مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۳، شماره ۴، ۱۳۹۱ (۶۵۹-۶۴۹)

ارتباط برخی خصوصیات فیزیولوژیک با عملکرد در گلرنگ بهاره در دو رژیم آبیاری

شیما فتحیان [۱] و پرویز احسان‌زاده [۲*]
۱، ۲، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
(تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۸ – تاریخ تصویب: ۹۱/۷/۶)

چکیده

به منظور بررسی ارتباط سرعت فتوسنتز، سطح فتوسنتز کننده و میزان پرولین برگ با عملکرد و اجزائ عملکرد گیاه گلرنگ در رژیم های مختلف آبیاری، پژوهشی در سال ۱۳۸۶ با استفاده از طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. در این تحقیق رژیم آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A شامل دو سطح آبیاری بدون تنش (۸۰ میلی‌متر تبخیر) وتنش (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر)، فاکتور اصلی و شش ژنوتیپ گلرنگ شامل اراک ۲۸۱۱، کوسه، نبراسکا –۱۰، C_{111}، S_{149} و K_{12} به عنوان فاکتور فرعی بودند. سرعت فتوسنتز خالص در دو مرحله طبق دهی و گلدهی، شاخص سطح برگ (LAI) و محتوای پرولین برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، تعداد طبق در بوته، دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و ماده خشک و درصد و عملکرد روغن اندازه گیری شدند. در هر دو مرحله طبق‌دهی و گل-دهی، تاثیر ژنوتیپ و رژیم آبیاری بر فتوسنتز برگ معنی‌دار بوده و ضمن آنکه کمترین مقادیر میانگین فتوسنتز در ژنوتیپ S_{149} مشاهده شد، رژیم آبیاری تنش باعث بیش از ۵۰ درصد کاهش در میانگین سرعت تثبیت گاز دی‌اکسید کربن شد. محدودیت رطوبت منجر به تجمع پرولین در برگ گلرنگ شد و ضمن آنکه بیشترین میانگین غلظت پرولین برگ در ژنوتیپ کوسه مشاهده شد، میانگین غلظت پرولین برگ بیش از ۸۳ درصد افزایش یافت. همچنین رژیم آبیاری تنش با بیش از ۲۷ درصد کاهش در میانگین شاخص سطح برگ و کاهش در تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن دانه در طبق، عملکرد دانه در هکتار را بیش از ۴۶ درصد و عملکرد ماده خشک را بیش از ۳۴ درصد کاهش داد. ژنوتیپ نبراسکا-۱۰ کمترین میانگین شاخص سطح برگ، C_{111} کمترین میانگین عملکرد دانه، کوسه کمترین میانگین عملکرد ماده خشک و S_{149} کمترین میانگین درصد روغن دانه در میان ژنوتیپ ها را نشان دادند. در مجموع چنین نتیجه‌گیری شد که رژیم آبیاری تنش با تاثیر منفی بر میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ و همچنین میزان سطح برگ سبب افت عملکرد دانه و ماده خشک گلرنگ شده و افزایش میزان پرولین برگ منجر به بهبود مقاومت به خشکی حداقل در ژنوتیپ های مورد استفاده در این آزمایش نشد.

واژه های کلیدی: گلرنگ، تثبیت دی‌اکسید کربن، عملکرد ، رژیم آبیاری.

مقدمه

عمده‌ترین محدودیت در تولید محصولات زراعی در جهان از جمله گیاهان دانه روغنی، کمبود آب می‌باشد که وقوع آن می‌تواند به ویژه در مرحله گل‌دهی گیاهان خسارت‌زا باشد. گیاه گلرنگ با داشتن ریشه عمیق و گسترده نسبتاً به خشکی مقاوم است. با این حال، نتایج

* نویسنده مسئول: پرویز احسان‌زاده تلفن: ۰۹۱۳۳۱۶۳۳۵۰ E-mail:ehsanp@cc.iut.ac.ir

مطالعات مختلف حاکی از آن است که وجود تنش شدید کمبود آب منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه گلرنگ می‌گردد. در مطالعه ای (Hamrouni et al., 2001) تنش خشکی موجب کاهش طول دوره رشد گیاه، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی و عملکرد دانه گلرنگ شد. بعلاوه، تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن دانه و همچنین محتوای اسید لینولئیک و اسید لینولنیک روعن دانه شد. کاهش چشمگیر عملکرد دانه گلرنگ در اثر کمبود رطوبت خاک در شرایط آب و هوایی ترکیه گزارش شده است (Istanbulluoglu, 2009 & Istanbulluoglu et al., 2009). کاهش نزدیک به ۲۰ درصدی در عملکرد دانه گلرنگ در اثر کمبود آب در شرایط آب و هوایی آذربایجان غربی گزارش شده است (Pasban Eslam, 2011). در ذرت نیز گزارش شده است که ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و رشد رویشی در صورت وقوع خشکی، کاهش می‌یابد، همچنین تنش کمبود آب سرعت رشد رویشی ذرت را ۲۸ تا ۳۲ درصد کاهش داد (Cakir, 2002). در لوبیا تنش خشکی شاخص سطح برگ و شاخص برداشت را کاهش می دهد (De-Coasta et al., 1999).

فتوسنتز حساسیت زیادی به تنش کمبود آب داشته و از دو طریق تحت تاثیر این تنش قرار می‌گیرد. اول آنکه بسته شدن روزنه‌ها دسترسی کلروپلاست را به دی-اکسید کربن قطع می‌کند. دوم آنکه، پایین بودن پتانسیل آب سلول تاثیرات مستقیمی بر ساختمان اجزای دخیل در فتوسنتز سلولی دارد (Hopkins, 1999).در اثر آسیب به اجزای فتوسنتزی انتقال الکترون فتوسنتزی ممکن است دچار اختلال و یا حتی آسیب شود و تاثیر منفی کمبود آب بر کارآیی کوانتومی فتوسیستم فتوسنتز در گلرنگ گزارش شده است (Maghami, 2012). مطالعات (Glaimes et al., 2006 & Heerden et al., 2007) نشان داده اندکه با تشدید تنش خشکی روزنه‌ها بسته شده و این موضوع منجر به کاهش ورود دی‌اکسید کربن به داخل برگ و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز می شود. در مطالعه اخیر گزارش شده است که اولین اثر تنش خشکی در دو گونه گیاه بیابانی بسته شدن روزنه‌ها است که این امر منجر به کاهش سرعت تبادل دی‌اکسید کربن می‌گردد. کاهش پتانسیل آب خاک به حدود ۲- مگاپاسکال سرعت جذب خالص دی اکسید کربن در درخت قهوه را به میزان ۶۱ تا ۷۱ درصد کاهش داد (Sidney و2006). در گیاه چغندرقند نیز تنش خشکی منجر به کاهش سرعت جذب خالص دی اکسید کربن می‌شود (Bloch, 2006).

علاوه بر میزان و سرعت فتوسنتز، سطوح فتوسنتزکننده گیاهی نیز ممکن است تحت تاثیر کمبود آب قرار گیرند. کاهش چشمگیر مقدار شاخص سطح برگ گلرنگ در اثر کمبود آب گزارش شده است (Milady Lary & Ehsanzadeh, 2011 ; Pourqasemian & Zahedi, 2009). از جمله واکنش های گیاهان مختلف به تنش کمبود آب تنظیم اسمزی می باشد. مواد محلولی که در جریان تنظیم اسمزی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل انواعی از یون‌های معدنی (بویژه یون پتاسیم)، قندها و اسیدهای آمینه‌اند. اسید آمینه‌ای که بویژه به تنش حساس است پرولین می باشد(Hopkins, 1999).آزمایش ها (Maghami, 2011;) نشان داده اند که غلظت پرولین برگ گلرنگ ممکن است در شرایط کمبود آب تا ۲-۴ برابر افزایش یابد. افزایش ۵۹ درصدی در غلظت پرولین برگ کنجد (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2011) و افزایش پرولین در اثر تنش کمبود آب در ریشه چغندرقند نیز گزارش شده است (Monreal et al., 2006). اگر چه افزایش غلظت پرولین در گیاه به عنوان پاسخی در جهت سازگاری با تنش محسوب می شود ولی حداقل در مورد گلرنگ ضمن افزایش در غلظت پرولین عملکرد گیاه کاهش می یابد (Maghami, 2012). گیاه گلرنگ یک گیاه مهم زراعی در جهان و به ویژه کشورهای غربی و توسعه یافته محسوب نشده و به همین علت منابع و اطلاعات علمی موجود در رابطه با خصوصیات فیزیولوژیک آن اندک است. اگرچه طی چند سال گذشته چندین مطالعه مرتبط با شناسایی واکنش گلرنگ به کمبود آب در کشور و به ویژه اصفهان صورت گرفته است، اما مطالعه توام وضعیت فتوسنتز و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گلرنگ در پاسخ به تنش‌های محیطی به ویژه خشکی چندان مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین، هدف از انجام آزمایش حاضر بررسی تاثیر

تنش کمبود آب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و ارتباط آنها با عملکرد دانه در شش رقم گلرنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح دریای آزاد) اجرا شد. آزمایش با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی عبارت از شش ژنوتیپ گلرنگ شامل اراک ۲۸۱۱، نبراسکا-۱۰، کوسه، لاین اصلاحی C_{111} (انتخاب شده از توده محلی اصفهان)، لاین اصلاحی S_{149} (انتخاب شده از توده محلی خراسان) و لاین اصلاحی K_{12} (انتخاب شده از توده محلی کردستان) و دو سطح رژیم آبیاری بود. فاکتور اصلی رژیم آبیاری و بر اساس تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A شامل دو سطح آبیاری پس از ۸۰ (به عنوان شاهد و بدون تنش) و ۱۴۰ (به عنوان تنش کم آبی) میلی‌متر تبخیر بود (Aseesi, 2006). بر اساس آزمون خاک، موجودی فسفر و پتاسیم خاک کافی بود، ولی برای جبران کمبود منبع نیتروژن معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار اوره به خاک محل آزمایش داده شد. بذر ژنوتیپ های گلرنگ به صورت جوی و پشته با فاصله ۸ سانتی متری بر روی ردیفهای به فاصله ۴۵ سانتی متر از هم در تاریخ ۲۷ و ۲۸ اسفند ۱۳۸۵ کاشته شد. هر کرت شامل ۸ ردیف ۴ متری بود و تا استقرار کامل بوته ها آبیاری تمام کرت ها به صورت یکسان و طبق نیاز صورت گرفت. اعمال رژیم های آبیاری پس از استقرار بوته‌ها و تنک کردن آنها آغاز شد. برای جلوگیری از گسترش علف‌های هرز، علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار مایع امولسیون‌شونده (قبل از رویش گلرنگ)، به آب اضافه شد. جهت مبارزه با مگس گلرنگ از سم کلروپیروفوس (با نام تجاری آریسبان) از مایع امولسیون شونده ۴۰/۸ درصد با غلظت ۲ درهزار استفاده شد. در دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی سرعت فتوسنتز خالص توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی (Ultera Compact (LCi) Photosynthesis Measurement System.,UK) اندازه‌گیری شد. بدین منظور از جوانترین برگ کامل روی ساقه اصلی استفاده شد. برای به حداقل رساندن اثر تغییرات روزانه در شدت جریان فوتون فتوسنتزی بر سرعت فتوسنتز خالص تمام اندازه-گیری ها بین ساعات ۹ تا ۱۰ صورت گرفت.

به منظور اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Green Leaf Area Meter, GA5- Japan) نمونه‌برداری از هفت بوته در روی ردیف دوم هر کرت در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به عمل آمد. شاخص سطح برگ هر کرت پس از میانگین‌گیری از کل سطح برگ هفت بوته و تقسیم عدد حاصل بر سطح زمین زیر هر بوته، بدست آمد. برای اندازه‌گیری میزان پرولین تجمع یافته در گیاه، در مرحله ۵۰ درصد گل دهی تعدادی برگ به طور تصادفی از هر کرت برداشت شد و با کمک روش بیتز (Bates et al., 1973) اندازه-گیری پرولین با سنجش میزان جذب نمونه ها در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر انجام شد. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی کامل ۱۰ بوته از هر کرت با رعایت حاشیه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد و پس از آنکه وزن خشک آنها ثابت گردید تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

برای محاسبه عملکرد دانه در واحد سطح مساحتی معادل ۳/۵ مترمربع از ۴ ردیف میانی با رعایت حاشیه برداشت گردید و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری، دانه‌ها با ترازو توزین شدند. جهت اندازه‌گیری روغن دانه از روش سوکسله و حلال پترولیوم اتر استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری اس. آ. اس (SAS) تجزیه واریانس شدند. در صورت معنی‌دار بودن اثر تیمارهای آزمایشی، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. ضرایب دو به دو همبستگی بین صفات نیز محاسبه شد.

نتایج و بحث

تاثیر رژیم آبیاری بر سرعت فتوسنتز خالص برگ در هر دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی، در سطح احتمال یک

درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میانگین میزان دی‌اکسید کربن تثبیت شده در مرحله طبق‌دهی در رژیم آبیاری معمولی ۴/۵ و در رژیم آبیاری تنش ۱/۹۷ میکرو مول در متر مربع در ثانیه بدست آمد (جدول ۲). در مرحله گل دهی نیز میانگین تثبیت دی‌اکسید کربن در رژیم آبیاری معمولی و رژیم آبیاری تنش به ترتیب ۵/۶۷ و ۲/۷۷ میکرومول در متر مربع در ثانیه بدست آمد. در مجموع تنش کمبود آب باعث ۵۶ و ۵۱ درصد کاهش در میانگین تثبیت گاز دی‌اکسید کربن به ترتیب در دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی شد. بین ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ از لحاظ میزان دی‌اکسید کربن تثبیت شده در هر دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). بیشترین میانگین میزان تثبیت دی‌اکسید کربن هر دو مرحله در ژنوتیپ کوسه و کمترین میانگین در ژنوتیپ‌های S_{149} و C111 مشاهده شد (جدول ۲). اگر چه اثر متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ برای میزان فتوسنتز خالص در مرحله طبق‌دهی معنی-دار نشد، ولی این اثر در مرحله گل‌دهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۱). در تمامی ژنوتیپ‌ها در رژیم آبیاری تنش، افت قابل توجهی در میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در هر دو مرحله مشاهده شد، که شاید نشان‌دهنده آسیب‌پذیری ماشین فتوسنتزی این ژنوتیپ‌ها در برابر تنش کمبود آب باشد (جدول ۵). در رژیم آبیاری معمولی ژنوتیپ‌های اراک۲۸۱۱ با ۶/۴۰ و کوسه با ۶/۲۲ بیشترین مقدار سرعت فتوسنتز خالص را داشتند، اما در رژیم آبیاری تنش بیشترین میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در ژنوتیپ کوسه (۳/۰۲) مشاهده شد (هر چند تفاوت آن با سایر ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود) که می‌تواند بیانگر حساسیت کمتر دستگاه فتوسنتزی این ژنوتیپ در برابر تنش کمبود آب باشد. منشا ژنوتیپ کوسه از توده محلی اصفهان است و با شرایط اقلیمی اصفهان سازگاری بیشتری دارد. شاید همین عامل در کاهش کمتر در میزان تثبیت دی‌اکسید کربن این ژنوتیپ در رژیم آبیاری تنش موثر بوده است. تنها آزمایش قبلی موجود بر روی فتوسنتز گلرنگ (Dordas et al., 2008) نشان داده است که با افزایش مصرف کود نیتروژن فتوسنتز گلرنگ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. در آزمایش فوق میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در شرایط شاهد بدون کود ۳/۴۹ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه بدست آمد، که با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن تثبیت دی‌اکسید کربن به ترتیب به ۴/۹۱ و ۵/۳۱ افزایش یافت. در مطالعه ای (Aranda ., 2005 et al) تاثیر متقابل تنش کمبود آب و سایه‌اندازی درگیاه یولاف بررسی شد و مشخص شد که هم در شرایط نور کافی و هم در سایه‌اندازی تنش کمبود آب منجر به کاهش معنی‌دار فتوسنتز یولاف می شود. در مطالعه ای دیگر (Joao – Correia et al ., 2006) اثر همزمان تشعشع بالا و خشکی شدید روی آفتابگردان بررسی شد و معلوم شد که در این شرایط میزان تبادل گازی و آسیمیلاسیون دی اکسیدکربن کاهش می یابد. کاهش میزان تثبیت دی اکسید کربن در اثر تنش کمبود آب در برنج (Widodo et al., 2003)، قهوه و لوبیا قرمز (Miyashita et al., 2005) نیز گزارش شده است.

جدول۱- خلاصه تجزیه واریانس میزان فتوسنتز در دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی، شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی و میزان پرولین در شش ژنوتیپ گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فتوسنتز (طبق‌دهی)	فتوسنتز (گل‌دهی)	شاخص سطح برگ	پرولین
بلوک	۳	۰/۳۸	۰/۲۳	۰/۰۷	۱۴۴۳۶/۵۱
آبیاری	۱	۷۹/۳۱**	۱۰۱/۵**	۱۲/۵۱**	۸۰۸۸۰۳۲/۲۴۷**
خطای الف	۳	۰/۶۶	۰/۰۲	۰/۵۳	۶۷۸۴/۹۳
ژنوتیپ	۵	۰/۵۶*	۰/۶۱۹**	۰/۸۰*	۳۶۲۲۸۳/۳۵**
ژنوتیپ × آبیاری	۵	۰/۳۲	۰/۴۷۶**	۰/۴۶	۴۰۰۳۹۳/۲۱**
خطای ب	۳۰	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۲۹	۳۳۳۴۰/۲۰

* و** :به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪

جدول۲ - مقایسه میانگین[1] برای میزان فتوسنتز خالص در دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی، شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی و میزان پرولین در شش ژنوتیپ گلرنگ در دو رژیم آبیاری.

عوامل آزمایشی	فتوسنتز (مرحله طبق‌دهی)	فتوسنتز (مرحله گلدهی)	شاخص سطح برگ	میزان پرولین
	(میکرو مول Co_2 در متر مربع در ثانیه)			(میکرو گرم در گرم)
رژیم آبیاری				
بدون تنش	۴/۵۵[a]	۵/۶۷[a]	۳/۷[a]	۹۸۳/۰۶[b]
تنش	۱/۹۷[b]	۲/۷۷[b]	۲/۶۸[b]	۱۸۰۴/۰۴[a]
ژنوتیپ				
اراک ۲۸۱۱	۳/۳۳[ab]	۴/۵۲[a]	۳/۲۲[a]	۱۲۰۷/۹۹[c]
کوسه	۳/۶۸[a]	۴/۶۲[a]	۳/۲۸[a]	۱۷۲۴/۷۱[a]
نبراسکا-۱۰	۳/۲۰[ab]	۴/۰۲[b]	۲/۵۶[b]	۱۳۲۲/۷۱[bc]
C_{111}	۳/۲۲[abc]	۳/۹۸[b]	۳/۴۲[a]	۱۴۵۷/۹[b]
S_{149}	۲/۸۶[c]	۴/۱۵[b]	۳/۳۱[a]	۱۱۴۵/۸۲[c]
K_{12}	۳/۱۸[bc]	۴/۰۳[b]	۳/۳۵[a]	۱۵۰۲/۱۷[b]

۱.در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

اثر رژیم آبیاری بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در مطالعه حاضر میانگین شاخص سطح برگ در رژیم آبیاری تنش به میزان ۲۷/۷۱ درصد نسبت به آبیاری معمولی کاهش یافت. بین ژنوتیپ‌های گلرنگ از لحاظ LAI در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۲)، اما اثر متقابل رژیم آبیاری در ژنوتیپ بر روی LAI از نظر آماری معنی‌دار نشد. کمترین میزان LAI (۲/۵۶) در ژنوتیپ نبراسکا-۱۰ مشاهده شد و میانگین مقدار LAI دیگر ژنوتیپ ها از ۳/۲۲ تا ۳/۴۲ متغیر بود که تفاوت ها معنی دار نبود. مشاهده کاهش LAI گلرنگ در اثر تنش کمبود آب در مطالعه حاضر با یافته های محققیـــن دیگری (Naderi Darbaghshahi et al., 2004; Aseesi, 2006; Milady Lary & Ehsanzadeh, 2010) در مورد تاثیر منفی تنش خشکی بر LAI گلرنگ مطابقت دارد. تنش کمبود آب از طریق کاهش تولید و رشد برگ (Cakir, 2004) ، پیری زودرس برگ ها (Sing et al., 1990) و افزایش پیری برگ ها (Wolfe et al., 1988) مقدار LAI را کاهش می دهد. رژیم آبیاری اثر معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد بر تجمع پرولین در برگ گلرنگ داشت (جدول ۱) و تنش کمبود آب منجر به ۸۳/۵۱ درصد افزایش در میانگین میزان پرولین برگ ژنوتیپ های مورد استفاده در این آزمایش شد. بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ میزان پرولین تجمع یافته در برگ تفاوت معنی-داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میانگین پرولین در ژنوتیپ کوسه و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ S_{149} بود (جدول ۲). اگر چه بررسی میانگین تجمع پرولین در ژنوتیپ‌های گلرنگ نشان‌دهنده افزایش قابل توجه میزان این اسید آمینه در رژیم آبیاری تنش در تمامی ژنوتیپ‌ها است، اما این افزایش تاثیر چندانی بر عملکرد این ژنوتیپ‌ها نداشت. اثر متقابل ژنوتیپ و رژیم آبیاری برای تجمع پرولین نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). در حالی که در رژیم آبیاری معمولی کمترین میزان تجمع پرولین (۵۵۰/۲) در ژنوتیپ نبراسکا-۱۰ مشاهده شد، ولی در رژیم آبیاری تنش نیز بیشترین میزان تجمع پرولین (۲۰۲۹۴/۵) در ژنوتیپ نبراسکا -۱۰ دیده شد و شاید همین روند سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل شده باشد. از جمله واکنش های گیاهان به تنش کمبود آب تنظیم اسمزی است که از طریق تجمع برخی مواد محلول از جمله اسید آمینه پرولین صورت می گیرد. نتایج فوق با نتایج مطالعه دیگری (Thippeswamy et al., 2010) که افزایش ۲-۴ برابری میزان پرولین در ژنوتیپ های مقاوم و حساس به خشکی گلرنگ در شرایط کمبود آب را گزارش کرده است سازگاری دارد. آزمایش های دیگری افزایش میزان پرولین در اثر تنش کمبود آب در ریشه گیاه چغندرقند (Monreal et al.,

2006)، افزایش میزان پرولین در اثر تنش کمبود آب بویژه در برگ گیاه یونجه (Akhondi et al., 2006) و در برگ درخت زیتون (Arji et al., 2003) را گزارش کرده اند. در بادنجان نیز تنش کمبود آب منجر به افزایش پرولین در برگ شد که با آبیاری مجدد از میزان تجمع پرولین کاسته شد(Sarker et al., 2006). اثر رژیم آبیاری بر تعداد طبق در بوته گلرنگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش کمبود آب منجر به ۳۵/۶۸ درصد کاهش در تعداد طبق در بوته شد. بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از لحاظ تعداد طبق در بوته مشاهده شد، بطوریکه ژنوتیپ نبراسکا-۱۰ بیشترین (۱۴/۰۰) و ژنوتیپ K12 کمترین (۹/۷۵) تعداد طبق در بوته را داشتند. اثر متقابل رژیم آبیاری و ژنوتیپ نیز برای تعداد طبق در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اگر چه در رژیم آبیاری بدون تنش بیشترین تعداد طبق (۲۵/۱۴) متعلق به اراک۲۸۱۱ و کمترین آن (۱۱/۹۰) مربوط به C111 بود (جدول ۵)، ولی در رژیم آبیاری تنش کمترین (۵/۹۵) و بیشترین تعداد طبق (۱۲/۴۵) به ترتیب در دو ژنوتیپ اخیر مشاهده شـــد. بـه عبـارت دیگر، ضمن کاهش شدید تعداد طبق در اراک۲۸۱۱، این صفت در C111 تغییر معنی داری در اثر رژیم آبیاری نشان نداد. در آزمایش دیگری در اصفهان (Abolhasani & Saeidi, 2006) تعداد طبق در بوته گلرنگ در اثر تنش کمبود آب کاهش معنی‌داری یافت. در مطالعه ای بر روی گیاه سویا (Pandy et al., 1984) نیز تنش کمبود آب موجب کاهش تعداد غلاف در گیاه سویا شد. همچنین گزارش شده است که تنش کمبود آب منجر به کاهش معنی‌دار تعداد غوزه در بوته پنبه گردیده است (Plein et al., 2003).

رژیم آبیاری منجر به تفاوت معنی‌داری در تعداد دانه در طبق نشد (جدول ۳) و تنش خشکی تعداد دانه در طبق را تنها ۲/۲۱ درصد کاهش دادکه از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ بر تعداد دانه در طبق معنی دار بود. در حالیکه تعداد دانه در طبق برای دو ژنوتیپ اراک۲۸۱۱ و نبراسکا-۱۰ در رژیم آبیاری تنش نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت ولی در سایر ژنوتیپ ها تغییر معنی داری را نشان نداد و این موضوع را می توان در معنی دار شدن اثر متقابل دخیل دانست.

جدول ۳ - خلاصه تجزیه واریانس برای تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن دانه در شش ژنوتیپ گلرنگ.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طبق در بوته	دانه در طبق	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن دانه
بلوک	۳	۴/۰۷	۹/۳۸	۱۳۳/۰۶	۲۱۴۷۷۸/۰۵	۱۱۸۳۹۸۱/۵۰	۰/۲۹
آبیاری	۱	۳۲۲/۶۶**	۳/۵۵	۰/۰۳۵	۲۷۲۵۲۷۳۸/۷**	۱۹۸۳۱۷۶۹۲/۵۰**	۲۱/۴۰
خطای الف	۳	۵/۶۲	۶/۳۴	۷/۹۳	۱۸۸۵۹/۹۷	۶۲۸۵۹۸/۵۰	۴/۸۱
ژنوتیپ	۵	۲۸/۱۶**	۶۴/۴۲**	۴۶/۲۴**	۵۱۱۰۳۲/۴۴**	۳۸۶۷۷۳۸/۲۰**	۸/۳۰**
آبیاری Xژنوتیپ ×آبیاری	۵	۳۱/۷۲**	۲۴/۹۸*	۱۱/۰۶	۵۲۲۲۵۶/۳۸**	۴۱۲۴۱۳۱/۵۰**	۲/۷۰
خطای ب	۳۰	۲/۶۳	۸/۰۴	۳/۸۶	۹۰۰۶۹/۹۴	۲۸۲۴۶۳/۳۰	۱/۸۳

* و** :به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که وقوع تنش کمبود آب در مرحله گرده‌افشانی منجر به کاهش تعداد دانه در واحد زایشی گیاهان می‌شود، ولی میزان این کاهش تابع نوع و گونه گیاه زراعی، ژنوتیپ و بویژه شدت و دامنه تنش است کاهش نزدیک به ۲۵ درصدی در تعداد دانه در طبق گلرنگ در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (Pasban Eslam, 2011). اگر چه اثر رژیم آبیاری و اثر متقابل رژیم آبیاری در ژنوتیپ بر وزن هزار دانه معنی دار نبود، ولی اثر ژنوتیپ بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول

۳). وزن هزار دانه ژنوتیپ ها از ۳۱/۸۷ گرم در اراک۲۸۱۱ تا ۲۴/۶۱ گرم در K12 متفاوت بود (جدول ۴).

جدول۴- مقایسه میانگین برای تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن دانه شش ژنوتیپ گلرنگ در دو رژیم آبیاری.

عوامل آزمایشی	طبق در بوته	دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن در دانه
رژیم آبیاری						
بدون تنش	۱۴/۷۷^{a}	۲۴/۷۸^{a}	۲۹/۰۰^{a}	۳۲۷۰/۲۰^{a}	۱۱۹۵۶/۴۰^{a}	۲۷/۶۵^{a}
تنش	۹/۵۸^{b}	۲۴/۲۳^{a}	۲۸/۹۵^{a}	۱۷۶۳/۲۰^{b}	۷۸۹۱/۱۰^{b}	۲۶/۳۱^{a}
ژنوتیپ						
اراک ۲۸۱۱	۱۰/۱۰^{c}	۲۸/۶۵^{a}	۳۱/۸۷ ^{a}	۲۵۰۰/۸۰^{a}	۹۷۶۰/۸۰^{bc}	۲۷/۹۸^{a}
کوسه	۱۴/۰۰^{a}	۲۳/۹۴ ^{bc}	۲۸/۶۷ ^{b}	۲۶۵۱/۸۰^{a}	۹۳۲۴/۳۰^{c}	۲۷/۶۷^{ab}
نبراسکا-۱۰	۱۴/۰۰^{a}	۲۶/۱۸^{b}	۲۹/۶۲ ^{b}	۲۶۵۵۰/۷^{a}	۹۵۳۷/۵۰^{bc}	۲۷/۳۹^{ab}
C_{111}	۱۲/۱۷^{b}	۲۵/۰۱^{bc}	۲۹/۹۷ ^{ab}	۲۰۱۶/۰۰^{b}	۹۷۴۲/۴۰^{bc}	۲۶/۵۷^{b}
S_{149}	۱۳/۰۶ ^{ab}	۲۲/۸۶^{bc}	۲۹/۱۲ ^{b}	۲۶۶۵۰/۳۰^{a}	۱۱۲۸۳/۳۰^{a}	۲۵/۱۵^{c}
K_{12}	۹/۷۵^{c}	۲۰/۳۸ ^{d}	۲۴/۶۱ ^{c}	۲۶۱۰/۷۰^{a}	۹۸۹۴/۱۰^{b}	۲۷/۱۳^{ab}

۱.در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

مطالعات بر روی گلرنگ و سایر گیاهان زراعی نتایج متفاوتی از نظر تغییرات وزن هزار دانه داشته‌اند. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که تداوم تنش کمبود آب پس از گرده‌افشانی بر تعداد دانه‌های موجود در هر واحد زایشی گیاهان مختلف تاثیری ندارد، اما وزن دانه‌ها را کاهش می‌دهد. اگر چه برخی آزمایش ها Farid & Ehsanzadeh (2006) کاهش غیر معنی دار ۵ درصدی وزن صد دانه گلرنگ در اثر تنش کمبود آب را گزارش کرده اند (Farid & Ehsanzadeh, 2006)، اما آزمایش دیگری (Milady Lary & Ehsanzadeh, 2010) کاهش معنی دار وزن هزار دانه گلرنگ در اثر تنش کمبود آب را گزارش کرده است. در مطالعه حاضر چنین به نظر می رسد که کاهش چشمگیر در تعداد طبق در ژنوتیپ های مختلف گلرنگ در اثر کمبود آب جدی ترین تاثیر این تنش بر اجزای عملکرد دانه بوده است. ظاهرا در شرایطی که تعداد طبق به طرز محسوسی در گیاهان کاهش پیدا کرده است مواد فتوسنتزی کافی برای تشکیل و سپس پر شدن دانه های موجود در هر گیاه در شرایط کمبود آب تامین شده است و از اینرو نه وزن هزار دانه و نه تعداد دانه در طبق تغییر چندانی در دو رژیم آبیاری نشان نداده اند. رژیم آبیاری تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه در هکتار در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول۳). تنش کمبود آب موجب ۴۶/۰۰ درصد کاهش در میانگین عملکرد دانه در هکتار ژنوتیپ‌های گلرنگ شد. میانگین عملکرد دانه در هکتار در رژیم آبیاری معمولی و تنش به ترتیب ۳۲۷۰/۲ و ۱۷۶۳/۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۴). عملکرد دانه حاصلضرب اجزا عملکرد، یعنی تعداد واحد زایشی در واحد سطح، تعداد دانه در هر واحد زایشی و متوسط وزن هر دانه است. بسته به اینکه تنش کمبود آب در چه مرحله‌ای از رشد وقوع یابد هر کدام از اجزا عملکرد به درجات مختلفی متأثر می‌شوند. در این مطالعه عملکرد دانه در هکتار علاوه بر اینکه با تعداد طبق در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۶۵^{**}$) را نشان داد (داده ها ارائه نشد)، با میزان تثبیت دی‌اکسید کربن در هر دو مرحله طبق‌دهی ($r = ۰/۸۵^{**}$) و گل‌دهی ($r = ۰/۸۵^{**}$) ، شاخص سطح برگ ($r = ۰/۵۵^{**}$) و

عملکرد ماده خشک ($r = ۰/۸۲^{**}$) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. بنابراین، عملکرد دانه از میان اجزا عملکرد بیشترین همبستگی را با تعداد طبق در بوته نشان داد. اگر چه اثر ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنی دار شد (جدول ۳) ولی اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه در هکتار نیز معنی‌دار بود (جدول ۳). رژیم آبیاری تنش عملکرد دانه در هکتار ژنوتیپ‌های اراک۲۸۱۱ و نبراسکا-۱۰ را به شدت کاهش داد (به ترتیب ۶۰ و ۴۵ درصد)، ولی در ژنوتیپ‌های C_{111} و S_{149} عملکرد دانه به میزان کمتری (۳۲-۳۳ درصد) متاثر از رژیم آبیاری تنش شد و ظاهراً همین امر موجب معنی‌دار شدن اثر متقابل فوق شده است (جدول ۵).

جدول۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در ژنوتیپ برای سرعت فتوسنتز خالص در مرحله گلدهی، میزان پرولین برگ، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک شش ژنوتیپ گلرنگ در دو رژیم آبیاری.

	رژیم آبیاری	ژنوتیپ					
		اراک ۲۸۱۱	کوسه	نبراسکا-۱۰	C111	S149	K12
فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)	بدون تنش	۶/۴^{a}	۶/۲۲^{a}	۵/۴۵^{b}	۵/۲۷^{b}	۵/۴۵^{b}	۵/۲۷^{b}
	تنش	۲/۶۵^{c}	۳/۰۲^{c}	۲/۶^{c}	۲/۷^{c}	۲/۸۵^{c}	۲/۸^{c}
پرولین (میکرو گرم در گرم برگ تازه)	بدون تنش	۹۴۹/۷۸^{f}	۱۳۸۷/۰۲^{cd}	۵۵۰/۱۹^{g}	۱۳۲۵/۱۹^{de}	۶۹۱/۷۱^{g}	۱۰۶۵/۷۳^{ef}
	تنش	۱۴۶۶/۱۹^{bcd}	۲۰۶۲/۳۸^{a}	۲۰۹۴/۵۱^{a}	۱۹۳۸/۶۱^{dc}	۱۶۷۱/۹۲^{b}	۱۵۹/۵۹^{a}
تعداد دانه در طبق	بدون تنش	۲۶/۲۶^{bc}	۲۳/۵۳^{cd}	۲۳/۷۹^{cd}	۲۶/۰۸^{bc}	۲۳/۷۹^{cd}	۲۱/۹۵^{de}
	تنش	۳۱/۰۵^{a}	۲۴/۳۶^{cd}	۲۸/۵۶^{ab}	۲۳/۹۵ ^{cd}	۲۱/۹۳^{de}	۱۸/۸۲^{e}
تعداد طبق در بوته	بدون تنش	۲۵/۱۴^{bc}	۱۸/۶^{a}	۱۷/۹^{a}	۱۱/۹^{de}	۱۵/۵^{b}	۱۰/۵^{def}
	تنش	۵/۹۵^{g}	۹/۴^{f}	۱۰/۱^{ef}	۱۲/۴۵^{cd}	۱۰/۶۲^{def}	۹/۰۱^{f}
عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار)	بدون تنش	۱۱۹۷۲/۹۱^{abc}	۱۱۴۳۷/۵^{bc}	۱۲۲۱۱/۱۱^{a}	۱۱۲۶۸/۷۵^{c}	۱۲۱۷۱/۵۲^{ab}	۱۲۶۷۶/۳۹^{a}
	تنش	۷۵۴۸/۶۱^{ef}	۷۲۱۱/۱۱^{f}	۶۸۶۳/۸۸^{f}	۸۲۱۵/۹۷^{e}	۷۱۱۱/۸^{d}	۱۰۳۹۵/۱۴^{f}
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	بدون تنش	۳۵۷۴/۹۵^{a}	۳۵۸۳/۵۵^{a}	۳۴۲۰/۶۷^{a}	۲۴۱۴/۲۵ ^{b}	۳۱۷۷/۸۲^{a}	۳۴۴۹/۹۵^{a}
	تنش	۱۴۲۶/۵۷^{e}	۱۷۱۹/۹۵^{cde}	۱۸۹۰/۶۷^{cd}	۱۶۱۷/۸^{de}	۲۱۵۲/۷۷^{bc}	۱۷۷۱/۴^{cde}

در هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

نتایج مطالعه حاضر با نتایج گزارش های قبلی (Aseesi, 2006) مبنی بر کاهش عملکرد دانه گلرنگ تحت تنش کمبود آب همخوانی دارد. در آزمایش های قبلی دیگری (Farid & Ehsanzadeh, 2006; Abolhasani & Saeidi, 2006) هم تنش کمبود آب موجب کاهش معنی دار عملکرد دانه ژنوتیپ های گلرنگ شد. در آزمایشی (Able, 1975) عملکرد دانه گلرنگ به دلیل کاهش تعداد طبق و تعداد دانه در طبق کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر از این نظر که کاهش تعداد طبق عمدتاً سبب افت عملکرد دانه شده است همخوانی دارد. اثر رژیم آبیاری بر عملکرد ماده خشک در هکتار معنی‌دار بود (جدول ۳). رژیم آبیاری تنش منجر به کاهش ۳۴/۰۱ درصدی در عملکرد ماده خشک در هکتار شد. هم اثر ژنوتیپ و هم اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ بر عملکرد ماده خشک معنی دار بود (جدول ۳). ژنوتیپ S149 بیشترین (۱۱۲۸۳ کیلوگرم در هکتار) و کوسه کمترین (۹۳۲۴ کیلوگرم در هکتار) میانگین عملکرد ماده خشک را نشان دادند. اگر چه در همه ژنوتیپ ها سطح آبیاری تنش منجر به کاهش معنی دار عملکرد ماده خشک شد، ولی درصد این کاهش تابع ژنوتیپ بود (جدول ۵). بیشترین (۴۴٪) و کم ترین (۱۸٪) کاهش عملکرد ماده خشک به ترتیب در نبراسکا- ۱۰ و K۱۲ مشاهده شد. چندین آزمایش قبلی (Farid & Ehsanzadeh, 2006; Milady Lary & Ehsanzadeh, 2010) نیز تاثیر منفی تنش خشکی بر تولید ماده خشک ژنوتیپ های گلرنگ را گزارش کردند. در مطالعه ای (Pandy et al, 1984) ماده خشک ساقه چهار گونه حبوبات بطور خطی با کاربرد آب وابسته بود و خشکی تاثیر منفی بر وزن خشک بوته داشت. در آزمایشی روی ذرت (Eshghizadeh & Ehsanzadeh,

2009) نیز اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری منجر به کاهش عملکرد ماده خشک این گیاه در تیمارهای تنش کمبود آب شد. در مطالعه ای روی اثر تنش کمبود آب بر سه گیاه گلرنگ، بزرک و خردل گزارش شده است که تنش کمبود آب منجر به کاهش معنی‌داری در عملکرد ماده خشک هر سه گیاه می‌شود (Gouranga et al 2007). اثرات منفی تنش کمبود آب بر تولید ماده خشک گیاهان ممکن است از جنبه های متعددی صورت گیرد. تنش در مراحل رویشی رشد می تواند سرعت رشد برگ و در نتیجه شاخص سطح برگ را کاهش دهد. تنش شدید با تاثیر منفی بر باز بودن روزنه ها، جذب دی اکسید کربن و سرعت فتوسنتز را کاهش می دهد. نتیجه نهایی تغییرات فوق کاهش عملکرد ماده خشک تحت تنش کمبود آب می باشد. در آزمایش حاضر، از یک طرف سرعت فتوسنتز خالص و از طرف دیگر مقدار شاخص سطح برگ ژنوتیپ های گلرنگ به صورت چشمگیری در اثر رژیم آبیاری تنش کاهش یافت و کاهش عملکرد ماده خشک نهایی در این رژیم آبیاری را می توان عمدتا به کاهش یاد شده در سطوح فتوسنتزکننده و سرعت فتوسنتز خالص نسبت داد. اثر رژیم آبیاری بر درصد روغن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳)، با این حال رژیم آبیاری تنش موجب ۴/۸۴ درصد کاهش در میانگین درصد روغن دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ شد (جدول ۴). میان ژنوتیپ‌ها از لحاظ درصد روغن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیشترین درصد روغن (۲۷/۹۸ درصد) مربوط به اراک ۲۸۱۱ بود و کمترین درصد روغن (۲۵/۱۵ درصد) در S149 مشاهده شد (جدول ۳). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد روغن احتمالاً به علت تفاوت ژنتیکی میان آنهاست. در آزمایشی روی گیاه گلرنگ (Pasban Eslam, 2011) ضمن آنکه اثر رژیم آبیاری بر درصد روغن دانه معنی دار نبود، درصد روغن دانه بین ژنوتیپ هاس مختلف از ۲۵ تا ۳۲ درصـد متغیر بود.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد که بدنبال افزایش در محدودیت رطوبت، میزان تثبیت دی-اکسید کربن در دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی کاهش پیدا کرده که نشان‌دهنده عملکرد غیر مطلوب دستگاه فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی است. چون بیشترین میانگین تثبیت دی‌اکسید کربن در هر دو مرحله طبق‌دهی و گل‌دهی در رقم کوسه مشاهده شد، به نظر می رسد که این ژنوتیپ به دلیل اینکه بومی منطقه مرکزی و اصفهان است در مقایسه با دیگر ژنوتیپ ها از پتانسیل تولیدی بیشتری برخوردار است. شاخص سطح برگ ژنوتیپهای گلرنگ در اثر کمبود آب کاهش یافت. بیشترین میانگین تجمع پرولین در ژنوتیپ کوسه و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ S149 بود، ولی شدیدترین افزایش این اسید آمینه در اثر تنش خشکی در نبراسکا-۱۰ مشاهده شد. چون بین میزان پرولین و عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شاخص سطح برگ و تثبیت دی‌اکسید کربن در هر دو مرحله گل‌دهی و طبق‌دهی همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد، بنابراین تجمع پرولین در اثر تنش خشکی تاثیری در جلوگیری از افت احتمالی عملکرد ماده خشک و دانه ناشی از تنش در گلرنگ ندارد و شاید تنها به بقا و تداوم رشد گیاه تا پایان دوره حیات گیاه کمک نماید. می توان کاهش توام سطوح فتوسنتزکننده و سرعت فتوسنتز خالص را به عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد ماده خشک و دانه ژنوتیپ های گلرنگ بیان نمود. اینکه خصوصیات فیزیولوژیک دیگری هم در کاهش عملکرد گلرنگ در شرایط تنش کم آبی دخیل هستند یا نه نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این آزمایش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تامین شده است.

REFERENCES

1. Able, G. H. (1975). Growth and yield of safflower in three temperature regimes. *Agronomy Journal*, 67, 639-642.
2. Abolhassani, K. & Saeidi, G. (2006). Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *Journal of Science and Technology of Agriculture and*

Natural Resources, 10, 407-419. (In Farsi).
3. Akhondi, M., Safarnejad, A. & Lahouti, M. (2006). Effect of drought stress on proline accumulation and mineral nutrients changes in alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Scienec & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 10, 165-175. (In Farsi)
4. Aranda, I., Castro, L., Pardos, M., Gil, L., & Pardos, J. A. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak *(Quercus suber L.)* seedlings. *Forest Ecology and Management*, 210, 117–129.
5. Arji, I., Arzani, K. & Ebrahimzadeh, H. (2004). Quantitative study of proline and soluble sugars of five olive (*Olea europaea* L.) cultivars under drought stress conditions. *Iranian Journal of Biology*, 16, 47-59. (In Farsi)
6. 6- Aseesi, M. (2006). *Effect of different irrigation regimes on vegetative and reproductive growth of safflower*. MSc. Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).
7. Bates, I.S., Waldern, R. D. & Feare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
8. Bloch, D., Hoffmann, C. M., & Marlander, B. (2006). Impact of water supply on photosynthesis, water use and carbon isotope discrimination of sugar beet genotypes. *European Journal of Agronomy*, 24, 218–225.
9. Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89, 1–16.
10. De-Costa, W. A. J. M., Shanmugathasan, K. N., & Joseph, K. D. S. M. (1999). Physiology of yield determination of mung bean (*Vigna radiata* L) under various irrigation regimes in the dry and intermediate zones of Sri Lanka. *Field Crops Research*, 16, 1-12.
11. Dordas, C. A. & Sioulas, C. S. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Industrial Crops and Products*, 27, 75–85.
12. Eshghizadeh, H. R. & Ehsanzadeh, P. (2009). Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: 1- chlorophyll fluorescence, growth and grain yield. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 40, 135-144. (In Farsi).
13. Fareed, N. & Ehsanzadeh, P. (2006). Yield and yield components of spring-sown safflower genotypes and their response to shading on inflorescence and the adjacent green tissue in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10, 189-199. (In Farsi).
14. Glaimes, J., Medrano, H. & Flexas, J. (2007). Photosynthesis and photoinhibition in response to drought in pubescent (var. minor) and a glabrous (var. palaui) variety of *Digitalis minor*. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 105-111.
15. Gouranga, K., Ashwani, A., & Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agriculture Water Management*, 87, 73-82.
16. Hamrouni, B., Hammadi, B. S. & Marzouk, B. (2001). Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. *Photochemistry*, 58, 277-280
17. Heerden, P. D. R., Swanepoel, J. W. & Kr¨uger, G. H. J. (2007). Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C3-mode CO_2 assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 124–136.
18. Istanbulluoglu, A. (2009). Effects of irrigation regimes on yield and water stress productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 96, 1792-1798.
19. Istanbulluoglu, A., Gocmen, E., Gezer, E., Pasa, C. & Konukcu, F. (2009). Effects of water stress at different development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agricultural Water Management*, 96, 1429-1434.
20. Joao- Correia, M., Leonor- Osorio, M., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M. & David, M. M. (2006). Influence of transient shade periods on the effect of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sunflower leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 75-84.
21. Maghami, R. (2012). *Effects of nitrogen application on yield, yield components and oil composition of safflower under different levels of soil moisture in Isfahan*. MSc. Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).
22. Mehrabi, Z. & Ehsanzadeh, P. (2011). A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, 13(2), 75-88. (In Farsi).
23. Milady Lary, S., & Ehsanzadeh, P. (2010). The negative effect of drought on safflower grain yield

through impact of photosynthetic efficiency and surfaces. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 41, 375-384. (In Farsi)

24. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration and stomata conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53, 205–214.
25. Monreal, J. A., Jimenez, E. T., Remesal, E., Morillo, R., & Garcia, S. (2006). Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 672-685.
26. Naderi Darbaghshahi, M. R., Nour-mohammadi, G., Majidi, I., Darvish, F., Shirani-rad, A. & Madani, H. (2004). Effect of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan. *Seed & Plant*, 20, 281-296. (In Farsi).
27. Pandy, R. K., Herrera, W. A. T., Villegas, A. N. & Pendelton, J. W. (1984). Drought responses of grain legumes under irrigation gradient. *Agronomy Journal*, 76, 557-560.
28. Pasban Eslam, B. (2011). Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 13, 327-338.
29. Plein, W. A., Wells, R., Little, G., Edmisten, K. L. & Wilcut, J. W. (2003). Glyphosate and water-stress effects on fruiting and carbohydrates in glyphosate-resistant cotton. *Crop Science*, 43, 879-885.
30. Pourqasemian, N. & Zahedi, M. (2009). Effects of planting pattern and level of soil moisture on yield and yield components of two safflower cultivars in Isfahan. *Journal of Scienec & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 13, 545-555. (In Farsi)
31. Sarker, B. C., Hara, M., & Uemura, M. (2005). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientica Horticulture*, 103, 387–402.
32. Sidney, C. P., DaMatta, F. M., Loureiro, M. E., Ferrao, M. A. G., & Cordeiro, A. T. (2006). Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robust coffee leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 263–273.
33. Thippeswamy, M., Chandraobulreddy, P., Sinilal, B., Shiva, K. M. & Sudhakar, C. (2010). Proline accumulation and the experesion of Δ-pyrroline-5-carboxylate synthase in two safflower cultivars. *Biologia Plantarum*, 54, 386-390.
34. Widodo, W., Vu, J. C. V., Boote, K. J., Baker, J. T., & Allen, L. H. (2003). Elevated growth CO2 delays drought stress and accelerates recovery of rice leaf photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, 49, 259-272.