مجله علوم گیاهان زراعی ایران
دوره ۴۱، شماره ۲، ۱۳۸۹ (۳۸۴-۳۷۵)

تاثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد گلرنگ از طریق کاهش سطح فتوسنتزکننده و کارایی کوانتومی فتوسیستم II

اسما میلادی‌لاری[۱] و پرویز احسان‌زاده[۲]*
۱، ۲، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
(تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۱- تاریخ تصویب: ۸۷/۷/۸)

چکیده

خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان در جهان می‌باشد و بخش اعظم اراضی کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد. جهت بررسی تأثیر رژیم آبیاری بر فلورسانس کلروفیل، عملکرد واجزاء عملکرد گلرنگ پژوهشی در سال ۱۳۸۶ با استفاده از طرح کرتهای خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. در این تحقیق فاکتور اصلی رژیم آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A شامل سه سطح آبیاری پس از I1 (۷۵میلی‌متر تبخیر)، I2 (۱۰۵میلی‌متر تبخیر) و I3 (۱۳۵میلی‌متر تبخیر) و فاکتور فرعی شش ژنوتیپ گلرنگ شامل اراک ۲۸۱۱، کوسه، نبراسکا۱۰، C111, S149 و K12 بود. اعمال رژیم‌های آبیاری پس از استقرار و تنک کردن بوته‌ها آغاز شد. رژیم آبیاری برشاخص سطح برگ، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن و همچنین پارامترهای فلورسانس کلروفیل در دو مرحله طبق‌دهی و گرده‌افشانی تأثیر معنی‌داری گذاشت، اما شاخص برداشت تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار نگرفت. سطح آبیاری I3 کمترین عملکرد بیولوژیک (۲۴/۶۵ گرم در بوته)، عملکرد دانه (۱۳۹۳/۴۷ کیلوگرم در هکتار) و درصد روغن (۲۶/۴ درصد) را به خود اختصاص داد. همچنین پارامتر فلورسانسی FV/FM (بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II) در هر دو مرحله اندازه‌گیری در سطح آبیاری I3 نسبت به سطح I1 کاهش یافت (از ۰/۷۳۴ به ۰/۶۹۴). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کمبود آب در سطح آبیاری I3 هم از طریق کاهش سطح فتوسنتزکننده و هم کارآیی سیستم فتوسنتزی بر عملکرد و اجزای عملکرد درگلرنگ تأثیر منفی می‌گذارد و پارامترهای فلورسانس کلروفیل در ارتباط با تشخیص تاثیر تنش خشکی بر فتوسنتز گلرنگ می‌توانند به کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: **گلرنگ، فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، رژیم آبیاری.**

مقدمه

خشکسالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را در کشور ما، با محدودیت روبرو می‌سازد (Abolhassani & Saeidi, 2006). استفاده از گونه‌های گیاهی مناسب و ارقام اصلاح شده‌ای که دارای عملکرد

* نویسنده مسئول: پرویز احسان‌زاده تلفن: ۰۹۱۳-۳۱۶۳۳۵۰ E-mail: ehsanp@cc.iut.ac.ir

مطلوب و همچنین متحمل به شرایط تنش رطوبتی باشند، امکان استفاده بهتر از منابع آب موجود را میسر نموده و موجب توسعه سطح زیر کشت گیاهان و افزایش بازده تولید می‌گردد.

ارزش و اهمیت غذایی دانه‌های روغنی از نظر تأمین کالری و انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Hajizadeh, 2002). گلرنگ گیاهی مقاوم به خشکی است و می‌تواند درجه حرارت بالا و رطوبت پایین خاک را تحمل نماید و به نظر می‌رسد که گیاه دانه روغنی مناسبی برای توسعه در کشور باشد (Sarmadnia & Koocheki, 1987). گلرنگ به عنوان یک گیاه بومی ایران و به دلیل ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر استفاده‌های دارویی و غذایی از گل‌های آن (Ashkani, 2002)، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا به دلیل وجود بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع، خصوصا اسید لینولئیک و اسید اولئیک (Ashkani, 2002)، تولید کنجاله به عنوان مکمل غذایی مناسب برای دام، مقاومت نسبتا زیاد آن به تنش‌های محیطی از جمله شوری، خشکی و سرمای زمستانه از اهمیت خاصی برای تأمین دانه‌های روغنی مورد نیاز کشور برخوردار است (Ashkani, 2002). سطح زیر کشت گلرنگ در جهان، ایران و استان اصفهان به ترتیب ۱۳۰۰۰۰۰، ۸۰۰۰ و کمتر از ۱۰۰۰ هکتار بیان شده است.

هدف از آبیاری گیاهان زراعی، حفظ وضعیت آبی مطلوب در طول فصل رشد است، زیرا کمبود آب در خاک تأثیر مستقیم بر رشد گیاه، عملکرد و کارایی مصرف آب دارد (Sarmadnia & Koocheki, 1987). در تحقیقی که برای بررسی اثرکمبود آب و سطح کود نیتروژن بر سه رقم گلرنگ در مونتانا انجام شد، مشخص گردید که ۲۰۰ تا ۲۷۵ میلی‌متر آب برای شروع تولید محصول دانه گلرنگ مورد نیاز بوده و افزایش میزان آبیاری عملکرد را بالا می‌برد. در این آزمایش به ازاء هر ۲۵ میلی‌متر آب اضافی عملکرد به میزان ۱۰۲ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (Engle & Bergman, 1997).

Erie & French (1969) تأثیر رژیم‌های آبیاری را بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ ارزیابی کردند. نتیجه آزمایش آنها نشان داد که آبیاری گلرنگ تا پایان دوره گلدهی بر اساس تخلیه ۷۲ درصد از آب قابل استفاده تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری خاک برای تولید حداکثر محصول کافی است. در این آزمایش همچنین مشخص شد که اولا به موازات دفعات آبیاری درصد دانه‌های پوک کاهش می‌یابد، ثانیا عملکردهای زیادتر ناشی از وزن بیشتر دانه‌ها، تعداد بیشتر دانه‌ها در طبق و درصد کمتر دانه‌های پوک بوده است.

در مطالعه Shouse et al. (1981) و Momen et al. (1979) گزارش شد که تعداد نیام در سویا به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد که اندازه این تأثیر با توجه به مرحله نمو گیاه در هنگام تنش، شدت و طول مدت تنش متفاوت است. در مطالعه‌ای که Khajouie Nejad et al. (2004) بر روی سه رقم سویا انجام دادند، کمبود رطوبت در مرحله تشکیل نیام علاوه بر ریزش تعداد زیادی از نیام‌ها، تعداد دانه در نیام را نیز کاهش داد.

از جمله بارزترین واکنش‌های گیاهان به عامل تنش‌زای محیطی افت فتوسنتز ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد (Eshghizade & Ehsanzadeh, 2009). انرژی نوری جذب شده بوسیله ملکول‌های کلروفیل در یک برگ متواند به صورت های زیر در آید:

۱. می‌تواند برای پیشبرد فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد.
۲. انرژی مازاد می‌تواند به‌صورت حرارت پراکنده شود.
۳. یا می‌تواند به صورت نور (فلورسانس) ساطع شود (Maxwell & Johnson, 2000).

هنگامی که نور در سطح معمول باشد، بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی و به مصرف فتوسنتز می‌رسد و در نهایت بخش کمی از انرژی نورانی به‌صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به آن فلورسانس کمینه (F_0) می‌گویند. اما هنگامی که برگ در معرض پالسی از نور اشباع قرار می‌گیرد تمامی ملکول‌های موسوم به کوئینون‌آ[1] دست کم به‌صورت موقت به حالت احیا در آمده و به‌دلیل تداوم واکنش‌های فتوشیمیایی فتوسیستمII، فلورسانس به میزان بالایی افزایش می‌یابد که به آن فلورسانس بیشینه (F_M) اطلاق می‌گردد (Maxwell & Johnson, 2000).

1. Quinone A

جهت ارزیابی اثر تنش خشکی بر سیستم فتوسنتزی گیاه از پارامترهای فلورسانس کلروفیل استفاده زیادی شده است. فلورسانس کلروفیل اطلاعاتی را در مورد وضعیت فتوسیستمII در اختیار ما قرار می‌دهد (Fracheboud, 2006). جریان الکترون در فتوسیستم شاخصی برای میزان کلی فتوسنتز می‌باشد و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل تخمینی از نحوه عمل فتوسنتز را برای ما امکان‌پذیر می‌سازد (Maxwell & Johnson, 2000). در واقع بررسی وضعیت فتوسنتز یک معیار قابل اعتماد برای ارزیابی میزان سازگاری گیاهان نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد (Maxwell & Johnson, 2000). این معیار به‌صورت غیر تخریبی هم در مطالعات آزمایشگاهی و هم مزرعه‌ای با بکارگیری فلورومتر قابل حصول است (Maxwell & Johnson, 2000). در واقع آنچه را که دستگاه فلورومتر به ما نشان می‌دهد نسبت F_V/F_M و منحنی مربوط به آن خواهد بود (Maxwell & Johnson, 2000). مقدار Fv/F_M نشان‌دهنده بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II و معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است، به طوری که مقدار این پارامتر برای اکثر گونه‌های گیاهی در شرایط معمول محیطی حدود ۰/۸۳ می‌باشد (Maxwell & Johnson, 2000; Fracheboud, 2006). مقادیر کمتر از این عملکرد زمانی مشاهده می‌شود که گیاه با استرس مواجه شده باشد که نشان‌دهنده پدیده ممانعت نوری[1] است (Fracheboud, 2006). از اینرو در ژنوتیپ‌های مختلف مقدار کاهش عملکرد کوانتومی (Fv/F_M) و یا تغییرات فلورسانس ($Fv= F_M - F_0$) در بازه‌ی زمانی به‌عنوان معیاری از درجه تحمل و مقاومت به تنش مورد استفاده قرار گرفته است (Eshghizade & Ehsanzadeh, 2009).

در مطالعه‌ای که جهت بررسی تنش حرارتی روی مقادیر فلورسانس کلروفیل در گیاه ذرت صورت گرفت، میزان بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما پس از رفع تنش بهبودی تا حد تیمار شاهد حاصل شد ولی به هرحال شواهدی از آسیب به فتوسیسم موجود بود (Grafts-Brander & Salvucci, 2002). در مطالعه Joao-Correia et al. (2006) اثر همزمان تابش زیاد و خشکی شدید روی آفتابگردان بررسی شد، که تحت این شرایط بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن کاهش یافت، در حالیکه ضریب خاموشی غیرفتوشیمیایی به میزان ۴۰ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش پراکندگی گرمایی فتوسیستم II می‌باشد. با این حال در گندم زمستانه تغییری در بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II در اثر تنش خشکی مشاهده نشده است (Gale et al., 2002; Shangguan et al., 2000). اطلاعات مکتوب در مورد میزان فلورسانس کلروفیل گیاه گلرنگ و ارتباط آن با عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه دانه‌روغنی اندک می‌باشد. بنابراین مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و فلورسانس کلروفیل شش ژنوتیپ مختلف گلرنگ در کشت بهاره در منطقه اصفهان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار ۱۳۸۶ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد اجرا شد. این مزرعه در جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاع مزرعه از سطح دریای آزاد ۱۶۳۰ متر بوده و براساس تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم نیمه‌خشک، خنک، با تابستان‌های خشک می‌باشد. میانگین دراز مدت سالانه بارش و درجه حرارت هوا به ترتیب حدود ۱۴۰ میلی متر و ۱۴/۵ درجه سانتیگراد است. بافت خاک مزرعه لوم‌رسی و عموماً از رده آریدیسول[2] می‌باشد. درصد وزنی رطوبت در شرایط ظرفیت مزرعه ۲۴ درصد، وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب بوده و PH خاک حدود ۷/۵ می‌باشد. بر اساس آزمون خاک نیازی به استفاده از کودهای فسفر و پتاسیم در خاک نبود و کود اوره به میزان ۹ کیلوگرم (معادل ۷۵ کیلوگرم در هکتار) در زمین پاشیده شد. آزمایش به صورت کرتهای خرد شده

1. Photoinhibition

2. Aridisols

در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار پیاده شد. پس از انجام تهیه بستر شامل شخم، تسطیح و تهیه فارو، کرت‌های شش ردیفه به فاصله ۴۵ سانتی‌متر از هم به طول چهار متر ایجاد گردیدند روی ردیف‌ها به طول ۷ سانتی‌متر ۳ عدد بذر در عمق تقریبی ۵ سانتی‌متری به‌صورت دستی در تاریخ ۲۷ اسفند ۱۳۸۵ کاشته شد.

فاکتور اصلی رژیم آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A شامل سه سطح آبیاری پس از ۷۵، ۱۰۵ و ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر به ترتیب (I_3,I_2,I_1) و فاکتور فرعی 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) لاین اصلاحی K_{12} (انتخاب شده از توده محلی کردستان) بود. اعمال رژیم‌های آبیاری پس از استقرار بوته‌ها و تنک کردن آنها در تاریخ ۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۶ آغاز شد.

برای جلوگیری از گسترش علف‌های هرز، علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار مایع امولسیون‌شونده به آب اولین آبیاری در تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۸۵ اضافه شد. همچنین وجین دستی علف‌های هرز در مرحله روزت و ساقه‌دهی صورت گرفت. جهت مبارزه با مگس گلرنگ در مرحله ساقه‌دهی با سم کلروپیروفوس (با نام تجاری آریسبان) از مایع امولسیون شونده ۴۰/۸ درصد با غلظت ۲ در هزار انجام شد.

در دو مرحله طبق‌دهی و گرده‌افشانی وضعیت فلورسانس کلروفیل (با محاسبه F_0 ، F_m و F_v/F_m) توسط دستگاه فلورومتر[1] در ۴ برگ از ۴ گیاه در هر کرت اندازه‌گیری شد. بدین منظور از جوانترین برگ کامل (توسعه یافته) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی از هر کرت فرعی با رعایت حاشیه از ردیف دوم هر کرت به‌طول ۰/۵ متر معادل ۷ بوته نمونه‌گیری انجام شد. پس از جدا کردن برگها از بوته، سطح برگ توسط دستگاه سطح برگ‌سنج[2] در آزمایشگاه تعیین گردید. شاخص سطح برگ هر کرت نیز پس از میانگین‌گیری از کل سطح برگ ۷ بوته و تقسیم عدد حاصل بر سطح زمین هر بوته بدست آمد.

در مرحله رسیدگی کامل (۱۰ تیر ۱۳۸۶) ۱۰ بوته از هر کرت با رعایت حاشیه برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد و در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا زمانی که وزن خشک آنها ثابت گردید. تعداد طبق در هر بوته شمارش شده سپس طبق‌ها از بوته ها جدا و خرمن‌کوبی شدند و بذرها پس از بوجاری توزین و شمارش گردیدند. برای تعیین وزن هزاردانه، وزن هزاردانه از هر کرت فرعی توسط دستگاه بذر شمار[3] شمارش شد و وزن آنها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد بیولوژیک، وزن خشک کل اندام هوایی ۱۰ بوته برداشت شده در مرحله رسیدگی محاسبه شد. برای تخمین شاخص برداشت، نسبت عملکرد دانه ۱۰ بوته به عملکرد بیولوژیک آنها محاسبه گردید.

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 (Sing et al., 1990). بدین منظور ۲۰۰ بذر از هر کرت فرعی آسیاب شد و سپس یک نمونه ۲ گرمی از آن برای اندازه‌گیری روغن دانه مورد استفاده قرار گرفت. پس از استخراج روغن، وزن روغن حاصل با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و درصد روغن در ۱ گرم نمونه محاسبه گردید. داده‌ها با استفاده از نرم افزار اس.ای.اس (SAS) تجزیه واریانس گردید و آن دسته از اثراتی که F آنها معنی‌دار شد با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در مرحله طبق‌دهی مربوط به پارامترهای فلورسانس (F_V/F_M ،F_M ،F_0) نشان داد که تنها اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در مورد دو پارامتر F_V/F_M (بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII) و F_M به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد وجود

1. Chlorophyll Fluorescence, Opti-Science,OS-30p, London
2. GA-5, Japan
3. Electric Grain counter, Wagtech International

دارد و در سایر موارد بین سطوح خشکی و بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول۱). ظاهرا وقوع استرس خشکی سبب کاهش معنی‌دار بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II در گیاه گلرنگ شده است.

در مرحله گرده‌افشانی نیز رژیم آبیاری بر پارامترهای F_M و F_V/F_M به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول۱). رژیم آبیاری I_2 بالاترین میزان بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII و سطح I_3 کمترین میزان را دارا شد که نتیجه تأثیر سوء تنش خشکی بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد (جدول۲). بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در این مرحله نیز در هیچ یک از پارامترها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۱). در مطالعه‌ای که روی سیب‌زمینی انجام شده نشان داده شده است که تنش خشکی بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII را کاهش می‌دهد (Basu et al., 1998)، اما در مطالعه‌ای که روی گلرنگ پاییزه توسط Movahedi Dehnavi et al. (2004) انجام گرفت بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. در مطالعه Eshghizade & Ehsanzadeh (2009) نیز بین رژیم‌های آبیاری از نظر بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII در گیاه ذرت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌نظر می‌رسد در این آزمایش، هیبریدهای مورد مطالعه در مقابل محدودیت رطوبتی واکنش مشابهی داشته و تفاوتی در تحمل نسبت به این عامل در آنها مشاهده نشد. اما در آزمایش حاضر ظاهرا وقوع استرس خشکی سبب کاهش معنی‌دار بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستمII در گیاه گلرنگ شده است (جدول۲).

جدول۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات)پارامترهای فلورسانس کلروفیل (F_V/F_M، F_M،F_0) در دو مرحله طبق‌دهی و گرده‌افشانی در رژیم‌های مختلف آبیاری و در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	طبق‌دهی			گرده‌افشانی		
		F_0	F_M	F_V/F_M	F_0	F_M	F_V/F_M
تکرار	۳	۱۱۳۷/۰۰۰ ns	۳۲۹۶/۱۶۲ *	۰/۰۱۱۰ ns	۳۲/۲۷۳ ns	۹۱۳/۲۷۳ ns	۰/۰۰۰۷ ns
آبیاری	۲	۲۴۴۲/۱۸۰ ns	۵۳۱۵/۵۹۷ **	۰/۰۱۰۹ *	۳۳۰/۰۵۵ ns	۲۵۶۲۴/۲۶۳ *	۰/۰۰۷۹ **
خطای الف	۶	۵۲۷/۰۱۳	۴۲۸/۸۵۶	۰/۰۰۱۵	۱۱۲/۸۱۴	۲۳۵۶/۳۰۰	۰/۰۰۰۷
رقم	۵	۱۴۳/۵۸۸ ns	۹۷۳/۸۸۰ ns	۰/۰۰۱۲ ns	۳۶۳/۳۸۰ ns	۳۰۴/۶۸۰ ns	۰/۰۰۰۸ ns
رقم × آبیاری	۱۰	۲۷۸/۴۳۰ ns	۱۰۹۴/۷۴۷ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۴۹/۴۰۵ ns	۱۰۰۶/۴۴۷ ns	۰/۰۰۰۳ ns
خطای ب	۴۵	۲۰۳/۱۴۲	۱۲۰۵/۱۲۵	۰/۰۰۱۲	۲۷۶/۲۳۴	۹۰۵/۰۵۸	۰/۰۰۱۲

* و** : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد. ns : عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۲ - مقایسه میانگین‌های پارامترهای فلورسانس کلروفیل در دو مرحله طبق‌دهی وگرده‌افشانی در رژیم‌های مختلف آبیاری و در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ

عامل آزمایشی	طبق‌دهی			گرده‌افشانی		
(میلی‌متر) تبخیر	F_0	F_M	F_V/F_M	F_0	F_M	F_V/F_M
۷۵	۱۲۸/۴۱۷ b	۴۹۸/۰۸۳ a	۰/۷۳۴ a	۱۰۴/۵۴۲	۴۷۳/۸۳ a	۰/۷۷۸ a
۱۰۵	۱۳۹/۷۰۸ ab	۴۷۳/۷۹۲ b	۰/۷۰۰ b	۹۷/۱۲۵	۴۵۵/۷۹ a	۰/۷۸۴ a
۱۳۵	۱۴۸/۵۴۲ a	۵۰۰/۸۳۳ a	۰/۶۹۴ b	۱۰۰/۸۷۵	۴۱۰/۴۲ b	۰/۷۵۰ b
اراک ۲۸۱۱	۱۳۴/۴۱۷	۴۷۵/۵۰	۰/۷۰۵	۹۶/۵۰۰	۴۴۲/۵۰	۰/۷۷۸
کوسه	۱۴۰/۳۳۳	۴۸۸/۳۳	۰/۷۰۸	۹۹/۹۱۷	۴۴۹/۰۰	۰/۷۷۱
نبراسکا	۱۳۹/۶۶۷	۴۸۹/۳۳	۰/۷۱۱	۱۰۶/۴۱۷	۴۴۹/۳۳	۰/۷۶۴
C_{111}	۱۳۸/۶۶۷	۴۹۶/۶۷	۰/۷۱۶	۹۹/۱۶۷	۴۴۸/۱۷	۰/۷۷۳
K_{12}	۱۴۴/۲۵۰	۴۹۳/۸۳	۰/۶۹۳	۱۰۸/۵۰۰	۴۵۲/۳۳	۰/۷۵۷
S_{149}	۱۳۶/۰۰۰	۵۰۱/۷۵	۰/۷۲۳	۹۴/۵۸۳	۴۳۸/۷۵	۰/۷۸۰

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

اثر رژیم آبیاری بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳)، بطوریکه در شرایط تنش (I_3) ۵۴ درصد کاهش نسبت به شرایط شاهد را نشان داد (جدول ۴). مطالعه Naderi et al. (2004) در گیاه گلرنگ و همچنین Razi & Asad (1998) در گیاه آفتابگردان نشان‌دهنده کاهش محسوس سطح برگ گیاه تحت تأثیر تنش خشکی است. سایه‌انداز گیاهان در مواجهه با خشکی با سرعت کمتری گسترش یافته، اندازه برگها کوچک‌تر شده و بواسطه ریزش زودهنگام برگهای پایین سایه‌انداز گیاهی، گیاه سطح برگ خود را با سرعت بیشتری از دست می‌دهد و نهایتاً شاخص سطح برگ تحت شرایط کم‌آبی کاهش می‌یابد (Boyer, 1970).

ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه نیز اختلاف معنی داری را در این صفت نشان دادند و از ۴/۴۲ در ژنوتیپ S_{149} تا ۲/۹۹ در نبراسکا متغیر بود (جدول۴). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در شاخص سطح برگ می‌تواند احتمالا ناشی از اختلاف ژنتیکی بین آنها باشد. اثر متقابل رژیم آبیاری در ژنوتیپ بر شاخص سطح برگ از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول۳)، که بیانگر وجود تفاوت محسوس در پاسخ ژنوتیپ‌ها به رژیم آبیاری است. ظاهرا اگرچه در تمام ژنوتیپ‌ها کمبود آب سبب افت شاخص سطح برگ شده است ولی در دو ژنوتیپ C_{111} و نبراسکا ۱۰ روند کاهش متفاوت از سایر ارقام بوده است.

تأثیر رژیم آبیاری بر صفت تعداد طبق در بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، بطوریکه سطح I_3 آبیاری منجر به ۳۳ درصد کاهش در تعداد طبق در بوته نسبت به سطح I_1 آبیاری گردید (جدول۴)، که این نتایج با نتایج مطالعات Abolhassani & Farid & Ehsanzadeh (2006) و Saeidi (2006) مشابهت دارد. تنش خشکی ضمن کاهش سطح برگ‌ها، پیری آنها را تسریع نموده و بدین وسیله می‌تواند میزان تولید گیاه را خیلی بیشتر از آنچه که به علت اثرات ناشی از کاهش شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد کاهش دهد و در نتیجه گیاه تعداد طبق کمتری به دلیل کاهش سطح فتوسنتزی و به‌دنبال آن کاهش مواد و منابع فتوسنتزی تولید می‌کند (Sarmadnia & Koocheki, 1987).

رژیم آبیاری بر صفت تعداد دانه در طبق در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول۳)، بطوریکه تنش خشکی منجر به کاهش ۲۶ درصدی تعداد دانه در طبق شد (جدول ۴). کاهش این جزء از عملکرد در اثر تنش خشکی در برخی دیگر از گیاهان از جمله آفتابگردان و سویا نیز مشاهده شده است (Momen et al., 1979; Cox & Jollif, 1986; Khajouie Nejad et al., 2004). ماده خشک ذخیره شده در بذر عمدتا نتیجه فتوسنتز انجام شده طی دوران پرشدن دانه می‌باشد، بنابراین در اثر تنش خشکی ضمن آنکه تعداد سلولهای بنیادی کاهش می‌یابد (Sarmadnia & Koocheki, 1987)، باعث کاهش تولید مواد پرورده شده که در نهایت تعداد دانه کاهش می‌یابد (Wolf et al., 1998). Outtar et al. (1987) نیز گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ذرت گردیده و این کاهش عملکرد بیشتر در ارتباط با کاهش در تعداد دانه نسبت به وزن دانه‌ها بوده است.

وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). سطح I_1 آبیاری با میانگین ۳۲/۶۵ گرم بیشترین وزن هزار دانه و سطح I_3

جدول۳ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		شاخص سطح برگ	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	درصد روغن	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
تکرار	۳	۲/۵۴۹^{ns}	۱۴/۵۶۷^{ns}	۱۰۶/۶۴۳**	۹/۸۵۳^{ns}	۳/۴۶۷^{ns}	۹۷۷۴۵۶/۵۳**	۵۴۳/۳۳۸^{ns}	۲۰۰/۴۳۳*
آبیاری	۲	۴۵/۵۵۴**	۵۵/۷۱۶*	۶۱۵/۲۶۳**	۶۸/۸۹۵**	۸۶/۰۸۰**	۵۱۳۰۲۲۶/۵۴**	۹۴۶/۲۳۹*	۲۰/۰۳۶^{ns}
خطای الف	۶	۰/۵۸۸	۹/۸۴۶	۲/۴۴۹	۳/۰۹۷	۱/۳۸۷	۹۵۵۷۴/۲۸	۱۶۳/۰۶۳	۳۹/۷۲۸
رقم	۵	۳/۹۹۲**	۱۳/۱۴۴^{ns}	۳۶/۵۱۳^{ns}	۴۹/۸۵۵**	۱۹/۴۳۴**	۴۴۱۶۱۲/۰۱^{ns}	۲۱۰/۵۸۷^{ns}	۲۲/۶۳۴^{ns}
رقم × آبیاری	۱۰	۱/۳۷۶*	۵/۰۵۵^{ns}	۸/۴۶۳^{ns}	۱/۵۳۰^{ns}	۲/۶۹۰^{ns}	۲۱۳۶۴۴/۶۹^{ns}	۱۱۴/۰۳۱^{ns}	۵۳/۵۴۳^{ns}
خطای ب	۴۵	۰/۵۳۸	۸/۶۸۹	۲۵/۲۸۰	۳/۵۹۹	۲/۷۳۱	۲۷۴۳۴۰/۲۲	۱۹۳/۱۵۸	۴۶/۴۳۰

** و *: به ترتیب نشان‌دهنده معنی دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

با میانگین ۲۹/۲۷ گرم کمترین مقدار را داشتند که نشان‌دهنده کاهش ۱۰ درصدی وزن هزاردانه در سطح I_3 آبیاری است (جدول ۴). کاهش وزن هزاردانه در اثر تنش خشکی در گیاه گلرنگ در مطالعه Abolhassani & Saeidi (2006)، Farid & Ehsanzadeh (2006) و Erie & French (1969) نیز مشاهده شده است.

رژیم آبیاری بر عملکرد دانه تأثیر بسیار معنی‌داری داشت (جدول۳)، بطوریکه سطح I_1 با میانگین ۲۳۰۴/۰۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و سطح I_3 با میانگین ۱۳۹۳/۴۷ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول۴). به‌طور کلی عملکرد دانه نتیجه برآیند بین اجزای عملکرد می‌باشد و کاهش اجزای عملکرد منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Sarmadnia & Koocheki, 1987). در این آزمایش نیز بین عملکرد دانه و تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (داده‌ها نشان داده نشده است). در مطالعه Abolhassani & Saeidi (2006) نیز تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گلرنگ به میزان ۲۹/۴ درصد نسبت به شاهد گردید. راضی و آساد [۸] در آزمایشی که بر ارقام آفتابگردان انجام دادند، گزارش کردندکه تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد دانه و اجزای آن می‌گردد. تنش خشکی در هنگام رشد فعال گیاه توسعه طولی قسمت‌های مختلف گیاه را به تأخیر می‌اندازد و پس از رفع تنش بهبودی به سرعت و به‌طور کامل صورت‌نمی‌گیرد و کاهش در اندازه گیاه و نهایتاً کم‌شدن عملکرد دانه را به دنبال دارد (Denmead & Shaw, 1960). در این مطالعه عملکرد دانه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری را با تعداد طبق در بوته نشان داد (داده‌ها نشان داده نشده است)، که نشان‌دهنده نقش مؤثر تعداد طبق در افزایش عملکرد دانه می‌باشد. Able (1975) و Omidi Tabrizi et al. (1999) نیز در مطالعات خود دریافتند که صفت تعداد طبق در بوته رابطه مستقیم و بالایی با عملکرد دانه دارد و این صفت مهم‌ترین عامل افزایش یا کاهش عملکرد دانه است.

اثر رژیم آبیاری بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳) و تنش خشکی ۳۳ درصد کاهش در عملکرد بیولوژیک را در سطح I_3 نسبت به I_1 ایجاد نمود (جدول۴). Naderi et al. (2004) نیز کاهش عملکرد بیولوژیک را در اثر کاهش میزان آب قابل استفاده برای گلرنگ گزارش نمودند، این محققان استدلال کردند که احتمالا کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تنش، جذب نور توسط کانوپی گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک گیاهی کاهش یافته است.

شاخص برداشت تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار نگرفت (جدول۳). Ashkani (2002)، Farid & Ehsanzadeh (2006) و Mahmoodiah Champiri & Ehsanzadeh

جدول ۴- مقایسه میانگین برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در رژیم‌های مختلف آبیاری در شش ژنوتیپ گلرنگ

عامل آزمایشی	شاخص سطح برگ	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه (گرم)	روغن (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	شاخص برداشت (درصد)
تبخیر (میلی‌متر)								
۷۵	۵/۰۵ a	۸/۸۶ a	۳۸/۳۷ a	۳۲/۶۵a	۳۰/۱۸ a	۲۳۰۴/۰۳ a	۳۷/۱۸ a	۲۶/۱۳
۱۰۵	۳/۹۰ b	۶/۶۸ab	۳۳/۱۷ b	۳۰/۸۵b	۲۸/۱۳ b	۱۷۰۹/۳۱ b	۳۰/۱۹ ab	۲۷/۰۲
۱۳۵	۲/۳۲ c	۵/۹۲ b	۲۸/۲۵ c	۲۹/۲۷c	۲۶/۴۰ c	۱۳۹۳/۴۷ c	۲۴/۶۵ b	۲۷/۹۶
اراک ۲۸۱۱	۳/۳۴ c	۷/۴۹	۳۴/۴۲	۳۴/۱۸ a	۲۹/۲۳ ab	۱۸۶۸/۶	۳۲/۶۸	۲۸/۶۰
کوسه	۴/۰۴ ab	۵/۸۲	۳۲/۵۸	۲۹/۲۸ cd	۲۸/۷۳ ab	۱۵۵۹/۴	۲۶/۶۸	۲۸/۲۵
نبراسکا	۲/۹۹ c	۶/۶۱	۳۱/۱۷	۳۱/۷۸ b	۲۹/۷۲ a	۱۸۷۸/۱	۳۴/۴۹	۲۴/۸۲
C_{111}	۴/۲۹ a	۷/۱۳	۳۱/۵۰	۳۱/۲۷ b	۲۸/۲۹ b	۲۰۵۷/۵	۲۹/۸۹	۲۷/۳۸
K_{12}	۳/۴۵ bc	۶/۴۴	۳۴/۶۷	۳۰/۶۶ bc	۲۶/۵۷ c	۱۵۸۷/۵	۲۵/۰۵	۲۶/۸۱
S_{149}	۴/۴۲ a	۸/۶۳	۳۵/۲۵	۲۸/۳۷ d	۲۶/۸۶ c	۱۸۶۲/۵	۳۵/۲۵	۲۶/۳۸

برای هر صفت و در هر عامل آزمایشی میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک فاقد تفاوت آماری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪هستند.

* نویسنده مسئول: پرویز احسان‌زاده تلفن: ۰۹۱۳-۳۱۶۳۳۵۰ E-mail: ehsanp@cc.iut.ac.ir

(2006) نیز در این مورد نتایج مشابهی در گلرنگ را گزارش نمودند. به نظر می‌رسد در مدیریت نوین گیاهان زراعی شاخص برداشت یک رقم معین، صفت ثابتی است که حتی در شرایط تنش تغییر اندکی می‌کند (Eshghizade & Ehsanzadeh, 2009)، که با نتایج تحقیق حاضر نیز همخوانی دارد.

بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تعدادطبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و بیولوژیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها اثر ژنوتیپ بر وزن هزاردانه معنی‌دار شد (جدول۳)، به‌طوریکه بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم اراک ۲۸۱۱ و کمترین میزان مربوط به رقم S_{149} بود (جدول۴). تفاوت بین ژنوتیپها از نظر وزن هزاردانه با نتایج حاصل از تحقیقات Mahmoodiah Champiri & Ehsanzadeh (2006)، Ehsanzadeh & Zareian Baghdad-Abadi (2003)، Dadashi & Khajehpour (2004) و Abolhassani & Saeidi (2006) مبنی بر تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های گلرنگ در این صفت مطابقت دارد. اثر رژیم آبیاری بر میزان روغن دانه بسیار معنی‌دار بود (جدول ۳). در این مطالعه تنش خشکی (I_3) موجب کاهش ۱۲ درصدی میزان روغن در سطح I_3 نسبت به شاهد (I_1) گردید (جدول ۴). Sing et al. (1990)، Ashkani (2002) و Naderi et al. (2004) نیز نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث کاهش کم ولی معنی‌دار درصد روغن می شود. از جمله دلایلی که برای افت درصد روغن دانه گیاهان زراعی ارائه گردیده آن است که تنش خشکی باعث بروز اختلال در پر شدن دانه و افزایش نسبت پوسته به مغز و در نهایت کاهش درصد روغن می‌شود (Zainali, 2001). اثر رقم بر درصد روغن دانه از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). در این آزمایش رقم نبراسکا ۱۰با میانگین ۲۹/۷۲ بیشترین درصد روغن و رقم K_{12} با میانگین ۲۶/۵۷ کمترین درصد روغن را دارا بود (جدول ۴).

با عنایت به آنچه در مطالعه حاضر مشاهده شد می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تنش خشکی هم از طریق تاثیر بر سیستم فتوسنتزی (بیشینه کارآیی کوانتومی فتوسیستم II) و هم از طریق تاثیر منفی بر سطح فتوسنتزکننده (LAI) سبب کاهش محسوس اجزای عملکرد و نهایتاً عملکرد دانه و روغن گلرنگ تحت شرایط آب و هوایی اصفهان می‌گردد. به نظر می‌رسد که می‌توان از اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل به عنوان ابزاری برای ارزیابی میزان تاثیرپذیری واکنش‌های نوری فتوسنتز گیاه گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی استفاده کرد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این آزمایش توسط دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شده است، که تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Able, G. H. (1975). Growth & yield of safflower in three temperature regimes. *Agronomy Journal*, 67,639-642.
2. Abolhasani, K. & Saiedi, 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(3), 407-418. (In Farsi).
3. Ashkani, J. (2002). *Determination of drought tolerance of spring safflower cultivars and evaluation of some indces of drought tolerance*. MS. dissertation, University of Shiraz, Iran. (In Farsi).
4. Basu, P. S., Ashoo, S., Sukumaran, N. P. & Sharma, A. (1998). Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. *Photosynthetica*, 35, 13-19.
5. Boyer, S. (1970). Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower of various leaf water potentials. *Plant Physiology*, 58, 398-401.
6. Cox, W. J. & Jollif, G. D. (1986). Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal*, 78, 226-230.
7. Dadashi, N. & Khajehpour, M. R. (2004). Effects of temperature and day length on developmental stages of safflower genotypes under field conditions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 7(4), 31-42 (In Farsi).
8. Denmead, O. T. & Shaw, R. H. (1960). The effects of moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal*, 52, 272-274.
9. Ehsanzadeh, P. & Zareian Baghdad-Abadi, A. (2003). Yield, yield components and growth characteristics of two safflower genotypes under varying plant densities. *Journal of Science &*

Technology of Agriculture & Natural Resources, 7(1), 129-140.
10. Eshghizade, H. R. & Ehsanzadeh, P. (2009). Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: 1- chlorophyll fluorescence, growth and grain yield. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* (In press).
11. Engel, R. & Bergman, J. (1997). *Safflower seed yield and oil content as affected by water and N fertilizer*. Fertilizer Facts, Montana State University, 14, 124-127.
12. Erie, L. J. & French, O. F. (1969). Growth, yield, and yield components of safflower as affected by irrigation regimes. *Agronomy Journal*, 61, 111-113.
13. Farid, 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 & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 10(1), 189-199.
14. Fracheboud, Y. (2006). *Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis*. Institute of Plant Sciences ETH, Universitatstrass, CH-8092 Zurich.
15. Gale, A., Csiszar, J., Tari, I. & Erdei, L. (2002). Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. In: Proceedings of *the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology*. 85-86.
16. Gardner, F. P., Pearce, R. B. & Mitchell, R. L. Physiology of crop plants. Iowa State University, Ames. Grafts-Brander, S. J. & Salvucci, M. E. (2002). Sensitivity of photosynthesis in C_4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiology. Journal*, 129, 1773-1780.
17. Hajizadeh, A. (2002). *Evaluation of the situation of oil seeds in national economy*. Vegetable Oil Industry Monthly. Pp. 45. (In Farsi).
18. 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.
19. Khajouie Nejad, G. R., Kazemi, H. A., Alyari, H., Javanshir, A., & Arvin, M. J. (2004). Effects of different irrigations and plant densities on vegetative characteristics, yield and yield components of three soybean cultivars as second crop. *Journal of Agricultural Science*, 14(2), 57-70 (In Farsi).
20. Mahmoodiah Champiri, R. & Ehsanzadeh, P. (2006). Effect of genotype and shading of inflorescence on grain yield and its components in field-grown safflower in Isfahan. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37-1(1), 157-165.
21. Maxwell, K. & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence- A practical guide. *Experimenta .Botany*, 51, 659-668.
22. Momen, N. N., Carlson, R. E., Shaw, R. H. & Arjmand, O. (1979). Moisture stress effects on the yield components of two soybean cultivars. *Agronomy Journal*, 71, 87-90.
23. Movahhedy Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A. M., Sorush Zadeh, A., & Jalali, M. (2004). Changes in proline, total soluble sugars, SPAD and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zink and manganese. *Journal of Dessert*, 9(1), 93-109 (In Farsi).
24. Naderi D, M. R., Nour Mohammadi, G., Majidi, E., Darvish, F., Shrani Rad, A. H., & Madani, H. (2004). Effects of drought stress and plant density on echophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan. *Journal of Seed and Plant*, 20(3), 281-296. (In Farsi).
25. Omidi Tabrizi, A. H., Ghannadha, M. R., Ahmadi, M. R. & Payghambari, S. A. (1999). Evaluation of some important agronomic traits in safflower using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 30(4), 817-826 (In Farsi).
26. Outtar, S., Jones, R. J. & Croocstone, R. K. (1987). Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Science*, 27, 726-730.
27. Razi, H. &Assad, M. T. (1998). Evaluating variability of important agronomic traits and drought tolerance criteria in sunflower cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 2(1), 31-42 (In Farsi).
28. Sarmadnia, G. H. & Koocheki, A. (1987). *Physiological aspects of dryland farming*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran (In Farsi). Pp. 424.
29. Shangguan, Z., Shao, M. & Dyckmans, J. (2000). Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Plant Physiology*, 156, *45-51*.
30. Shouse, P., Dasberg, S. & Jury, W. A. (1981). Water deficit effects on water potential, yield and water use of cowpeas. *Agronomy Journal*, 73, 333-336.
31. Sing, R. V., Singh, M. P., Khandait, S. L., Jain, A. & Pawer, K. S. (1990). Effect of moisture regimes, plant population and phosphorus on percentage of oil in safflower. *Indian Applied Pure Biology*, 5, 215-278.
32. Wolf, D. W., Henderson, D. W., Hsiao, T. C. & Alvin, A. (1998). Interactive water-nitrogen effects on

senescence of maize. *Agronomy Journal*, 80, 865-870.
33. Zainali, A. (2001). *Safflower*. Gorgan University Press, Gorgan, Iran (In Farsi) Pp. 144.