی نیز ژنوتیپ محلی اصفهان از بیشترین و ژنوتیپ کله‌قوچی از کمترین تعداد دانه پر در طبق برخوردار بودند.

قطر طبق با توجه به نتیجه حاصل از آزمون بارتلت برای دو شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی، از تجانس قابل قبولی برخوردار نبود و لذا مورد تجزیه مرکب قرار نگرفت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مجزا برای هر کدام از آزمایش‌ها، اثر ژنوتیپ بر قطر طبق در شرایط تنش معنی‌دار نگردید اما در شرایط بدون تنش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ($P < 0.01$) گردید. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های آجیلی شمشیری، محلی اصفهان و کله‌قوچی از نظر قطر طبق در یک گروه آماری قرار گرفتند. از سوی دیگر، در میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس از بالاترین قطر طبق برخوردار بود که با دیگر ژنوتیپ‌ها به‌استثنای ژنوتیپ زرین اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

به‌طور کلی، با توجه به اینکه عملکرد اقتصادی در آفتابگردان از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی آن است، لذا با توجه به نتایج حاصله، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، در میان ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ شمشیری و در میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس با بیشترین عملکرد دانه به‌عنوان ارقام مناسب منطقه موردبررسی قابل توصیه به کشاورزان در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی می‌باشند.

در شرایط بدون تنش، در میان ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ شمشیری و در میان ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ شمس بیشترین عملکرد دانه برخوردار بودند. ژنوتیپ شمشیری اختلافی ۱۱/۵۵ درصدی با ژنوتیپ کله‌قوچی با کمترین عملکرد در این شرایط رطوبتی را داشت. در شرایط تنش ۵۰ درصدی خشکی، نیز بیشترین عملکرد دانه در میان ژنوتیپ‌های آجیلی به ژنوتیپ شمشیری و در میان ژنوتیپ‌های روغنی، به ژنوتیپ شمس تعلق داشت.

از نظر عملکرد زیستی بیشترین مقدار در سطح بدون تنش، متعلق به ژنوتیپ‌های شمشیری و محلی اصفهان در میان ژنوتیپ‌های آجیلی و ژنوتیپ شمس در میان ژنوتیپ‌های روغنی بود. در شرایط تنش در میان ژنوتیپ‌های آجیلی نیز ژنوتیپ شمشیری بیشترین عملکرد زیستی را دارا بودند. بیشترین وزن صد دانه را در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ بیوتک در بین ژنوتیپ‌های روغنی و در میان ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ‌های شمشیری و محلی اصفهان نشان دادند. در شرایط تنش، بیشترین وزن صد دانه در میان ژنوتیپ‌های روغنی به ژنوتیپ بیوتک و در میان ژنوتیپ‌های آجیلی به ژنوتیپ شمشیری و ژنوتیپ محلی اصفهان تعلق داشت.

مقایسه میانگین درصد روغن برای ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف رژیم آبیاری، نشان داد در سطح بدون تنش در بین ژنوتیپ‌های روغنی، ژنوتیپ قاسم با ۵۰/۲۱ درصد بیشترین و ژنوتیپ لاکومکا با میانگین ۳۹/۲۲ درصد کمترین درصد روغن را دارا بودند و اختلافی ۲۸/۰۲ درصدی را نشان دادند. از میان ژنوتیپ‌های آجیلی، ژنوتیپ محلی اصفهان نسبت به دو ژنوتیپ شمشیری و کله‌قوچی درصد روغن بیشتری را نشان داد. در شرایط کم‌آبیاری، ژنوتیپ گل‌سا بیشترین درصد روغن و ژنوتیپ لاکومکا کمترین درصد روغن را در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارا بودند. در بین ژنوتیپ‌های آجیلی ژنوتیپ‌های کله‌قوچی و محلی اصفهان از نظر آماری تفاوتی

منابع

Adiredjo, A.L., Navaud, O., Munos, S., Langlade, N.B., Lamaze, T., Grieu, P., 2014. Genetic control of water use efficiency and leaf carbon isotope discrimination in sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to two drought scenarios. PLOS One. 9, 121-146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101218>

Ahmadian, A., Nourzad, S., 2014. Effect of water stress and harvesting stages on quantitative and qualitative yields of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Agroecology. 6, 130 - 141. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35680>

- Al-Arjani, A.B.F., Hashem, A., Abd-Allah, E.F., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. Saudi Journal of Biological Sciences. 27, 380-394. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.10.008>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Rase, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO Publication, 327p.
- Carvalho, L.M.D., Araújo, S.B.D., Carvalho, H. W.L.D., Carvalho, C.G.P.D., 2018. Proline content of sunflower cultivars in the Brazilian semiarid region. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 53, 970-973. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000800012>
- Copra, T., Sekara, A., Pokluda, R., Ferby, V., Caruso, G., 2020. Screening of chili pepper genotypes as a source of capsaicinoids and antioxidants under conditions of simulated drought stress. Plants. 9, 364-372. <https://doi.org/10.3390/plants9030364>
- Czarnocka, W., Karpinski, S., 2018. Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. Free Radical Biology and Medicine. 122, 4-20. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011>
- Deka, D., Singh, A.K., Singh, A.K., 2018. Effect of drought stress on crop plants with special reference to drought avoidance and tolerance mechanisms: A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7, 2703-2721. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.336>
- Farhoudi, R., Modhej, A., 2018. Effect of drought stress on seed yield, essential oil yield, and ability of reactive oxygen species scavenging in *Nigella sativa* L. ecotypes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 34, 510-526. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.116805.224>
- Fatemi, A., Moaveni, P., Daneshian, J., Mozafari, H., Ghaffari, M., 2020. Effect of foliar application of magnesium nanoparticles on morphophysiological characteristics of sunflower cultivars under drought stress. Journal of Crop Improvement. 23, 521-523. [In Persian with English summary] <https://doi.org/10.22059/jci.2021.307513.2430>
- Hassan, A. M., Mohamed, H. E., 2019. Arginine pretreatment enhances drought resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants by increase in polyamines content. Journal of Plant Growth Regulation. 38, 600-605. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9873-0>
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., Nawaz, A., 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. Agricultural Water Management. 201, 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>
- Johnson, C.M. and Ulrich, A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experimental Study Bulletin. 766. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570009749367070592>
- Kiani, M., Gheysari, M., Mostafazade-Fard, B., Majidi, M.M., Landi, A., 2013. Determination of crop water use and crop coefficient of two hybrids of sunflower (Euroflor and Sirna) under drip-tape irrigation system. Journal of Water and Soil Science. 18, 289-300. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1393.18.67.27.0>
- Kiani, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-Fard, B., Majidi, M., Karchani, K., Hoogenboom, G., 2016. Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region. Agricultural Water Management. 171, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.008>
- Meerajipour, M., Movahhedi Dehnavi, M., Dehdari, A. Farajee, H., Meerajipour, M., 2013. Effect of drought stress on some physiological characteristics of four spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Yasouj. Environmental Stresses in Crop Sciences. 5, 125-134. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2013.120>
- Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., Tahmasebi Sarvestani, Z., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate water deficit stress and improve antioxidant response, more than nitrogen fixing bacteria or chemical fertilizer in the evening primrose. Rhizosphere. 9, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.008>

- Rauf, A., Maqsood, M., Ahmad, A., Gondal, A.S., 2012. Yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by spacing and reduced irrigation condition. *Journal of Crop Production*. 1, 41-45. <https://journals.esciencepress.net/index.php/EJCP/article/view/5/5>
- Safavi, S.M., 2020. Evaluation drought tolerance of sunflower inbred lines and synthetic cultivars at temperate climate of Kermanshah. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 15, 11-27. [In Persian with English summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1399.15.58.2.7>
- Snyder, R.L., 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 118, 977-980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1992\)118:6\(977\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1992)118:6(977))
- Soleymani, F., Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 31, 1013-1023. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105890>
- Toupchi Khosrowshahi, Zh., Salehi Lisar S.Y., Ghassemi-Golezani K., Motafakkerazad, R., 2020. Effects of exogenous polyamines on some growth and physiological parameters of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research*. 33, 45-57. [In Persian with English summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.1.5.5>
- Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Marvane, H., Kheiri, N., 2017. The effect of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*. 1, 65-75. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.06>
- Zareabyaneh, H., Noori, H., Liaghat, A. M., Noori, H., Karimi, V.A., 2011. Comparison of Penman-Monteith FAO method and A class pan evaporation with lysimeter measurements in estimation of rice evapotranspiration in Amol region. *Physical Geography Research*. 76, 71-83. [In Persian with English Summary] https://jphgr.ut.ac.ir/article_23071_en.html?lang=en
- ZiaeiFard, R., Darvishzadeh, R., Birnousi, A., 2016. Study of genetic diversity of agromorphological traits in confectionery sunflower (*Helianthus annuus* l.) Populations using multivariate statistical techniques. *Journal of Crop Breeding*. 17, 42-54. [In Persian with English summary]. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcb.8.17.54>