

بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک مرتبط با اثر تنش کمبود آب در ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.)

مهدی سیدان جاسبی^{۱*} و پرویز احسان‌زاده^۲

۱، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۴ - تاریخ تصویب: ۹۲/۴/۱۸)

چکیده

مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف کنجد (*Sesamum indicum* L.) به تنش کمبود آب می‌تواند به شناسایی سازوکارهای مؤثر بر مقاومت گیاه به این تنش کمک کند. در این راستا، اثر تنش کم‌آبی بر غلظت کلروفیل، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول برگ، میانگین سرعت فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی گیاه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به صورت کشت گلدانی در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان بررسی شد. سطوح تیمار آبیاری شامل آبیاری پس از رسیدن پتانسیل آب خاک گلدان‌ها به -0.2 - مگاپاسکال (شاهد)، -0.5 - مگاپاسکال (کمبود جزئی آب)، -1 - مگاپاسکال (کمبود متوسط آب) و -1.4 - مگاپاسکال (کمبود شدید آب) به عنوان فاکتور اول و ۱۲ ژنوتیپ کنجد به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. بیشترین کاهش مقدار کلروفیل (۴۶ درصد) در تنش کمبود شدید آب و در ژنوتیپ ناز تک شاخه مشاهده شد. کمبود شدید آب، موجب کاهش $43/8$ ، $39/6$ ، $46/6$ و $17/7$ درصدی میانگین سرعت فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل کل و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در مقایسه با شاهد شد. بیشترین افزایش پرولین ($129/8$ درصد) و کربوهیدرات‌های محلول برگ ($35/6$ درصد) در کمبود شدید آب نسبت به شاهد مشاهده شد. کمبود شدید آب سبب کاهش $21/5$ درصدی ارتفاع بوته و 52 درصدی وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد شد. کمبود شدید آب با اثرگذاری منفی بر سیستم فتوسنتزی از طریق محدود کردن هدایت روزنه‌ای و کاهش میانگین سرعت فتوسنتز خالص، سبب کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شد. کاهش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II از یک سو و کاهش مقدار کلروفیل گیاه در اثر کمبود شدید آب از سوی دیگر، سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت، کاهش عملکرد (ماده خشک اندام هوایی) در ژنوتیپ‌های تحت بررسی شد.

واژه‌های کلیدی: کربوهیدرات‌های محلول، کلروفیل، کمبود آب، کنجد، محتوای پرولین.

مقدمه

محیطی، تنش‌های زنده (بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز) و تنش‌های غیرزنده (خشکی، غرقابی، شوری، گرما و سرما)، تنش خشکی به کاهش ۴۵ درصدی عملکرد محصولات زراعی منجر شده است (Emam & Zavarehi, 2005). تنش خشکی، اغلب ناشی از کاهش پتانسیل آب خاک است. در چنین شرایطی، فرایند

از میان تنش‌هایی که گیاهان با آنها روبه‌رو می‌شوند، تنش خشکی در اکثر مناطق جهان از مهم‌ترین عوامل محدودکننده گسترش و زادآوری گیاهان در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی به‌شمار می‌آید، به‌طوری‌که بر اساس مطالعات، از بین عوامل مختلف ایجادکننده تنش‌های

آب در مرحله رشد رویشی می‌تواند عملکرد کنجد را به دلیل کاهش ارتفاع بوته حتی تا نصف کاهش دهد. کنجد معمولاً به‌عنوان گیاه مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود. با این حال، در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است که عملکرد کنجد تحت تأثیر آبیاری قرار می‌گیرد و محدودیت آب به کاهش رشد و عملکرد کنجد می‌انجامد (Mensah *et al.*, 2006). در پژوهش Amani & Golkar (2010)، آبیاری اثر معناداری بر صفات تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزاردانه داشت و در بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده، ارقام داراب ۱۴ و گرگان، به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند. تنش شدید خشکی سبب کاهش معنادار ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزاردانه، عملکرد و درصد روغن شد. از بین دو رقم داراب و GL13، عملکرد دانه و روغن رقم داراب، بیشتر از رقم GL13 بود (Najafi & Safari, 2010). پژوهش Mohammadrezakhani & *et al.* (2011) درباره صفاتی همچون عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه در پنج رقم کنجد و سه سطح تنش خشکی نشان داد که با افزایش تنش خشکی، عملکرد کاهش یافت و در بین ارقام، داراب ۱۴ بیشترین عملکرد را داشت. هدف از این پژوهش، بررسی اثر تنش کمبود آب بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در چند ژنوتیپ کنجد است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت گلدانی در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان و در تابستان سال ۱۳۹۰ به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی (به علت تغییر شدت نور محیط و کاهش اثر آن در نتایج پژوهش) در ۳ تکرار اجرا شد. در این آزمایش، ۴ سطح تیمار آبیاری شامل آبیاری پس از رسیدن پتانسیل آب خاک گلدان‌ها به ۰/۲- مگاپاسکال (شاهد)، ۰/۵- مگاپاسکال (کمبود جزئی آب)، ۱- مگاپاسکال (کمبود متوسط آب) و ۱/۴- مگاپاسکال (کمبود شدید آب) به عنوان فاکتور اول و ۱۲

تنظیم اسمزی به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش آبی کمک می‌کند. یکی از سریع‌ترین پاسخ‌های گیاه به وقوع تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها است (Nayyar & Gupta, 2006). این شرایط می‌تواند جذب دی‌اکسید کربن را کاهش دهد که پیامد آن، کاهش فتوسنتز گیاه است (Stepien & Klobus, 2006). در مطالعه Siosemardeh *et al.* (2011)، تنش خشکی موجب کاهش سرعت فتوسنتز و همچنین هدایت روزنه‌ای در آفتابگردان شد.

محتوای کلروفیل برگ‌ها، از عوامل مهم در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک است. در برخی گونه‌ها، تنش آب سبب کاهش و در برخی، سبب افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Delkosh *et al.*, 2005). کاهش مقدار کلروفیل در شرایط تنش ممکن است به دلیل فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیل‌از یا تغییر متابولیسم نیتروژن در زمینه ساخت ترکیب‌هایی همچون پرولین که در تنظیم اسمزی به کار می‌روند، باشد (Rosa-Ibarra & Maiti, 1995). در آزمایش Shukry (2001) درباره گیاه بزرک، تنش خشکی به کاهش زیاد کل رنگدانه‌ها منجر شد، که در نتیجه آن کاهش سرعت فتوسنتز این گیاه گزارش شد. آنالیز فلورسانس کلروفیل، روشی سریع و غیرتخریبی را برای ارزیابی نحوه عملکرد سیستم فتوسنتزی در طول و بعد از تنش فراهم می‌کند. تنش‌های محیطی سبب کاهش بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگارنده با تاریکی می‌شوند (Maxwell & Johanson, 2000).

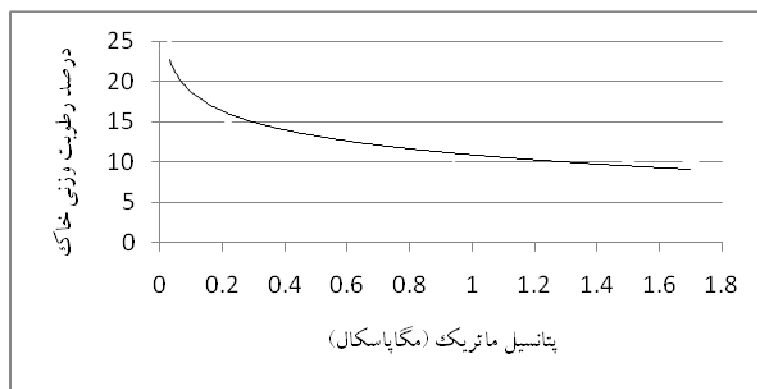
در پژوهش‌های Miladi Lari & Ehsanzade (2010) در بررسی اثر تنش آبی بر ژنوتیپ‌های گلرنگ، کاهش بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II در اثر تنش شدید آبی گزارش شد. با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ها و نیز سرعت رشد، فتوسنتز و خصوصیات مورفولوژیکی کاهش می‌یابد. از طرفی، در شرایط تنش خشکی، محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم ایجاد می‌شود و در نتیجه، رشد و سرعت توسعه ریشه، و به تبع آن، تولید اندام هوایی کاهش می‌یابد (Kafi & Damghani, 2000). در مطالعه‌ای (Hong *et al.*, 1985)، مشخص شد که کمبود

ماتریک، رطوبت جرمی، حجم گلدان، وزن خاک خشک و وزن خاک مرطوب درون گلدان محاسبه شده و در نهایت، با داشتن مقدار رطوبت وزنی در هر پتانسیل و در نظر گرفتن چگالی ظاهری، مقدار پتانسیل آب خاک تعیین شد (شکل ۱). تیمار آبیاری با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مصرفی بر اثر تبخیر و تعرق اعمال شد. اعمال تیمار آبیاری تا مرحله آغاز نیام‌بندی ادامه یافت. تیمار آبیاری از مرحله ۵ برگی به بعد و در زمان‌هایی اعمال شد که پتانسیل ماتریک خاک به حدود $-۰/۲$ ، $-۰/۵$ ، -۱ و $-۱/۴$ مگاپاسکال می‌رسید.

ژنوتیپ کنجد که در مناطق مختلف، بیشتر کشت‌وکار می‌شوند، شامل "اولتان"، "ناز تک‌شاخه"، "ناز چندشاخه"، "داراب"، "یکتا"، "ورامین"، "اردستان"، "اسفراین"، "فردوس II"، "سبزوار I"، "کاشمر" و "خواف" به‌عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد. برای اعمال تیمار آبیاری از روش وزنی استفاده شد. در این روش، پس از توزین هر کدام از گلدان‌های خالی، در کف گلدان‌ها به مقدار مساوی سنگریزه (برای زهکشی) ریخته شد و سپس گلدان‌ها به مقدار مساوی و معین با خاک (۴ کیلوگرم خاک هوا خشک) پر شدند (جدول ۱). برای تعیین وزن گلدان‌ها در هر پتانسیل

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده‌شده در آزمایش

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	رطوبت وزنی (FC) (%)	رطوبت نقطه پژمردگی (%)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۱۶	۴۶	۳۸	لوم رسی	۷/۵	۱/۷	۲۴	۱۰	۱/۴



شکل ۱. منحنی مشخصه رطوبتی و رطوبت وزنی معادل مکش‌ها

هفته پس از آغاز اعمال تیمار آبیاری در ۳ برگ توسعه‌یافته بالغ از هر گیاه در هر گلدان محاسبه شد. ابتدا با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه و به مدت ۳۰ دقیقه، سازگاری به تاریکی در برگ‌ها انجام گرفت و سپس پارامترهای بیشینه پتانسیل کارایی کوانتومی فتوسیستم II ($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$)، فلورسانس کمینه (F_0) و فلورسانس بیشینه (F_m)، اندازه‌گیری شد. مقدار پرولین تجمع‌یافته در برگ گیاه در هفته چهارم پس از آغاز اعمال تیمار آبیاری و با استفاده از روش بیتز (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. پس از کالیبره کردن دستگاه، قرائت نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری شدت تبادلات گازی از دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری تبادلات گازی (مدل ال. سی. ای نسخه نرم‌افزاری ۱/۱۰) استفاده شد و سه متغیر سرعت فتوسنتز خالص (A_n)، هدایت روزنه‌ای (g_s) و غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه (C_i) در هفته پنجم پس از آغاز تیمار آبیاری در سه برگ جوان و توسعه‌یافته در هر واحد آزمایشی، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری بین ساعت‌های ۱۰ تا ۱۲ انجام گرفت و متوسط تشعشعات فتوسنتزی (PAR) در زمان اندازه‌گیری ۱۷۰۰ میکرومول در متر مربع در ثانیه در نظر گرفته شد. وضعیت فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر (مدل Opti-Science, OS-30p, London) چهار

محاسبات آماری و تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری بر سرعت فتوسنتز خالص، میزان هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسیدکربن اتاפק زیر روزنه برگ معنادار بود (جدول ۲). تنش کمبود شدید آب، سبب کاهش ۴۳/۸ و ۳۹/۶ درصدی به ترتیب در سرعت فتوسنتز خالص برگ و میزان هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). بسته شدن روزنه‌های گیاه در هنگام تنش، یکی از راهکارهای معمول گیاه برای حفظ محتوای آب سلول است. این شرایط می‌تواند مقدار جذب دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد که پیامد آن کاهش فتوسنتز گیاه است (Shukry, 2001). در بررسی اثر سطوح کود نیتروژن‌دار در مراحل نمو مختلف بر تبادلات گازی ژنوتیپ‌های کنجد، ثابت شد که با افزایش سطح کود نیتروژن‌دار، شدت فتوسنتز در سطح برگ و هدایت روزنه‌ای افزایش، و غلظت دی‌اکسیدکربن اتاפק زیر روزنه کاهش یافت (Sayyad-Amin, 2008). در پژوهش Hall & Kaufmann (1975)، درباره ژنوتیپ گلایوکای کنجد در آمریکا، در مرحله گیاهچه و در شرایط گلخانه، شدت فتوسنتز در واحد سطح برگ، ۱۰ تا ۱۵ میکرومول بر متر مربع در ثانیه اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول، نمونه‌های برگ پنج هفته پس از اعمال تیمارهای آبیاری برداشت شده و ابتدا در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس کربوهیدرات‌های محلول از طریق سه بار عصاره‌گیری یک گرم ماده خشک برگ در ۱۵ میلی‌لیتر الکل اتیلیک داغ ۸۰ درصد استخراج و عصاره حاصل با استفاده از ۵ میلی‌لیتر سولفات روی ۵ درصد و ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال صاف شد. پس از اضافه کردن یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به ۲ میلی‌لیتر از نمونه‌های صاف‌شده، غلظت کربوهیدرات‌های محلول به وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۵ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف کربوهیدرات محلول تعیین شد (Siosemardeh, 1998). محتوای کلروفیل برگ در مرحله گلدهی و با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شد.

ارتفاع بوته در پایان آزمایش و با خط‌کش میلی‌متری و از قسمت طوقه تا انتهای ساقه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های هوایی بوته، پس از برداشت گیاهان، بوته‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و با ترازوی دقیق توزین شدند. با توجه به کشت گیاه در درون گلدان، نبود شرایط مناسب برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و انجام گرفتن آزمایش در مراحل رشد رویشی گیاه، از اندازه‌گیری عملکرد دانه چشم‌پوشی شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر سرعت فتوسنتز خالص (A_n)، غلظت دی‌اکسیدکربن اتاפק زیر روزنه برگ (C_i)، هدایت روزنه‌ای (g_s)، بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II، غلظت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در ۱۲ ژنوتیپ کنجد

منابع تغییرات	درجه آزادی	سرعت فتوسنتز خالص	غلظت دی‌اکسیدکربن اتاפק زیر روزنه	هدایت روزنه‌ای فتوشیمیایی فتوسیستم II	بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II	پرولین	کربوهیدرات‌های محلول
بلوک	۲	۰/۷۵۱ ^{ns}	۵۴۳۲/۵۲*	۰/۰۲۹*	۰/۰۰۳۲ ^{ns}	۲/۰۶ ^{ns}	۱/۳۵ ^{ns}
ژنوتیپ	۱۱	۶/۴۴ ^{ns}	۴۹۷/۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۶۱ ^{ns}	۰/۰۰۲۳ ^{ns}	۰/۵۷۵ ^{ns}	۲/۸۱ ^{ns}
خشکی	۳	۷۵۰/۳۷*	۳۸۲۸/۲۴*	۰/۰۳۳۷*	۰/۱۳۳*	۸۲/۴۷**	۵۹/۸۶**
ژنوتیپ×خشکی	۳۳	۳/۲۶ ^{ns}	۱۲۹۰/۳۱ ^{ns}	۰/۰۰۴۳ ^{ns}	۰/۰۰۱۴ ^{ns}	۱/۱۹ ^{ns}	۲/۸۶ ^{ns}
خطا	۹۴	۶/۶۸۶	۱۰۳۴/۱۴	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۱۵	۱/۱۳۸	۳/۳۷۵
ضریب تغییرات	۱۳/۴	۲۷/۶	۴۷/۳	۵/۵	۲۲/۳	۱۷/۵	

ns، * و ** به ترتیب بیانگر معنادار نبودن، معنادار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

شدید در مقایسه با سطح شاهد ۱۷/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). گزارش شده است که محدودیت آبی، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل یا کارایی فتوشیمیایی

اثر تیمار آبیاری بر بیشینه کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۲). مقدار F_v/F_m در سطح تنش

(Mamnooei & Seyyedsharifi, 2010)

فتوسیستم II را به دلیل افزایش کمیته فلورسانس مبدأ و کاهش فلورسانس بیشینه کاهش داد

جدول ۳. مقایسه میانگین‌ها برای سرعت فتوسنتز خالص، غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه برگ، هدایت روزنه‌ای، بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II، غلظت پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در ۱۲ ژنوتیپ کنگد در چهار سطح پتانسیل آب خاک

عامل آزمایشی	سرعت فتوسنتز خالص ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	غلظت دی‌اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$)	هدایت روزنه‌ای ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$)	بازده فتوشیمیایی فتوسیستم II	پرولین ($\mu\text{mol/g Fw}$)	کربوهیدرات‌های محلول (mmol/g Dw)
پتانسیل آب خاک (MPa)						
-۰/۲	۲۳/۹۷ ^a	۱۲۴/۳ ^a	۰/۱۸۳ ^a	۰/۸۰۱ ^a	۲/۶۸۸ ^d	۸/۷۴۱ ^c
-۰/۵	۲۱/۶۱ ^b	۱۱۵/۰۳ ^{ab}	۰/۱۵۱ ^{ab}	۰/۷۱۴ ^b	۴/۷۵۳ ^c	۱۰/۶۵۳ ^b
-۱	۱۸/۱۷ ^c	۱۰۲/۲۵ ^b	۰/۱۲۶ ^{bc}	۰/۶۹۶ ^b	۵/۵۱۵ ^b	۱۰/۶۱۲ ^b
-۱/۴	۱۳/۴۶ ^d	۱۲۳/۷۷ ^a	۰/۱۱ ^c	۰/۶۵۹ ^c	۶/۱۷۸ ^a	۱۱/۸۶۵ ^a
LSD	۱/۲۱	۱۵/۰۵	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۴۹۹	۰/۸۵۹

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، میانگین‌هایی که دست کم یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

ارقام کنگد تحت رژیم‌های رطوبتی خاک نشان داد که دو سطح تنش متوسط (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و تنش شدید (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A)، سبب افزایش معنادار مقدار پرولین برگ ژنوتیپ‌های کنگد در مقایسه با سطح شاهد شد (Mehrabi, 2007).

تأثیر تیمار آبیاری بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۴). محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b در سطح کمبود شدید آب به ترتیب ۴۸، ۴۳/۵، ۴۶/۶ و ۵/۷ درصد در مقایسه با سطح شاهد کاهش یافت (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش، به‌واسطه افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و در نتیجه، تجزیه کلروفیل است (Moussa & Abdel-Aziz, 2008). نتایج بررسی گیاه کنگد، بیانگر کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش شدید خشکی (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) بود (Mehrabi, 2007). در پژوهش Hassanzadeh *et al.*, (2009) در زمینه بررسی اثر تنش خشکی بر مقدار کلروفیل ژنوتیپ‌های کنگد، تنش خشکی سبب کاهش مقدار کلروفیل شد. اثر ژنوتیپ بر

اثر تیمار آبیاری بر غلظت پرولین برگ معنادار شد (جدول ۲) و غلظت این اسید آمینه در اثر کمبود شدید آب، در مقایسه با شرایط شاهد ۱۳۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

پژوهش‌های Kadkhodaei & Ehsanzade (2011)، نشان داد که تنش کمبود آب سبب افزایش معنادار میانگین غلظت پرولین برگ در همه ژنوتیپ‌های گیاه بزرگ شد. در پژوهش Movahhedy Dehnavi *et al.*, (2004) درباره گلرنگ ثابت شده است که با افزایش سن گیاه، تجمع پرولین بیشتر می‌شود و این افزایش، با کاهش محتوای رطوبت گیاه و خاک همبستگی دارد، به طوری که خشکی موجب افزایش معنادار مقدار پرولین برگ‌ها می‌شود.

اثر تیمار آبیاری بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۲). کمبود شدید آب موجب افزایش ۳۵/۶ درصدی مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ نسبت به سطح شاهد شد (جدول ۳). در بررسی ژنوتیپ‌های گیاه بزرگ، افزایش ۲۵ درصدی غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ در اثر تیمار خشکی شدید گزارش شد (Kadkhodaei & Ehsanzade, 2011). Ehsanzade, بررسی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد

(جدول ۴). کمبود شدید آب موجب ۲۱/۵ درصد کاهش در طول ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). کمبود آب، رشد هر دو قسمت هوایی و ریشه را کاهش می‌دهد، ولی اثر نسبتاً بیشتری بر قسمت هوایی می‌گذارد (Aspinal & Paleg, 1981). گزارش شده است که در اکوتیپ‌های گیاه کنجد و با افزایش فاصله آبیاری تا مدت ۱۸ روز، ارتفاع گیاه نسبت به شاهد ۵۸ درصد کاهش پیدا کرده است (Goldani, 2011).

اثر تیمار آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنادار شد (جدول ۴). کمبود شدید آب موجب کاهش ۵۲/۲ درصدی در وزن خشک اندام هوایی گیاه نسبت به شرایط شاهد شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد با کاهش پتانسیل آب خاک و در پی آن، پتانسیل آب گیاه، پتانسیل فشاری لازم برای توسعه سلول و تقسیم آن فراهم نیست، به طوری که سرعت رشد و سرعت تقسیم سلولی گیاه کاهش می‌یابد. از طرفی، در شرایط تنش کم‌آبی، ورود دی‌اکسیدکربن به داخل گیاه از طریق روزنه‌ها کاهش می‌یابد و سرعت انتقال مواد فتوسنتزی و مقدار مواد ذخیره‌ای (کربوهیدرات غیرساختمانی) گیاه نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی کم می‌شود (Bruce, 1991).

محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در سطح یک درصد معنادار شد. ژنوتیپ فردوس II با ۰/۷۷۱ میلی‌گرم در گرم، دارای بیشترین مقدار کلروفیل a، و ژنوتیپ‌های اسفراین با ۰/۳۰۳ و فردوس II با ۰/۷۲۹ میلی‌گرم در گرم به ترتیب دارای بیشترین مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل در میان ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ناز چندشاخه نیز با ۰/۵۴۴ میلی‌گرم در گرم، کمترین مقدار کلروفیل a، و ژنوتیپ اردستان با ۰/۲۳۴ و ۰/۸۴۳ میلی‌گرم در گرم کمترین مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل را در بین ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵). اثر متقابل ژنوتیپ و آبیاری برای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b معنادار شد. بدین ترتیب ژنوتیپ ناز تک‌شاخه بیشترین و ژنوتیپ سبزواری کمترین کاهش کلروفیل را نشان دادند (جدول ۶). بررسی‌های Pessarkli (1999) نشان می‌دهد که دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل در برگ در شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مقاومت به تنش است. کاهش کمتر کلروفیل و پایداری آن در اثر تنش به گیاه کمک می‌کند تا در مقابل تنش مقاومت کند و این مقدار پایدار کلروفیل به حفظ نسبی ثبات در فتوسنتز و در نهایت عملکرد، منجر می‌شود. اثر تیمار آبیاری بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد معنادار شد

جدول ۴. خلاصه تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی برای غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی در ۱۲ ژنوتیپ کنجد

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	ارتفاع بوته	وزن خشک اندام هوایی
بلوک	۲	۰/۲۱۲**	۰/۲۷۲**	۰/۹۶۵**	۱۶/۸۰**	۲۷/۰۰ ^{ns}	۱/۲۶*
ژنوتیپ	۱۱	۰/۰۶۶**	۰/۰۰۶*	۰/۰۹۶**	۱/۲۵۱**	۱۳/۵۹ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}
خشکی	۳	۱/۱۸۳**	۰/۱۶۳**	۲/۱۸۷**	۲/۶۸۴**	۵۲۸/۴۱**	۳۸/۳۰**
ژنوتیپ×خشکی	۳۳	۰/۰۳۵**	۰/۰۰۷۱**	۰/۰۶۲**	۰/۷۶۱**	۷/۹۸ ^{ns}	۰/۱۸۲ ^{ns}
خطا	۹۴	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۵۴	۰/۳۳۷	۹/۸۴	۰/۳۶۸
ضریب تغییرات		۷/۷	۱۷/۷	۷/۷	۲۱/۳	۱۰/۳	۲۰/۴

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معناداری، معنادار در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد

جدول ۵. مقایسه میانگین‌ها برای غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی در ۱۲

ژنوتیپ کنجد در چهار سطح پتانسیل آب خاک

عامل آزمایشی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	ارتفاع بوته (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/plant)	پتانسیل آب خاک (MPa)
	۰/۸۶۳ ^a	۰/۳۵۴ ^a	۱/۲۱۶ ^a	۲/۵۶۸ ^b	۳۵/۲۵ ^a	۴/۱۳ ^a	-۰/۲
	۰/۷۸۰ ^b	۰/۲۹۱ ^b	۱/۰۷۱ ^b	۲/۸۷۵ ^a	۳۱/۸۳ ^b	۳/۵۳ ^b	-۰/۵
	۰/۶۳۸ ^c	۰/۲۳۳ ^c	۰/۸۷۱ ^c	۳/۰۱۶ ^a	۲۷/۰۸ ^c	۲/۲۳ ^c	-۱
	۰/۴۴۸ ^d	۰/۲۰۰ ^d	۰/۶۴۹ ^d	۲/۴۲۱ ^b	۲۷/۶۶ ^c	۱/۹۷ ^c	-۱/۴
LSD	۰/۰۲۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۴	۰/۲۷۲	۱/۴۶	۰/۲۸۴	

در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، میانگین‌هایی که دست‌کم یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و تیمار آبیاری بر مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b در ۱۲

ژنوتیپ کنجد

ژنوتیپ	پتانسیل آب خاک (MPa)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	اثر متقابل
اردستان	-۰/۲	۰/۸۱۳ ^{ghi}	۰/۳۷۷ ^{bc}	۱/۱۸۹ ^{de}	۲/۱۶۳ ^{rs}	۲/۱۶۳ ^{rs}
	-۰/۵	۰/۶۴۳ ^{no}	۰/۱۸۳ ^{pqr}	۰/۸۲۶ ⁿ	۳/۷۰۹ ^a	۳/۷۰۹ ^a
	-۱	۰/۵۰۹ ^{rs}	۰/۱۷۸ ^{qr}	۰/۶۸۸ ^s	۳/۱۶۲ ^{cdef}	۳/۱۶۲ ^{cdef}
	-۱/۴	۰/۴۷۳ ^{tu}	۰/۱۹۷ ^{opq}	۰/۶۶۹ st	۲/۶۴۴ ^{klmn}	۲/۶۴۴ ^{klmn}
ورامین	-۰/۲	۰/۸۴۳ ^{ef}	۰/۳۱۸ ^{def}	۱/۱۶۳ ^{ef}	۲/۷۸۸ ^{hijkl}	۲/۷۸۸ ^{hijkl}
	-۰/۵	۰/۷۶۹ ^k	۰/۲۷۳ ^{hi}	۱/۰۴۳ ⁱ	۲/۹۹۳ ^{efgh}	۲/۹۹۳ ^{efgh}
	-۱	۰/۶۵۷ ^{lmn}	۰/۲۰۷ ^{no}	۰/۸۶۴ ^m	۳/۳۳۳ ^c	۳/۳۳۳ ^c
	-۱/۴	۰/۵۲۹ ^r	۰/۲۱۹ ^{mn}	۰/۷۴۹ ^{qr}	۲/۷۰۵ ^{ijklm}	۲/۷۰۵ ^{ijklm}
اسفراین	-۰/۲	۰/۸۸۹ ^c	۰/۳۷۳ ^{bc}	۱/۲۶۳ ^b	۲/۳۹۱ ^{opqr}	۲/۳۹۱ ^{opqr}
	-۰/۵	۰/۹۲۱ ^b	۰/۳۶۳ ^c	۱/۲۸۵ ^b	۲/۶۶۱ ^{klmn}	۲/۶۶۱ ^{klmn}
	-۱	۰/۵۵۶ ^q	۰/۲۲۹ ^{lm}	۰/۷۸۶ ^{op}	۲/۵۹۵ ^{lmno}	۲/۵۹۵ ^{lmno}
	-۱/۴	۰/۱۱۴ ^w	۰/۲۴۷ ^{kl}	۰/۳۹۵ ^w	۰/۶۱۷ ^v	۰/۶۱۷ ^v
ناز تک‌شاخه	-۰/۲	۰/۸۸۱ ^{cd}	۰/۴۳۶ ^a	۱/۳۱۸ ^a	۲/۰۴۸ st	۲/۰۴۸ st
	-۰/۵	۰/۷۶۵ ^k	۰/۲۷۹ ^{hi}	۱/۰۴۴ ⁱ	۲/۸۴۴ ^{ghijk}	۲/۸۴۴ ^{ghijk}
	-۱	۰/۶۲۷ ^o	۰/۱۹۵ ^{opq}	۰/۸۳۳ ⁿ	۳/۵۷۵ ^{ab}	۳/۵۷۵ ^{ab}
	-۱/۴	۰/۰۸۱ ^x	۰/۱۲۹ ^t	۰/۲۱۱ ^x	۰/۹۵۳ ^u	۰/۹۵۳ ^u
ناز چندشاخه	-۰/۲	۰/۷۸۱ ^{jk}	۰/۳۳۱ ^{de}	۱/۱۱۳ ^h	۲/۵۲۸ ^{mno}	۲/۵۲۸ ^{mno}
	-۰/۵	۰/۵۵۳ ^q	۰/۲۴۹ ^{jk}	۰/۸۰۳ ^{no}	۲/۲۵۶ ^{pqrs}	۲/۲۵۶ ^{pqrs}
	-۱	۰/۵۲۹ ^r	۰/۲۳۶ ^{klm}	۰/۷۶۶ ^{pqr}	۲/۳۸۷ ^{opqr}	۲/۳۸۷ ^{opqr}
	-۱/۴	۰/۳۱۳ ^v	۰/۱۷۳ ^{rs}	۰/۴۸۶ ^v	۱/۸۹۰ ^t	۱/۸۹۰ ^t
کاشمر	-۰/۲	۰/۸۶۴ ^{de}	۰/۲۹۳ ^{gh}	۱/۱۵۷ ^f	۳/۰۳۵ ^{defg}	۳/۰۳۵ ^{defg}
	-۰/۵	۰/۸۸۲ ^{cd}	۰/۳۷۴ ^{bc}	۱/۲۵۷ ^b	۲/۶۰۲ ^{lmno}	۲/۶۰۲ ^{lmno}
	-۱	۰/۸۱۳ ^{ghi}	۰/۲۸۸ ^h	۱/۱۰۱ ^h	۳/۰۱۳ ^{defgh}	۳/۰۱۳ ^{defgh}
	-۱/۴	۰/۴۲۰ ^u	۰/۲۰۹ ^{no}	۰/۶۷۹ ^s	۲/۲۶۸ ^{pqrs}	۲/۲۶۸ ^{pqrs}
خواف	-۰/۲	۰/۹۰۱ ^{bc}	۰/۴۲۵ ^a	۱/۳۲۷ ^a	۲/۲۱۳ ^{qrs}	۲/۲۱۳ ^{qrs}
	-۰/۵	۰/۸۶۳ ^{de}	۰/۳۳۷ ^d	۱/۲۰۱ ^{cd}	۲/۵۹۸ ^{lmno}	۲/۵۹۸ ^{lmno}
	-۱	۰/۵۲۷ ^r	۰/۲۰۰ ^{nop}	۰/۷۲۷ ^f	۳/۳۵۲ ^{bc}	۳/۳۵۲ ^{bc}
	-۱/۴	۰/۴۹۳ st	۰/۱۵۵ ^s	۰/۶۴۸ ^t	۳/۳۸۸ ^{bc}	۳/۳۸۸ ^{bc}
یکتا	-۰/۲	۰/۸۵۰ ^{ef}	۰/۳۱۳ ^{ef}	۱/۱۶۳ ^{ef}	۲/۹۱۵ ^{ghi}	۲/۹۱۵ ^{ghi}
	-۰/۵	۰/۸۳۸ ^f	۰/۳۱۰ ^{fg}	۱/۱۴۹ ^{fg}	۲/۸۹۷ ^{ghij}	۲/۸۹۷ ^{ghij}
	-۱	۰/۶۷۶ ^m	۰/۲۳۸ ^{klm}	۰/۹۱۵ ^{kl}	۳/۱۸۴ ^{cde}	۳/۱۸۴ ^{cde}
	-۱/۴	۰/۶۴۹ ⁿ	۰/۲۶۶ ^{ij}	۰/۹۱۵ ^{kl}	۲/۶۴۳ ^{klmn}	۲/۶۴۳ ^{klmn}
فردوس II	-۰/۲	۰/۸۸۲ ^{cd}	۰/۳۳۷ ^d	۱/۲۱۹ ^{cd}	۲/۶۲۷ ^{klmno}	۲/۶۲۷ ^{klmno}
	-۰/۵	۰/۷۳۳ ^{ij}	۰/۳۱۹ ^{def}	۱/۱۱۳ ^h	۲/۶۹۸ ^{ijklm}	۲/۶۹۸ ^{ijklm}
	-۱	۰/۸۱۶ ^{gh}	۰/۳۳۵ ^d	۱/۱۵۱ ^{fg}	۲/۶۹۸ ^{ijklm}	۲/۶۹۸ ^{ijklm}
	-۱/۴	۰/۵۹۳ ^p	۰/۲۳۳ ^{klm}	۰/۸۲۷ ⁿ	۲/۵۹۶ ^{lmno}	۲/۵۹۶ ^{lmno}

ادامه جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و تیمار آبیاری بر مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و نسبت کلروفیل a/b در ۱۲ ژنوتیپ کنجد

ژنوتیپ	پتانسیل آب خاک (MPa)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	a/b نسبت کلروفیل
داراب	-۰/۲	۰/۹۵۳ ^a	۰/۳۹۰ ^b	۱/۳۴۳ ^a	۲/۴۷۷ ^{mno}
	-۰/۵	۰/۷۱۵ ^l	۰/۳۴۳ ^{kl}	۰/۹۵۸ ^j	۲/۹۷۴ ^{efgh}
	-۱	۰/۵۵۹ ^q	۰/۱۹۳ ^{opq}	۰/۷۵۳ ^{qr}	۲/۹۲۷ ^{fghi}
	-۱/۴	۰/۴۵۴ ^u	۰/۱۳۵ ^t	۰/۵۸۹ ^u	۳/۳۲۳ ^c
سبزوار I	-۰/۲	۰/۷۹۹ ^{hij}	۰/۳۲۳ ^{def}	۱/۱۲۲ ^{gh}	۲/۸۲۰ ^{ghijkl}
	-۰/۵	۰/۷۸۶ ^{jk}	۰/۲۷۷ ^{hi}	۱/۰۶۴ ⁱ	۳/۰۲۰ ^{defghi}
	-۱	۰/۶۶۰ ^{mn}	۰/۲۳۳ ^{klm}	۰/۸۹۴ ^{lm}	۳/۱۶۷ ^{def}
	-۱/۴	۰/۶۵۳ ⁿ	۰/۲۷۳ ^{hi}	۰/۹۳۶ ^k	۲/۴۸۸ ^{nopq}
اولتان	-۰/۲	۰/۸۹۵ ^c	۰/۳۲۹ ^{def}	۱/۲۲۴ ^c	۲/۸۱۶ ^{ghijkl}
	-۰/۵	۰/۸۳۳ ^{fg}	۰/۲۷۸ ^{hi}	۱/۱۱۱ ^h	۳/۲۴۷ ^{cd}
	-۱	۰/۷۲۱ ^l	۰/۳۶۴ ^{ij}	۰/۹۸۶ ⁿ	۲/۸۰۰ ^{ghijkl}
	-۱/۴	۰/۵۲۸ ^f	۰/۱۶۸ ^{def}	۰/۶۹۶ ^s	۳/۵۸۴ ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دست‌کم یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

درون گلدان و محدودیت رشد ریشه‌های گیاه (که خود می‌تواند سبب ایجاد شرایط تنش‌زا بر گیاهی مانند کنجد شود)، احتمالاً عوامل محدودکننده این‌چنینی مانع بروز پتانسیل ژنتیکی هر ژنوتیپ می‌شود و به همین دلیل تفاوت‌های معناداری در بین ژنوتیپ‌های تحت آزمایش مشاهده نشد.

سپاسگزاری

از دانشگاه صنعتی اصفهان به دلیل تأمین هزینه‌های این پژوهش تقدیر و تشکر می‌شود.

به نظر می‌رسد با وقوع کمبود آب در گیاه دانه‌روغنی کنجد، تمام مؤلفه‌های فتوسنتزی دستخوش کاهش می‌شوند. کارایی کوانتومی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن سرعت فتوسنتز خالص و غلظت کلروفیل برگ در کنجد کاهش یافته است که نتیجه چنین تغییراتی، کاهش رشد و تولید ماده خشک گیاهی است. البته تولید و تجمع مواد متابولیکی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، به عنوان سازوکاری برای مقابله با شرایط کم‌آبی در این گیاه به کار گرفته می‌شوند. گفتنی است با عنایت به اعمال تنش کم‌آبی و کشت

REFERENCES

- Amani, M. Golkar., P. (2010). Evaluation of drought tolerance in different Sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at Hormozgan. *Biyaban*, 14, 45-66. (In Farsi).
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Aspinal, D. & Paleg, L. (1981). The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. In: Paleg L. G., Aspinal, D. (Eds), Proline accumulation: Physiological aspects. Academic Press, Sidney, pp. 215-228.
- Bates, L. S., R. P. Waldern. & Teare., I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Bruce, J. A. (1991). Comparative responses of leaf conductance to humidity in single attached leaves. *Journal of Experimental Botany*, 32, 629-634.
- Delkhosh, B. Shirani-e-Rad. A. H. Noormohammadi, G. H. & Darvish. F. (2005). Evaluation of drought stress on yield and chlorophyll content in rapeseed cultivars. *Journal of Agriculture Science*, 2, 359-367. (In Farsi).
- Emam, Y. & Zavarehi., M. (2005). *Drought tolerance in higher (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis)*. Academic Publishing Center of Tehran. (In Farsi).
- Goldani, M. (2011). Effect of irrigation intervals on some morphophysiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) ecotypes. *Journal of Agroecology*, 2, 658-666. (In Farsi).
- Hall, A. E. & Kaufmann., M. R. (1975). Stomatal response to environment with (*Sesamum indicum* L.). *Plant Physiology*, 55, 455-459.

10. Hassanzadeh, M. Ebadi, A. Panahyan-e-Kivi., M. Eshghi, A. Jamaati-e-Somarin, G.Sh. Saeidi., M.. & Zabihi-e-Mahmoodabad., d R. (2009). Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. *Research Journal of Environmental Science*, 3, 345-350.
11. Hong, Y., J. Yu. & Chai., K. (1985). Effect of drought stress on major upland crops. *Agronomy Journal*, 27, 148-155.
12. Kadkhodaei, A. & Ehsanzade., P. (2011). Grain yield, leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates content of linseed under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42, 125-131. (In Farsi).
13. Kafi, M. & Damghani., A. (2000). *Mechanism of Environmental Stress Resistance in Plants*. Ferdowsi University of Mashhad Publication. (In Farsi).
14. Maghami, R. (2012). *Effect of nitrogen application on yield, yield components, and oil composition of safflower under different levels of soil moisture in Isfahan*. MSc. Dissertation, Isfahan University of Technology, Iran (In Farsi).
15. Mamnooei, E. & Seyyedsharifi., R. (2010). Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Iranian Journal of Plant Biology*, 2, 51-62. (In Farsi).
16. Martin, M., F. Micell, J. A. Morgan, M. Scalet. & G. Zerbi. (1993). Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 171, 176-184.
17. Maxwell, K. & G. N. Johnson. (2000). Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 569-668.
18. Mehrabi, Z. (2007). *Evaluation of response of sesame genotypes to different moisture regimes using chlorophyll fluorescence, proline and some agronomic traits*. MSc. Dissertation, Isfahan University of Technology, Iran (In Farsi).
19. Mensah, J. K, Obasami, B, Eruotor, P. & F. Onomeriguna. (2006). Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum*). *African Journal of Biotechnology*, 5, 1249-1253.
20. Miladi Lari, A. & Ehsanzade, P. (2010). The negative effect of drought on safflower grain yield through impact on photosynthetic surfaces and on efficiency. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41, 375-384. (In Farsi).
21. Mohammadrezakhani, M. R. Heydari Sharif Abad, H. Madani, H. Amini., Z. (2011). The comparison between different levels of drought stress on yield and components yield of 5 cultivars of sesame in tropical region. In: *The 1th public Congress on New Topics in Agriculture*, Saveh, Iran.
22. Moussa, H. R. & S. M. Abdel-Aziz. (2008). Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crop Science*, 1, 31-36.
23. Movahhedy Dehnavy, M. S., A. M. Modarres Sanavy, A. Soroushzadeh. & M. Jalali. (2004). Changes in proline, total soluble sugars, SPAD and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zinc and manganese. *Biyaban*, 9, 93-108. (In Farsi).
24. Nayyar, H. & D. Gupta. (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58, 106-113.
25. Pessarkli, M. (1999). *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker. Inc. PP. 697.
26. Rosa-Ibarra, M. D. L. & R. K. Maiti. (1995). Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 146, 515-519.
27. Sayyad-Amin, P. (2008). *The phenology, yield, quality and gas exchanges of different sesame (Sesamum indicum L.) genotypes under nitrogen levels*. MSc. Dissertation, Isfahan University of Technology, Iran (In Farsi).
28. Shukry, W. M. (2001). Effect of soil type on growth vigour, water relations, mineral uptake and contents of fatty acids and protein of yielded seeds of *Linum usitatissimum*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4, 1470-1478.
29. Siosemardeh, A., H. Ranjbar-balkhkanlou, Y. Sohrabi. & Bahram nejad, B. (2011). Evaluation of grain yield, gas exchange and source and sink limitation in sunflower under drought stress at different levels of defoliation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42, 585-596. (In Farsi).
30. Siosemardeh, A. (1998). *Effect of salt stress on ion changes of different plant organs and growth stages of three wheat cultivars*. MSc. Dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi).
31. Stepien, P. & G. Klobus. (2006). Water relations and photosynthesis in (*Cucumis sativus* L.) leaves under salt stress. *Biologia Plantarum*, 40, 610-616.
32. Weiss, E. A. (2000). *Oil Seed Crops*, Chapter 5. Sesame. 131-164.