

ارزیابی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

محمد امینی^۱، حسین عجم نوروژی^{۲*}، ابوالفضل فرجی^۳ و بهرام مجد نصیری^۴

^۱گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد علوم و تحقیقات گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

^۲گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

^۳گروه زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

^۴گروه زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۵

چکیده

برای تعیین نیاز آبی ارقام گیاه آفتابگردان آزمایشی در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ با استفاده از طرح اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در ایستگاه زراعی اردستان اصفهان اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از: ۳ رژیم آبیاری D₁، D₂ و D₃ به ترتیب آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و پنج رقم ارقام آفتابگردان آذرگل، پروگرس، گابور، هایسان ۲۵ و هایسان ۳۶. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، ارقام آذرگل و پروگرس دارای بیشترین میزان دوره پرشدن دانه، وزن هزار دانه، قطر ساقه و قطر طبق بودند. در شرایط تنش کمبود آب شدید ارقام پروگرس و گابور برتری محسوسی داشتند به طوری که رقم پروگرس بیشترین میزان دوره پرشدن دانه، وزن هزار دانه، قطر ساقه و رقم گابور بیشترین میزان غنچه‌دهی، گلدهی و قطر ساقه را داشتند. در بررسی خصوصیات فیزیولوژیک در شرایط بدون تنش و تنش ملایم مشاهده شد که در ارقام پروگرس و گابور میزان کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها، کلروفیل کل و فتوستتوز خالص در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید نیز ارقام پروگرس و گابور در محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل بر دیگر ارقام مورد بررسی برتری داشتند. در بررسی محتوای پرولین برگی نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش محتوای پرولین برگی به صورت معنی‌داری افزایش یافت. در بین ارقام مورد بررسی در شرایط تنش شدید، محتوای پرولین برگی در ارقام پروگرس و گابور نسبت به سایر ارقام افزایش معنی‌داری داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که ارقام آذرگل، گابور و پروگرس تحمل بیشتری نسبت به تنش کم‌آبی در مقایسه با ارقام هایسان ۲۵ و هایسان ۳۶ دارد.

واژه‌های کلیدی: ارقام متحمل، تنش خشکی، رنگدانه‌های فتوستتوزی، فتوستتوز خالص

مقدمه

جهان مطرح است. این گیاه به علت سیستم ریشه‌ای توسعه یافته، کارایی بالایی در استخراج آب از خاک دارد، مشروط بر آنکه خاک عمیق بوده و ساختمان خاک محدود کننده توسعه ریشه نباشد (Nadeem et al., 2002). از مهمترین مصارف اصلی این گیاه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی است از خانواده مرکبه و به‌عنوان چهارمین گیاه دانه روغنی

*نویسنده مسئول: ajamnorozei@yahoo.com

فتوستتزی نیز موثر است، به طوری که با کاهش معنی دار فتوستتز منجر به کاهش ماده خشک گیاه می‌گردد (Ghaffari et al., 2012). با توجه به ارتباط مستقیم میزان فتوستتز و تولید محصول در گیاهان، کاهش فتوستتز در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش معنی دار تولید محصول در گیاهان می‌شود (Reddy et al., 2003; Kiani et al., 2008; Armand et al., 2015). کاهش فتوستتز در شرایط تنش آبی از یک طرف می‌تواند به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود CO_2 به سلول‌های مزوفیل و از سوی دیگر کاهش رنگدانه‌های فتوستتزی نظیر کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها باشد (Rahbarian et al., 2011; Ganjeali et al., 2011). جلوگیری از سنتز کلروفیل و کاهش مقدار پروتئین متصل شونده به کلروفیل در شرایط تنش خشکی، موجب کاهش میزان دریافت نور خورشید از طریق کمپلکس جمع کننده نور و در نهایت کاهش فتوستتز می‌گردد (Karimi et al., 2015; Hosseinzadeh et al., 2016). در یک مطالعه بر روی آفتابگردان گزارش شد که رژیم‌های آبیاری بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان تنش کم‌آبی محسوب شده و منجر به کاهش معنی دار صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در مقایسه با شرایط بدون تنش شد (Khamari et al., 2007). در بررسی خصوصیات فیزیولوژیک نتایج (Nagarathna et al., 2012) نشان داد که تنش کم‌آبی منجر به کاهش محتوای آب نسبی برگ، رنگدانه‌های فتوستتزی، کارایی مصرف آب، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول و فتوستتز خالص شد که دلیل اصلی کاهش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد در آفتابگردان بود.

یکی از مهمترین تغییرات فیزیولوژیک گیاهان در واکنش به کاهش رطوبت در خاک، تنظیم اسمزی و تجمع برخی مواد محلول در سلول‌های ریشه با هدف

می‌توان به روغن آفتابگردان اشاره کرد که علاوه بر مصرف تغذیه‌ای از آن در تهیه صابون، رنگ‌های پرکیفیت و لوازم آرایشی استفاده می‌شود (Nadeem et al., 2002). به دلیل اینکه بیشترین سطح زیرکشت گیاه آفتابگردان به زراعت دیم اختصاص دارد لذا شناخت رقم یا ارقامی با عملکرد بالا و با حداقل آب مصرفی ضروری است.

با توجه به منابع محدود آب و توزیع نامناسب و پراکنده نزولات آسمانی و محدود در ایران، استفاده بهینه از آب در کشاورزی کاملاً باید مورد توجه قرار گیرد تا ضمن تأمین غذای مورد نیاز، بیشترین کارایی و بهره‌وری از آب به عمل آید تا در مناطق بدون محدودیت زمین، افزایش بهره‌وری باعث افزایش سطح زیرکشت و در نهایت منجر به تولید بیشتر محصولات کشاورزی شود (Ghaffari et al., 2012). کم آبیاری یکی از راه کارهای مصرف بهینه آب است که طی آن مقداری تنش آبی در طول فصل رشد اعمال می‌گردد. هدف اصلی در کم آبیاری عمدتاً افزایش کارایی مصرف آب با کاهش نیاز آبیاری گیاه و حذف آن قسمت از آب آبیاری است که تأثیر معنی داری در افزایش عملکرد ندارد (Javaid et al., 2015). مطالعات مختلف نشان داده است که در زمین‌های کشت آفتابگردان کمبود رطوبت در خاک از مهمترین عوامل محدود کننده به شمار می‌آید و رطوبت کافی عامل مهمی برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه محسوب می‌شود (Roche et al., 2009). پاسخ گیاهان زراعی نسبت به کمبود آب قابل دسترس به مرحله رشد و شدت تنش وابسته است (Baloglu et al., 2012). تنش رطوبتی علاوه بر این که بر صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، سطح برگ و صفات عملکردی مانند وزن هزار دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در طبق و وزن خشک گیاه تأثیر منفی شدید دارد، بر صفات فیزیولوژیک و

شهرستان اردستان در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. سطوح رژیم آبیاری مورد بررسی شامل D₁: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A (شرایط نرمال)، D₂: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی ملایم) و D₃: آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی شدید). فاکتور دیگر مورد بررسی ارقام پرکاربرد گیاه آفتابگردان شامل آذرگل (H₁)، پروگرس (H₂)، گابور (H₃)، هایسان ۲۵ (H₄) و هایسان ۳۶ (H₅) بود. سال‌های زراعی مورد بررسی در این مطالعه به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی مشتمل بر ۴ خط کاشت ۵ متری بود و اعمال تیمار آبیاری بر اساس روش‌های دزفولی و همکاران (۱۹۹۵) پس از استقرار گیاه و از مرحله شش برگی در کرت‌های آزمایشی انجام شد (Hashemi Dezfoli et al, 1995). فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها روی خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. تیمارهای آبیاری از مرحله شش برگی شروع و تا ۱۰ روز قبل از رسیدگی فیزیولوژیکی، ادامه یافت. برای اجرای این آزمایش ابتدا زمین آبیاری شد تا خاک نرم و قابل شخم زدن شود. سپس در اوایل اردیبهشت ماه زمین مورد نظر شخم زده شد و در تیرماه اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در اعماق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری شد. نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمون خاک، حدود ۱۰۰ کیلوگرم ازت خالص از منبع اوره، ۶۰ کیلوگرم پتاسیم خالص از منبع سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر خالص از منبع سوپرفسفات تریپل در هکتار به خاک اضافه شد و پس از آن زمین دیسک زده شد و پس از آماده‌سازی فاروهای کاشت، کشت بصورت دستی در

کاهش بیشتر پتانسیل اسمزی و حفظ شیب پتانسیل آب است (Hu and Schmidhalter, 2005). بسیاری از گیاهان به منظور تنظیم اسمزی از اسمولیت‌های سازگار مثل پرولین، پروتئین‌های محلول و یا تجمع یون‌های معدنی به ویژه کلسیم و پتاسیم استفاده می‌کنند (Cakmak, 2005; Tewfik, 2008). پرولین منبع ذخیره برای کربن، نیتروژن و جاروب‌کننده گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در سلول‌ها می‌باشد (Abrishamchi et al., 2012; Sio-Se Mardeh et al., 2014). گیاهان مقاوم به تنش، از توانایی بیشتر سنتز پرولین و متعاقب آن از پایداری بیشتر غشاء برخوردار هستند که نتیجه آن، هدررفت کمتر آب از طریق غشاهای سلولی می‌باشد (Valentovic et al., 2006). با توجه به شرایط کشت دیم گیاه آفتابگردان و همزمانی حادث شدن تنش خشکی در طی مراحل گلدهی، لزوم شناسایی ارقام متحمل که سازگاری بیشتری با شرایط تنش کمبود آب دارند، بسیار ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ۵ رقم از گیاه آفتابگردان در رژیم‌های مختلف آبیاری بر اساس خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و متحمل فتوسنتزی است که از این طریق رقم برتر و متحمل جهت کشت در منطقه اصفهان معرفی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های عملکردی و مورفوفیزیولوژیک ارقام مختلف گیاه آفتابگردان آزمایشی به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۴-۱۳۹۵) در مزرعه تحقیقی-ترویجی شهرستان اردستان از توابع استان اصفهان اجراء گردید. طرح آزمایشی مورد استفاده در هر سال به صورت اسپیلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در نظر گرفته شد. مزرعه آزمایشی مذکور در ۲۲ کیلومتری شمال غربی

شد که دانه‌ها کامل شده، پشت طبق‌ها قهوه‌ای شده و گلبرگ‌ها و برگ‌ها خشک شده بودند. صفات مورفولوژی مورد بررسی عبارت بودند از: ارتفاع بوته، غنچه‌دهی، گل‌دهی، دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه، قطر ساقه و قطر طبق که بر اساس روش‌های معمول سنجش شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ با استفاده از روش (NeSmith, 1992) و بر اساس معادله زیر انجام شد.

$$LAI = 0.655(L \times W) - 0.00011(L \times W)^2$$

LAI: شاخص سطح برگ، L: طول برگ و W: عرض برگ.

دو طرف پشته صورت گرفت. انجام آبیاری پس از هیرم‌کاری تا زمان شش برگی هر ۱۰ روز یک بار به وسیله ایجاد نهرهای خاکی داخل خود پلات‌ها انجام شد. جهت تعیین حجم آب آبیاری مورد نیاز برای هر کرت، با استفاده از رابطه زیر (Hashemi Dezfoli et al., 1995) حجم آب مصرفی مورد نیاز هر تیمار محاسبه گردید:

$$V = \frac{(FC - \theta m) \times \rho b \times D_{Root} \times A}{Ei}$$

V: حجم آب آبیاری بر حسب متر مکعب، FC: درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، θm : درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، A: مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع، D_{root} : عمق توسعه ریشه بر حسب متر و Ei: راندمان آبیاری. رسیدگی گیاه در هر سال با بررسی دانه‌ها صورت گرفت. مرحله رسیدگی کامل هنگامی در نظر گرفته

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در مطالعه

| سال ۱۳۹۵ | | سال ۱۳۹۴ | | خصوصیات خاک |
|---------------------|----------|---------------------|----------|------------------------------|
| عمق خاک (سانتی‌متر) | | عمق خاک (سانتی‌متر) | | |
| ۳۰-۶۰ | ۰-۳۰ | ۳۰-۶۰ | ۰-۳۰ | |
| ۵/۱ | ۵/۳۶ | ۵/۳۲ | ۵/۴۴ | شوری (میلی‌موس بر سانتی‌متر) |
| ۷/۶ | ۷/۹ | ۷/۲ | ۷/۱ | اسیدیته خاک (pH) |
| ۰/۰۳۴ | ۰/۰۸۴ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۹۱ | نیترژن (درصد) |
| ۶/۹ | ۱۱/۱ | ۶/۳ | ۱۱/۴ | فسفر (ppm) |
| ۱۲۲ | ۱۹۳ | ۱۵۴ | ۲۱۹ | پتاسیم (ppm) |
| ۳۰/۰۹ | ۳۱/۱ | ۳۱ | ۳۱ | رس (درصد) |
| ۳۹ | ۳۸ | ۳۹ | ۴۳ | سیلت (درصد) |
| ۲۹ | ۲۷ | ۳۲ | ۲۶ | شن (درصد) |
| ۰/۸۹ | ۱/۰۸ | ۰/۸۷ | ۱/۱ | مواد آلی (درصد) |
| لومی-رسی | لومی-رسی | لومی-رسی | لومی-رسی | بافت خاک |

محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص از روابط زیر استفاده شد.

سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص: به منظور سنجش سرعت رشد

از برگ‌های جوان در ابتدای ساقه (برگ‌های دوم و سوم) برداشت شد و برای ۴۸ ساعت در آب غوطه‌ور شد. سپس برگ‌ها از آب خارج و سطح آن‌ها به آرامی با دستمال کاغذی خشک شد و توزین گردید. در انتها برگ‌ها در آن به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس مجدداً وزن شدند. با سنجش شاخص‌های وزنی فوق از طریق معادله زیر این صفت برای هر تیمار تعیین شد.

$$RWC = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

در این معادله، RWC محتوای نسبی آب، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت تورژسانس کامل است.

فتوستتز خالص: میزان فتوستتز خالص برگ بوسیله دستگاه فتوستتز متر پرتابل مدل CI-340 ساخت شرکت CID آمریکا اندازه گیری شد. مهمترین مزیت این دستگاه قابل حمل بودن آن بود که می توان از آن به راحتی در شرایط مزرعه استفاده نمود.

پرولین: پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. ۰/۰۵ گرم از بافت ریشه در ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک آبدار ۳ درصد کاملاً ساییده شد تا محلول همگن ایجاد شود. ۲ میلی لیتر از محلول حاصل با ۲ میلی لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لوله آزمایش مخلوط شدند و به مدت ۱ ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. به محتویات لوله، ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت به هم زده شدند. این عمل موجب دوفازه شدن محتویات لوله شد. پس از مدت ۲۰ دقیقه، جذب نوری محلول در ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به عنوان شاهد قرائت شد و با استفاده از فرمول زیر غلظت پرولین بر اساس میکرومول در گرم وزن تر نمونه برگ محاسبه گردید.

سرعت رشد محصول (Crop Growth Rate):

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

سرعت رشد نسبی (Relative Growth Rate):

$$RGR = \frac{LnW_2 - LnW_1}{t_2 - t_1}$$

W_1 : وزن خشک گیاه در ابتدای تیمار، W_2 : وزن خشک گیاه در انتهای تیمار، $t_2 - t_1$: مدت زمان بین ابتدا و انتهای تیمار، Ln: بیانگر لگاریتم نپری.

سرعت جذب خالص (Net Assimilation Rate):

$$NAR = CGR / LAI$$

NAR: سرعت جذب خالص، CGR: سرعت رشد محصول، LAI: شاخص سطح برگ.

میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها: برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش Lichtenthaler and Wellburn (۱۹۸۳) استفاده شد. به این منظور ابتدا ۰/۱ گرم برگ با ۴ میلی لیتر استن ۸۰ درصد درهوان چوبی سائیده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید. جهت صفر کردن دستگاه از استن ۸۰ درصد استفاده شد. میزان کل کلروفیل، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از طریق معادله‌های (۱) تا (۴) محاسبه گردید.

$$Chl_a = 12/21(A_{664}) - 2/79(A_{647}) \quad (۱)$$

$$Chl_b = 21/21(A_{647}) - 5/1(A_{664}) \quad (۲)$$

$$\text{معادله (۳)}$$

$$\text{Carotenoid} = (1000 A_{470} - 1/8 Chl_a - 85/02 Chl_b) / 198$$

$$Chl_T = Chl_a + Chl_b \quad (۴)$$

محتوای آب نسبی برگ: برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از روش بیان و جیانگ (Bian and Jiang, 2008) استفاده شد، به طوری که مقدار مشخصی

= میکرومول پرولین در گرم وزن تر

$$\left(\frac{\mu\text{g prolin}}{\text{ml}} \times \frac{\text{ml toloen}}{115.5 \left(\frac{\mu\text{g}}{\mu\text{mol}} \right)} \right) / \frac{\text{gr sample}}{5}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD صورت گرفت.

نتایج

خصوصیات مورفولوژیک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای آبیاری و ارقام گیاه آفتابگردان به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، غنچه‌دهی، گلدهی، دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه، قطر ساقه و قطر طبق دارد. اثرات متقابل این تیمارها نیز بر تمامی صفات مورفولوژیک مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل رقم × آبیاری بر ارتفاع بوته نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، رقم‌هایسان ۲۵ با ۱۸۳/۷ سانتی‌متر بیشترین میزان این صفت را داشت که در مقایسه با سایر سطوح در این شرایط افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم و شدید نیز رقم‌هایسان ۲۵ به ترتیب با ۱۸۱/۶ و ۱۸۰/۸ سانتی‌متر بیشترین میزان ارتفاع بوته را داشتند که در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری داشتند. در تمامی رژیم‌های آبیاری کمترین میزان ارتفاع بوته به رقم پروگرس اختصاص داشت که در تمامی سطوح رژیم آبیاری در مقایسه با سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در بررسی اثرات متقابل رقم × آبیاری بر قطر ساقه نشان داد که در شرایط بدون تنش، ارقام آذرگل و پروگرس در مقایسه با سایر سطوح افزایش معنی‌داری از لحاظ قطر ساقه داشتند. کمترین میزان این صفت در شرایط بدون تنش نیز به رقم‌هایسان ۳۶ اختصاص داشت که با رقم گابور اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش

ملایم، رقم پروگرس دارای بیشترین میزان قطر ساقه بود که در مقایسه با سایر ارقام در این شرایط افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان قطر ساقه نیز در شرایط بدون تنش به رقم‌هایسان ۳۶ اختصاص داشت که نسبت به سایر ارقام مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، بیشترین میزان قطر ساقه به رقم گابور تعلق داشت که با رقم پروگرس اختلاف معنی‌داری نداشت. در این شرایط کمترین میزان قطر ساقه در رقم‌هایسان ۳۶ مشاهده شد که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). در بررسی اثرات متقابل رقم × آبیاری بر قطر طبق، نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش، بیشترین و کمترین میزان قطر طبق به ترتیب به ارقام پروگرس و هایسون ۳۶ اختصاص داشت که در مقایسه با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم و شدید، بیشترین میزان قطر طبق در رقم آذرگل مشاهده شد که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت در شرایط تنش ملایم و شدید نیز به رقم‌هایسون ۳۶ اختصاص داشت که در مقایسه با

سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها در برهم‌کنش رژیم آبیاری و ارقام آفتابگردان بر میزان غنچه‌دهی نشان داد که در هر ۳ تیمارهای رژیم آبیاری (بدون تنش، ملایم و شدید)، رقم گابور بیشترین میزان غنچه‌دهی را در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی داشت که این افزایش معنی‌دار بود. کمترین میزان این صفت نیز در هر ۳ تیمار آبیاری در رقم‌هایسون ۳۶ مشاهده شد که نسبت به سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات آبیاری × رقم بر گلدهی نشان داد که در شرایط بدون تنش، رقم‌هایسان ۲۵ بیشترین میزان گلدهی را داشت که در مقایسه با سایر سطوح به جز رقم گابور افزایش معنی‌داری

افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت نیز در رقم‌هایسون ۳۶ در تمامی رژیم‌های آبیاری بود که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج جدول ۳ در ارتباط با وزن هزار دانه نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، رقم آذرگل بیشترین میزان وزن هزار دانه را داشت که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی در این سطوح آبیاری افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، ارقام آذرگل و پروگرس در مقایسه با ارقام دیگر افزایش معنی‌داری در وزن هزاردانه داشتند. کمترین میزان وزن هزاردانه در تمامی سطوح آبیاری متعلق به رقم‌هایسون ۳۶ بود که نسبت به سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳).

داشت. در شرایط تنش ملایم، رقم‌هایسان ۲۵ بیشترین میزان گلدهی را داشت اما با سایر ارقام به جز رقم‌هایسون ۳۶ اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش شدید، رقم گابور بیشترین میزان این صفت را داشت که نسبت به ارقام آذرگل وهایسان ۲۵ اختلاف معنی‌داری نداشت. در کلیه سطوح آبیاری، رقم‌هایسون ۳۶ کمترین میان گلدهی را داشت که در مقایسه با سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل آبیاری × رقم بر دوره پر شدن دانه نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری (بدون تنش، تنش ملایم و شدید) بیشترین دوره پر شدن دانه در رقم پروگرس مشاهده شد که نسبت به سایر ارقام مورد بررسی در هر یک از سطوح آبیاری

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیکی ارقام گیاه آفتابگردان در رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین مربعات | | | | | | | درجه آزادی | منابع تغییر |
|--------------------|---------------------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|
| قطر | قطر | وزن هزار | دوره پر شدن | تعداد روز | تعداد روز تا | ارتفاع | | |
| طبق | ساقه | دانه | دانه | تا گل‌دهی | غنچه دهی | ساقه | | |
| ۶/۴ ^{ns} | ۰/۰۲۱ ^{ns} | ۵۰۲۱/۶* | ۱۶۲/۸۷ ^{ns} | ۲۶۹/۶۶* | ۱۸۰/۴۴** | ۴۳/۳ ^{ns} | ۱ | سال |
| ۳/۰۵ | ۰/۱۱ | ۴۵/۵۲ | ۲/۵۶ | ۲/۲۳ | ۷/۹ | ۵۴/۲۲ | ۶ | خطای سال |
| ۱۱/۰۵** | ۰/۰۶۸** | ۴۳۴/۳۹** | ۹۵/۰۹** | ۸۱/۷۲** | ۹۰/۲۲** | ۳۷/۵۹** | ۲ | آبیاری (A) |
| ۰/۰۷ ^{ns} | ۰/۰۱ ^{ns} | ۴۳۴/۳۸** | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۲/۲۴ ^{ns} | ۰/۴۶ ^{ns} | ۲ | سال × A |
| ۰/۲۷ | ۰/۰۱۲ | ۲/۳۱ | ۸/۹۶ | ۷/۶۴ | ۴/۶۶ | ۴/۵۷ | ۱۲ | خطای سال × A |
| ۱۵۷/۹** | ۰/۸۲** | ۳/۵۷* | ۱۱۳۰/۳** | ۶۵/۲۸** | ۱۱۳/۲۶** | ۶۲/۲۷** | ۴ | رقم |
| ۰/۳۴ ^{ns} | ۰/۰۱۵ ^{ns} | ۱۷۰۵/۸۶** | ۰/۰۰۲* | ۰/۰۰۶ ^{ns} | ۰/۴۹ ^{ns} | ۰/۵۶ ^{ns} | ۴ | سال × رقم |
| ۶/۸۲** | ۰/۴۸** | ۱۶/۴۸* | ۰/۹۵* | ۱/۴۴** | ۰/۶۷** | ۲۴/۰۹** | ۸ | آبیاری × رقم |
| ۰/۲۲ ^{ns} | ۰/۰۲۹** | ۶/۸۳* | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۰/۲۴ ^{ns} | ۱/۰۸ ^{ns} | ۸ | سال × آبیاری × رقم |
| ۰/۲۴۵ | ۰/۰۰۸ | ۲/۳۵ | ۰/۴۹ | ۱/۱۴ | ۰/۵۸ | ۳۶/۱۱ | ۷۲ | خطای آزمایش |

^{ns}، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳: مقایسه میانگین خصوصیات مورفولوژیکی ارقام گیاه آفتابگردان تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین صفات | | | | | | | ارتفاع ساقه (سانتی متر) | ارقام آفتابگردان | آبیاری |
|--------------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------|---------------------|----------------------------|---------------------|--------|
| گل‌دهی | دوره پر شدن دانه | وزن هزار دانه (گرم) | قطر ساقه (سانتی متر) | قطر طبق (سانتی متر) | غنچه دهی | دوره پر شدن دانه | | | |
| ۴۷/۶۷bc | ۳۷/۱۹g | ۶۶/۰۹a | ۲/۳۸a | ۲۲/۴۶b | ۳۳/۸۶c | ۱۷۳/۲f | H _۱ | | |
| ۴۷/۶۳bc | ۵۲/۷۲a | ۶۱/۲۳b | ۲/۴۳a | ۲۳/۱۸a | ۳۴/۰۷bc | ۱۶۵/۱i | H _۲ | | |
| ۴۷/۴۱ab | ۴۲/۵۲d | ۴۷/۸c | ۱/۷۶fg | ۲۱/۴۵de | ۳۷/۰۳a | ۱۷۵/۶e | H _۳ | D _۱ | |
| ۴۸/۴۱a | ۳۷/۲۲g | ۵۸/۴۵cd | ۱/۸۳f | ۱۹/۰۴i | ۳۴/۲۸bc | ۱۸۳/۷a | H _۴ | | |
| ۴۳/۹۴gh | ۳۵/۵h | ۴۶/۰۱h | ۱/۷۱gh | ۱۵/۷۹l | ۳۰/۷۵f | ۱۷۷/۳d | H _۵ | | |
| ۴۵/۶۴cde | ۳۵/۴۴h | ۶۰/۷۴b | ۲/۲۶b | ۲۲/۱۶bc | ۳۲/۵۲d | ۱۶۹/۷h | H _۱ | | |
| ۴۵/۸۹cd | ۵۰/۶۴b | ۵۸/۷۱c | ۲/۳۸a | ۲۰/۸۴fg | ۳۱/۸۲de | ۱۶۴/۴i | H _۲ | | |
| ۴۵/۸۴cde | ۴۱/۷e | ۴۵/۱۳h | ۱/۷۷fg | ۲۱/۱۳ef | ۳۴/۷۴b | ۱۷۱/۷g | H _۳ | D _۲ | |
| ۴۷/۶۶bc | ۳۷/۰۵h | ۵۴e | ۱/۷۷fg | ۱۸/۲۱j | ۳۲/۵d | ۱۸۱/۶b | H _۴ | | |
| ۴۱/۹۵i | ۳۴/۲۶i | ۴۲/۴۲i | ۱/۶۶h | ۱۴/۶۴m | ۲۸/۴۲g | ۱۷۵/۵c | H _۵ | | |
| ۴۴/۱۵fgh | ۳۴/۶۷i | ۵۸/۲۸cd | ۱/۷۴fgh | ۲۱/۷۴cd | ۳۱/۱۱ef | ۱۷۰/۶h | H _۱ | | |
| ۴۳/۴۹h | ۴۹/۱۲c | ۵۷/۱۱d | ۲/۰۳de | ۱۹/۹۷h | ۳۱/۴۳ef | ۱۶۳/۱j | H _۲ | | |
| ۴۵/۰۹def | ۳۹/۴۷f | ۴۱/۷۸i | ۲/۰۸cd | ۲۰/۵۲g | ۳۳/۶۶c | ۱۷۳/۶f | H _۳ | D _۳ | |
| ۴۴/۷۸efg | ۳۴/۱۲i | ۴۹/۹۹f | ۱/۷۷fg | ۱۸/۶۲ij | ۳۱/۱۳ef | ۱۸۰/۸b | H _۴ | | |
| ۴۱/۲۶i | ۳۲/۴۴j | ۳۹/۵۷j | ۱/۶۱h | ۱۴/۰۸m | ۲۷/۹۵g | ۱۷۱/۲f | H _۵ | | |
| ۰/۷۶ | ۰/۷۶ | ۱/۳۹ | ۰/۰۹ | ۰/۴۹ | ۰/۷۶ | ۱/۰۳ | LSD% | | |

سطوح رژیم آبیاری شامل D_۱: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A (شرایط نرمال)، D_۲: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی ملایم) و D_۳: آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی شدید). ارقام گیاه آفتابگردان شامل آذرگل (H_۱)، پروگرس (H_۲)، گابور (H_۳)، هایسان ۲۵ (H_۴) و هایسان ۳۶ (H_۵)

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

شاخص سطح برگ و خصوصیات فیزیولوژیک:

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تیمارهای آبیاری و رقم هر کدام به تنهایی در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود. برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و رقم نیز بر تمامی صفات معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها اثرات متقابل آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط بدون تنش، ارقام آذرگل و هایسون ۳۶ بیشترین میزان شاخص سطح برگ را داشتند که در مقایسه با سایر ارقام در این شرایط افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت نیز در رقم گابور مشاهده شد که در مقایسه با

سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم، رقم آذرگل بیشترین میزان سطح برگ را داشت که نسبت به سایر ارقام در این شرایط افزایش معنی‌داری داشت. در این شرایط رقم هایسان ۲۵ کمترین شاخص سطح برگ را داشت که به جز رقم آذرگل و هایسون ۳۶ با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش شدید، رقم هایسون ۳۶ بیشترین میزان این صفت را داشت که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشت. کمترین شاخص سطح برگ در این شرایط به رقم گابور اختصاص داشت که با ارقام پروگرس و هایسان

رشد محصول را کاهش داد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از سرعت جذب خالص در اثرات متقابل آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط بدون تنش، رقم پروگرس از گیاه آفتابگردان دارای بیشترین میزان سرعت جذب خالص بود که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت نیز در رقم‌هایسان ۲۵ مشاهده شد که نسبت به رقم گابور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش شدید، در رقم آذرگل افزایش معنی‌داری از لحاظ این صفت مشاهده شد که به جز رقم‌هایسون ۳۶ با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین سرعت جذب خالص نیز در رقم پروگرس بود که با ارقام گابور، هایسان ۲۵ و هایسان ۳۶ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × رقم بر میزان محتوای آب نسبی برگ نشان داد که در شرایط بدون تنش، ارقام آذرگل و گابور بیشترین میزان محتوای آب نسبی برگ را داشتند که در مقایسه با سایر ارقام این افزایش معنی‌دار بود. کمترین میزان این صفت نیز در رقم‌هایسان ۲۵ مشاهده شد که به جز رقم‌هایسان ۳۶ با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم، رقم آذرگل بیشترین محتوای آب نسبی برگ را داشت که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید بیشترین محتوای آب نسبی برگ در رقم آذرگل بود که با ارقام پروگرس و گابور تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان این صفت نیز در رقم‌هایسان ۳۶ مشاهده شد که با هایسان ۲۵ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

۲۵ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از سرعت رشد نسبی اثرات متقابل آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط بدون تنش، رقم آذرگل بیشترین میزان سرعت رشد نسبی را داشت که در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی افزایش معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت به ارقام گابور و هایسان ۳۶ اختصاص داشت که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. در شرایط تنش ملایم اختلاف معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی وجود نداشت. در شرایط تنش شدید، در رقم آذرگل بیشترین میزان سرعت رشد نسبی مشاهده شد که به جز رقم‌هایسون ۳۶ با دیگر ارقام مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان این صفت نیز در ارقام پروگرس، گابور و هایسان ۲۵ مشاهده شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × رقم بر میزان سرعت رشد محصول نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، رقم آذرگل در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌داری در سرعت رشد محصول داشت. کمترین میزان این صفت در شرایط بدون تنش در ارقام پروگرس و گابور مشاهده شد که در مقایسه با سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش ملایم، کمترین سرعت رشد محصول در ارقام پروگرس، گابور و هایسون ۳۶ مشاهده شد که نسبت به سایر ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، رقم‌هایسون ۳۶ بیشترین میزان سرعت رشد محصول را داشت که به جز رقم آذرگل با سایر ارقام اختلاف معنی‌داری داشت. در این شرایط ارقام پروگرس، گابور و هایسان ۲۵ به صورت معنی‌داری نسبت به سایر ارقام مورد بررسی سرعت

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص سطح برگ ارقام گیاه آفتابگردان تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین مربعات | | | | | درجه آزادی | منابع تغییر |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|------------|----------------|
| محتوای نسبی آب | سرعت رشد محصول (CGR) | سرعت جذب خالص (NAR) | سرعت رشد نسبی (RGR) | شاخص سطح برگ (LAI) | | |
| ۰/۰۲۳ ^{ns} | ۰/۰۰۰۳ ^{ns} | ۰/۰۰۰۳ ^{ns} | ۲/۰۸ ^{ns} | ۰/۰۰۸۳ ^{ns} | ۱ | سال |
| ۴۱/۰۶ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۱۹ | ۴/۳۵ | ۰/۰۰۸۷ | ۶ | خطای سال |
| ۴۶۵۵/۳۲ ^{**} | ۱/۷۷ ^{**} | ۰/۵۳۶ ^{**} | ۱/۲۷ ^{**} | ۹/۳۵ ^{**} | ۲ | آبیاری (A) |
| ۰/۱۸ ^{ns} | ۰/۰۰۰۷ ^{ns} | ۰/۰۰۰۱۴ ^{ns} | ۱/۵۸ ^{ns} | ۰/۰۰۰۶ ^{ns} | ۲ | سال×A |
| ۴/۸۹ | ۰/۰۰۱۲ | ۰/۰۰۲۶ | ۵/۵۴ | ۰/۰۰۵۵ | ۱۲ | خطای سال×A |
| ۱۸۴/۴۹ ^{**} | ۰/۲۷۵ ^{**} | ۰/۱۰۸ ^{**} | ۳/۵۸ ^{**} | ۰/۳۸۷ ^{**} | ۴ | رقم |
| ۰/۸۲۴ ^{ns} | ۰/۰۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰۰۹ ^{ns} | ۴/۷۹ [*] | ۰/۰۰۱۳ ^{ns} | ۴ | سال×رقم |
| ۱۶/۷۵ [*] | ۰/۰۶۳ ^{**} | ۰/۰۱۵ ^{**} | ۱/۶۳ ^{**} | ۰/۱۱۴ ^{**} | ۸ | آبیاری×رقم |
| ۱/۶۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰۹ ^{ns} | ۰/۰۰۰۱ ^{ns} | ۱/۲۱ ^{ns} | ۰/۰۰۰۶ [*] | ۸ | سال×آبیاری×رقم |
| ۶/۵۱ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۰۲۷ | ۲/۸۸ | ۲۱/۶۸ | ۷۲ | خطای آزمایش |

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵: مقایسه میانگین خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص سطح برگ ارقام گیاه آفتابگردان تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین صفات | | | | | آبیاری | هیبرید |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| محتوای نسبی آب (درصد) | سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز) | سرعت جذب خالص (گرم بر مترمربع در روز) | سرعت رشد نسبی (گرم بر مترمربع در روز) | شاخص سطح برگ | | |
| ۵۸/۶a | ۰/۷۲a | ۰/۴۸b | ۰/۰۰۰۲۷a | ۱/۵۶a | H ₁ | D ₁ |
| ۵۵/۱۸b | ۰/۴۲c | ۰/۵۸a | ۰/۰۰۰۲۴b | ۱/۴۵b | H _۲ | |
| ۵۸/۴۴a | ۰/۴۴c | ۰/۳۲de | ۰/۰۰۰۲۱c | ۱/۳۵c | H _۳ | |
| ۴۹/۹۷cd | ۰/۳۶d | ۰/۳۱de | ۰/۰۰۰۱۸d | ۱/۱۳d | H _۴ | |
| ۵۱/۱۹c | ۰/۶۱b | ۰/۳۹c | ۰/۰۰۰۲۲c | ۱/۵۳a | H _۵ | |
| ۴۷/۷۳de | ۰/۵۶b | ۰/۲۹e | ۰/۰۰۰۱۲de | ۰/۹۷e | H ₁ | D _۲ |
| ۴۴/۷۷f | ۰/۲۱e | ۰/۳۶cd | ۰/۰۰۰۱۲de | ۰/۵۸gh | H _۲ | |
| ۴۶/۷۹ef | ۰/۲۱e | ۰/۳۶cd | ۰/۰۰۰۱۲de | ۰/۵۸gh | H _۳ | |
| ۴۴/۲۹f | ۰/۱۹ef | ۰/۳۴de | ۰/۰۰۰۱۲de | ۰/۵۵hi | H _۴ | |
| ۴۴/۸۱f | ۰/۲۲e | ۰/۳۴de | ۰/۰۰۰۱۳d | ۰/۶۵fg | H _۵ | |
| ۳۶/۲۸g | ۰/۱۱gh | ۰/۲۳f | ۰/۰۰۰۱۳d | ۰/۴۸ij | H ₁ | D _۳ |
| ۳۳/۹۴g | ۰/۰۷h | ۰/۱۵g | ۰/۰۰۰۱۱e | ۰/۴۵jk | H _۲ | |
| ۳۵/۶۳g | ۰/۰۷h | ۰/۱۷g | ۰/۰۰۰۱۱e | ۰/۳۹k | H _۳ | |
| ۳۰/۲۶h | ۰/۰۷h | ۰/۱۶g | ۰/۰۰۰۱۱e | ۰/۴۳jk | H _۴ | |
| ۲۹/۸۵h | ۰/۱۴fg | ۰/۱۹fg | ۰/۰۰۰۱۲de | ۰/۷۲f | H _۵ | |
| ۲/۵۴ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۵ | ۱/۷ | ۰/۰۷ | LSD% | |

سطوح رژیم آبیاری شامل D₁: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتت تبخیر کلاس A (شرایط نرمال)، D₂: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی-متر تبخیر (تنش کم آبی ملایم) و D₃: آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم آبی شدید). ارقام گیاه آفتابگردان شامل آذرگل (H₁), پروگرس (H₂), گابور (H₃), هایسان ۲۵ (H₄) و هایسان ۳۶ (H₅)

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

رنگدانه‌های فتوستتزی و فتوستتز خالص: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و رژیم آبیاری بر محتوای رنگدانه‌های فتوستتزی، فتوستتز خالص و محتوای پرولین برگی معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با محتوای کلروفیل a نشان داد که در شرایط بدون تنش، ارقام پروگرس و گابور بیشترین میزان این صفت را داشتند که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌دار داشت. در این شرایط میزان کلروفیل a در رقم آذرگل در مقایسه با ارقام‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ افزایش معنی‌دار داشت. در شرایط تنش ملایم نیز ارقام پروگرس و گابور در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌دار از لحاظ محتوای کلروفیل a نسبت به سایر ارقام داشتند. در شرایط تنش ملایم کمترین میزان این صفت به رقم‌هایسان ۳۶ اختصاص داشت که در مقایسه با سایر ارقام کاهش معنی‌دار داشت. در شرایط تنش شدید، میزان کلروفیل a در رقم گابور به صورت معنی‌دار افزایش داشت اما بین ارقام آذرگل،‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل رقم و رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل b نشان داد که در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان کلروفیل b به ارقام پروگرس و گابور اختصاص داشت که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌دار داشتند. کمترین میزان این صفت در رقم‌هایسان ۳۶ مشاهده شد که نسبت به ارقام دیگر کاهش معنی‌دار داشت. در شرایط تنش ملایم و شدید نیز نتایج مشابهی مشاهده شد به طوری‌که در شرایط تنش ملایم و شدید، ارقام پروگرس و گابور بیشترین میزان کلروفیل b و رقم‌هایسان ۳۶ کمترین مقدار این صفت را داشتند که در مقایسه با ارقام دیگر اختلاف‌ها معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثرات متقابل ارقام آفتابگردان و رژیم‌های آبیاری بر محتوای

کاروتنوئید برگی نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، رقم گابور بیشترین میزان این صفت را داشت که نسبت به رقم پروگرس تفاوت معنی‌دار نداشت. بین ارقام آذرگل،‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد اما در مقایسه با ارقام پروگرس و گابور کاهش معنی‌دار داشتند. در شرایط تنش شدید اختلاف معنی‌دار بین ارقام گیاه آفتابگردان وجود نداشت (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین‌های مرتبط با محتوای کلروفیل کل نشان داد که در شرایط بدون تنش رقم گابور بیشترین میزان کلروفیل کل را داشت که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌دار داشت. ارقام‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ کمترین میزان کلروفیل کل را داشتند که نسبت به سایر ارقام کاهش معنی‌دار داشتند. در شرایط تنش ملایم، ارقام پروگرس و گابور بیشترین میزان کلروفیل کل و ارقام‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ کمترین مقدار را داشتند که در مقایسه با هم اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در شرایط تنش شدید، در رقم گابور محتوای کلروفیل کل به صورت معنی‌دار نسبت به ارقام آذرگل،‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ افزایش داشت. بین ارقام گابور و پروگرس تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۷). مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و ارقام گیاه آفتابگردان بر میزان فتوستتز خالص نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، رقم گابور بیشترین میزان فتوستتز خالص را داشت که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌دار داشت. بین دیگر ارقام (آذرگل، پروگرس،‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در شرایط تنش شدید، میزان فتوستتز خالص به صورت معنی‌دار در مقایسه با شرایط بدون تنش و تنش ملایم کاهش داشت اما بین ارقام گیاه آفتابگردان در شرایط تنش شدید اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۷).

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس رنگدانه‌های فتوسنتزی، فتوستت و محتوای پرولین ارقام گیاه آفتابگردان تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین مربعات | | | | | | | منابع تغییر | درجه آزادی |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|----------------|
| محتوای پرولین برگ | فتوستت خالص | غلظت کلروفیل کل | کاروتنوئیدها | میزان کلروفیل b | میزان کلروفیل a | میزان کلروفیل | | |
| ۱۱۶/۶۴* | ۰/۰۰۶ ^{ns} | ۰/۰۷۵ ^{ns} | ۰/۰۰۱۳ ^{ns} | ۰/۰۲۳ ^{ns} | ۰/۰۲۵ ^{ns} | ۰/۰۲۳ ^{ns} | ۱ | سال |
| ۹/۵۸ | ۶/۲۳ | ۶/۹۸ | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۱۲ | ۵/۶۶ | ۵/۶۶ | ۶ | خطای سال |
| ۷۵۷/۲۹** | ۳۹/۱۵** | ۵۶/۶۷** | ۳/۸۸** | ۰/۰۶۹** | ۳۳/۱۹** | ۳۳/۱۹** | ۲ | آبیاری (A) |
| ۱/۶۵ ^{ns} | ۰/۰۰۶ ^{ns} | ۰/۰۳۲ ^{ns} | ۰/۰۰۳۵ ^{ns} | ۰/۰۱ ^{ns} | ۰/۰۲۲ ^{ns} | ۰/۰۲۲ ^{ns} | ۲ | سال×A |
| ۱/۱۷ | ۳/۲۸ | ۳/۸۳ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۰۱۴ | ۲/۷۵ | ۲/۷۵ | ۱۲ | خطای سال × A |
| ۴۱/۰۶** | ۳۷/۷** | ۴۲/۷** | ۰/۰۵۵* | ۰/۸۳** | ۳۵/۹** | ۳۵/۹** | ۴ | رقم |
| ۲/۴۳ ^{ns} | ۰/۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۴۸ ^{ns} | ۰/۰۰۳۵ ^{ns} | ۰/۰۱۷ ^{ns} | ۰/۰۲۳ ^{ns} | ۰/۰۲۳ ^{ns} | ۴ | سال×رقم |
| ۴۶/۱۸* | ۰/۶۳** | ۱/۰۱۵** | ۰/۰۵۱** | ۰/۴۹** | ۰/۶۱** | ۰/۶۱** | ۸ | آبیاری×رقم |
| ۵۱۵۷/۷ ^{ns} | ۰/۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۹۴ ^{ns} | ۰/۰۰۷۴ ^{ns} | ۰/۰۲۹ ^{ns} | ۰/۰۲۴ ^{ns} | ۰/۰۲۴ ^{ns} | ۸ | سال×آبیاری×رقم |
| ۰/۳۴ | ۰/۴۳ | ۰/۵۳ | ۰/۰۰۴۶ | ۰/۰۰۹ | ۰/۴۱ | ۰/۴۱ | ۷۲ | خطای آزمایش |

^{ns}، *، ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷: مقایسه میانگین رنگدانه‌های فتوسنتزی، فتوستت و محتوای پرولین ارقام گیاه آفتابگردان تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

| میانگین صفات | | | | | | | آبیاری | هیبرید |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------|
| محتوای پرولین برگ ($\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$) | فتوستت خالص ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) | کاروتنوئیدها (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) | میزان کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) | میزان کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) | میزان کلروفیل (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) | | |
| ۵۵/۰۷ c | ۵/۲۸ b | ۶/۵۳ d | ۱/۶۹ b | ۱/۷۷ d | ۴/۷۳ b | ۴/۷۳ b | H _۱ | |
| ۵۹/۹۵ c | ۵/۶۷ b | ۸/۲۸ b | ۱/۸۲ ab | ۲/۴۴ a | ۵/۸۴ a | ۵/۸۴ a | H _۲ | |
| ۵۸/۲۴ c | ۸/۴۱ a | ۹/۲۴ a | ۱/۹۷ a | ۲/۴۸ a | ۶/۵۶ a | ۶/۵۶ a | H _۳ D _۱ | |
| ۴۷/۶۲ d | ۵/۳۱ b | ۵/۳۸ e | ۱/۷۳ b | ۱/۸۸ cd | ۳/۴۴ c | ۳/۴۴ c | H _۴ | |
| ۴۳/۳۶ d | ۴/۵۲ bc | ۴/۹۶ e | ۱/۷۱ b | ۱/۶۰ e | ۳/۳۸ c | ۳/۳۸ c | H _۵ | |
| ۶۸/۸۲ b | ۳/۸۳ c | ۵/۲۷ de | ۱/۱۷ d | ۱/۷۸ d | ۳/۳۶ c | ۳/۳۶ c | H _۱ | |
| ۸۶/۸۵ a | ۳/۸۶ c | ۷/۱۲ c | ۱/۳۸ c | ۲/۲۹ b | ۴/۷۶ b | ۴/۷۶ b | H _۲ | |
| ۷۹/۲۸ b | ۵/۵۶ b | ۷/۰۸ c | ۱/۴۲ c | ۲/۲۶ b | ۴/۸۱ b | ۴/۸۱ b | H _۳ D _۲ | |
| ۷۴/۸۵ b | ۳/۳۹ c | ۳/۹۳ f | ۱/۱۲ d | ۱/۷۲ d | ۲/۲۱ d | ۲/۲۱ d | H _۴ | |
| ۵۶/۹۷ c | ۳/۱۸ c | ۳/۰۴ f | ۱/۱۵ d | ۱/۵۸ e | ۱/۴۲ e | ۱/۴۲ e | H _۵ | |
| ۶۹/۷۸ b | ۲/۳۸ d | ۳/۱۶ f | ۱/۱۰ d | ۱/۷۳ d | ۱/۳۸ e | ۱/۳۸ e | H _۱ | |
| ۸۸/۲۴ a | ۲/۵۵ d | ۴/۲۳ ef | ۱/۱۲ d | ۲/۰۳ c | ۲/۱۸ d | ۲/۱۸ d | H _۲ | |
| ۸۷/۶۵ a | ۲/۵۸ d | ۵/۵۸ de | ۱/۱۸ d | ۲/۰۵ c | ۳/۴۵ c | ۳/۴۵ c | H _۳ D _۳ | |
| ۷۴/۴۲ b | ۲/۴۶ d | ۳/۲۶ f | ۱/۱۵ d | ۱/۷۱ d | ۱/۴۸ e | ۱/۴۸ e | H _۴ | |
| ۶۸/۹۶ b | ۱/۹۳ d | ۳/۱۲ f | ۱/۱۲ d | ۱/۵۷ e | ۱/۴۴ e | ۱/۴۴ e | H _۵ | |
| ۷/۶۶ | ۰/۶۵ | ۰/۷۳ | ۰/۰۷ | ۰/۰۸ | ۰/۶۱ | ۰/۶۱ | LSD% | |

سطوح رژیم آبیاری شامل D_۱: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A (شرایط نرمال)، D_۲: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی ملایم) و D_۳: آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر (تنش کم‌آبی شدید). ارقام گیاه آفتابگردان شامل آذرگل (H_۱)، پروگرس (H_۲)، گابور (H_۳)، هایسان ۲۵ (H_۴) و هایسان ۳۶ (H_۵)

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

خاک در سایر گیاهان از جمله نخودفرنگی (Games et al., 2005)، ذرت (Barens and Wooley, 2009)، بادام زمینی (Vorasoot et al., 2003) و عدس (Ahmadpour et al., 2016) نیز گزارش شده است. تحت تنش خشکی، عدم حفظ فشار تورگر (آماس سلول)، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه همگی می‌توانند مانع از توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه، کاهش ارتفاع و قطر ساقه شوند (Cox and Jolliff, 2000; Sikder et al., 2015). کاهش قطر طبق در اثر کمبود آب را می‌توان به این صورت توجیه کرد که گل‌های سطح طبق در طی گل‌دهی به تدریج رشد می‌کنند و هر روز چند لایه از این گل‌ها از سمت محیط بیرون به طرف داخل طبق شروع به باز شدن می‌کنند و قسمت اعظم قطر طبق در مرحله گرده‌افشانی تشکیل می‌شود و چون در این مرحله ارقام مورد بررسی با کمبود آب و عدم حفظ فشار تورگر مواجه می‌شوند در نتیجه رشد و توسعه عادی سلول‌های طبق از حالت طبیعی خارج شده و گسترش کمتری دارد (Goksoy et al., 2004).

در مراحل غنچه‌دهی، گلدهی و پرشدن دانه آفتابگردان کمبود آب باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در کاهش معنی‌دار تعداد غنچه، گل و دانه موثر است. از طرف دیگر در چنین شرایطی گیاه سعی می‌نماید دوره زندگی خود را در مدت زمان کوتاه‌تری سپری نماید (مکانیسم‌های گریز از تنش) که استفاده از این مکانیسم‌ها نیز منجر به کاهش تعداد غنچه، گل و دانه در گیاه آفتابگردان می‌شود (Khamari et al., 2007). گزارش‌های متعدد دیگر در این زمینه بیان کردند که تنش خشکی با تأثیر بر اندام‌های رویشی و زایشی سبب کاهش عملکرد نهایی گیاه می‌شود و گیاه برای جلوگیری از کاهش عملکرد سعی دارد در یک دوره کوتاه رشد خود را تکمیل نموده تا بتواند از شرایط

محتوای پرولین برگی: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات متقابل رقم و رژیم آبیاری نشان داد که در شرایط تنش ملایم و شدید محتوای پرولین برگی به صورت معنی‌داری در مقایسه با شرایط بدون تنش افزایش داشت. در شرایط بدون تنش، محتوای پرولین برگی در ارقام آذرگل، پروگرس و گابور افزایش معنی‌داری نسبت به ارقام‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ داشت اما نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. در شرایط تنش ملایم افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگی در رقم پروگرس مشاهده شد. کمترین میزان این صفت در این شرایط به رقم‌هایسان ۳۶ اختصاص داشت که نسبت به دیگر ارقام کاهش معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شدید، ارقام پروگرس و گابور بیشترین میزان پرولین برگی را داشتند که در مقایسه با سایر ارقام افزایش معنی‌داری داشتند. بین ارقام آذرگل،‌هایسان ۲۵ و‌هایسان ۳۶ از لحاظ محتوای پرولین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷).

بحث

از مهمترین اثرات تنش کم‌آبی در گیاهان کاهش رشد اندام هوایی نظیر ارتفاع گیاه، وزن خشک بوته، تعداد برگ و قطر ساقه است که دلایل اصلی آن کاهش ترشح هورمون‌های رشد، افزایش مواد بازدارنده رشد، کاهش تقسیم سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و مکانیسم‌های گریز از تنش گزارش شده است (Bayoumi et al., 2008; Hosseinzadeh et al., 2016). مطالعات نشان داده است که بیشتر بودن ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی نشان دهنده رشد بهتر ارقام متحمل و تحمل بهتر شرایط کم‌آبی است (Rahbarian et al., 2011; Ahmadpour et al., 2016). کاهش ارتفاع گیاه در شرایط کمبود آب در

گسترش سیستم ریشه‌ای به لایه‌های بالایی خاک محدود شده و منجر به پیری زودرس در برگ‌ها و ریشه‌ها شده که این شرایط سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ می‌گردد (Wang et al., 2003; Amiri et al., 2017).

سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول از شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم در ارزیابی مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری، گرما و غیره به‌شمار می‌رود (Xu et al., 2009). سرعت رشد محصول در حقیقت مشخص‌کننده توسعه بافت گیاه و ثبات آن تعیین‌کننده مقدار ماده خشک تولیدی است و سرعت رشد نسبی نیز بیان‌کننده تجمع ماده خشک در واحد زمان است (Karimi and Siddique, 1991). این شاخص‌ها نسبت مستقیم با ماده خشک گیاه دارند بنابراین کاهش ماده خشک در شرایط تنش خشکی تأثیر مستقیم بر سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول دارد (Karimi and Siddique, 1991). مطالعات متعدد در این زمینه نشان داده است که در شرایط تنش خشکی با بسته شدن روزنه‌ها، میزان فتوسنتز خالص و تولید مواد غذایی به طور معنی‌داری کاهش یافته و در چنین شرایطی گیاهان به جای صرف انرژی برای تولید ماده غذایی و افزایش ماده خشک گیاه، به انتقال و توزیع مواد غذایی موجود می‌پردازد (Xu et al., 2009; Soleymanifard et al., 2011). نتایج این پژوهش نشان داد که در تمامی ارقام مورد بررسی تنش کمبود آب موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های مورد بررسی شد.

محتوای آب نسبی برگ به عنوان یک شاخص مهم در سنجش میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی شده و مطالعات متعدد نشان داده است که محتوای آب نسبی بالا در یک گیاه در شرایط تنش کم‌آبی نشان‌دهندهٔ متحمل بودن آن گیاه نسبت به

بحرانی گذر نماید (Razi and Asaad, 1998; Goksoy et al., 2004). در مطالعه بر روی گیاه افتابگردان مشاهده شد که تنش خشکی باعث تسریع در رسیدگی فیزیولوژیک و کاهش طول دوره پر شدن دانه شد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (Roshdi et al., 2006). همزمانی دوره پر شدن دانه با تنش رطوبتی در تیمارهای تنش و کوتاه شدن این دوره به دلیل کاهش سطح برگ و برخی خصوصیات مورفولوژیک نظیر تعداد برگ، تعداد دانه در طبق، کاهش مساحت طبق عامل اصلی کاهش وزن هزار دانه می‌باشد (Karimzaded-Asl et al., 2003).

شاخص سطح برگ یک کمیت اساسی برای نشان دادن وضعیت رشدی گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی می‌باشد (Naderi Darbaaghshahi et al., 2005). سطح برگ بیشتر در یک گیاه نمایان‌گر ظرفیت فتوسنتزی بیشتر و گنجایش بیشتر به‌عنوان منبع ثانویه جهت ذخیره مواد فتوسنتزی است (Amiri et al., 2017). ثابت شده است که کاهش آب در بستر کشت گیاهان، تأثیر مستقیمی بر کاهش سطح و تعداد برگ‌ها دارد (Gunes et al., 2006). در این مطالعه نیز سطوح تنش آبی در مقایسه با شرایط بدون تنش شاخص سطح برگ را در تمامی ارقام مورد بررسی کاهش داد. افزایش خصوصیات مورفولوژیک برگ در ارقام متحمل به تنش آبی دلیلی بر مقاومت و برتری آنها نسبت به ارقام حساس است به طوری که اثرات منفی تنش کمبود آب بر آنها بی‌تأثیر بوده است (Guerfel et al., 2008). کاهش سطح و تعداد برگ در زمان تنش آبی با پیری زودرس ارتباط مستقیم دارد که خود عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش کمبود آب می‌باشد (Gunes et al., 2006). وجود رطوبت کافی و مناسب، خصوصیات رشدی اندام هوایی و ریشه‌ها را افزایش می‌دهد، به طوری که با کاهش رطوبت خاک، توسعه و

رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Ahmadpour et al., 2017). گزارش‌های متعددی بیان می‌کند، ارقامی که از مکانیسم‌های کارآمدتری برای جلوگیری از کاهش شدید تعرق و حذف گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن برخوردار باشند، قادر به تحمل بهتر شرایط تنش آبی هستند (Khavari-Nejad, 1988; Cox and Jolliff, 2000; Hassanpour et al., 2012). ارقام متحمل با حفظ انتقال غیرفعال در آوند چوب در جهت صعود آب و عناصر مغذی، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم نمایند و نیز با فعالیت بیشتر سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی قادرند از تجزیه فتوسیستم‌ها و رنگدانه‌ها جلوگیری کنند (Barents and Wooley, 2009; Helal and Samir, 2008). بنابراین، کاهش شدید رنگدانه‌ها در سطوح بالای تنش آبی، می‌تواند به دلیل کاهش انتقال مواد معدنی و آب مورد نیاز برگ‌ها در اثر کاهش مکش ناشی از تعرق در آوند چوب و افزایش تنش اکسیداتیو ناشی از ROS در سلول‌های برگ و تجزیه این رنگدانه‌ها باشد (Hosseinzadeh et al., 2016). در این مطالعه تنش شدید منجر به کاهش معنی دار رنگدانه‌های فتوسنتزی در مقایسه با شرایط بدون تنش شد و در بین ارقام مورد بررسی نیز مشاهده شد که ارقام پروگرس و گابور نسبت به ارقام آذرگل، هایسان ۲۵ و هایسان ۳۶ تحمل بیشتری نسبت به شرایط تنش ملایم و شدید داشت.

تنش کم‌آبی عموماً با کاهش آب قابل دسترس در خاک رخ می‌دهد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان نسبت به شرایط کمبود آب می‌گردد (Johnson et al., 2002; Ganjeali et al., 2011). در این میان تغییرات فیزیولوژیک در برگ‌ها و سیستم فتوسنتزی گیاهان در شرایط تنش کمبود آب نقش مهمی در تحمل به تنش ایفا می‌کند (Singh et al., 2007; Piper et al., 2005). مهم‌ترین عوامل

شرایط تنش است (Rahbarian et al., 2011; Yordanov et al., 2003). حفظ آب برگ در اثر کاهش تبخیر و تعرق یک مکانیسم مهم اجتناب از تنش خشکی است. مطالعات متعدد نشان داده است که قدرت حفظ آب موجود در برگ در شرایط تنش کمبود آب، در ارقام حساس کاهش می‌یابد (Beck et al., 2017; Amiri et al., 2007). ارقام مقاوم به تنش کمبود آب مکانیسم‌هایی برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدررفتن آن دارند، یکی از این مکانیسم‌ها کاهش سطح برگ در جهت کاهش میزان تبخیر سطحی و تعرق و همچنین تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها در این شرایط است (Hosseinzadeh et al., 2016). تفاوت ارقام مختلف از نظر میزان نسبی آب برگ به تفاوت آنها در میزان جذب آب از خاک، کارایی سیستم ریشه‌ای و قدرت کنترل هدرروی آب از طریق روزنه‌ها مربوط می‌شود (Galle et al., 2002). در گیاهان ذرت، لوبیا، نخود و گندم، میزان نسبی آب برگ به عنوان نشانگر جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی شده است (Galle et al., 2002; Helal and Samir, 2008; Hosseinzadeh et al., 2017; Rasti Sani et al., 2014).

تغییرات در رنگدانه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها علاوه بر تنش‌های محیطی، تحت تأثیر نوع ژنوتیپ و مرحله فنولوژیکی گیاه نیز قرار دارد (Amiri et al., 2018). گیاهان در مقابله با تنش آبی به منظور حفظ آب برگ، با بستن روزنه‌ها تعرق را کاهش می‌دهند اما از سوی دیگر به انتقال غیرفعال در آوند چوب آسیب وارد می‌کند (Ahmadpour et al., 2017). از طرف دیگر کمبود آب منجر به اختلال در واکنش‌های نوری فتوسنتز و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) شده که در نهایت منجر به تخریب فتوسیستم‌های نوری و کاهش

به فعال‌سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین، کاهش تخریب آن در اثر اکسیداسیون و کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین‌ها اشاره کرد (Roche et al., 2009; Hosseinzadeh et al., 2017). پرولین در سلول‌های تحت تنش به دلیل خاصیت هیدروفیلی قادر است جایگزین مولکول‌های آب در اطراف نوکلئیک اسیدها، پروتئین‌ها و مولکول‌های غشایی گردد و بدین وسیله از ساختار غشاء سلول محافظت می‌کند (Bayoumi et al., 2008). نقش اصلی دیگر انباشت پرولین و برخی دیگر از پروتئین‌های محلول برگ‌تنظیم اسمزی در سلول‌های برگ است، بدین صورت که با کاهش پتانسیل اسمزی و در نتیجه کاهش پتانسیل آب منجر به از یک سو منجر به جذب بیشتر آب به درون سلول و از سوی دیگر باعث حفظ آب در داخل سلول می‌شوند (Ahmadpour et al., 2016; Amiri et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج خصوصیات فیزیولوژیک پژوهش حاضر نشان داد که صفات فتوسنتزی نظیر رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a, b، کاروتنوئیدها، کلروفیل کل)، فتوسنتز خالص و میزان پرولین برگ‌تنظیم در شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید در تمامی صفات ذکر شده ارقام پروگرس و گابور در مقایسه با سایر ارقام برتری معنی‌داری داشت.

محدود کننده فتوسنتز در شرایط تنش رطوبتی عبارتند از: ۱- عوامل محدود کننده روزنه‌ای، که با بسته شدن روزنه‌ها همراه بوده و ورود CO₂ به عنوان گهرمایه آنزیم روبیسکو را محدود می‌کند، در نتیجه با کاهش CO₂ در اطراف آنزیم روبیسکو، فرآیند اکسیژناسیون (تنفس نوری) به جای کربوکسیلاسیون (فتوسنتز) انجام خواهد شد. ۲- عوامل محدود کننده غیر روزنه‌ای که شامل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش مقدار و فعالیت آنزیم روبیسکو، مهار سنتز ریبولوز بیس فسفات، کاهش فسفریلاسیون نوری و کاهش تولید عوامل احیایی در اثر اختلال در زنجیره انتقال الکترون می‌باشد (Pagter et al., 2005; Hosseinzadeh et al., 2016). نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شدید منجر به کاهش معنی‌دار فتوسنتز خالص در تمامی ارقام مورد بررسی نسبت به شرایط بدون تنش و تنش ملایم شد. در بین ارقام مورد بررسی در شرایط تنش ملایم رقم گابور تحمل بیشتری نسبت به دیگر ارقام داشت اما در شرایط تنش شدید مشاهده شد که تمامی ارقام از لحاظ فتوسنتز خالص با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند.

تجمع پرولین و برخی پروتئین‌ها در برگ و ریشه به‌منظور حفظ فشار تورژسانس سلول‌های گیاهی قسمتی از مکانیسم‌های مقاومت در برابر تنش رطوبتی است (Nadeem et al., 2002). از مهمترین دلایل تجمع پرولین در شرایط تنش آبی می‌توان

References

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R. and Chashiani, S. (2016). Study of root morpho-physiological and biochemical characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in response to moisture stress. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Resarch. 2(2): 123-135.

Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N., Chashiani, S. (2017). Evaluation of growth features, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of lentils cultivars in response to water stress. Nova Biologica Reperta. 4(3): 226-235.

Amiri, H., Dousty, B. and Hosseinzadeh, S.R. (2018). Water Stress-induced Changes of

- Morphological, Physiological and Essential Oil Compounds in *Thymus eriocalyx* from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 21(5): 1210-1223.
- Amiri, H., Ismaili, A. and Hosseinzadeh, S.R. (2017).** Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Compost Science and Utilization*. 25(3): 152-165.
- Baloglu, M.C., Kavas, M., Aydin, G., Öktem, H.A. and Yücel, A.M. (2012).** Antioxidative and Physiological Responses of Two Sunflower (*Helianthus annuus*) Cultivars under PEG-Mediated Drought Stress, *Turkish Journal of Botany*. 36(6): 707-714.
- Barens, D.L. and Wooley, D.G. (2009).** Effects of moisture stress at different stages of growth, Comparison of a single – eared and two – eared corn hybrid. *Agronomy Journal*. 61: 788-790.
- Bayoumi, T.Y., Eid, M. and Metwali, E.M. (2008).** Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*. 7: 2341-2352.
- Beck, E., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K. and Bhattarai, T. (2007).** Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of Bioscience*. 32: 501-510.
- Bian, Sh. and Jiang Y. (2008).** Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*. 120: 264-270.
- Chimentì, C.A., Pearson, J. and Hall, A.J. (2002).** Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research*. 75: 235-246.
- Cox, W.J. and Jolliff, G.D. (2000).** Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal*. 78:226-230.
- Galle, A., Csiszar, J., Tari, I. and Erdei, L. (2002).** Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. *Acta Biologica Szegediensis*. 46: 85-86.
- Gamze, O., Mehmet Demir, K.A. and Mehmet A.T. (2005).** Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 29: 237-242.
- Ghaffari, M., Toorchi, M., Valizadeh, M. and Shakiba, M.R. (2012).** Morpho-Physiological Screening of Sunflower Inbred Lines under Drought Stress Condition. *Turkish Journal of Field Crops*. 17(2):185-190.
- Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Dagusta, N. (2004).** Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*. 87: 167-178.
- Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W. and Zarrouk, M. (2008).** Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 1: 1-7.
- Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E. and Guzelordu, T. (2006).** Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil Environment*. 52: 868-876.
- Hashemi Dezfoli, A., Kocheiki, A. and Banayan Aval, M. (1995).** Increasing the yield of crops. Publications by University of Mashhad. 183pp.
- Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R.A., Niknam, V., Najafi, F. and Razavi, K. (2012).** Effects of penconazole and water deficit stress on physiological and antioxidative responses in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). *Acta Physiologica Plantarum*. 34(4): 1537-1549.
- Helal, R.M. and Samir, M.A. (2008).** Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of crop science*. 1: 31-36.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016).** Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*. 54(1): 87-92.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2017).** Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition* 40(16): 2259-2268.
- 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.

- Karimi, M.M. and Siddique, K.H.M. (1991).** Crop growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42:13-20.
- Karimzaded-Asl, KH., Mazaheri, D., Peghambari, S.A. (2003).** Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitative characteristics of three sunflower cultivar. *Iranian Journal Agriculture Science*. 34 (2). 293-301.
- Khamari, S., Ghasemi, K., Alyari, H. and Zehtab Salmasi, S. (2007).** The effect of irrigation on phenology and yield of three sunflower cultivars in Tabriz. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(6): 72-80.
- Khavari-Nejad, R.A. (1988).** Effects of Ca/Na interaction on carbon dioxide exchange and growth of NaCl-stressed sunflower plants. *Photosynthetica*. 22(4): 562- 566.
- Nadeem, T.M.H., Imran, M. and Kamil Husain, M. (2002).** Evaluation of sunflowers in bred lines for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*. 10: 398-400.
- Naderi Darbaaghshahi, M., Normohammadi, Gh., Majidi, A., Darwish, F., Rad, A. and Madani, H. (2005).** Investigating the response of summer safflower to different drought stress in Isfahan region. *Journal of Agricultural Sciences*. 7(3): 225-212.
- Nagarathna, T.K., Shadakshari, Y.G., Ramakrishna, P.V.R., Jagadish, K.S. and Puttarangaswamy, K.T. (2012).** Examination of root characters, isotope discrimination, physiological and morphological traits and their relationship used to identify the drought tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *Helia*. 35(56): 1-8.
- NeSmith, D.S. (1992).** Estimating summer squash leaf area nondestructively. *Horticulture Science*. 27(1): 77-86.
- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. (2005).** Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*. 81: 285-299.
- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. (2011).** Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. *Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica*. 53: 47-56.
- Rasti Sani, M., Lahouti, M. and Ganjeali, A. (2014).** Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Resarch*. 5(1):103-116.
- Razi, H. and Asaad. T. (1998).** Evaluation the change of important agronomic traits and drought stress tolerance related criteria in sunflower cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2(1): 31-43.
- Roche, J., Hewezi, T., Bouniols, A. and Gentzbittel, L. (2009).** Real-time PCR monitoring of signal transduction related genes involved in water stress tolerance mechanism of sunflower. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47: 139-145.
- Roshdi, M., Heydari Sharifabad, H., Karimi, M., Nourmohammadi, GH. and Darvish, F. (2006).** A Syrvey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal Agriculture Science*. 12(1): 109-121.
- Sikder, S., Foulkes, J. and West, H. (2015).** Evaluation of photosynthetic potential of wheat genotypes under drought condition. *Photosynthetica*. 53: 47-54.
- Soleymanifard, A., Pourdard, S.S., Naseri, R. and Mirzaei, A. (2011).** Effect of planting pattern on phonological characteristics and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 13(2): 282-298.
- Vorasoot, N., Songsri, P., Akkasaeng, C., Jogloy, S. and Patanothi, A. (2003).** Effect of water strees on yield and agronomic characters of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*. 25: 283-288.
- Wang, W., Vinocur, B. and Altman, M.A. (2003).** Plant responses to drought towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1-14.
- Xu, Z., Zhou, G. and Shimizu, H. (2009).** Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass? *Journal of Experimental Botany*. 60: 3737-3749.
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2003).** Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgharestan Journal of Plant Physiology*. 2: 187-206.