

گزینش ارقام آفتابگردان بر اساس تحمل به تنش کم‌آبی، توزیع ماده خشک و عملکرد دانه

Selection of Sunflower Cultivars Based on Water Deficit Stress Tolerance, Dry Matter Partitioning and Grain Yield

جهانفر دانشیان^{۱*}، فرناز شریعتی^۲، نادیا صفوی فرد^۳ و عبدالله حسینی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۵
(مقاله پژوهشی)

چکیده

توزیع ماده خشک در اندام‌های رویشی و زایشی و عملکرد دانه ۱۱ هیبرید آفتابگردان در شرایط مختلف رطوبتی در کرج طی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ ارزیابی شد. به این منظور سه آزمایش جداگانه شامل آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به ترتیب برای شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان دادند که افزایش ارتفاع تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشت. ارتفاع گیاه در شرایط تنش متوسط ۱۰/۱ درصد و در شرایط تنش شدید ۱۷/۲ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. نقش وزن ساقه بر عملکرد دانه بیش از وزن طبق بود. در شرایط آبیاری مطلوب گیاهان ساقه‌های قوتورتری تولید کردند و امکان انتقال ماده خشک بیش‌تری را به دانه‌ها مهیا کردند. اما در تنش شدید که اندازه طبق‌ها کاهش یافت، بخش عمده ماده خشک در توسعه طبق به مصرف رسید. بالاترین نسبت وزن دانه به طبق از تنش متوسط به‌دست آمد. افزایش نسبت تخصیص ماده خشک دانه به طبق در شرایط تنش شدید سبب رشد خطی تعداد و وزن دانه شد. عملکرد دانه در شرایط تنش متوسط و شدید به‌طور متوسط به میزان ۱۸ و ۳۳ درصد کاهش یافت. هیبرید برزگر با حفظ تعداد دانه و وزن دانه در شرایط تنش از بالاترین عملکرد دانه برخوردار بود. ارزیابی حساسیت و تحمل به خشکی نشان داد که شاخص‌های تحمل به خشکی، میانگین حساسی و هندسی عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در سطوح تنش داشت و با توجه به شاخص‌ها، هیبریدهای برزگر و سانبرو برتر سایر ارقام و هیبریدها بودند.

واژه‌های کلیدی: ارقام آفتابگردان، تنش کم‌آبی، شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد دانه، ماده خشک

کم‌آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده، سبب کاهش عملکرد دانه در محصولات کشاورزی می‌شود و پیش‌بینی می‌شود میزان خسارت آن در دنیا افزایشی باشد (الکساندراتوس و براینسما^۱، 2012). آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی است که پس از سویا و کلزا رتبه سوم در تولید دانه‌های روغنی را به‌خود اختصاص داده است (فائو^۲، 2018). این گیاه اغلب در اراضی دیم، کم‌آب یا با آبیاری تکمیلی رشد می‌کند و به‌دلیل ریشه نسبتاً عمیق آن، یک محصول متحمل به کم‌آبی است. اما تنش‌های خشکی و گرمایی از اوایل گل‌دهی تا پرشدن دانه خسارت قابل‌توجهی به آن وارد می‌کند (گارسیا لویز^۳ و همکاران، 2014). پاسخ گیاهان به تنش خشکی شامل برخی فرآیندها و تغییرات در سطح ریخت‌شناسی، آناتومی و مولکولی است که بیش‌تر با کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد برای انطباق با شرایط تنش انجام می‌شود (کایا^۴ و همکاران، 2012). بررسی‌های انجام شده نشان داده است که کارآیی فتوسنتزی هیبریدهای مختلف آفتابگردان در تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (کلوندزیک^۵ و همکاران، 2016). تنش کم‌آبی بر رشد گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی، کارآیی مصرف آب و نیتروژن، ساختار سلولی و فعالیت آنزیم‌های کلیدی تأثیر می‌گذارد (چن^۶ و همکاران، 2019). حساسیت آفتابگردان به تنش خشکی در همه مراحل رشدی، مشابه نیست (موبشار^۷ و همکاران، 2018). وقوع تنش در اوایل دوره رشد سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، سبز مزرعه، طول ساقه و سطح برگ می‌شود (فالدا^۸ و همکاران، 2011) و با کاهش تراکم در واحد سطح و رشد رویشی سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود. وقوع تنش کم‌آبی در مراحل نمو زایشی بسیار مخرب‌تر است (گارسیا لویز و همکاران، 2014). کم‌آبی در زمان گل‌دهی به‌دلیل ناباروری دانه‌های گرده منجر به تشکیل دانه‌های پوک (توت اسکای و لیاخ^۹، 2015) شده و کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را در پی دارد (پاتن^{۱۰} و همکاران، 2017). آب کافی در اوایل دوره رشد سبب رشد رویشی مناسب می‌شود، اما وقوع تنش در مراحل بعدی شامل گل‌دهی و

پرشدن دانه، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (ابودرار^{۱۱} و همکاران، 2006).

هیبریدهای آفتابگردان از پتانسیل ژنتیکی بالایی برای تولید دانه برخوردار می‌باشند، اما پتانسیل عملکرد آن‌ها در مزرعه تحت تأثیر عوامل محیطی مؤثر بر رشد قرار دارد (گونزالز^{۱۲} و همکاران، 2013). کرم^{۱۳} و همکاران (2007) کاهش عملکرد دانه با کم آبیاری در اوایل و اواسط گل‌دهی را به‌ترتیب به‌میزان ۲۵ و ۱۴ درصد را گزارش دادند. اما کم آبیاری در اوایل تشکیل دانه کاهشی در این صفت نداشت. برای تولید پایدار عملکرد دانه، درک رابطه بین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زراعی در شرایط مختلف آبی بسیار مهم است. بررسی توزیع مواد فتوسنتزی در اندام‌های گیاهی و ارتباط آن با عملکرد دانه به‌ویژه در ارقام متحمل، می‌تواند رویکردهای مناسبی را برای شناسایی ارقام متحمل و هم‌چنین انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی آفتابگردان برای افزایش تحمل به خشکی ایجاد کند.

مواد و روش‌ها

اثر تنش خشکی بر توزیع ماده خشک در اندام‌های گیاه و عملکرد دانه آفتابگردان در آزمایشی با یازده هیبرید در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با طول جغرافیایی ۶° و ۵۱° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۹° و ۳۵° شمالی و ارتفاع ۱۱۶۰ متر از سطح دریا بررسی شد. بر اساس داده‌های هواشناسی، متوسط بارندگی ۳۰ ساله سالانه منطقه ۲۴۳ میلی‌متر می‌باشد. تغییرات دمای هوا در دوره آزمایش طی دو سال زراعی در جدول ۱ ارائه شده است. سه آزمایش جداگانه برای اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. هیبریدها با منشأ ایران، ترکیه و استرالیا، شامل آذرگل (ایران)، برزگر (ایران)، فرخ (ایران)، G5 × R-43 (ایران)، G6 × R-43 (ایران)، قاسم (ایران)، شمس (ایران)، سیرنا (ترکیه)، هایسان (ایران)، هایسان ۳۶ (استرالیا) و سانبرو (ترکیه) بودند. تنش خشکی در سه سطح آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید به‌ترتیب در آزمایش‌های اول تا سوم قرار گرفتند. زمان آبیاری بر اساس ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به‌ترتیب برای شرایط آبیاری مطلوب، تنش متوسط و شدید از مرحله شش تا هشت برگی تا پایان دوره رشد در نظر گرفته شدند. زمان آبیاری برای کلیه کرت‌های آزمایشی تا

1. Alexandratos and Bruinsma
2. FAO
3. García-López
4. Kaya
5. Kulundzic
6. Chen
7. Mubshar
8. Fulda
9. Totsky
10. Patané

11. Aboudrare
12. Gonzales
13. Karam

$$SSI = (1 - (Ys/Yp)) / (1 - (Y\bar{s}/Y\bar{p})) \quad [1]$$

$$STI = (Yp)(Ys) / (Y\bar{p})^2 \quad [2]$$

$$TOL = (Yp - Ys) \quad [3]$$

$$MP = (Ys + Yp) / 2 \quad [4]$$

$$GMP = \sqrt{Ys \times Yp} \quad [5]$$

در پایان پس از اطمینان از مفروضات آزمایشی، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه واریانس مرکب انجام شد. به این منظور اثر سال تصادفی و اثر تنش ثابت فرض شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. همبستگی صفات با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از (جدول ۳) تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر قطر پایین و بالای ساقه، تعداد برگ، وزن ساقه و گیاه، نسبت وزن طبق به ساقه، تلاش زادآوری، قطر طبق، نسبت وزن دانه به طبق و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر ساده آبیاری و هیبرید بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل سال × هیبرید بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اما اثر متقابل آبیاری × هیبرید فقط بر نسبت وزن طبق به ساقه، تلاش زادآوری و نسبت وزن دانه به طبق در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال × آبیاری × هیبرید بر تعداد برگ، نسبت وزن طبق به ساقه، تلاش زادآوری و نسبت وزن دانه به طبق در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

بسیاری محققین به کاهش ارتفاع، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته و سطح برگ با وقوع تنش کم‌آبی در مرحله رشد رویشی به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های رشد رویشی، اشاره کرده‌اند (جاوید^۳ و همکاران، ۲۰۱۵؛ دانشیان^۴ و همکاران، ۲۰۰۵؛ کایا^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پکن^۶ و همکاران، ۲۰۱۶a). با توجه به زمان اعمال تنش در این آزمایش که از مرحله ۶-۸ برگی در نظر گرفته شد، ارقام زودرس در مرحله ستاره‌ای شدن قرار داشتند و تا این مرحله کلیه برگ‌های خود را تولید کرده بودند. درحالی‌که ارقام دیررس در مرحله رشد رویشی قرار داشتند، بنابراین تنش متوسط و شدید به‌ترتیب سبب کاهش ۵ و ۸ درصدی تعداد برگ در گیاه و ۱۰/۱ و ۱۷/۲ درصد ارتفاع شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های سطوح اثر متقابل سال × هیبرید نیز نشان داد که در سال اول هیبریدهای G6 × R-43،

شروع اعمال سطوح تنش مشابه آبیاری مطلوب در نظر گرفته شد.

هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت به طول ۵ متر و عرض پشته ۶۰ سانتی‌متر با فاصله گیاهان روی خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بودند. برای جلوگیری از انتقال آب از جوی‌های اصلی به کرت‌های مجاور، سه متر فاصله در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شد (جدول ۲). بافت خاک در سال اول و دوم به‌ترتیب از نوع شنی لومی و رسی لومی بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح قبل از کاشت بود. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به‌میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. بر اساس آزمون خاک ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌عنوان کود پایه و ۱۰۰ کیلوگرم اوره به‌عنوان کود سرک در مرحله شش تا هشت برگی مصرف شد. کاشت در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به‌ترتیب در ۴ و ۵ تیرماه انجام شد.

ارزیابی صفات ریختی گیاه مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه در بخش فوقانی (میان‌گره آخر) و پایینی ساقه (میان‌گره دوم) و تعداد برگ، وزن ساقه، طبق و گیاه و اجزای عملکرد دانه در پایان دوره رشد از میانگین ۶ بوته از هر کرت آزمایشی انجام شد. قطر بخش فوقانی و تحتانی ساقه با استفاده از کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر در دو جهت عمود اندازه‌گیری شد. قطر طبق و پوکی وسط طبق با خط‌کش در دو جهت عمود بر هم اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری عملکرد دانه هر کرت پس از حذف نیم‌متر از ابتدا و انتهای خطوط کشت، با برداشت ۲۵ طبق از خطوط میانی انجام شد. برای ارزیابی توزیع ماده خشک و نقش آن‌ها در عملکرد دانه از صفات تلاش زادآوری که از نسبت وزن دانه به وزن کل گیاه به‌دست آمد (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۱) و نسبت وزن ساقه به طبق و تخصیص ماده خشک به دانه که از تقسیم وزن دانه به طبق به‌دست آمد، استفاده شد. شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی برای پاسخ هیبریدها به تنش استفاده شدند. به این منظور میانگین سطح تنش متوسط و شدید برای ارزیابی شاخص‌ها استفاده شد. شاخص حساسیت به تنش (SI) فرمول (۱) (فیشسر و مارر^۱، ۱۹۷۸)، شاخص تحمل به تنش (STI) فرمول (۲) (فرناندز^۲، ۱۹۹۲)، شاخص تحمل (TOL) فرمول (۳)، شاخص متوسط بهره‌وری (MP) فرمول (۴) (فیشسر و مارر، ۱۹۷۸) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) فرمول (۵) (فرناندز، ۱۹۹۲)، با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

3. Javid
4. Daneshian
5. Kaya
6. Pekcan

1. Fischer and Maurer
2. Fernandez

سیرنا و هایسان ۳۶ با میانگین ۲۵ عدد و در سال دوم هیبریدهای سیرنا و هایسان ۳۶ به ترتیب با میانگین ۲۸ و ۲۷ عدد از بیشترین تعداد برگ برخوردار بود. در سال اول هیبرید G6 × R-43 با میانگین ۱۷۹ سانتی‌متر و در سال دوم هیبرید آذرگل با میانگین ۱۷۱ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع گیاه را داشتند که با هیبرید G6 × R-43 در یک گروه بودند (جدول ۶). گیاه آفتابگردان تا مرحله گل‌دهی به افزایش ارتفاع ادامه می‌دهد. کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش به دلیل تأثیر منفی کم‌آبی بر توان فتوسنتزی و تولید ماده خشک می‌باشد. زارعی سیاه‌بیدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش ملایم تا ۸ درصد و تنش شدید بیش از ۲۱ درصد اشاره کردند. تأثیر ارتفاع به‌عنوان صفت نشان‌دهنده رشد رویشی بر نسبت تخصیص ماده خشک به طبق و ساقه بررسی شد. روند تغییرات از یک معادله درجه دو پیروی کرد. با افزایش ارتفاع تا ۱۵۵ سانتی‌متر این نسبت افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش ارتفاع در شرایط آبیاری مطلوب تخصیص مواد فتوسنتزی به طبق‌ها را کاهش داد و به عبارت دیگر سهم ساقه در جذب مواد فتوسنتزی افزایش یافت. درحالی‌که در تنش متوسط افزایش ارتفاع تأثیر قابل‌توجهی بر نسبت تخصیص نداشت و در تنش شدید، سهم طبق در دریافت آسمیلات نسبت به ساقه افزایش یافت. بنابراین افزایش ارتفاع نشان‌دهنده توانمندی بیش‌تر در توسعه بیش‌تر طبق به دلیل تأمین آب بیش‌تر بود (شکل ۱ الف).

در مقایسه هیبریدها، G6 × R-43 با میانگین ۱۷۳ سانتی‌متر و وزن طبق برابر ۴۸ گرم برتر از سایرین بود. در مقایسه سطوح تنش، بیش‌ترین وزن طبق از شرایط آبیاری مطلوب با ۵۳ گرم به دست آمد و سطوح تنش متوسط و شدید به ترتیب سبب کاهش ۲۳ و ۳۹ درصدی این صفت شدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های سطوح اثر سال × هیبرید نشان داد که در سال اول هیبرید G6 × R-43 با میانگین ۴۷ گرم و در سال دوم هیبریدهای G6 × R-43 و برزگر به ترتیب با ۵۰ و ۴۸ گرم بیش‌ترین وزن طبق را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

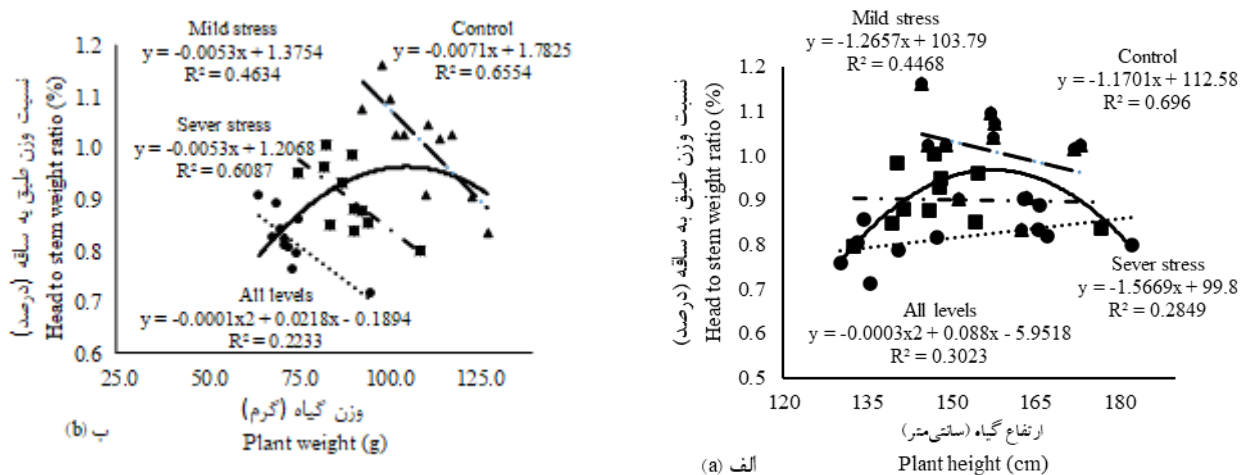
کاهش وزن گیاه به دلیل کاهش سطح برگ و تولید کم‌تر مواد فتوسنتزی از اثرات نامطلوب رایج تنش خشکی محسوب می‌شود (سچین^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی تغییرات وزن خشک گیاه نشان داد که در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۱۹ و ۳۳ درصد از وزن گیاه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب کاسته شد (جدول ۴). هیبرید G6 R-43× بیش‌ترین وزن گیاه و ساقه را در سال اول و دوم داشت (جدول

۶). این هیبرید دیررس بود و ارتفاع بیش‌تری داشت. رؤف^۲ و صداقت (۲۰۰۷) افزایش نسبت وزن اندام‌های زایشی به رویشی را در شرایط تنش خشکی گزارش دادند. بوریرو^۳ و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری در هنگام گل‌دهی یا پرشدن دانه بیش‌ترین تأثیر کاهنده را برای تولید ماده خشک و عملکرد دانه داشت. نتایج به دست آمده نشان دادند که با افزایش وزن گیاه، روند افزایش وزن طبق از یک سهمی پیروی کرد که تا ۰/۹۵ توسعه یافت. اسکالنت/استرادا^۴ و رودریگز-گونزالز (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که بیش‌ترین سهم ماده خشک در آفتابگردان به ساقه تعلق داشت. بنابراین ارقام دیررس که وزن خشک بیش‌تری داشتند، ماده خشک بیش‌تری را به توسعه طبق اختصاص دادند (شکل ۱ ب). توزیع مناسب ماده خشک بین اندام‌های گیاه، نقش مهمی در دستیابی به عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی داراست (پکان^۵ و همکاران، ۲۰۱۶b).

افزایش وزن ساقه، طبق و کل گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشت. اما نقش ساقه در افزایش عملکرد دانه بیش از طبق بود. وزن طبق و ساقه با افزایش شدت تنش به صورت خطی کاهش یافتند و سرعت کاهش وزن طبق (شیب خط ۰/۲۰-) بیش از ساقه (شیب خط ۰/۱۵-) بود. نانجاردی^۶ و همکاران (۲۰۰۳) نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و وزن خشک گیاه در مرحله پایان گل‌دهی را نشان دادند. تنش خشکی سبب تأثیر منفی بر گسترش سطح برگ، تولید مواد فتوسنتزی و اختلال در توزیع آن‌ها می‌شود (فرناندز مورونی^۷ و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج نشان دادند که رابطه وزن گیاه با نسبت تخصیص مواد فتوسنتزی به طبق و ساقه در کلیه سطوح تنش معکوس بود. اما بیش‌ترین سرعت کاهش در شرایط آبیاری کامل (شیب ۰/۰۰۷۱-) وجود داشت و در تنش متوسط و شدید شیب خط مشابه (۰/۰۰۵۳-) بود. در ارقام زودرس که وزن خشک گیاه کم‌تر بود، نسبت تخصیص مواد فتوسنتزی به طبق بیش‌تر بود. بالاترین نسبت وزن ساقه به طبق در شرایط آبیاری مطلوب از هیبرید سانبرو (۱/۱)، در شرایط تنش متوسط از هیبرید هایسان ۲۵ (۱/۰) و در شرایط تنش شدید از هیبرید قاسم (۰/۹) به دست آمد (جدول ۵).

2. Rauf and Sadaqat
3. Burio
4. Escalante-Estrada
5. Pekcan
6. Nanja Reddy
7. Fernández-Moroni

1. Cechin

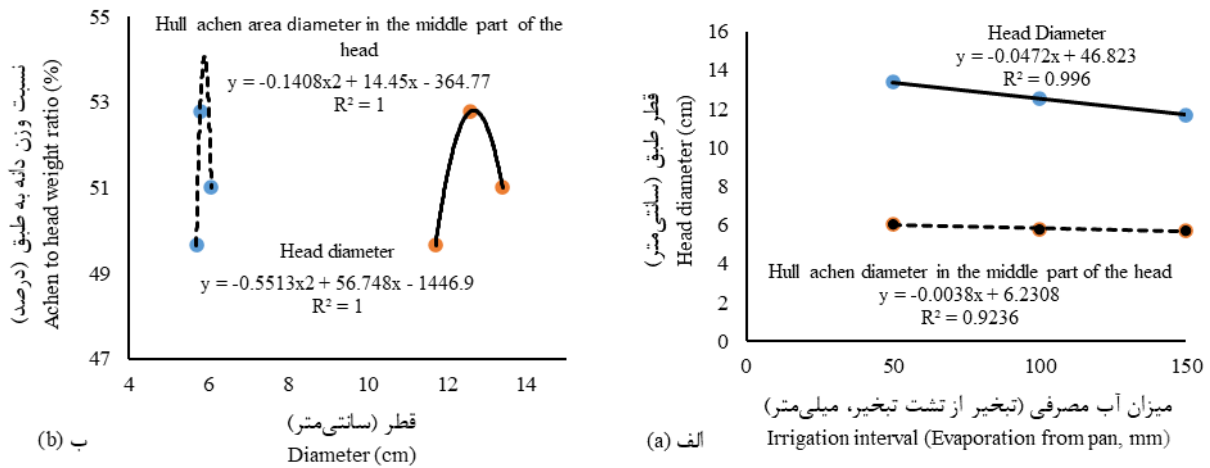


شکل ۱: رابطه بین ارتفاع گیاه و تخصیص ماده خشک به طبق و ساقه در سطوح مختلف تنش (الف)، تأثیر وزن گیاه بر تخصیص ماده خشک به طبق و ساقه در سطوح مختلف تنش (ب)

Fig. 1: Relationship between Plant hight and dry matter allocation to head and stem at different levels of stress conditions (a), Plant weight effect on dry matter allocation to head and stem at different levels of stress conditions (b)

تلاش زادآوری نسبت وزن اندام زایشی به کل گیاه می‌باشد و نسبت آسیمیلات اختصاص یافته به تولید اندام‌های زایشی را نشان می‌دهد (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۱). یک روند خطی در کاهش نسبت اختصاص مواد آسیمیلاتی به طبق با وقوع تنش مشاهده شد. سهم ساقه و طبق در شرایط آبیاری مطلوب تقریباً مساوی و با وقوع تنش به نفع ساقه تغییر می‌یابد. پاسخ معنی‌دار هیبریدها در سطوح مختلف تنش نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش متوسط هایسان ۲۵ به ترتیب با ۵۱/۹ و ۴۸/۴ درصد و در شرایط تنش شدید هیبریدهای R-43 × G5 و سانبرو با میانگین ۴۶ درصد بیش‌ترین سهم از آسیمیلات را به تولید اندام‌های زایشی اختصاص دادند (جدول ۵).

گیاهانی که از ساقه قطورتری برخوردارند، ماده خشک بیش‌تری ذخیره می‌کنند که در شرایط تنش، امکان نقل و انتقال سریع‌تر و مؤثرتر مواد فتوسنتزی در حال تولید و یا ذخیره شده به دانه‌ها را فراهم کرده و تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه دارد (آذری نصرآباد و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، گیاهانی که برگ‌های بیش‌تری داشتند، معمولاً از قطر ساقه و ارتفاع بیش‌تری برخوردارند. افزایش قطر بخش فوقانی ساقه به استحکام طبق و افزایش قطر تحتانی به استحکام ساقه و جلوگیری از ورس کمک می‌کند. این ویژگی در شرایط آبیاری مطلوب که گیاهان طبق سنگین‌تری تولید می‌کنند، اهمیت بیش‌تری دارد. قطر بالا و پایین ساقه در شرایط تنش متوسط به ترتیب به میزان ۷/۶ و ۶ درصد و در شرایط تنش شدید ۱۲/۵ و ۱۱ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۴). در مطالعه ایزان و همکاران (۱۳۹۹) نیز تنش خشکی شدید و ملایم به ترتیب باعث کاهش ۱۷/۷ و ۷/۹ درصدی قطر ساقه شد. در سطوح اثر متقابل سال × هیبرید، قاسم در سال اول و دوم به ترتیب با میانگین ۱/۲۴ و ۱/۴۰ سانتی‌متر از بیش‌ترین قطر فوقانی ساقه برخوردار بود (جدول ۶). هیبرید R-43 × G6 با میانگین ۱/۵۵ سانتی‌متر در سال اول و هیبریدهای R-43 × G6 و سانبرو با میانگین ۱/۴۶ سانتی‌متر در سال دوم قطر تحتانی ساقه توسعه یافته‌تری داشتند (جدول ۶). کاهش قطر ساقه در شرایط تنش کم‌آبی توسط محققین مختلف گزارش شده است (بوریرو و همکاران، 2015).



شکل ۲: تأثیر میزان آب مصرفی بر قطر طبق و پوکی وسط طبق (الف)، رابطه بین قطر پوکی و قطر طبق با تخصیص ماده خشک به دانه در طبق (ب)

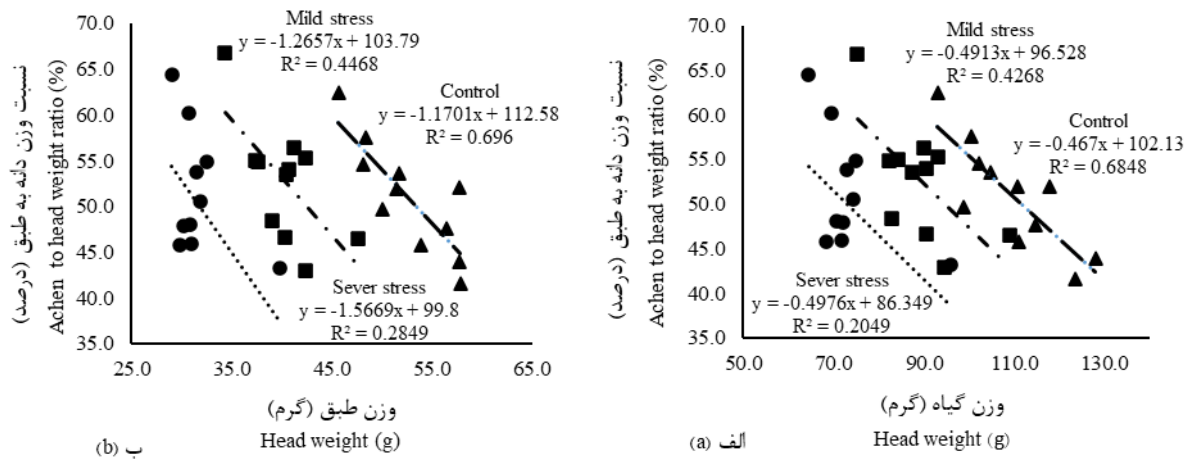
Fig. 2: Effect of irrigation interval on head and hull achen area diameters (a), Relationship between the head and the hull achens area diameters to allocation dry matter to achen to head weight ratio (b)

می‌باشد و سبب کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود. تنش سبب کاهش خطی قطر طبق (شیب -0.472) و قطر پوکی وسط طبق (شیب -0.038) شد. به طوری که سرعت کاهش قطر طبق با تأخیر در زمان آبیاری حدود ۱۰ برابر قطر پوکی بود. افزایش قطر طبق یا پوکی، به صورت یک سهمی بر نسبت تخصیص ماده خشک به دانه تأثیر داشت (شکل ۲ الف و ب). به عبارت دیگر افزایش قطر طبق سبب افزایش قطر پوکی وسط طبق به دلیل کاهش تخصیص مواد آسیمیلاتی به دانه‌ها شد. قطر طبق در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۷ و ۱۳ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۴). یدالهی و همکاران (۱۳۹۶) نیز کاهش قطر طبق آفتابگردان را در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کردند. همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین قطر طبق در شرایط آبیاری مطلوب با سطوح تنش وجود داشت، بنابراین وجود طبق‌های درشت‌تر، سبب ایجاد طبق‌های بزرگ‌تری در شرایط تنش خواهد شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین قطر پوکی وسط طبق با نسبت قطر پوکی وسط طبق (** 0.88) در شرایط تنش متوسط و شدید وجود داشت. بنابراین بالا بودن قطر پوکی وسط طبق در شرایط آبیاری مطلوب، بالا بودن قطر پوکی را در شرایط تنش به همراه خواهد داشت (شکل ۳ الف).

عملکرد محصول یک صفت پیچیده است که تحت تأثیر ژنوتیپ، عوامل محیطی و شیوه‌های مدیریتی قرار می‌گیرد. با افزایش وزن گیاه و طبق، عملکرد دانه افزایش یافت. اما سهم دانه‌ها در دریافت ماده خشک نسبت به طبق با یک رابطه خطی کاهش یافت. افزایش شدت تنش نیز سبب شد ماده خشک کم‌تری از طبق و گیاه به دانه‌ها انتقال یابد. کاهش سرعت تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها با افزایش وزن خشک گیاه در سطوح مختلف تنش مشابه بود. اما سرعت کاهش تخصیص ماده خشک به دانه با افزایش وزن طبق در شرایط تنش شدید، سریع‌تر از تنش متوسط بود. مقایسه هیبریدها نیز نشان داد که پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف تنش متفاوت بود. هیبرید قاسم به ترتیب با ۶۲، ۶۷ و ۶۴ درصد بالاترین نسبت وزن دانه به طبق را دارا بود (جدول ۵). اسکالنت *استرادا*^۱ و رودریگز *گونزالز* (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که بیش‌ترین سهم ماده خشک در آفتابگردان به ساقه تعلق داشت و تنش شوری تأثیری در توزیع ماده خشک در اندام‌های گیاهی نداشت.

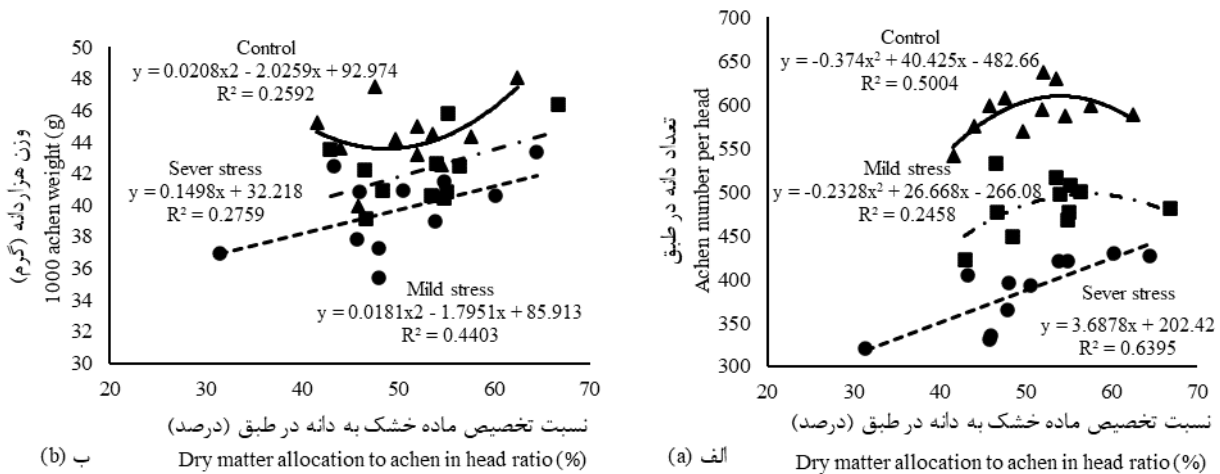
قطر طبق تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد در آفتابگردان محسوب می‌شود. تنش خشکی با تأثیر بر رشد رویشی می‌تواند سبب کاهش عملکرد دانه آفتابگردان شود (گارسیا-لوپز^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، انتظار می‌رود که ارقام با طبق‌های بزرگ‌تر، عملکرد دانه بیش‌تری داشته باشند، اما قطر پوکی وسط طبق عامل محدودکننده در دستیابی به این پتانسیل

1. Escalante-Estrada
2. García-López



شکل ۳: تأثیر وزن گیاه (الف) و وزن طبق (ب) بر میزان تخصیص ماده خشک به دانه در طبق در سطوح مختلف تنش

Fig. 3: The effect of plant weight (a) and head weight (b) on dry matter allocation to achen to head weight ratio in different levels of stress conditions



شکل ۴: تأثیر تخصیص ماده خشک به دانه بر تعداد دانه در طبق (الف) و وزن هزاردانه (ب)

Fig. 4: The effect of dry matter allocation to achen in head ratio on head (a) and 1000 achen weight (b)

جدول ۱: میانگین بیشینه، کمینه و میانگین دمای ماهیانه در منطقه کرج طی دو سال آزمایش (۱۳۹۱-۱۳۹۲)

Table 1: The maximum, minimum and average temperature in Karaj region during two years experiment (2012-2013)

آبان Nov.	مهر Oct.	شهریور Sep.	مرداد August.	تیر July.	پارامترهای هواشناسی (درجه سانتی‌گراد) Meteorological parameters (°C)	سال زراعی Growing season
17.1	26.2	32.5	35	34.8	بیشینه دما Maximum temperature	۱۳۹۱ 2012
7.3	12.4	17.4	19	18.2	کمینه دما Minimum temperature	
12.2	19.3	25	27	26.5	میانگین دما Average temperature	
18.4	25.5	31.9	35.3	34.6	بیشینه دما Maximum temperature	۱۳۹۲ 2013
8.1	13	17	20.3	18.2	کمینه دما Minimum temperature	
13.3	19.8	24.5	27.8	26.4	میانگین دما Average temperature	

جدول ۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

Table 2: Physicochemical properties of soil collected from site study in 0-30 and 30-60 (cm) Depth

پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mgkg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mgkg ⁻¹)	نیتروژن کل (درصد) N (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	اسیدیته pH	عمق خاک (سانتی‌متر) Depth (cm)	سال Year
248	11.2	0.07	3.85	0.62	7.1	0-30	۱۳۹۱
196	8.3	0.09	1.43	0.65	7.5	30-60	2012
216	12.9	0.11	3.97	0.69	7.2	0-30	۱۳۹۲
205	10.8	0.14	1.79	0.78	7.3	30-60	2013

جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه

Table 3: Combined Analysis of variance of studied traits

قطر بالای ساقه Diameter of stem upper part	نسبت وزن طبق به ساقه Head to stem weight ratio	وزن طبق Head weight	وزن ساقه گیاه Stem weight	وزن گیاه Plant weight	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ Leaves no.	درجه آزادی df	منبع تغییرات S.O.V.
2.522**	10.520**	42	30093**	32379**	1979	208.3**	1	سال Year (Y)
0.288**	0.612**	7105**	3779**	21222**	14464**	69.7**	2	آبیاری Irrigation (I)
0.003	0.120**	17	648**	863*	3205**	2.7	2	سال × آبیاری Y × I
0.019	0.007	52	59	201	184	1.9	12	اشتباه Error
0.194**	0.077**	198**	540**	1358**	2411**	75.0**	10	هیبرید Hybrid (H)
0.019**	0.244**	166**	138**	278**	336**	7.9*	10	سال × هیبرید Y × H
0.004	0.011**	20	37	90	82	1.1	20	آبیاری × هیبرید I × H
0.003	0.007**	27	13	66	61	2.4*	20	سال × آبیاری × هیبرید Y × I × H
0.006	0.002	19	23	76	52	1.3	120	اشتباه Error
7.58	5.48	10.40	9.73	9.64	4.75	4.81	-	ضریب تغییرات CV (%)

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد

* and **: Indicate significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

ادامه جدول ۳: تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه

Table 3 continued: Combined Analysis of variance of studied traits

عملکرد دانه Achen yield	قطر پوکى وسط طبق Hull Achen diameter area in the middle part of the head	قطر طبق Head diameter	نسبت وزن دانه به طبق Ratio of Achen to Head weight	تلاش زادآوری Productivity Effort	قطر پایین ساقه Diameter of stem lower part	درجه آزادی df	منبع تغییرات S.O.V.
60804829**	2.3	244.2**	39071**	7789.4**	0.11**	1	سال Year (Y)
24269911**	2.4**	46.9**	162**	401.0**	0.41**	2	آبیاری Irrigation (I)
1089443**	1.8**	4.9**	530**	33.9**	0.23**	2	سال × آبیاری Y × I
272305	0.5	2.2	31	4.2	0.01	12	اشتباه Error
1613151**	7.8**	7.9**	836**	28.8**	0.12**	10	هیبرید Hybrid (H)
636480**	0.8**	2.2**	316**	150.8**	0.03**	10	سال × هیبرید Y × H
113366	0.1	0.6	55**	6.8**	0.01	20	آبیاری × هیبرید I × H
102344	0.4	0.6	39**	4.5**	0.02	20	سال × آبیاری × هیبرید Y × I × H
86649	0.2	0.8	10	1.7	0.01	120	اشتباه Error
12.88	8.53	7.32	6.20	2.87	8.18	-	ضریب تغییرات CV (%)

* و **: به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد

* and **: Indicate significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively

جدول ۴: مقایسه میانگین های اثر ساده آبیاری برخی صفات مورد مطالعه

Table 4: Mean comparisons of Irrigation effects of some studied traits

قطر پوکى وسط طبق (سانتی متر) Hull Achen diameter in the middle part of the head (cm)	قطر طبق (سانتی متر) Head diameter (cm)	وزن گیاه (گرم) Plant weight (g)	وزن طبق گیاه (گرم) Head weight (g)	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	قطر بالای ساقه (میلی متر) Diameter of stem upper part (mm)	قطر پایین ساقه (میلی متر) Diameter of stem lower part (mm)	آبیاری Irrigation
6.0a	13.4a	109.4a	52.6a	168a	1.17a	1.44a	آبیاری مطلوب Control
5.8ab	12.5b	89.0b	40.3b	151b	1.08b	1.35b	تنش متوسط Mild stress
5.7b	11.7c	73.7c	32.0c	139c	1.04b	1.28c	تنش شدید Severe stress

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می باشد

Similar letters in each column indicate no significant difference based on Duncan test at 5% level

در کلیه سطوح تنش رابطه منفی بین وزن گیاه و طبق با نسبت ماده خشک تخصیص یافته به دانه ها وجود داشت. در تنش شدید بیشترین سرعت کاهش در تخصیص مواد آسیمیلاتی به دانه ها مشاهده شد. در این شرایط ماده خشک عمدتاً به مصرف بخش های ساختمانی رسید و سهم دانه ها با افزایش وزن گیاه و طبق کاهش یافت (شکل ۳ الف و ب). در مقایسه هیبریدها، $G5 \times R-43$ و $G6 \times R-43$ با وجود آنکه از قطر طبق بیشتری برخوردار بودند، اما عدم تأمین کافی مواد آسیمیلاتی سبب شد که قطر پوکى وسط طبق به مقدار قابل توجهی افزایش یابد.

بیشترین میانگین قطر طبق در سال اول به هیبریدهای $G6 \times R-43$ و سانبرو به ترتیب با میانگین ۱۲/۸ و ۱۳/۲ سانتی متر و در سال دوم به هیبرید سانبرو با میانگین ۱۴/۸ سانتی متر تعلق داشت (جدول ۴). هیبرید سانبرو با وجود آنکه از طول دوره رشد کمتری برخوردار بود، اما با اختصاص نسبت بیشتری از مواد فتوسنتزی به طبق توانست طبق های بزرگتری را تولید کند (جدول ۴). پکان^۱ و همکاران (2016b) تأثیر منفی معنی دار تنش کم آبی بر قطر طبق به میزان ۵۰ درصد را به دلیل کاهش دوره روز تا گل دهی به میزان ۲۰ درصد (حدود یک هفته) دانستند.

میانگین حدود ۳ تن در هکتار تولید کرد که به همراه R-43 × G6، سیرنا، سانبرو و هایسان ۲۵ در سال اول و به تنهایی در سال دوم برتر از سایرین بود. میزان کاهش عملکرد در پاسخ به تنش خشکی به مرحله رشد محصول، شدت خشکی و توانایی تحمل به خشکی ژنوتیپها بستگی دارد. شروع گل‌دهی و گرده‌افشانی مراحل رشد مهمی هستند که عملکرد دانه را تعیین می‌کنند، زیرا تعداد گل‌ها و گل‌های بارور بیش‌تر منجر به عملکرد دانه بیش‌تر می‌شود (گارسیا-لوپز^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ حسین^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). تنش خشکی در این مرحله منجر به ناباروری دانه‌های گرده، کاهش قطر طبق و عملکرد می‌شود (الشیخ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵؛ بنلوخ -گونزالس^۵ و همکاران، ۲۰۱۵). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین حسابی و هندسی عملکرد و شاخص تحمل به خشکی وجود داشت (در کلیه حالات بیش از ۰/۹). مقادیر بالای شاخص تحمل به تنش نشان‌دهنده ثبات عملکرد در شرایط تنش است. اونملی^۶ و گوسر (۲۰۱۰) باتوجه به شاخص‌های استفاده شده هیبرید برزگر به همراه R-43 × G6 و سانبرو در شرایط آبیاری مطلوب با عملکرد حدود سه تن در هکتار برتر از سایرین بودند و در متوسط شرایط تنش با میانگین بالاتر از ۲/۳ تن در هکتار از تحمل بیش‌تری نسبت به سایر هیبریدها برخوردار بودند (جدول ۷). اونملی و گوسر (۲۰۱۰) استفاده از شاخص حساسیت به تنش را برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی آفتابگردان را مناسب دانستند.

تیاگی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) به اهمیت توسعه سطح فتوسنتزکننده و تأمین مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه در شرایط تنش اشاره کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر تعداد دانه‌های تلقیح شده و میزان تخصیص ماده خشک به دانه‌ها در دوره پرشدن دانه قرار دارد. در شرایط آبیاری مطلوب، طبق‌ها بزرگ‌تر بودند و روند تغییرات وزن و تعداد دانه به نسبت تخصیص ماده خشک به دانه‌ها به‌ترتیب از یک معادله سهمی مقعر و محدب پیروی کرد. به‌طوری‌که با افزایش میزان تخصیص تا حدود ۵۵ درصد، تعداد دانه در طبق افزایش و پس از آن کاهش یافت. ارقام زودرس که تخصیص ماده خشک بیش‌تری به دانه‌ها را انجام دادند، از تعداد دانه در طبق کم‌تری برخوردارند. تخصیص ماده خشک به دانه‌ها در طبق به‌میزان ۵۰ درصد، سبب دستیابی به بیش‌ترین تعداد دانه در طبق شد، اما در مقادیر کم‌تر یا بیش‌تر از تعداد دانه کاسته شد و به‌میزان وزن هزاردانه افزوده شد. به‌عبارت دیگر با افزایش مواد آسیمیلاتی تعداد دانه‌ها افزایش یافت و در صورت تداوم در ارسال آسیمیلات، وزن دانه نیز افزایش یافت. در شرایط تنش متوسط با افزایش تخصیص ماده خشک به طبق روند تغییرات تعداد دانه نیز به شکل یک سهمی بود. درحالی‌که روند افزایش وزن هزاردانه به‌صورت خطی بود. در شرایط تنش شدید، نیز رشد خطی در وزن هزاردانه و تعداد دانه در طبق مشاهده شد (شکل ۴ الف و ب). مقایسه سطوح اثر متقابل سال و هیبرید نشان داد که در سال اول و دوم هیبرید برزگر بالاترین عملکرد دانه را با

جدول ۵: مقایسه میانگین نسبت وزن طبق به ساقه و تلاش زادآوری در سطوح اثر متقابل آبیاری و هیبرید در سال‌های آزمایش

Table 5: Mean comparisons of head to stem weight ratio, productivity effort and the ratio of achene to head weight on interaction of hybrid and irrigation

نسبت وزن دانه به طبق (درصد) Ration of achene to head weight (%)			تلاش زادآوری (درصد) Productivity effort (%)			نسبت وزن طبق به ساقه (درصد) Head to stem weight ratio			هیبرید
تنش شدید Severe stress	تنش متوسط Mild stress	مطلوب Control	تنش شدید Severe stress	تنش متوسط Mild stress	مطلوب Control	تنش شدید Severe stress	تنش متوسط Mild stress	مطلوب Control	Hybrid
50.5de	54.0b	52.0cd	43.0cd	45.3d	47.2c	0.75de	0.83de	0.90e	Azargol
54.8c	55.2b	47.6ef	43.8bc	45.9cd	50.0b	0.78cd	0.87d	1.01d	Barzegar
47.9ef	54.8b	54.5bc	43.1cd	47.2ab	48.8b	0.80cd	0.95abc	1.02cd	Farrokh
31.3h	42.9d	41.5g	46.0a	45.5cd	47.0c	0.85abc	0.85d	0.90e	G5 x R-43
43.2g	46.5c	43.9fg	41.5d	44.0e	45.3d	0.71e	0.79e	0.83f	G6 x R-43
64.4a	66.7a	62.4a	45.4ab	46.5bc	49.5b	0.90a	0.94bc	1.07bc	Ghasem
45.7fg	55.0b	53.6bcd	44.1abc	44.8de	50.1b	0.82bcd	0.84d	1.02cd	Shams
53.8cd	53.5b	52.0cd	43.9bc	47.4ab	50.0b	0.80cd	0.93c	1.02cd	Sirena
45.9fg	48.4c	49.7de	44.2abc	48.4a	51.9a	0.81cd	1.00a	1.16a	Hysun25
48.0ef	46.6c	45.8ef	44.6abc	45.9cd	49.7b	0.83abc	0.88d	1.04bcd	Hysun36
60.2b	56.4b	57.5b	46.1a	47.6ab	50.0b	0.88ab	0.98ab	1.09b	Sanbro

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد

Similar letters in each column indicate no significant difference based on Duncan test at 5% level

2. García-López
3. Hussain
4. Elsheikh
5. Benlloch-González
6. Onemli

1. Tyagi

جدول ۶: مقایسه میانگین‌های برخی صفات مورد مطالعه در سطوح اثر متقابل سال و هیبرید در سال‌های آزمایش

Table 6: Mean comparisons of some studied traits on Year and Hybrid interaction levels

وزن ساقه گیاه (گرم) Stem weight (g)	قطر پوکی وسط طبق (سانتی‌متر) Hull Achen diameter in the middle part of the head (cm)				قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)		وزن گیاه (گرم) Plant weight (g)		وزن طبق گیاه (گرم) Head weight (g)		ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)		قطر بالای ساقه (سانتی‌متر) Diameter of stem upper part (cm)		قطر پایین ساقه (سانتی‌متر) Diameter of stem lower part (cm)		هیبرید Hybrid
	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	
61.1bcd	39.8c	5.8c	5.9bc	13.47bc	10.60c	106.3b-e	77.3cd	45.2abc	37.4e	171.4a	157.7bc	1.20d	0.94c	1.45ab	1.38bcd	Azargol	
62.7bcd	38.0cd	5.6cd	5.9b	13.78bc	10.85bc	110.5ab	77.7c	47.7a	39.7cde	161.6bc	151.8cd	1.17d	0.96bc	1.39abc	1.31cde	Barzegar	
62.1bcd	31.5fg	5.2de	5.5cd	13.95bc	11.55bc	99.3cde	71.6cd	37.2e	40.1cde	155.3cd	139.0e	1.33ab	1.03b	1.28de	1.16f	Farrokh	
62.0bcd	43.8b	7.5a	6.6a	13.28c	11.04bc	108.0bcd	87.8b	46.0ab	44.0ab	161.4bc	160.8b	1.16d	0.94c	1.40abc	1.47ab	G5 x R-43	
70.3a	54.6a	6.9b	6.9a	14.08b	12.80a	120.0a	101.7a	49.6a	47.1a	166.7ab	179.5a	1.22cd	0.99bc	1.46a	1.55a	G6 x R-43	
51.5e	31.0fg	5.0ef	5.4d	12.23d	11.37bc	81.1f	74.1cd	29.5f	43.1bc	134.4f	124.4f	1.40a	1.24a	1.23e	1.27def	Ghasem	
57.5d	34.7e	4.5f	5.2d	13.44bc	10.82bc	98.4de	73.1cd	40.8cde	38.3de	155.3cd	153.8cd	1.02e	0.81d	1.39abc	1.40bc	Shams	
62.6bcd	36.1de	5.4cde	5.9bc	13.70bc	11.01bc	108.4bc	76.7cd	45.7ab	40.6b-e	154.5de	149.4d	1.17d	0.98bc	1.33cde	1.22ef	Sirena	
58.2cd	30.7g	5.9c	6.0b	13.66bc	11.66b	97.3e	71.6cd	39.1de	40.8b-e	148.0e	147.3d	1.28bc	1.04b	1.36bcd	1.28de	Hysun25	
64.2b	33.8ef	5.9c	6.1b	14.13b	11.18bc	107.3bcd	74.1cd	43.1bcd	40.2cde	156.4cd	139.6e	1.31b	0.95c	1.44ab	1.30cde	Hysun36	
63.2bc	30.0g	5.3de	5.9bc	14.86a	13.28a	102.0b-e	71.3d	38.7de	41.3bcd	148.4e	140.4e	1.05e	0.94c	1.46a	1.31cde	Sunbro	

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد

Similar letters in each column indicate no significant difference based on Duncan test at 5% level

جدول ۷: ارزیابی شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی هیبریدهای مورد بررسی در شرایط تنش متوسط و شدید در دو سال آزمایش

Table 7: Evaluation of sensitivity and tolerance to drought indices in hybrids under moderate and severe stress conditions in two years of experiment

شاخص‌های مؤثر Effective indices	کل رتبه Total rank	رتبه Rank	تحمل به خشکی (STI) Drought tolerance	حساسیت به خشکی				میانگین هندسی		میانگین حسابی		عملکرد دانه (میانگین سطوح تنش)		عملکرد دانه (آبیاری کامل)		هیبرید Hybrid
				رتبه Rank	خشکی (SSI) Drought sensitivity	رتبه Rank	تحمل (TOL) Tolerance	رتبه Rank	هندسی (GMP) Geometric mean	رتبه Rank	حسابی (MP) Arithmetic mean	رتبه Rank	سطوح تنش (average stress levels)	رتبه Rank	آبیاری کامل (control)	
12	23	4	0.355	5	0.792	6	846	4	2557	4	2592	4	2169	3	3015	Azargol
3	12	1	0.476	2	0.736	7	898	1	2962	1	2996	1	2547	1	3445	Barzegar
30	36	10	0.225	4	0.782	2	664	10	2037	10	2064	9	1732	10	2396	Farrokh
15	35	5	0.329	10	0.933	10	995	5	2462	5	2512	6	2014	4	3009	G5 x R-43
9	25	3	0.369	7	0.848	9	936	3	2606	3	2647	3	2179	2	3116	G6 x R-43
21	38	7	0.280	9	0.925	8	908	7	2270	7	2315	8	1861	8	2769	Ghasem
24	30	8	0.266	3	0.761	3	699	8	2214	8	2241	7	1892	9	2591	Shams
33	45	11	0.202	8	0.901	4	747	11	1930	11	1966	10	1592	11	2339	Sirena
27	49	9	0.245	11	1.297	11	1329	9	2125	9	2226	11	1562	7	2891	Hysun 25
18	29	6	0.328	6	0.808	5	834	6	2457	6	2492	5	2076	6	2909	Hysun 36
6	8	2	0.380	1	0.583	1	615	2	2646	2	2664	2	2357	5	2972	Sunbro

میزان شدت تنش (SI) ۰/۴۰۸۳ بوده است

0.4083 The stress intensity (SI) was

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که تعداد برگ و ارتفاع تأثیر مثبتی بر میزان وزن خشک ساقه، طبق و گیاه داشت. بیش‌ترین ارتفاع از هیبریدهای دیررس آذرگل در سال اول و 63×R-G6 در سال دوم به‌دست آمد. افزایش وزن اندام‌های رویشی سبب افزایش عملکرد دانه شد. اما اثر افزایش وزن ساقه بیش از وزن طبق بود. با افزایش ارتفاع نسبت وزن طبق به ساقه در شرایط آبیاری مطلوب کاهش، در تنش متوسط بدون تغییر و در تنش شدید افزایش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب، گیاه ساقه‌های قطورتری تولید کرد و ماده خشک بیش‌تری را به طبق‌ها تخصیص داد. با وجود آن‌که در شرایط تنش شدید، اندازه طبق‌ها کاهش یافت، بخش عمده ماده خشک در توسعه طبق به‌مصرف رسید. با افزایش شدت تنش نسبت وزن طبق به ساقه کاهش یافت. بیش‌ترین قطر طبق در سال اول به هیبریدهای 63×R-G6 و سانبرو و در سال دوم به هیبرید سانبرو تعلق داشت. طبق‌های سنگین‌تر، از قطر طبق، قطر پوکی و نسبت وزن دانه به طبق بیش‌تری برخوردار بودند. با افزایش وزن طبق و گیاه در کلیه سطوح تنش از نسبت وزن دانه به طبق کاسته شد. با وجود آن‌که هیبریدهای دیررس با ماده خشک بیش‌تر، توانایی تولید دانه بیش‌تری را داشتند، اما نسبت وزن طبق به ساقه و نسبت تخصیص ماده خشک دانه به طبق کم‌تری را داشتند که می‌تواند سبب محدودیت در عملکرد دانه شود. هیبریدهای زودرس نیز با وجود آن‌که کارایی بالایی

در تسهیم ماده خشک به طبق‌ها و دانه‌ها داشتند، اما با وقوع تنش با سرعت بیش‌تری در کاهش عملکرد دانه مواجه شدند. افزایش میزان تخصیص ماده خشک به دانه در تنش شدید سبب شد که تعداد دانه و وزن هزاردانه به‌صورت خطی افزایش یابد. در تنش متوسط روند افزایش وزن هزاردانه به‌صورت خطی، اما افزایش تعداد دانه به‌صورت سهمی بود. درحالی‌که در شرایط آبیاری مطلوب روند افزایش وزن هزاردانه سهمی مقعر و افزایش تعداد دانه سهمی محدب بود. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده استفاده از ارقام دیررس مانند برزگر، به‌دلیل نسبت وزن طبق به ساقه، تلاش زادآوری و نسبت وزن دانه بالا، در شرایط تنش مناسب‌تر از ارقام زودرس است. ارقام زودرس‌تر مانند سانبرو که بتوانند سهم طبق در تخصیص ماده خشک و افزایش تعداد و وزن دانه را افزایش دهند نیز می‌تواند در شرایط تنش کم‌آبی عملکرد دانه بیش‌تری را تأمین کند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل از پروژه تحقیقاتی با شماره مصوب (۰۳-۰۴-۰۳-۰۳) می‌باشد. بدین‌وسیله از مسئولین و کارکنان محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- آذری نصرآباد، ع.، موسوی نیک، س. م.، گلوی، م.، بهشتی، س. ع. و سیروس مهر، ع. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۲ (۲): ۱۶۷-۱۷۷.
- ایزان، ط.، جوانمرد، ع.، شکاری، ف. و عباسی، ا. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، آلی و شیمیایی در سطوح مختلف آبیاری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰ (۳): ۸۷-۱۱۱.
- دانشیان، ج.، مجیدی هروان، ا. و جنوبی، پ. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر تنش خشکی و مقادیر مختلف پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی سویا. مجله علوم کشاورزی، ۸ (۱): ۱۰۸-۹۵.
- زارعی سیاه‌بیدی، ا.، رضایی زاد، ع. و دانشیان، ج. ۱۳۹۹. اثر کم آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد هیبریدهای آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). نشریه علوم زراعی ایران، ۲۲ (۱): ۱-۱۴.
- یدالهی، پ.، اصغری پور، م. ر.، مروانه، ه.، خیری، ن. ا. و امیری، ا. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن دو رقم آفتابگردان. نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۱ (۱): ۶۵-۷۶.
- Aboudrare, A., Debaeke, P., Bouaziz, A. and Chekli, H. 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 83: 183-196.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. *World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision* 12-03, 4. FAO, Rome (ESA Working paper).

- Benlloch-González, M., Quintero, J. M., García-Mateo, M. J., Fournier, J. M. and Benlloch, M. 2015. Effect of water stress and subsequent re-watering on K⁺ and water flows in sunflower roots: a possible mechanism to tolerate water stress. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 118: 78-84.
- Buriro, M., Sanjrani, A. S., Chachar, Q. I., Chachar, N. A., Chachar, S. D., Buriro, B., Gandahi, A. and Mangan, T. 2015. Effect of water stress on growth and yield of sunflower. *Journal of Agricultural Technology*, 11: 1547-1563.
- Cechin, I., Cardoso, G. S., Fumis, T. D. F. and Corniani, N. 2015. Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. *Bragantia*, 74 (2): 200-206.
- Chen, J., Li, Y., Luo, Y., Tu, W. and Wan, T. 2019. Drought differently affects growth properties, leaf ultrastructure, nitrogen absorption and metabolism of two dominant species of Hippophae in Tibet Plateau. *Journal of Acta Physiologiae Plantarum*, 41 (1). <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2785-6>.
- Daneshian, J., Ardakani, M. R. and Habibi, D. 2005. Drought stress effects on yield, quantitative characteristics of new sunflower hybrids. In: *The 2nd International Conference on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Population Under Drought Stress*. Roma, Italy.
- Elsheikh, E. R. A., Schultz, B., Adam, H. S. and Haile, A. M. 2015. Crop water productivity for sunflower under different irrigation regimes and plant spacing in Gezira Scheme, Sudan. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 109 (2): 221-233.
- Escalante- Estrada, J. A. and Rodríguez- González, M. T. 2010. Sunflower Biomass distribution and seed yield in saline soil of Mexico highlands. *Helia*, 33 (52): 127-134.
- FAOSTAT. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Fernández-Moroni, I., Frayse, M., Presotto, A. and Cantamutto, M. 2012. Evaluation of Argentine wild sunflower biotypes for drought stress during reproductive stage. *Helia*, 35 (57): 29-36.
- Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shanhua, Taiwan. Pp. 257-270.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
- Fulda, S., Mikkat, S., Stegmann, H. and Horn, R. 2011. Physiology and proteomics of drought stress acclimation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Biology*, 13 (4): 632-642.
- García-López, J., Lorite, I. J., García-Ruiz, R. and Domínguez, J. 2014. Evaluation of three simulation approaches for assessing yield of rainfed sunflower in a Mediterranean environment for climate change impact modelling. *Climatic Change*, 12: 147-162.
- Gonzales, J., Mancuso, N. and Luduena, P. 2013. Sunflower yield and climatic variables. *Helia*, 36 (58): 69-76.
- Hussain, S., Saleem, M. F., Iqbal, J., Ibrahim, M., Ahmad, M., Nadeem, S. M., Ali, A. and Atta, S. 2015. Abscisic acid mediated biochemical changes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown under drought and well-watered field conditions. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 25 (2): 406-416.
- Javaid, T., Bibi, A., Sadaqat, H. A. and Javed, S. 2015. Screening of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids for drought tolerance at seedling stage. *International Journal of Plant Science and Ecology*, 1 (1): 6-16.
- Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. and Rouphael, Y. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agriculture Water Management*, 90: 213-223.
- Kaya, Y., Jovic, S. and Miladinovic, D. 2012. Sunflower. *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Springer Press, 1: 85-129.
- Kulundzic, A. M., Kovačević, J., Vuletić, M. V., Josipović, A., Liović, I., Mijić, A., Lepeduš, H. and Kočar, M. M. 2016. Impact of abiotic stress on photosynthetic efficiency and leaf temperature in sunflower. *Poljoprivreda*, 22: 17-22.
- Mubshar, H., Shahid, F., Waseem, H., Sami, U., Mohsin, T., Muhammad, F. and Ahmad, N. 2018. Drought stress in sunflower, physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201: 155-166.
- Nanja Reddy, Y. A., Uma Shaanker, R., Prasad, T. G. and daya Kumar, M. U. 2003. Physiological approaches to improving harvest index and productivity in sunflower. *Helia*, 26 (38): 81-90.
- Onemli, F. and Gucer, T. 2010. Response to drought of some wild species of helianthus at seedling growth stage, *Helia*, 33 (53): 45-54.
- Patanè, C., Cosentino, S. L. and Anastasi, U. 2017. Sowing time and irrigation scheduling effects on seed yield and fatty acids profile of sunflower in semi-arid climate. *International Journal of Plant Production*, 11 (1): 17-32.
- Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M. I., Nalcaiyl, A. S. B., Erdal, Ş. Ç., Cicek, N., Ekmekci, Y. and Kaya, Y. 2016a. Effects of drought on morphological traits of some sunflower lines. *Ekin Journal of Crop Breeding*, 2: 54-68.
- Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M. I., Balkan Nalcaiyl, A. S., Culha Erdal, S., Cicek, N., Arsalan, O., Ekmekci, Y. and Kaya, Y. 2016b. Effects of Drought Stress on Sunflower Stems and Roots. *International Conference on Chemical, Agricultural and Life Sciences (CALs-16)* Feb. 4-5, Bali (Indonesia).
- Rauf, S. and Sadaqat, H. A. 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Journal of Plant Interactions*, 2 (1): 41-51.
- Totsky, I. V. and Lyakh, V. A. 2015. Pollen selection for drought tolerance in sunflower. *Helia*, 38 (63): 211-220.
- Tyagi, V., Dhillon, S. K., Kaushik, P. and Kaur, G. 2018. Characterization for drought tolerance and physiological efficiency in novel cytoplasmic male sterile sources of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agronomy*, 8: 232.

Selection of Sunflower Cultivars Based on Water Deficit Stress Tolerance, Dry Matter Partitioning and Grain Yield

Daneshian^{1*}, J., Shariati², F., Safavi Fard³, N. and Hassani⁴, A.

Abstract

Dry matter Partitioning in vegetative and reproductive organs and yield of 11 sunflower hybrids were evaluated in different irrigation program during 2013 and 2013 in Karaj, Iran. Three separate experiments including irrigation after 60, 120 and 180 mm evaporation from evaporation pan, Class A as base of randomized complete block design were studied as control, mild and severe stress conditions, respectively. The results showed the plant height was decreased by 10.1% under mild stress and 17.2% under severe stress compared to control. Although, increasing of the height had a positive effect on grain yield, but the stem weight was more effective than head weight on grain yield. In control irrigation, plants produced thicker stems that made to translocate more dry matter to the grain. But under severe stress conditions, the head diameter decreased, and the most of the dry matters were used in the head development. The highest grain to head weight ratio was obtained from mild stress. In severe stress conditions, the grain to head weight ratio went up and it caused to rise linear growth of grain number and weight. Grain yield was diminished on average of 18% and 33% under mild and severe stress conditions, respectively. In the stress conditions, Barzegar hybrid had the highest grain yield for maintaining the number and weight of grain in the heads. The evaluation of stress susceptibility and tolerant showed that STI, MP and GMP indices had a positive and significant correlation to yield and, Barzegar and Sunbro hybrids were superior than Cultivars and hybrids.

Keywords: Sunflower cultivars, Water deficit stress, Drought tolerance indices, Grain yield, Dry matter

1, 2, 3 and 4. Professor, Assistant Professor, Agronomy PhD and Expert, Respectively, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*: Corresponding author Email: J.Daneshian@areeo.ac.ir