نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال پانزدهم، شماره ۶۰، زمستان ۱۳۹۹ / صفحات: ۷۸-۶۱

بررسی اثر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنجد (*Sesamum indicum* L.)

سحر مومنی[۱]، لیلا فهمیده[۲*]، عباسعلی امام جمعه[۱]، محمود سلوکی[۱]، جواد ظهیری[۳]

[۱]گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۲]گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران؛ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

[۳]گروه بیوفیزیک، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

چکیده

تنش خشکی در اکثر مناطق جهان مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه کنجد آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش اثر سطوح مختلف تنش خشکی (سطح آبیاری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل: کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، برخی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها)، برخی تعدیل‌کننده‌های اسمزی شامل پرولین و همچنین برخی صفات مورفولوژیکی(تعداد برگ، طول ریشه، ارتفاع ساقه، ارتفاع بوته، طول برگ، عرض برگ، وزن خشک ریشه، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر بوته، وزن خشک بوته) بررسی شد. پس از کشت گیاه در گلدان، اعمال تنش خشکی (سطح آبیاری ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در مرحله گیاهچه‌ای (چهار برگی) انجام گردید و سپس صفات مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه آماری نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر کلیه صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی داشت. با افزایش تنش خشکی (تا سطح آبیاری ۵ درصد ظرفیت زراعی) کاهش در صفات مورفولوژیکی و رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به سطح شاهد بیشتر شد. با افزایش سطوح تنش خشکی افزایش طول ریشه در گیاه کنجد مشاهده شد، به طوری‌که بیشترین طول ریشه مربوط به سطح آبیاری ۵ درصد ظرفیت زراعی و کمترین طول ریشه مربوط به سطح کنترل (سطح آبیاری ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) بود. بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و پرولین در بیشترین تنش خشکی (سطح آبیاری ۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده گردید. لذا براساس نتایج حاصله پیشنهاد می‌شود که میزان رشد گیاه در مراحل رشدی و نموی مختلف اندازه‌گیری و تأثیر تنش در هر دوره مشخص گردد تا تفسیر مناسبی از تأثیر تنش بر روی گیاه بدست آید.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تنظیم کننده‌های اسمزی، تنش غیر زیستی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کنجد

*نویسنده مسئول: l.fahmideh@uoz.ac.ir

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهمترین دانه‌های روغنی است که در نواحی نسبتا خشک و با مقدار آب کم رشد می‌کند (Langham and Wiemer, 2002). کنجد گیاهی تابستانه و متعلق به خانواده Pedaliaceae دارای برگ‌های پهن، متقابل و گل‌های زنگوله‌ای شکل است (Weiss, 2000). رشد گیاهان در محیط‌های طبیعی دستخوش انواع تنش‌ها می‌شوند که اثرات منفی بر روی آن‌ها دارد (Tas and Tas, 2007). در بین عوامل محیطی تنش‌زا، خشکی دومین عامل اصلی کاهش عملکرد بعد از عوامل بیماری‌زا می‌باشد که به طور تقریبی موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد زمین‌های دنیا شده است (Biglouie et al., 2010). تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها و اندام‌های هوایی (Jiang and Huang, 2000)، کاهش سطح برگ، ارتفاع، وزن خشک، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز تخریب آنزیم‌ها و پروتئین‌ها (Oliviera-Neto et al., 2009)، تعرق (Jiang and Huang, 2000) و تغییر در سنتز پروتئین (Jiang and Huang, 2002) می‌شود.

تنظیم اسمزی و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از مهمترین ساز و کارهای گیاهان در مواجهه با تنش کمبود آب به شمار می‌رود. تنظیم اسمزی با هدف حفظ تورژسانس سلولی، تداوم جذب از محیط ریشه و پایداری غشاها انجام می‌گیرد. پرولین اسید آمینه‌ای است که افزایش غلظت آن فراوان‌ترین و عمومی‌ترین پاسخی است که به محض ایجاد تنش مشاهده می‌شود (Kuzentsov and shevyakova, 1999). تجمع پرولین اولین واکنش گیاه در معرض تنش کمبود آب به منظور کاهش خسارت به سلول است (Anjum et al., 2011). پرولین از طریق مکانیسم‌های متفاوت نظیر تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ غشاء و ساختمان پروتئین‌های گیاهان را از تنش‌ها محافظت می‌نماید (Patade et al., 2011). Ghorbanli و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی تنش آب در سویا مشاهده کردندکه مقدار پرولین در تنش ملایم و شدید درریشه افزایش داشت، در حالی که در ساقه فقط تحت تاثیر تنش شدید میزان پرولین افزایش نشان داد. در مطالعه Ninganoor و همکاران (۱۹۹۵) روی گلرنگ ثابت شده است که با افزایش سن گیاه تجمع پرولین بیشتر شده و این افزایش با کاهش محتوای رطوبت نسبی گیاه و خاک همبستگی دارد، به طوری که خشکی موجب افزایش معنی‌داری در میزان پرولین برگ‌ها می‌شود.

تنش خشکی تولید انواع اکسیژن فعال را (ROS) در کلروپلاست از طریق برهم خوردن تعادل بین تولید محصولات نوری فتوسنتز و مصرف آن‌ها توسط چرخه کالوین یا کاهش نسبت $NADP^+/NADPH$, H^+ است افزایش می‌دهد (Yang et al., 2008). آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی همانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX)، آسکوربات پراکسیداز(APX)، پلی فنل‌اکسیداز (PPO) و گلوتاتیون ردوکتاز(GR)، و آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی همانند آسکوربیک، گلوتاتیون، کاروتنوئید ها و توکروفرول‌ها می‌باشند (Verma et al., 2014). کاروتنوئید ها مثل بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی هستند که می‌توانند انواع اکسیژن فعال را از بین ببرند و از کمپلکس‌های فتوسنتزی حفاظت نمایند (Liu et al., 2011). در بررسی‌هایی که برروی برنج در مرحله نشائی انجام شد مشخص گردید که افزایش فعالیت پراکسیداز در گیاهان تحت تنش خشکی با واکنش‌های اکسنده به‌وجود آورنده رادیکال‌های آزاد و پراکسیدهای آلی همبستگی دارد و پراکسیداز نقش موثری در پاکسازی

پراکسید هیدروژن دارد (Sharma and Dubey, 2005). در پژوهشی Mazarie و همکاران (۲۰۱۹) اثر سطوح خشکی را بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین و محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه *Salvia officinalis* L. بررسی و نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش سطوح خشکی میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی چون کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول و پراکسیداز افزایش یافت و محتوی رنگیزه‌های فتوسنزی کاهش یافت (Mazarie et al., 2019).

کم آبی نه تنها در اثر کمبود آب، که در اثر تنش‌هایی مثل دمای پایین یا شوری نیز حاصل می‌شود، بنابراین در این فرآیندها و فعل و انفعالات، ترکیبات مولکولی زیادی دخالت دارند. همه این تنش‌ها واجد یک اثر منفی بر روی تولید و عملکرد گیاه می‌باشند که این خود، حوزه تحقیقات وسیعی را برای بهبود عملکرد گیاهی می‌طلبد (Mardeh et al., 2006). هدف از این مطالعه بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی، میزان فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان پرولین در گیاه کنجد بود تا عکس العمل این گیاه به تنش خشکی از طریق صفات مورد مطالعه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوزیکی گیاه کنجد به‌صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذر کنجد رقم داراب (تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی زابل) درسه سطح تنش خشکی (۵، ۱۰، ۱۵ درصد ظرفیت زراعی) و سطح ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان سطح شاهد مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا بذرها به منظور جوانه‌زنی سریع به مدت ۱۲ ساعت در آب قرار گرفتند. سپس بذور در عمق ۲-۱ ساتی‌متری ساتی‌متری از خاک، داخل گلدان‌هایی به گنجایش ۳ کیلوگرم خاک معمولی مزرعه حاوی خاک، ماسه و کود دامی با نسبت ۲:۱:۱ (Tarahomi et al., 2011) قرار داده شد. دمای ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در نظر گرفته شد(Esfandiari et al.,2011). گلدان‌ها به صورت یک روز در میان با آب معمولی مورد آبیاری قرار گرفتند و به منظور جلوگیری از خروج آب زهکش از انتهای گلدان، از گلدان بدون سوراخ استفاده شد (Gharbi et al., 2013). در مرحله ٤ برگی عملیات تنک انجام شد و در پایان در هر گلدان سه بوته باقی ماند، اعمال تنش خشکی روی گیاهان ٤٥ روز پس از کشت صورت گرفت.

با استفاده از محاسبات، مقدار آب در خاک خشک نسبت به ظرفیت مزرعه مشخص شد. بدین ترتیب که برای محاسبه ظرفیت زراعی خاک، در داخل یک گلدان که در انتهای آن سوراخ‌هایی برای خروج آب اضافی ایجاد شده بود، میزان ۳ کیلوگرم حاکی که از قبل تهیه شده بود، با اضافه کردن آب به حد اشباع رسانده شد و پس از آن هر ٢٤ ساعت یکبار وزن این خاک یادداشت شد. تا وقتی که در دو بازه زمانی تغییری در وزن خاک اشباع با آب مشاهده نشد این وزن به عنوان وزن خاک در حالت ظرفیت زراعی یادداشت شد. سپس خاک مورد نظر در آون و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. و بعد از ٤٨ ساعت وزن آن به عنوان وزن خاک خشک، اندازه‌گیری و یادداشت شد. پس از آن با استفاده از رابطه زیر درصد ظرفیت زراعی خاک محاسبه شد (فرمول ۱).

$$\text{درصد ظرفیت زراعی خاک} = \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک در حالت ظرفیت زراعی}}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100$$

$$FC = \frac{1283-1020}{1020} \times 100 = 25\%. \quad (۱)$$

هر گلدان حاوی ۳ کیلوگرم خاک در حالت معمولی بود بنابراین آب مورد نیاز برای رسیدن خاک این گلدان‌ها به حد ظرفیت زراعی با استفاده از روش زیر برآورد شد.

آب مورد نیاز برای رسیدن خاک گلدان به حد ظرفیت زراعی= درصدظرفیت زراعی خاک × وزن خاک خشک هر گلدان. بنابراین سطح نرمال (شاهد) ظرفیت زراعی خاک ۲۵ درصد تعیین شد. اعمال تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای آغاز شد و ۲۰ روز پس از اعمال تنش، اندازه گیری صفات انجام شد. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع، شاخص‌های رشدی گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بود.

شاخص‌های رشدی: برای اندازه‌گیری طول ریشه، طول برگ، عرض برگ و ارتفاع بوته (با استفاده خط کش برحسب سانتی متر)، وزن خشک ریشه، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی (با استفاده از ترازوی سه صفر برحسب گرم)، تعداد برگ، طول بوته (با استفاده خط کش برحسب سانتی‌متر)، وزن خشک و وزن تر بوته (با استفاده از ترازوی سه صفر برحسب گرم) اندازه‌گیری شد.

اندازه گیری میزان پرولین: به این منظور، مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی نگهداری شده در فریزر در ۱۰ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد سائیده و محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و در لوله جداگانه دیگری، به دو میلی‌لیتر از عصاره، دو میلی لیتر معرف ناین هیدرین (۱/۲۵ گرم پودر اسید ناین هیدرین را در ۳۰ میلی‌لیتر اسید گلاسیال استیک حل نموده و سپس ۲۰ میلی لیتر اسید فسفریک شش مولار آماده شده به آن اضافه گردید) و دو میلی‌لیتر اسید گلاسیال استیک خالص اضافه گردید. لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری قرار گرفته و پس از اضافه کردن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هرکدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از تشکیل دو بخش جداگانه، بخش بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. پرولین در قسمت بالایی لوله به رنگ زرد متمایل به قرمز دیده شد. میزان پرولین با استفاده منحنی استاندارد و برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

سنجش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ

محتوای رنگیزه های فتوسنتزی برگ با روش Dere و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. ابتدا ۰/۲ گرم برگ با ۱۰ میلی لیتر متانول ۹۹ درصد در هاون چینی سائیده شده و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٥٣، ٦٦٦ و ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل (a+b) و میزان کاروتنوئید ها از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

$$Chl\ a = 15.65\ A666 - 7.340\ A653 \quad [۱]$$

$$Chl\ b = 27.05\ A\ 653 - 11.21\ A666 \quad [۲]$$

$$Total\ Chl = Chl\ a + Chl\ b \quad [۳]$$

$$Carotenoid = (1000A_{470} - 1.8\ chla - 85.02\ chlb)/198 \quad [٤]$$

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

عصاره آنزیمی: در این روش ۰/۵ گرم از نمونه برگی با استفاده از هاون چینی کاملاً سرد و نیتروژن مایع هموژن شده و سپس به آن ۵ میلی لیتر بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) محتوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA اضافه شد. نمونه ها پس از انتقال به لوله های آزمایش با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ٤ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شدند (Sairam et al., 2000).

سنجش آنزیم کاتالاز: برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ٦۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم (pH=7)، ۰/۱۵ میکرولیتر EDTA، ۵٤۹/۸۵ میکرولیتر آب مقطر را در لوله آزمایش ریخته و ۳۸۲/۵ میکرولیتر آب‌اکسیژنه به آن اضافه شد (۳۸۲/۵ میکرولیتر آب‌اکسیژنه را در ۲/۵ سی‌سی آب مقطر ریخته که آب‌اکسیژنه ۰/۷۵ مولار به دست آید. سپس ۳۰ میکرولیتر در مخلوط واکنش ریخته شد تا آب اکسیژنه ۱۵ میلی مولار به دست می‌آمد) و بلافاصله در دستگاه طیف‌سنج نوری با طول‌موج ۲٤۰ نانومتر میزان جذب آن ثبت گردید و پس از سپری شدن زمان یک دقیقه دوباره میزان جذب یادداشت گردید (Beers and Sizer, 1952).

سنجش آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۳۷/۵ میکرولیتر آسکوربات، ۱۱۱۸/۸۵ میکرولیتر آب در تیوپ ریخته شد و ۱۵۳ میکرولیتر آب اکسیژنه به آن اضافه شد (برای تهیه آب اکسیژنه ۰/۵ میلی‌مولار، ۱۵۳ میکرولیتر آب‌اکسیژنه را در یک سی‌سی آب ریخته که آب‌اکسیژنه ۱/۵ مولار به دست آید سپس ۱۰۰ میکرولیتر از آن برداشته و به حجم ۱۰ سی‌سی رسانده شد) و بلافاصله در دستگاه طیف سنج نوری با طول موج ۲۹۰ نانومتر میزان جذب آن یادداشت و پس از سپری شدن مدت زمان یک دقیقه، به ضریب خاموشی مولی این واکنش که برابر ۲۸۰ میلی مول بر سانتیمتر است تقسیم شد و فعالیت آنزیمی برحسب واحد در گرم وزن تر بیان شد (Nakano et al., 1981).

سنجش آنزیم پراکسیداز: فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش Holy (۱۹۷۲) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا ۲ میلی لیتر استات ۰/۲ مولار با pH=۵، ۰/۲ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه ۰/۳ درصد (۳۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه را در ۱۰ سی‌سی آب مقطر)، ۰/۱ میلی‌لیتر بنزیدین ۰/۲ مولار محلول در متانول ۵۰ درصد، در حمام یخ مخلوط شدند، سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی برگ به این مخلوط واکنش اضافه شد و بلافاصله در دستگاه طیف سنج نوری با طول موج ۵۳۰ نانومتر میزان جذب آن قرائت گردید

سنجش آنزیم پلی فنول اکسیداز: ابتدا ۲/۸ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۱۰۰ میکرولیتر پیرو گالول اضافه گردید. تغییرات جذب نور در طول موج ٤۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. تعیین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس تولید پورپور گالین محاسبه می‌شود که ضریب خاموشی این تبدیل برابر با ۲/۷٤ لیتر بر میلی مول بر سانتی‌متر است (Kar and Mishra, 1976).

پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد مطالعه، داده‌های حاصله بر مبنای طرح کاملا تصادفی با سه تکرار تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (روش دانکن) شدند. برای این منظور از نرم افزار EXCELL و SAS ver 9.1 استفاده شد.

نتایج

صفات فیزیولوژیکی

رنگدانه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) به طور کلی با اعمال تنش از میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید کاسته شد، به طوری که بیشترین میزان رنگیزه‌های فوق طی تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) حاصل شد.

مقدار پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بر مقدار پرولین برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و با توجه به نتایج مقایسه میانگین کاهش میزان آب آبیاری باعث افزایش میزان پرولین در کنجد شد (جدول ۲). همه گیاهان در شرایط تنش زیستی و غیر زیستی پرولین را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند ولی مقدار آن بسته به گونه گیاهی وشدت تنش ممکن است بین ۲ تا ۱۰۰ برابر باشد. در مطالعه حاضر افزایش پرولین در سطوح مختلف خشکی ۱۵ درصد، ۱۰ درصد و ۵ درصد نسبت به شاهد به‌ترتیب ۹/٦۹، ۳۵/٤۱ و ٤۲/٦۹ افزایش نشان داد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی، بر میزان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی(CAT، APX، POX، PPO) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) مشخص شد با اعمال تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزوده شد. در این مطالعه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاهان تحت خشکی در مقایسه با شاهد بیشتر بود، به طوری که افزایش ٦۰/٦٦ درصدی آنزیم‌های کاتالاز، ۳۵/۷۱ درصدی آسکوربات پراکسیداز، ۹۰/۵٦ درصدی پراکسیداز و ۳۸/٤٦ پلی فنول اکسیداز در شرایط ۵ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد مشاهده شد.

صفات مورفولوژیکی

تعداد، طول و عرض برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر طول و عرض وتعداد برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین این پژوهش مشاهده شد که با افزایش سطوح خشکی طول و عرض و تعداد برگ کاهش می‌یابد. به طوری که در شدیدترین سطح تنش یعنی ۵ درصد ظرفیت زراعی طول، عرض و تعداد برگ به ترتیب کاهش ۱۳/۹۳ و ۲۱/۸۷ و ۵۲/٦۳ درصدی نسبت به شاهد داشتند (جدول ٤).

ارتفاع ساقه و ارتفاع بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تحت تنش خشکی ارتفاع ساقه و ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی دار گردید و همچنین نتایج مقایسه میانگین (جدول ٤) نشان دادکه با افزایش شدت تنش (سطح پنج درصد ظرفیت مزرعه) ارتفاع ساقه و ارتفاع بوته به ترتیب کاهش ۲۱/۸۸ و ۱٤/۹٤درصدی نسبت به شاهد داشتند.

وزن تر و خشک ریشه: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) وزن خشک و تر ریشه در سطح یک درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ٤) نشان داد که افزایش تنش خشکی منجر به کاهش وزن تر و خشک ریشه‌ها نسبت به شاهد شده است به طوری که وزن تر و وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصدی ظرفیت مزرعه به ترتیب کاهش ۲۲/۳۸ و ۳۳/۳۳ درصدی را نسبت به شاهد داشتند.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیک گیاه گنجد تحت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a ($mg^{-1}fw$)	کلروفیل b ($mg^{-1}fw$)	کلروفیل کل ($mg^{-1}fw$)	کاروتنوئید ($mg^{-1}fw$)	کاتالاز ($mg^{-1}fw$)	پراکسیداز ($mg^{-1}fw$)	پرولین ($mg^{-1}fw$)	آسکوربات پراکسیداز ($mg^{-1}fw$)	پلی فنول اکسیداز ($mg^{-1}fw$)
تنش خشکی	۳	۲/۳۲**	۰/۷۹**	۵/۷۶**	۰/۲۱**	۰/۰۱**	۰/۱۶**	۶۷/۸۸**	۱/۲۹**	۰/۰۰۱**
خطا	۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۱۶	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات (CV)	–	۰/۵۸	۲	۰/۸۵	۱/٦۸	۱/۱	۰/۳۹	۲/۲۱	۰/۵٦	۳/۰۵
ضریب تبیین (R^2)	–	۰/۹۹۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۸	۰/۹۹۵	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۳	۰/۹۹۹	۰/۹۸۲

ns، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار درسطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر تیمار تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه کنجد

تیمار	کلروفیل a ($mg^{-1}fw$)	کلروفیل b ($mg^{-1}fw$)	کلروفیل کل ($mg^{-1}fw$)	کاروتنوئید ($mg^{-1}fw$)	کاتالاز ($mg^{-1}fw$)	پراکسیداز ($mg^{-1}fw$)	پرولین ($mg^{-1}fw$)	آسکوربات پراکسیداز ($mg^{-1}fw$)	پلی فنول اکسیداز ($mg^{-1}fw$)
تنش خشکی									
۲۵ درصد ظرفیت زراعی	٦/۳۹a	۳/۰۳a	۹/٤۳a	۱/۳٤a	۰/۰۸d	۰/۰۵d	۱۳/٤۲d	۲/۸۸d	۰/۰۸c
۱۵ درصد ظرفیت زراعی	٤/۸٦b	۲/۰۱b	٦/۸۸b	۱/۲۹b	۰/۱۲c	۰/۱۱c	۱٤/۸٦c	۳/۵۰c	۰/۰۹c
۱۰ درصد ظرفیت زراعی	٤/۷٦	۲/۰۰۵b	٦/۷٦b	۱/۲۳c	۰/۱۳b	۰/٤۳ b	۲۰/۷۸b	۳/٦۸b	۰/۱۲b
۵ درصد ظرفیت زراعی	٤/٤۱d	۱/۹۹b	٦/٤۱c	۰/۷٦d	۰/۲٤a	۰/۵۳a	۲۳/٤۲a	٤/٤۸a	۰/۱۳a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیکی گیاه گنجد تحت تنش خشکی

تیمار	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر اندام هوایی (g)	تعداد برگ	طول ریشه (cm)	ارتفاع ساقه (cm)	ارتفاع بوته (cm)	طول برگ (cm)	عرض برگ (cm)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن تر بوته (g)	وزن خشک بوته (g)
تنش خشکی	۳	۰/۰۰۹**	۰/۰۳۷**	۱۵/۶۸**	۰/۴۹**	۹/۴۸**	۶/۰۳**	۰/۱۷**	۰/۰۷**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۴۲**	۰/۰۱۰۲**
خطا	۸	۰/۰۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۳۹	۰/۶۸	۰/۰۱۷	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۰۷
ضریب‌تغییرات		۴/۴۳	۲/۸۵	۱۲/۰۶	۴/۵۲	۴/۷۹	۳/۸۰	۲/۴۶	۵/۴۰	۷/۷۱	۳/۰۳	۲/۷۵	۴/۲۲
ضریب تبیین		۰/۹۸۱	۰/۹۷۳	۰/۸۹۵	۰/۹۱۶	۰/۸۶۳	۰/۸۱۹	۰/۹۰۹	۰/۸۲۶	۰/۸۷۶	۰/۹۴۴	۰/۹۷۳	۰/۹۸۲

ns، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار درسطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر تیمار تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک گیاه کنجد

تیمار	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر اندام هوایی (g)	تعداد برگ	طول ریشه (cm)	ارتفاع ساقه (cm)	ارتفاع بوته (cm)	طول برگ (cm)	عرض برگ (cm)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن تر بوته (g)	وزن خشک بوته (g)
تنش خشکی												
۲۵ درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۴۲a	۰/۸۳۵a	۹/۵a	۲/۵c	۱۸/۰۰۰a	۲۰/۵۰۰a	۳/۵۷۳a	۱/۶۰a	۰/۰۱۶۵a	۰/۰۶۷۰a	۰/۹a	۰/۲۵a
۱۵درصد ظرفیت زراعی	۰/۲۱۴b	۰/۷۲۶b	۸/۰۰۰a	۲/۶c	۱۶/۰۰۰b	۱۸/۶۰۰b	۳/۴۰۰b	۱/۴۰b	۰/۰۱۵۵b	۰/۰۶۴۵a	۰/۷۹b	۰/۲۲b
۱۰درصد ظرفیت زراعی	۰/۱۶۳c	۰/۶۳۸C	۵/۵۰۰b	۳/۰۵b	۱۴/۵۰۰c	۱۷/۵۵۰b	۳/۰۹۶c	۱/۳۰۳c	۰/۰۱۲۰c	۰/۰۵۶۰b	۰/۶۹c	۰/۱۷c
۵درصد ظرفیت زراعی	۰/۱۱۶d	۰/۵۷۷d	۴/۵۰۰b	۳/۳۷۵a	۱۴/۰۶c	۱۷/۴۳۶b	۳/۰۷۵c	۱/۲۵۰c	۰/۰۱۱۰d	۰/۰۵۲۰c	۰/۶۲d	۰/۱۲d

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

طول ریشه: تجزیه واریانس داده‌ها برای طول ریشه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۳) و همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ٤) که در اثر تنش خشکی طول ریشه افزایش پیدا می‌کند به طوری که بیشترین طول ریشه مربوط به تیمار ۵ درصد ظرفیت مزرعه (۳/۳۷۵ سانتی‌متر) و کمترین طول ریشه مربوط به شاهد یعنی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه (۲/۵ سانتی‌متر) بود.

وزن تر و خشک اندام هوایی و بوته: با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) وزن خشک و تر اندام هوایی و وزن تر و خشک بوته در سطح یک درصد معنی دار شد. در این مطالعه با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ٤) افزایش تنش خشکی منجر به کاهش وزن تر وخشک اندام هوایی و کاهش وزن تر و خشک بوته نسبت به شاهد شده است. به طوری که وزن تر اندام هوایی در سطح ۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه کاهش ۳۰/۸۹ درصدی نسبت به شاهد داشت و وزن خشک اندام هوایی نیز در سطح ۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه کاهش ۵۲/۰٦ درصدی نسبت به شاهد را نشان داد.

بحث

کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشار محیطی وارد بر گیاهان است تنش خشکی باعث پیری زودرس گیاهان و تجزیه کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد (Jiang and Huang, 2001). کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه کنجد با نتایج حاصل در سیاه‌دانه (Ariafar and Sirousmehr, 2015)، کتان (Movahhedi Dehnavi et al., 2017)، مریم گلی (Mazarie et al., 2019) و آویشن باغی (Askary et al., 2017) طی تنش خشکی مطابقت دارد. در این بررسی در اثر افزایش شدت تنش خشکی میزان کروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها نسبت به شاهد به ترتیب کاهش ۳۰/۹۸، ۳٤/۳۲، ۳۲/۰۲ و ٤۳/۲۸ درصدی نشان دادند. به نظر می‌رسد این کاهش در اثر تنش خشکی، بر اساس نظر Xiao و همکاران (۲۰۰۸) ممکن است به علت افزایش تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول ساخت رنگدانه‌های نور ساختی است، در حالی که Oliviera-Neto و همکاران (۲۰۰۹) معتقدند که کاهش مقدار کلروفیل به هنگام تنش کمبود آب ممکن است به دلیل کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات باشد که این امر سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود. بنابر گزارش Abdui Jaleel و همکاران (۲۰۰۷) کاهش کلروفیل طی تنش خشکی به دلیل تخریب پروتئین‌های تشکیل‌دهنده غشا تیلاکوئید فتوسیستم دو می‌باشد که این امر کارایی گرفتن انرژی نورانی کاهش یافته و این امر باعث کاهش در انتقال الکترون، ATP، NADPH، و بالاخره فرایند تثبیت CO_2 می‌شود. از بین رفتن رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث کاهش تولید موادی نظیر پروتئین که ارتباط مستقیم با میزان کلروفیل دارد می‌گردد (Ahmed et al., 2009). همچنین بررسی روی زیتون نشان داد که مقدار کاروتنوئیدها با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (Ahmed et al., 2009) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد.

افزایش ٤۲/٦۹ درصدی پرولین در اثر تنش ۵ درصد ظرفیت زراعی، در مطالعه‌ی حاضر در تطابق با افزایش تولید پرولین در گیاه ماریتیغال (Mazarie et al., 2017)، نخود فرنگی (Alexieva et al., 2001)، باقلا (Siddiqui et al., 2015)، عدس (Allahmoradi et al., 2013)، لوبیا و سویا (Mandhanis et al., 2006) در مواجه با تنش خشکی است. در شرایط

عادی پرولین به اندامک‌ها به ویژه راکوئول انتقال می‌یابد و در صورتی که گیاه تحت تنش خشکی قرار گیرد پرولین از واکوئول به سیتوزول انتقال می‌یابد (Lehmann et al., 2010).

پرولین به عنوان یک مادهٔ محلول سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش از دست دادن آب از سلول و نگهداری آماس می‌شود (Kuznetsov and Shevykova, 1999) اما سایر نقش‌های پرولین تحت تنش نیز توسط محققان گزارش شده است که شامل حفظ ثبات پروتئین‌ها، حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم pH سلولی و تنظیم نسبت NADP/NADPH می‌باشد (Razavizadeh., 2009). چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در زمان تنش پیشنهاد شده است که عبارت‌اند از (الف) تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، (ب) کاهش انتقال آن از طریق آوند آبکش، (ج) جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش، و (د) تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها (Lamas et al., 2000). با افزایش سطح مولکول‌های پروتئین‌های آب‌دوست رابطه متقابلی بین پرولین و سطح پروتئین‌های آب‌گریز برقرار می‌شود و از این‌رو پایداری آن‌ها افزایش و از تغییر ماهیت آن‌ها جلوگیری می‌شود و آنزیم‌ها نیز به دلیل ساختمان پروتئینی خود تحت تأثیر این سازوکار پرولین قرارگرفته و محافظت می شوند (Heidari Sharifabadi, 2001).

در شرایط تنش کم آبی، افزایش غلظت پراکسید هیدروژن توسط فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد اما در شرایط بدون تنش به دلیل عدم تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تولید پراکسید هیدروژن ناشی از یون سوپراکسید کاهش یافته و در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش می‌یابد(Noctor, 1998). افزایش فعالیت کاتالاز در گیاهان یک ویژگی سازشی بوده که با کاهش میزان هیدروژن پراکسید حاصل از متابولیسم سلولی، از آسیب رسیدن به بافت جلوگیری می‌کند (Gill and Tuteja, 2010).در این مطالعه مقدار آنزیم کاتالاز در سطح ۵ درصد نسبت به سطح شاهد افزایش داشت که با مطالعات انجام شده در جو (Movludi et al., 2014) و یونجه (Wen-Bin et al., 2009) مطابقت دارد.

آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز نقش مشابهی را در سیستم دفاعی گیاه ایفا می‌نمایند، به‌طوری که وظیفه هر سه این آنزیم‌ها سم‌زدایی و تجزیه پراکسید هیدروژن تولید شده در سلول ها می‌باشد (Ariano et al., 2005). آنزیم پراکسیداز با سم‌زدایی پراکسید هیدروژن و حذف مالون دی‌آلدئید که باعث پراکسیداسیون غشاء می‌شود، نقش مهم و کلیدی در محافظت گیاه در برابر تنش ایفا می‌کند (Hojati et al., 2011). پراکسیداز در فرآیندهای متابولیکی مانند کاتابولیسم هورمون، دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا، اکسیداسیون فنل، ایجاد پیوند با پروتئین‌های ساختاری سلول و پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی نقش دارد (Christensen et al., 1998). آنزیم پراکسیداز در سیتوسول و کلروپلاست وجود دارد و می‌تواند به گونه موثری H_2O_2 را حذف نماید افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی احتمالا نشان دهنده تجمع پراکسید هیدروژن در شرایط تنش خشکی می‌باشد (Jiang and Hiang, 2001). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش خشکی در گیاهان متفاوتی همانند مریم گلی (Mazarie et al., 2019) و لوبیا (Jain et al., 2006) گزارش شده است که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.

آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در شرایط تنش خشکی، از تولید بیش از حد اجزای خطی انتقال الکترون در

واکنش مهلر جلوگیری می‌کند (Thipyapong et al., 2004). این آنزیم با اکسید کردن ترکیبات فنلی مضر تولید شده طی تنش خشکی، باعث تحمل گیاه به تنش خشکی می‌شود (Blum et al., 1981). Sadatesaelan و همکاران (۲۰۱۰) طی آزمایشی اثر سطوح تنش خشکی را بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در یونجه مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود. Fazeli و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در کنجد تحت تنش خشکی فعالیت پلی فنل اکسیداز افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

آنزیم آسکوربات پراکسیداز، با استفاده از آسکوربات به عنوان انتقال دهنده الکترون باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود و در نتیجه مقاومت بیشتر نسبت به تنش اکسیداتیو را در پی خواهد داشت (Ozkur et al., 2009). افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش خشکی در سه رقم لوبیا (Zlatev et al., 2006)، برنج (Gill and Tuteja, 2010) و گندم (Chopra and Selote, 2002) گزارش شده است که بانتایج مطالعه فوق همخوانی دارد.

Bettaieb و همکاران (۲۰۰۹) اثر تنش خشکی را بر گیاه مریم گلی بررسی و گزارش کردند که تنش خشکی بر طول و عرض برگ اثر معنی دار کاهشی داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Cabuslay و همکاران (۲۰۰۲) بیان نمودند که کاهش طول و عرض برگ در گیاه برنج، راهبردی برای بهبود تحمل به خشکی است. ریزش و متعاقب آن کاهش تعداد برگ در شرایط تنش خشکی یک سازش مورفولوژیکی و عاملی برای انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه است (Munne Bosch and Alegre, 2004). کاهش تعداد و سطح برگ در شرایط تنش خشکی، با کاهش سطح تعرق سبب افزایش جذب آب از خاک و در نهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود و کاهش طول و عرض برگ (سطح برگ) می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد (Labato et al., 2008).

اثر تنش خشکی بر ریحان نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Mohamadnia et al., 2018) و همچنین در گیاه سویا ارتفاع ساقه در شرایط تنش خشکی کاهش یافت (Jaleel et al., 2009) که این نتایج با مطالعه فوق همخوانی دارد. کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول می‌باشد (Cabuslay et al., 2002). در شرایط تنش خشکی فشار تورژسانس سلول‌های ساقه که در حال ازدیاد طول می‌باشند، کاهش می‌یابد واز طرفی تولید مواد اصلی فتوسنتز نیز کم می‌شود، لذا طول میانگره‌های ساقه و در نتیجه ارتفاع بوته تحت تاثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Ahmed et al, 2002).

Petropoulos و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که افزایش سطح تنش خشکی سبب کاهش وزن تر برگ، تعداد برگ و وزن ریشه جعفری شد. در بررسی تحمل به خشکی در جمعیت‌های مختلف شنبلیله، با افزایش شدت تنش، وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Sadeghzadeh-Ahari et al., 2010). در پژوهشی Moridpoor و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، وزن تر و خشک ریشه در گیاه دارویی گزنه کاهش یافت، از طرفی در مطالعه‌ای Dehghan و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند با افزایش شدت تنش خشکی وزن تر و خشک ریشه‌های گوجه فرنگی کاهش یافت به طوری که کمترین میزان صفات فوق از تیمار تنش ٤٠ درصد

ظرفیت زراعی حاصل شد که خود تاییدی بر نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. ریشه گیاه در شرایط بدون تنش خشکی وضعیت آماس یاخته‌ای مناسبی دارد. در این شرایط، پتانسیل فشاری لازم برای توسعه یاخته و تقسیم آن فراهم است. لذا این شرایط، موجب افزایش فعالیت سوخت‌وسازی، رشد و سرعت توسعه ریشه می‌شود و در نتیجه وزن تر و خشک ریشه افزایش می‌یابد (Koochaki et al., 2005). اما در شرایط تنش خشکی محدودیت تغذیه‌ای که با کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم ایجاد می‌شود، رشد و سرعت توسعه ریشه را کاهش می‌دهد که این امر سبب کاهش سطح ریشه و کاهش تولید ریشه‌های اصلی و ریشه‌های جانبی می‌شود و مجموعه این عومل سبب کاهش وزن تر و خشک ریشه گیاه می‌شود (Talukder et al., 2010; Gregory, 2006).

Abdul jaleele و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که طول ریشه در گیاه پروانش در شرایط تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گیاه هنگام مواجه با تنش خشکی برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد، در نتیجه تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیکی ریشه‌ها مانند افزایش طول ریشه‌ها در واحد وزن ایجاد می‌شود (Aerts et al.,1999). کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و گیاه در این پژوهش با نتایج Yazdani bioki و همکاران (۲۰۰۹) در ماریتیغال مبنی بر اینکه وزن تر و خشک بوته‌ها طی تنش خشکی کاهش می‌یابد مطابقت دارد. زیرا وقتی گیاه با خشکی مواجه شود، از شاخ و برگ خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق در گیاه هستند، می‌کاهد و همچنین روزنه‌هایش نیمه بسته یا بسته می‌گردد و این موضوع موجب کاهش جذب CO_2 می‌شود و از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی مصرف می‌نماید (Taheri asghari, 2010). بروز تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ ها می‌شود در نتیجه جذب نور نیز کاهش می‌یابد و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کاهش خواهد یافت؛ بنابراین با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، تولید بیوماس گیاه کاهش می‌یابد (Yazdani bioki et al., 2009). این نتیجه با نتایج Yazdani biuki و همکاران (۲۰۰۹) در ماریتیغال و Babaie و همکاران (۲۰۰۹) در آویشن مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج کلی این تحقیق نشان داد که رقم داراب کنجد در سطوح مختلف آبیاری انجام شده از نظر مورفولوژیکی و فیزیولوزیکی عکس العمل متفاوتی نشان داد. بطوریکه با افزایش سطوح تنش خشکی (تا سطح آبیاری ۵ درصد ظرفیت زراعی) کاهش در صفات مورفولوژیکی و رنگیزه های فتوسنتزی نسبت به سطح شاهد بیشتر شد. همچنین بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و پرولین هم در شدیدترین سطح تنش خشکی (سطح آبیاری ۵ درصد ظرفیت زراعی) نسبت سطح آبیاری نرمال مشاهده گردید. لذا براساس نتایج حاصله پیشنهاد می‌شود که بهتر است برای انجام آزمایشات خشکی از محیط هایی با شرایط کنترل شده استفاده شود زیرا در یک فصل زراعی، خشکی و میزان آن به طور یکنواخت اعمال نمی‌شود, همچنین پیشنهاد می‌شود که میزان رشد گیاه در مراحل رشدی و نموی مختلف اندازه گیری و تأثیر تنش در هر دوره مشخص گردد تا تفسیر مناسبی از تأثیر تنش بر روی گیاه بدست آید.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه زابل با شماره گرنت UOZ-GR-9618-37 انجام شده است. بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل جهت انجام تحقیق حاضر قدردانی می‌شود.

References

Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2007). Induction of drought stress tolerance by ketoconazole in Catharanthus roseus is mediated by enhanced antioxidant potentials and secondary metabolite accumulation. Colloids and surfaces B: Biointerfaces. 60(2): 201-206.

Aerts, R. and Chapin III, F.S. (1999). The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. In Advances in ecological research. pp. 1-67. ed. Academic Press.

Ahmed, C.B., Rouina, B.B., Sensoy, S., Boukhris, M. and Abdallah, F.B. (2009). Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. Environmental and Experimental Botany. 67(2): 345-352.

Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y. and Sakuratani, T. (2002). Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. Journal Plant Science. 163: 117-123.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. Plant. Cell and Environment. 24: 1337–1344.

Allahmoradi, P., Mansurifar, C., Saeidi, M. and Jalali Honarmand, S. (2013). Water deficiency and its effects on grain yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. Annals of Biological Research. 4(5): 139-145.

Amudha, J. and Balasubramani, G. (2010). Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. Biotechnology and Molecular Biology Review. 6 (2): 31-58.

Anjum, S.h.A., Xie, X.Y., Wang, L. Ch., Saleem, M.F., Man, Ch. and Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Journal of Agricultural Research. 6(9):2026-2032.

Ariafar, S. and Sirousmehr, A.R. (2005). Effect of urban waste compost on yield, essential oil percentage and some physiological characteristics of *Nigella sativa* under drought stress. Journal of Agricultural Crops Production. 19(1): 31-42.

Ariano, S., Bartolomeo, D., Cristos, X. and Andras, M. (2005). Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. Functional Plant Biology. 32(1): 45-53.

Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, M. and Jamialahmadi, S. (2017). Effects of water stress and manure on stomatal conductance, relative water content, photosynthetic pigments and quantitative and qualitative yield of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(5): 793-811.

Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani, Sefidkon, F. and Barin, M. (2011). Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* L. and *Glomus intraradices* L.) on growth, chlorophyll contents and P oncentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Iranian Medicinal and Aromatic Plants. 27: 471-486.

Babai, k., Amini deheghi, M., Modares sanavi, A. M. and Jabari, R. (2009). Effect Tension Drought on Traits Morphological, The Proline and Percent Thymol in Thyme (*Thymus vulgarize*

L.). Journal - Research Plants Drug and Aromatic Iran. 26(2): 239-251.

Bates, S., Waldern, R. P. and Teare, E. D. (1973). Rapide determination of free proline for water stress studies. Plant and Soli. 39: 205-207.

Beers, G.R. and Sizer, I.W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. Biology Chemical. 195(1):133-140.

Bettaieb, I., Zakhama, N., Wannes, W.A., Kchouk, M.E. and Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae. 120(2): 271-275.

Blum, A., Gozlan, G. and Mayer, J. (1981). The Manifestation of Dehydration Avoidance in Wheat Breeding Germplasm 1. Crop Science. 21(4): 495-499.

Cabuslay, G.S., Ito, O. and Alejar, A.A. (2002). Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Science. 163(4): 815-827.

Chohura, P., Kolota, E. and Komosa, A. (2009). Effect of fertilization with Fe chelates on the state of iron nutrition of greenhouse tomato. Journal of Elementology. 14(4): 657-664.

Chopra, R. and Selote, D.S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. Environmental and Experimental Botany. 60(2): 276-283.

Christensen, J.H., Bauw, G., Welinder, K.G., Van Montagu, M. and Boerjan, W. (1998). Purification and characterization of peroxidases correlated with lignification in poplar xylem. Plant physiology. 118(1): 125-135.

Dehghan, D., Alizadeh, A., Esmaile, K. and Nemati, S.H. (2015). Root growth, Yield and Yield Components of Tomato under Drought Stress. Journal of Water Research in Agriculture. 29(2): 169-179.

Dere, S., Gunes,T. and Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany. 22(1): 13-18.

Esfandiari, E., Javadi, A., Shokrpour, M. and Shekari, F. (2011). The effect of salt stress on the antioxidant defense mechanisms on wheat seedling. Fresenius Environmental Bulletin. 20(8):2021-2036.

Fazeli, F., Ghorbanli, M. and Niknam, V. (2007). Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. Biologia Plantarum. 51(1): 98-103.

Food and Agriculture Organization of the **United Nations. (2016).** Statistics Division in FAO. From http://faostat3.fao.org/compar/E.

Gharbi, A., Rashid in, Tarynzhad, A. S. and Chlbyyany, Q. (2013). Salinity and drought tolerance of durum wheat lines under greenhouse conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 4 (28): 393-410.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. and Allahverdi, M.B. (2013). Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology. 3(2): 651-658.

Gill, S.S. and Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant physiology and Biochemistry. 48(12): 909-930.

Gregory, P.J. (2006). Plant Roots (Growth, Activity and Interaction with Soils). pp. 150-173. ed. Blackwell Publishing.

Heidari Sharifabadi, H. (2001). Methods to deal with dryness and drought drought. Publishing Research Institute of Forests and Rangelands. 1: 15-46.

Hojati, M., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Karimi, M. (2010). Deficit stress. Acta physiologiae plantarum. 33(1): 105-112.

Holy, M.C. (1972). Indole acetic acid oxidase: a dual catalytic enzyme. Journal of Plant Physiology. 50: 15-18.

Jain, M., Nandwal, A.S., Kundu, B.S., Kumar, B., Sheoran, I.S., Kumar, N., Mann, A. and Kukreja, S. (2006). Water relations, activities of antioxidants, ethylene evolution and membrane integrity of pigeonpea roots as affected by soil moisture. Biologia Plantarum. 50(2): 303-306.

Jaleel, C.A., Manivannan, M., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. Journal Agriculture Biology. 11(1): 100-105.

Jiang, Y. and Huang, B. (2000). Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Science. 40: 1358-1362.

Jiang, Y. and Huang, B. (2001). Drought and heat sress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antiaxdant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41: 436-442.

Jiang, Y. and Huang, B. (2002). Protein alterations in tall fescue in response to water stress and abscisic acid. Crop Science. 42: 202-208.

Jiang, Y. and Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41(2): 436-442.

Kar, M. and Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant physiology. 57(2): 315-319.

Koc, E., İslek, C. and Üstün, A.S. (2010). Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science. 23(1): 1-6.

Koochaki, A., Nassiri mahalati, M. and azizi, G. (2005). The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. Iranian Journal of Field Crops Research. 1(2):89-105.

Kuzhuvelil B. Harikumar, Sung B., Tharakan, S.T., Pandey, M.K., Joy, B., Guha, S., Krishnan, S. and Aggarwal, B.B. (2010). Sesamin manifests chemopreventive effects through the suppression of NF-κB–regulated cell survival, proliferation, invasion, and angiogenic gene products. Molecular Cancer Research. 8(5): 751-761.

Kuznetsov, V.V. and Shevyakova, N.I. (1999). Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. Russian Journal of Plant Physiology. 46(2): 274-287.

Lamas, A., Ullrich, C.I. and Sanz, A. (2002). Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. Plant and Soil. 219: 21-28.

Langham, D.R. and Wiemers, T. (2002). Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In: Janickand J, Whipkey A (ed) Trends in new crops and new uses. American Society for Horticultural Science Press. pp. 157-173. ed. Alexandria, Virginia.

Lehmann, S., Funck, D., Szabados, L. and Rentsch, D. (2010). Proline metabolism and transport in plant development. Amino acids. 39(4): 949-962

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L. and Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Environmental and Experimental Botany. 71(2): 174-183.

Mandhanis, S., Madan, S. and Whney, V. (2006). Antioxidant defence mechanism under salt stress in wheat seedling. Biologia Plantarum. 52 (6): 22-27.

Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sanka, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. and Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by

drought stress. Colloids and Surfaces Biointerfaces. 59: 141–149.

Manivannan, P., Jaleel, C.A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. (2007). Changes in antioxidant metabolism of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. by propiconazole under water deficit stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 57(1): 69-74.

Mardeh, A. S. S., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98(2): 222-229.

Mazarie, A., Mousavi-nik, S. M., Ghanbari, A. and Fahmideh, L. (2019). Effect of titanium dioxide spraying on physiological characteristics of sage (*Salvia officinalis* L.) under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(2): 539-553.

Mazarie, A., Sirousmehr, A.R. and Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological and physiological charactristics of Milk thistle (*Silybum marianum*(L.) Gaertn.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(4): 620-635.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in plant science. 7(9): 405-410.

Mohamadnia, R., Nejad, A.R. and Bahraminejad, S. (2018). *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Horticultural Science. 49(1): 37-45.

Moridpoor, S., Sateie, A. and Ghorban Ali, M. (2015). Evaluation of Growth and Content of Pigments and Whole Wheat Protein of *Urtica dioical* L in Different Water Regimes. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 9: 118-127.

Movahhedi Dehnavi, M., Niknam, N., Behzadi, Y., Mohtashami, R. and Bagher, R. (2017). Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. Iranian Journal of Plant Biology. 9(3): 39-62.

Movludi, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Davari, M. and Parmoon, G. (2014). The effect of water deficit and nitrogen on the antioxidant enzymes' activity and quantum yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 42(2): 398-404.

Munne-Bosch, S. and Alegre, L. (2004). Die and let live: leaf senescence contributes to plants survival under drought stress. Functional Plant Biology. 31 (3): 203-216.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascarbate specific peroxidases in spinach Chloroplasts. Plant cell physiology. 22: 867-880.

Ninganoor, B. T., Parameshwarapa, K. G. and Chetti, M. B. (1995). Analysis of some physiological characters and their association with seed yield and drought tolerance in safflower genotypes. Kamataka Journal agriculture Science. 81: 46- 49.

Noctor, G. and Foyer, C.H. (1998). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Biology. 49(1): 249-279.

Oliveira Neto, C.F.D., Lobato, A.K.D.S., Gonçalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L.D., Santos Filho, B.G.D., Alves, G.A.R., Maia, W.J.M.S., Cruz, F.J.R., Neves, H.K.B. and Lopes, M.S. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Journal of Food, Agriculture and Environmen. 7(3-4): 588-593.

Ozkur, O., Ozdemir, F., Bor, M. and Turkan, I. (2009). Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte Capparis ovata Desf. to drought. Environmental and Experimental Botany. 66(3): 487-492.

Patade, V.Y., Bhargava, S. and Suprasanna, P. (2011). Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. Journal of Plant **Interactions. 6(4): 275-282.**

Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G. and Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115(4): 393-397.

Rajeswari, S., Thiruvengadam, V. and Ramaswamy, N. M. (2010). Production of interspecific hybrids between *Sesamum alatum* Thonn and *Sesamum indicum* L. through ovule culture and screening for phyllody disease resistance. South African Journal of Botany. 76(2): 252-258

Razavizadeh, R., Ehsanpour, A.A., Ahsan, N. and Komatsu, S. (2009). Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress. Peptides. 30(9): 1651-1659.

Reyes, L.F. and Cisneros-Zevallos, L. (2003). Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(18): 5296-5300.

Sadatesaelan, K.S., Sanavi, S.A.M.M. and Hajilouei, S. (2010). Study of the effect of drought stress on antioxidant system in seedlings of some perennial alfalfa ecotypes. Iranian Journal of Field Crop Science. 41(1): 67-77.

Sadeghzadeh-Ahari, D., Hass, M.R., Kashi, A.K., Amri, A. and Alizadeh, K.H. (2010). Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian Fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. African Journal of Plant Science. 4(2): 012-020.

Sairam, R. K. and Saxena, D. C. (2000). Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. Journal of Agronomy and Crop Science. 184: 55-61.

Shamsi, K. (2010). The effect of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrate and cholorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant. 3: 1051-1060.

Sharma, P. and Dubey, R.S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes at growing rice seedlings. Plant Growth Regulation. 46(3): 209-221.

Siddiqui, M., Al-Khaishany, M., Al-Qutami, M., Al-Whaibi, M., Grover, A., Ali, H., Al-Wahibi, M. and Bukhari, N. (2015). Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. International Journal of Molecular Sciences. 16(5): .10214-10227.

Sivakumar, P., Sharmila, P. and Saradhi, P.P. (2000). Proline alleviates salt-stress-induced enhancement in ribulose-1, 5-bisphosphate oxygenase activity. Biochemical and Biophysical Research Communications. 279(2): 512-515.

Taheri Asghari, M. (2010). Water stress effect on the number of characters in the herb chicory (*Cichorium intybus*) under different plant densities. Journal - Research Echo Physiological crops. 2: 147-155.

Takeuchi, W., Takahashi, H. and Kojima, M. (1992). Purification and characterization of the main isozyme of polyphenol oxidase in mung bean (*Vigna mungo*) seedlings. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 56(7): 1134-1135.

Talukder, A., Meisner, C. A., Sarkar, M. A. and Islam, M. S. (2010). Effect of water management, tillage options and phosphorus status on arsenic uptake in rice. Ecotoxicology and Environmental Safety. 74(4): 834-839.

Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany. 22: 13-17.

Tarahomi, P., Lahooti, D. and Abbasi, P. (2010). Effects of drought stress on soluble sugars, chlorophyll and potassium S. leriifolia (*Salvia leriifolia* Benth). Journal of Biological Sciences. 3(2): 1-7.

Tas, S. and Tas, B. (2007). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. World Journal of Agricultural Science. 3(2): 178-183.

Thipyapong, P., Melkonian, J., Wolfe, D.W. and Steffens, J.C. (2004). Suppression of polyphenol oxidases increases stress tolerance in tomato. Plant Science. 167(4): 693-703.

Uzun, B., Arslan, Ç. and Furat, Ş. (2008). Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of the American Oil Chemists' Society. 85(12): 1135-1142.

Verma, K. K., Singh, M., Gupta, R.K. and Verma, C.L. (2014). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence, antioxidant enzymes, and growth responses of *Jatropha curcas* during soil flooding. Turkish Journal of Botany. 38(1): 130-140.

Weiss, E. A. (2000). Oilseed crops. Pp. 150-175. ed .Blackwell Science.

Wen-Bin W., Yun-Hee K., Haeng-Soon L., Ki-Yong K. and Xi-Ping D. (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry. 47(7): 570-577.

Xiao, X., Xu, X. and Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two Populus cathayana populations. Silva Fennica. 42(5): 705-719.

Yang, Y., Han, C., Liu, Q., Lin, B. and Wang, J. (2008). Effect of drought and low light on growth and enzymatic antioxidant system of Picea asperata seedlings. Acta Physiologiae Plantarum. 30(4): 433-440.

Yazdani Buicki, R., Rezvani Moghadam, P., Khazaei, H. R., Ghorbani, R. and Asterai, A.R. (2009). Effects Stresses Salt and Drought on Features Bud Woman Seed Milk thistle (*Silybum marianum*). Journal Research Farm Iran. 8(1): 12-19.

Zarco, P.J., Miller, J. R., Mohammed, G.H. and Noland, T.L. (2010). Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance: I. Leaf-level measurements and model simulation. Remote Sensing of Environment. 74(3): 582-595.

Zlatev, Z.S., Lidon, F.C., Ramalho, J.C. and Yordanov, I.T. (2006). Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. Biologia Plantarum. 50(3): 389-394.