Journal of Vegetables Sciences
Vol 3, No 5, Spring & Summer 2019, Pages (53-65)
DOI: 10.22034/iuvs.2019.32822

دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۳- شماره ۵- بهار و تابستان ۱۳۹۸- صفحات (۶۵-۵۳)

اثر تنش دمای بالا و پایین بر تغییرات رشد، فتوسنتز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی در مرحله رشد رویشی

مریم حقیقی[1*] و رضا ابوالقاسمی[2]

۱- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* نویسنده مسئول: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۰)

چکیده

هدف از این آزمایش بررسی اثر تنش دمای بالا و پایین بر تغییرات رشد، فتوسنتز و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی در مرحله رشد رویشی بود. گیاهان رشد کرده در سیستم هیدروپونیک تحت تأثیر تنش دمایی ۴۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و با گیاهان شاهد در دمای گلخانه ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد مقایسه شدند. همه گیاهان پس از اعمال تنش به گلخانه با شرایط بهینه منتقل شدند و پس از ۱۰ روز دوباره فاکتورهای رشد بررسی شد. نتایج مقایسه‌ای بین این سه دما نشان داد که بیشترین میزان وزن تر شاخساره در تیمار شاهد مشاهده شد. در شرایط تنش دمای بالا، ۵۶/۷ درصد کاهش وزن تر نسبت به تیمار شاهد و در تنش دمای پایین ۶۵/۳ درصد کاهش مشاهده شد. وزن تر ریشه نیز به‌طور مشابهی در تیمار شاهد بیشترین میزان بود و تنش گرمایی، ۴۵ درصد و تنش سرمایی، ۶۴/۶ درصد کاهش را نسبت به شرایط دمای بهینه نشان داد. حجم ریشه با اعمال تنش گرمایی و سرمایی کاهش معنی‌داری نشان داد و میزان نرخ فتوسنتز در شرایط معمولی گلخانه بیشترین میزان و در شرایط تنش گرمایی کمترین میزان را نشان داد. به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که تنش دمایی در این مطالعه صفات رشدی و فتوسنتزی را بیشتر از صفات آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، تعرق، فنل، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

واژه تنش بیانگر آثار فشار و بار ناشی از تأثیر عوامل خارجی (عامل‌های تنش) روی موجودات زنده است که منجر به اختلال در سوخت‌وساز یا کاهش رشد و نمو می‌شود. در بسیاری از موارد تنش با در نظر گرفتن رشد و یا فرآیندهای آسیمیلاسیون اولیه (جذب عناصر و دی‌اکسید کربن) اندازه‌گیری می‌شود (Karami, 2013). یکی از عوامل تنش‌زا مؤثر بر رشد و نمو گیاهان، تنش دماهای بالا یا پایین است (Karami, 2013).

دما از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش گیاهان است. به‌طوری‌که کاهش ناگهانی دما یا تنش سرما از عوامل محدودکننده رشد آن‌ها محسوب می‌شود (Zhao-Shi *et al*., 2007). واکنش سلولی گیاهان در مقابله با سرما شامل از دست‌دادن فشار تورژسانس، برهم خوردن تعادل غشای سیتوپلاسمی، وزیکوله‌شدن، کاهش جریان سیتوپلاسمی و اختلال کلی در اندامک‌ها می‌باشد (Zhao-Shi *et al*., 2007). تنش سرمایی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که حساسیت

یا پایداری گیاه در برابر این تنش بسته به نوع گیاه، رقم، مورفولوژی بافت و سایر خصوصیات سلولی و همچنین شرایط وقوع سرما از نظر مدت، زمان و شدت سرما متفاوت است که کاهش عملکرد و در نهایت مرگ گیاهان را به‌دنبال دارد (Heidarvand & Maali Amiri, 2010). دمای پایین یکی از عوامل محدود کننده‌ی رشد و پراکنش گیاهان بوده و کیفیت و کمیت تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Xin *et al*., 2007). رویارویی با دماهای پایین (صفر تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد) در طول فصل رشد برای گیاهان معمول است و چنین شرایطی می‌تواند ایجاد تنش نموده و بر عملکرد گیاهان تأثیر بگذارد (Yan *et al*., 2005).

تنش سرما سبب تغییر در ساختار غشاء، پروتئین‌ها و افزایش مواد محلول سمی می‌شود (Mahajan & Tuteja, 2006). گیاهان با سازوکارهای متعددی به تنش‌ها پاسخ داده و بنابراین درجه‌های متفاوتی از تحمل را نشان می‌دهند (Xin & Browse, 2000). این اختلاف فراوان در بین گیاهان در زمینه‌ی تحمل به دماهای مختلف از پاسخ وسیع در سطوح دیواره‌ی سلولی، غشای سلولی، اندامک‌ها، ریزمولکول‌ها، درشت مولکول‌ها و در نهایت بیان متفاوت ژن‌های مرتبط منشأ می‌گیرد (Filippi *et al*., 2007).

بهترین دمای سازگاری در گیاهان از گونه‌ای به‌گونه‌ای دیگر و حتی درون یک گونه بسته به تنوع ژنتیکی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌ها متفاوت است (Badea & Basu, 2009). فتوسنتز جزء اولین فرآیندهایی است که در گیاهان عالی تحت تأثیر دمای پایین قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که این تنش باعث عدم تعادل بین نور دریافتی و فتوسنتز شده که احتمال ایجاد تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن را بالا می‌برد (Zhao-Shi *et al*., 2007). تنش سرما با تأثیر بر بخش‌های مختلف فتوسنتز، از جمله تنظیم قطر منافذ روزنه‌ها، فعالیت سیستم فتوسنتز I، II و فعالیت آنزیم‌های سیکل کالوین، تثبیت دی‌اکسید کربن را با مشکل مواجه ساخته و با تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش تولید کاروتنوئیدها کلروز (زرد برگی) در گیاهان را باعث شده و در نهایت فرآیند فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Zhao-Shi *et al*., 2007; Cakmak 2005). فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی گیاهان به تنش دمای پایین ایفا می‌کند (Toth *et al*., 2007). فتوسنتز و تنفس محصولات باغبانی، از جمله گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) تحت تأثیر تنش‌های دمایی بالا و پایین قرار می‌گیرد و عملکرد آن کاهش می‌یابد (Hasanuzzaman *et al*., 2012). از طرفی نه‌تنها دمای پایین باعث ایجاد تنش در گیاهان می‌شود، دمای بالاتر از دمای مطلوب نیز باعث اثرات منفی در گیاه می‌شود. بنابراین دمای بالا نیز یکی از عوامل محدودکننده تولید محصول بوده و باعث تحریک ریزش غنچه، گل، میوه و در نهایت موجب کاهش میزان تولید دانه و میوه می‌گردد (Reddy & Karni, 2007). کاهش تولید محصول در هنگام تنش گرما در بسیاری از گیاهان نظیر فلفل (*Capsicum* spp.) مشاهده شده است (Reddy & Karni, 2007). گزارش شده است کاهش تشکیل میوه در دمای بالا در گیاه گوجه‌فرنگی به‌دلیل کاهش ارسال مواد فتوسنتزی به جوانه گل است (Firon *et al*., 2007). همچنین گزارش شده تنش گرما موجب تحریک ریزش اندام‌های تولیدمثلی و کاهش محصول در گیاهی مثل گوجه‌فرنگی می‌شود و ظرفیت جوانه‌های گل را برای جذب مواد فتوسنتزی به شدت کاهش می‌دهد (Firon *et al*., 2007). تنش گرما باعث القای تغییرات فیزیولوژیک متعددی در گیاهان می‌گردد که یکی از این

تغییرات فیزیولوژیک، سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی است (Piterkova *et al*., 2013).

با توجه به بررسی منابع انجام شده تحقیقات کمتری نسبت به بقیه تنش‌ها در خصوص اثر تنش دمای بالا و دمای پایین بر روی شاخص‌های رشدی، فتوسنتزی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی صورت گرفته است. بنابراین هدف از این آزمایش بررسی این شاخص‌ها در شرایط تنش دمای بالاتر از حد مطلوب و تنش دمای پایین در مرحله رشد رویشی گوجه‌فرنگی تحت شرایط کنترل‌شده و دقیق گلخانه‌ای و محیط کشت هیدروپونیک بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش‌های دمایی بر خصوصیات رشدی و فتوسنتزی گوجه‌فرنگی در محیط کشت هیدروپونیک آزمایش کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. آزمایش در شرایط محیطی کنترل‌شده گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه ۲۱/۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نشاهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom* L.) در مخلوطی از پیت و پرلایت ۱:۱ حجمی پرورش داده شدند. گیاهچه‌های ۴-۳ برگی، به سیستم آبکشت همراه با هوا رسانی اتوماتیک توسط پمپ هوا (هر ساعت ۱۵ دقیقه) منتقل شدند. این شرایط با تجربه چند بار آزمایش به‌دست آمد.کمتر از این میزان، باعث تهویه کم و مشاهده پژمردگی و بیشتر از این میزان باعث آسیب دیدن ریشه‌های گیاه می‌شد. سطح محلول غذایی در داخل ظروف به‌میزان ثابت نگه‌داشته شد. به‌منظور جلوگیری از نفوذ نور و رشد نکردن جلبک‌ها درون ظروف محتوای محلول غذایی، اطراف ظروف با پلاستیک مشکی ضخیم پوشانده شد. ترکیب محلول غذایی بر حسب میلی‌گرم در لیتر به این قرار بود: نیتروژن: ۷۰، فسفر: ۵۰، پتاسیم: ۲۰، کلسیم: ۲۰، منیزیم: ۵۰، آهن: ۲/۸، منگنز: ۰/۸، روی: ۰/۳، مس: ۰/۳، بر: ۰/۶ و مولیبدن: ۰/۰۵. نشاءها به‌مدت ۱۰ روز در سیستم آبکشت رشد کردند و سپس تنش دمایی اعمال شد. به‌طوری‌که به‌مدت ۲۴ ساعت، سه تکرار در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، سه تکرار در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و سه تکرار در دمای گلخانه ۲±۲۵ نگهداری شدند. این دماها بر اساس ایجاد تنش گرمایی و سرمایی برای گیاه انتخاب شدند. چرا که دمای گلخانه‌های پرورش سبزی در این دامنه دمایی قرار دارد و باعث تنش می‌شود. جهت اعمال تنش دمای بالا و پایین، گیاهچه‌ها به انکوباتور مدل EYELA LTI-1000 SD منتقل شدند. بلافاصله بعد از اعمال تنش، بررسی فاکتورهای رشدی و فتوسنتزی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات فتوسنتزی از جمله میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول دی اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه)، میزان تعرق (میکرومول دی اکسیدکربن بر مترمربع در ثانیه)، میزان دمای برگ (درجه سانتی‌گراد) و میزان دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای (میلی‌مول بر مول) توسط دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (Li-Cor, Li-3000, USA) انجام شد. به این منظور قسمت میانی برگ‌های بالغ در داخل محفظه شیشه‌ای قرار گرفت. هدایت مزوفیلی (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) از تقسیم‌کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای به‌دست آمد. به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول H_2O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شد (Doshi *et al*., 2008). کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به‌ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. تعداد سه برگ مشابه از هر گیاه انتخاب و با استفاده از دستگاه

SPAD (مدل Minolta-502) میزان کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین مقدار نسبی آب بافت RWC (Relative Water Content) به‌طور تصادفی برگ‌های تازه گیاه انتخاب و به اندازه یک سانتی‌متر جدا و وزن شد (W_I) این قطعات برگ در آب مقطر در محل تاریک در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت دوباره وزن شد (W_f) و سپس وزن خشک این قطعات را پس از قرار دادن در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (Prasad *et al.*, 2008). از رابطه ۱ جهت محاسبه مقدار نسبی آب بافت پس از اعمال تنش (W_1 میزان رطوبت نسبی تنش) و پس از پایان آزمایش (W_2 رطوبت نسبی نهایی) استفاده شد (Mohsenzadeh *et al.*, 2006).

رابطه (۱) $RWC= W_1/W_2\times100$

جهت تعیین مقدار آب حفظ‌شده در گیاه (Excised Leaf Water Retention; ELWR) به روش Clarke و McCaig (۱۹۸۲) در دو زمان پس از اعمال تنش و در پایان آزمایش عمل شد.

رابطه (۲)

$ELWR= (1 -[(FW-WW)/FW])\times100$

که در این رابطه FW: وزن برگ تازه و WW: وزن برگ پس از پنج ساعت جدا شدن از گیاه در دمای آزمایشگاه می‌باشد (Clarke & McCaig, 1982).

برای تعیین شاخص ثبات غشاء (Membrane Stability Index) MSI نیز از هر تیمار ۰/۱ گرم برگ جدا شد؛ یک‌بار توسط آب معمولی، سپس دو بار توسط آب مقطر شسته شد؛ در لوله آزمایش قرار داده شد و به‌میزان ثابت آب مقطر به هر کدام اضافه شد. سپس، در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد (Sairam & Srivastava, 2002). توسط EC متر هدایت الکتریکی اولیه اندازه‌گیری شد (C_1). دوباره به لوله‌ها باز گردانده شد و آب مقطر به‌میزان ثابتی ریخته و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده و EC ثانویه اندازه‌گیری شد (C_2). در نهایت مقدار آب حفظ‌شده توسط رابطه ۳ محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2002):

رابطه (۳) $MSI= [1- (C_1/C_2)] \times 100$

سپس گیاهان به شرایط گلخانه‌ای منتقل‌شده و پس از ۱۰ روز دوباره فاکتورهای رشدی در گیاه اندازه‌گیری شد.

فاکتورهای اندازه‌گیری شده ۱۰ روز پس از اعمال تنش

بلافاصله پس از خارج‌کردن گیاه از ظروف کشت، حجم ریشه به روش تغییر حجمی آب بر حسب میلی‌لیتر برآورد گردید. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه و شاخساره، بوته‌ها با اسکالپل از محل طوقه جدا شده و وزن تر هر قسمت جداگانه با ترازو وزن شد و یادداشت گردید. سپس به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها و شاخساره‌ها، جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن قرار گرفتند و پس از طی این مدت وزن خشک با ترازو اندازه‌گیری و یادداشت گردید.

با توجه به تأکید این پژوهش بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در دو مرحله، یکی بلافاصله بعد از اعمال تنش (آنتی‌اکسیدان تنش) و دومی پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال تنش (آنتی‌اکسیدان نهایی) اندازه‌گیری شدند. برای این منظور ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی پس از استخراج اندازه‌گیری شد (۰/۲ گرم پودر برگ و اندام‌های هوایی گوجه‌فرنگی را با دو میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد مخلوط کرده و چهار ساعت با مگنت به‌هم خورده، صاف شد و سپس

پودر روی صافی را با ۱۰ برابر حجم پودر چهار ساعت دوباره به‌هم خورده و صاف شد. محلول حاصل عصاره گیاهی است). میزان آنتی‌اکسیدان

رابطه (۴) ODکنترل /OD نمونه - OD کنترل = درصد ممانعت کنندگی آنتی‌اکسیدان

که در این فرمول OD شامل عدد اندازه‌گیری شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر می‌باشد. OD کنترل، OD حلال می‌باشد که متانول است.

فنل برگ در دو زمان، یکی پس از اعمال تنش (فنل تنش) و یکی پس از پایان آزمایش و ۱۰ روز پس از اعمال تنش (فنل نهایی) اندازه‌گیری شد. به‌دلیل اینکه فنل نیز مانند آنتی‌اکسیدان قابل تأکید بود، در دو زمان اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فنل برگ ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی را با ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین و دو میلی‌لیتر از محلول کربنات‌سدیم ۷/۵ درصد مخلوط کرده و سپس جذب کمپلکس تشکیل‌شده در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Raven, 2003). میزان فنل کل را با رسم منحنی استاندارد توسط اسید گالیک در غلظت‌های ۲، ۴، ۸، ۱۰، ۳۰، ۴۵ پی‌پی‌ام در طول موج ۷۶۵ نانومتر، محاسبه شد (Raven, 2003).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Statistix 8 و مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون LSD ($P<0.05$) انجام گرفت.

نتایج

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان وزن تر شاخساره در تیمار شاهد مشاهده شد. در حالی‌که بین دو تیمار تنش گرما و سرما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش دمای بالا، ۵۶/۷ درصد کاهش وزن تر نسبت به تیمار شاهد و در تنش دمای پایین ۶۵/۳ درصد کاهش مشاهده شد (جدول۱). به‌طور مشابه وزن تر ریشه در تیمار شاهد بیشترین میزان بود و تفاوت معنی‌داری بین تیمار تنش گرمایی و سرمایی مشاهده نشد و تنش گرمایی ۴۵ درصد کاهش وزن ریشه و تنش سرمایی ۶۴/۶ درصد کاهش را نسبت به شرایط دمای بهینه نشان داد (جدول۱). وزن خشک شاخساره تحت تأثیر تنش گرمایی و سرمایی قرار نگرفت (جدول۱). وزن خشک ریشه در تیمار شاهد بیشترین میزان و در تنش سرمایی کمترین میزان را نشان داد، به‌طوری‌که ۶۵/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت (جدول ۱).

حجم ریشه با اعمال تنش گرمایی و سرمایی کاهش معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین میزان حجم ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد و در بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

میزان نرخ فتوسنتز در شرایط معمولی گلخانه بیشترین میزان و در شرایط تنش گرمایی کمترین میزان ۶۳/۵ درصد کاهش را نشان داد. تیمار تنش گرمایی و سرمایی تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول۲). هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تنش قرار نگرفت و در میزان دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای در شرایط تنش گرمایی افزایش و در تنش سرمایی تفاوتی با شاهد نداشت (جدول۲). میزان کلروفیل و میزان تعرق در شرایط دمای معمولی و تنش‌های گرمایی و سرمایی تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین میزان کلروفیل در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). هدایت مزوفیلی در اثر تنش دمایی کاهش یافت و تیمار شاهد بالاترین و در تیمار تنش گرمایی کمترین میزان را نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان دمای برگ در شرایط تنش گرمایی و سرمایی مشاهده شد. علی‌رغم این‌که تفاوت معنی‌داری بین تنش گرمایی و سرمایی مشاهده

توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۷ نانومتر و از طریق رابطه ۴ اندازه‌گیری شد (Oktay *et al.*, 2003).

نشد اما دمای برگ در تیمار شاهد نسبت به تنش گرمایی به‌میزان ۳ درصد کاهش نشان داد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی برای تیمار شاهد ثبت گردید و در تیمارهای تنش گرمایی و سرمایی کاهش یافت (جدول۲).

جدول ۱- اثر تنش‌های دمایی بر فاکتورهای رشدی گوجه‌فرنگی در پایان آزمایش

تیمار	وزن تر ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (میلی‌لیتر)
دمای بهینه (شاهد)	۴/۶۲^{a}	۲/۸۰^{a}	۱۰/۵۸^{a}	۰/۱۶^{a}	۲/۵^{a}
تنش گرمایی	۲/۰۰^{b}	۱/۵۴^{b}	۲۰/۲۳^{a}	۰/۰۸^{ab}	۱/۵^{b}
تنش سرمایی	۱/۶۰^{b}	۰/۹۹^{b}	۳۰/۱۹^{a}	۰ /۰۶^{b}	۱/۰^{b}

حروف یکسان در هر ستون سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان می‌دهند.

جدول ۲- اثر تنش‌های دمایی بر فاکتورهای فتوسنتزی گوجه‌فرنگی در مرحله تنش

تیمار	نرخ فتوسنتز (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه)	دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای (میکرومول)	میزان کلروفیل	تعرق (میلی‌مول)	هدایت مزوفیلی (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	دمای برگ	کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول آب)
دمای بهینه (شاهد)	۱۰/۷۹^{a}	۰/۱۶^{a}	۳۳۲^{b}	۲۱/۳^{a}	۴/۳۸^{a}	۰/۰۳۲^{a}	۳۱/۱^{b}	۳/۱۳^{a}
تنش گرمایی	۳/۹۳^{c}	۰/۰۸^{a}	۳۴۱^{a}	۲۴/۸^{a}	۳/۳۶^{a}	۰/۰۱۱^{c}	۳۲/۲ ^{a}	۱/۱۷^{b}
تنش سرمایی	۵/۲۷^{b}	۰/۱۲^{a}	۳۳۳^{b}	۳۲/۲^{a}	۴/۴۴^{a}	۰/۰۱۵^{b}	۳۲/۱^{a}	۱/۱۸^{b}

حروف یکسان در هر ستون سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان می‌دهند.

بیشترین شاخص پایداری غشاء در تیمار تنش گرمایی و کمترین میزان آن، در تیمار تنش سرمایی مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار شاهد و تنش سرمایی مشاهده نشد (جدول ۳).

میزان رطوبت‌نسبی در شرایط دمایی بهینه بیشترین میزان و در تنش گرمایی کمترین میزان را داشت. به‌طوری‌که تیمار گرمایی ۴۷ درصد کاهش رطوبت‌نسبی نسبت به شاهد نشان داد. میزان رطوبت‌نسبی نهایی در شرایط تنش سرمایی بیشترین میزان را داشت. علی‌رغم این‌که بین تیمار شاهد و تیمار تنش گرمایی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی تنش سرمایی ۳۱/۸ درصد بیشتر از دو تیمار دیگر افزایش در میزان رطوبت‌نسبی را نشان داد (جدول ۳).

میزان تغییرات آب در برگ جدا شده در شرایط تنش در هیچ‌کدام از تیمارها معنی‌دار نبود. تغییرات آب در مرحله نهایی نیز بین تیمار شاهد و تیمار تنش گرمایی تفاوتی دیده نشد و هر دو تیمار بیشترین میزان را نشان دادند و تیمار تنش سرمایی کمترین میزان یعنی ۲۲/۴ درصد کاهش را نشان داد (جدول ۳).

فعالیت آنتی اکسیدانی در مرحله تنش در تیمار سرمایی بیشترین و در تیمار گرمایی کمترین میزان مشاهده شد. تیمار تنش گرمایی ۱۷/۲ درصد کاهش در میزان آنتی‌اکسیدان را نسبت به تنش سرمایی نشان داد. در صورتی‌که میزان

آنتی‌اکسیدان مرحله نهایی تفاوت معنی‌داری را بین سه تیمار شاهد، تنش گرمایی و تنش سرمایی نشان نداد (جدول ۴). محتوای فنل در هیچ کدام از مراحل اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۴).

جدول ۳- اثر تنش‌های دمایی بر شاخص پایداری، میزان رطوبت‌نسبی و تغییرات آب برگ جداشده در گوجه‌فرنگی پس از اعمال تنش† و در پایان آزمایش††

تیمار	شاخص پایداری غشاء تنش (درصد)	میزان رطوبت‌نسبی تنش (درصد)	میزان رطوبت‌نسبی نهایی (درصد)	مقدار آب حفظ‌شده در برگ در مرحله تنش (درصد)	مقدار آب حفظ‌شده در برگ در مرحله نهایی (درصد)
دمای بهینه (شاهد)	۸۲/۳۶[b]	۶۰/۷۶[a]	۳۴/۱۰[b]	۶۷/۹۵[a]	۸۰/۲۰[a]
تنش گرمایی	۸۴/۲۰[a]	۳۲/۲۰[c]	۳۴/۰۰[b]	۶۹/۷۵[a]	۸۲/۴۵[a]
تنش سرمایی	۸۱/۵۰[b]	۳۹/۶۰[b]	۵۰/۰۰[a]	۷۰/۰۰[a]	۶۲/۲۰[b]

حروف یکسان در هر ستون سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان می‌دهند.

† میزان رطوبت‌نسبی تنش و مقدار آب حفظ‌شده در برگ تنش بلافاصله پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد.

†† میزان رطوبت‌نسبی نهایی و مقدار آب حفظ‌شده در برگ نهایی ۱۰ روز پس از اعمال تنش (پایان آزمایش) اندازه‌گیری شد.

جدول ۴- اثر تنش‌های دمایی بر فاکتورهای آنتی‌اکسیدان و فنل پس از اعمال تنش† و پایان آزمایش††

تیمار	آنتی‌اکسیدان تنش (میکرومول)	آنتی‌اکسیدان نهایی (میکرومول)	فنل تنش (میلی‌گرم بر گرم)	فنل نهایی (میلی‌گرم بر گرم)
دمای بهینه (شاهد)	۶۷/۵۲[b]	۷۸/۰۳[a]	۰/۷۳[a]	۰/۷۴[a]
تنش گرمایی	۵۵/۹۰[c]	۸۳/۵۰[a]	۰/۷۳[a]	۰/۷۱[a]
تنش سرمایی	۷۱/۴۰[a]	۷۷/۱۶[a]	۰/۷۳[a]	۰/۷۳[a]

حروف یکسان در هر ستون سطح معنی‌داری مشابهی را توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان می‌دهند.

† میزان رطوبت‌نسبی تنش و مقدار آب حفظ‌شده در برگ تنش بلافاصله پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد.

†† میزان رطوبت‌نسبی نهایی و مقدار آب حفظ‌شده در برگ نهایی ۱۰ روز پس از اعمال تنش (پایان آزمایش) اندازه‌گیری شد.

بحث

Brown و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که تنش دمایی و تنش رطوبتی از عوامل مهم تغییر و تنوع میزان برداشت محصول کتان (*Linum usitatissimum* L.) هستند. Haghighi و همکاران (۲۰۱۴) اظهار داشتند که میزان رشد شاخساره گوجه‌فرنگی در شرایط تنش دمایی بالا و پایین کاهش پیدا می‌کند. محققین گزارش دادند که گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما و گرما با کاهش رشد و محصول همراه شده که این موضوع به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز می‌باشد (Kai & Iba, 2014).

در گزارشی دیگر نشان داده شد که تنش دمای بالا (۳۰ و یا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) باعث کاهش رشد و محصول‌دهی سورگوم (*Sorghun bicolor* L.) می‌شود. ضمن این‌که اظهار داشتند که تنش دمای بالا باعث کاهش وزن خشک برگ و وزن کل شاخساره می‌شود. اثر تنش سرما بر کاهش میزان

رشد گیاه از واضح‌ترین پاسخ‌های گیاهان به سرما می‌باشد (Djanaguiraman *et al*., 2010). ثابت شده است کهوزن خشک ریشه و ساقه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش سرما به‌طور معنی‌داری کاهش می یابد که این کاهش وزن در ارقام مختلف متفاوت می‌باشد (Ghorbani *et al*., 2009). به‌طور مشابه در این تحقیق تنش دمایی پایین و بالا باعث کاهش رشد در شاخص‌های وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ساقه و حجم ریشه شد و تنش سرمایی وزن خشک ریشه را به‌میزان ۶۵/۶ درصد کاهش داد. در این پژوهش بیشترین میزان وزن خشک ریشه در شاهد و کمترین میزان وزن خشک در تنش سرمایی ثبت گردید. محققین اظهار داشتند که تنش دمای بالا بیشترین اثر را روی فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تبادلات گازی روزنه، تبخیر و تعرق دارد (Kai & Iba, 2014).

بارزترین عکس‌العمل گیاهان حساس به تنش دمای پایین، کاهش میزان فتوسنتز است که در شرایط نور متوسط نیز منجر به اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌شود. در نتیجه منجر به کاهش متابولیسم کربن و کاهش انتقال الکترون در چرخه نوری می‌شود (Yadeghari *et al*., 2008). کاهش ناگهانی فتوسنتز در برگ‌های سورگوم طی بررسی Prasad و همکاران (۲۰۰۸) در تنش سرمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲/۵ روز مشاهده شده است. Haghighi و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاهش فتوسنتز گوجه‌فرنگی در شرایط تنش دمایی بالا و پایین را گزارش کرده اند. نشان داده شده که تنش دمای بالا (۳۰ و یا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) باعث کاهش فعالیت فتوشیمیایی و فتوسیستم II و البته کاهش میزان فتوسنتز در سورگوم می‌شود (Djanaguiraman *et al*., 2010). دمای برگی که در شرایط تنش خشکی قرار دارد بیشتر از دمای برگی است که در شرایط عادی قرار دارد. در نتیجه این برگ‌ها دارای فتوسنتز کمتری هستند (Siddique *et al*., 2000). نتایج حاصل از این آزمایش برای اولین‌بار این موضوع را نیز در تنش دمای بالا و پایین نشان داد. به‌طوری‌که تنش باعث افزایش دمای برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز شد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاهش شاخص‌های رشدی در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تنش دمای بالا و پایین در اثر افزایش دمای برگ، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش میزان آسیمیلاسیون و رشد می‌باشد.

میزان هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر تنش دمایی بررسی نشده است ولی در آزمایشی بر روی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) کاهش ۷۰ درصدی در میزان هدایت روزنه‌ای گیاه ۴۵ روز پس از اعمال شوری گزارش شده است. اگرچه، در آن پژوهش اختلاف معنی‌داری در فاکتور هدایت روزنه‌ای بر اثر تنش‌های گرمایی و سرمایی در گوجه‌فرنگی مشاهده نشد (Rivell *et al*., 2010). میزان دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای بر اثر تنش سرمایی و همچنین در دمای بهینه کاهش داشت و در شرایط تنش دمای بالا بیشترین میزان دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای مشاهده شد. میزان سطح کلروفیل برگ‌های سورگوم در تنش سرمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲/۵ روز، تغییر معنی‌داری را نشان نداده و تنها میزان لتئین، زانتوفیل و بتاکاروتن کاهش داشت (Prasad *et al*., 2008).

در گزارشی دیگر بیان شده که تحت شرایط تنش خشکی میزان کلروفیل a و b به کمترین میزان می‌رسد (Saranga *et al*., 2004). همچنین بیان شده که برای محصولاتی که تنش گرما بر روی آن‌ها اثر محدودکننده دارد، اندازه‌گیری میزان کلروفیل روش مفیدی است. چرا که کلروفیل

نشان‌دهنده میزان آسیب به فتوسیستم II است (Hall, 2004). Mohsenzadeh و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاهش در میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان می‌تواند در اثر تخریب کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده باشد. محققین دیگر گزارش کردند که گیاه برنج تحت تنش سرما با کاهش میزان کلروفیل همراه بود که باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Hasibi *et al*., 2007). در حالی‌که در پژوهش ما اختلاف معنی‌داری بین هیچ‌کدام از تیمارهای تنشی مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد این اختلاف در نتایج مشاهده شده به نوع گیاه و میزان اعمال تنش مربوط می‌شود. به‌علاوه این‌که گیاهان مختلف نسبت به تنش‌ها پاسخ‌های متفاوتی را برحسب بیان ژن‌های متفاوتشان نشان می‌دهند. تغییرات تعرق طی تنش خشکی بررسی شده است و مشخص‌شده که بازدهی تبخیر و تعرق تحت شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط آب کافی است. این امر می‌تواند ناشی از استفاده حداکثر آب توسط گیاه باشد (Siddique *et al*.,2000). ولی نتایج این آزمایش نشان داد طی تنش دمایی تعرق در گوجه‌فرنگی تغییر معنی‌داری نداشت که این به‌نظر می‌رسد به‌دلیل تفاوت در حساسیت یا پایداری گیاه در برابر نوع تنش باشد و بسته به گیاه متفاوت است.

کارآیی مصرف آب در تنش خشکی عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش را بهبود می‌بخشد و به‌عنوان یک صفت مطلوب برای ایجاد تحمل به خشکی در گیاهان در مطالعات مد نظر می‌باشد. گیاهانی که از کارآیی مصرف آب بالاتری برخوردار هستند به ازای مصرف آب کمتر، تولید بیشتری دارند (Blum, 2005). در شرایط تنش فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی ارقام مقاوم بیشتر از ارقام حساس است. کاهش فتوسنتز با افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی تحت تنش خشکی همراه بود. این کاهش را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش حدود ۹۰ درصد کاهش یافت (Siosemarde *et al*., 2004). در این پژوهش تنش دمایی تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای سرما و گرمایی در این صفت نشان نداد و بیشترین کارایی مصرف آب فتوسنتزی مربوط به تیمار شاهد بود. به‌نظر می‌رسد که تفاوت در کارایی مصرف آب فتوسنتزی در پاسخ به شرایط تنش دمایی به دلیل تفاوت در سطح دیواره‌ی سلولی و غشای سلولی اندامک‌ها باشد.

بهره‌گیری از تعیین نشت الکترولیت‌ها و محاسبه شاخص پایداری غشاء یکی از پرکاربردترین نشانگرهایی است که برای تخمین میزان اثر فرآیندهای تخریب‌گر غشاء در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر عوامل نامساعد محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Azizpour *et al*., 2010). کاهش میزان شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش خشکی نیز در مطالعات انجام گرفته بر روی گیاهان مختلف نظیر غلات (Baczekkwinta *et al*., 2006) و نخود (Jain *et al*., 2006) گزارش شده است. در تأیید این نتیجه، تنش دمای پایین، کاهش ۱ درصدی را نسبت به شرایط بهینه نشان داد. هر چند که تنش دمای بالا باعث افزایش شاخص پایداری غشاء به‌میزان ۲/۱۸ درصد نسبت به شرایط بهینه شد که ممکن است به‌دلیل تفاوت در نوع تنش‌های اعمالی و همچنین پاسخ مختلف گیاه به شرایط تنش‌ها باشد.

در مقایسه بین تنش‌های غیرزیستی تنش خشکی میزان رطوبت نسبی را کاهش می‌دهد. میزان آب برگ در شرایط تنش خشکی کمتر از برگ‌های معمول است (Siddique *et al*., 2000). تنش دمای بالا نیز مانند تنش خشکی باعث کاهش میزان رطوبت‌نسبی به مرور زمان شد ولی تنش

سرمایی چنین اثری نداشت. به‌طوری‌که در پایان آزمایش رطوبت نسبی را افزایش داد که با توجه به کاهش تبخیر و تعرق در دمای پایین قابل توجیه است.

طی نتایج تنش رطوبتی بر روی غلات، گزارش شد که مقدار آب حفظ‌شده در برگ جدا شده از گیاهان این خانواده افزایش یافت. در مقابل، در آزمایش حاضر، بین تیمارها بعد از تنش در مقدار آب حفظ‌شده در برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که ممکن است به‌دلیل تفاوت در حساسیت گونه، رقم و مورفولوژی گیاه در واکنش به تنش‌ها باشد. ولی این اندازه‌گیری در مرحله نهایی بیشترین میزان را در تنش گرمایی به همراه دمای بهینه نشان داد و در تنش دمای پایین کمترین میزان مشاهده شد (Lobnanijoghshshi, 2007). در گزارشی مشابه نشان داده شد که تنش دمای بالا (۳۰ و یا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سورگوم می‌شود که این کاهش به‌خاطر کاهش آسیمیلاسیون می‌باشد (Djanaguiraman *et al*., 2010). در تأیید آن نتایج، در این آزمایش نیز که بر روی تنش دمایی انجام گرفت تفاوت معنی‌داری بین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را بعد از تنش نشان داد. به‌طوری‌که بعد از تنش بیشترین میزان فعالیت آنتی‌کسیدانی را تنش سرمایی و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تنش گرمایی نشان داد و البته بعد از گذشت ۱۰ روز از تنش و بازگشت به شرایط بهینه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش مشاهده نشد.

بررسی تغییرات فنل کل نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری مقدار فنل کل در برگ‌ها کاسته شد. در سیب‌زمینی شیرین (*Ipomoea batatas* L.) نیز کاهش ترکیبات فنلی در اثر تنش خشکی گزارش شده است (Lin *et al*., 2006). در خانواده غلات، تنش خشکی باعث افزایش مقدار تولید ترکیبات فنلی در ارقام حساس شد، اما در ارقام مقاوم این تغییرات ناچیز بود (Hura *et al*., 2007). بررسی روی اکالیپتوس (*Eucalyptus* spp.) نشان داد که تحت شرایط تنش آبی ترکیبات فنلی در درخت افزایش می‌یابد (Schwambach *et al*., 2008). برخلاف این نتیجه در بررسی که روی فنل گوجه‌فرنگی در واکنش به تنش دمایی انجام شد، تفاوت معنی‌داری در میزان فنل در هیچ یک از تیمارهای تنش دمایی مشاهده نشد. به‌علاوه این‌که بعد از اندازه‌گیری نهایی نیز تفاوت معنی‌داری در میزان فنل مشاهده نشد که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل پاسخ‌های وسیع گیاه در سطوح مختلف اندامک‌ها، ریز مولکول‌ها، درشت مولکول‌ها و در نهایت بیان متفاوت ژن‌های مرتبط باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که تنش دمای بالا و پایین بر صفات وزن تر ساقه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، وزن تر ریشه، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی نسبت به دیگر فاکتورهای مورد اندازه‌گیری اثر داشت و بر صفات وزن خشک ساقه، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل، تعرق، مقدار آب حفظ‌شده در برگ‌های جداشده از گیاه، آنتی‌اکسیدان نهایی و فنل اثری نداشت. از طرفی به‌نظر می‌رسد تنش دمای بالا بر صفات دی اکسیدکربن درون روزنه‌ای و شاخص پایداری غشاء کاملاً اثر افزایشی و تنش دمای پایین بر صفات میزان رطوبت نسبی و آنتی‌اکسیدان تنش اثر بارز فزآینده‌ای را نشان داد.

References

- Azizpour, K., Shakiba, M. R., KhoshKholg, S. N. A., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E. & Pessarakli, M. (2010). Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 859-873.
- Baczekkwinta, R., Filek, W., Grzesiak, S. & Hura, T. (2006). The effect of soil drought and rehydration on growth and anti-oxidative activity in flag leaves of triticale. *Biological Plant*, 50, 55-60.
- Badea, C. & Basu, S. K. (2009). The effect of low temperature on metabolism of membrane lipids in plants and associated gene expression. *Plant Omics Journal*, 2, 78-84.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Agricultural Research*, 56, 1159-1168.
- Brown, R. S., Oosterhuis, D. M., Coker, D. L., & Fowler, L. (2003). The dynamics of dry matter partitioning in the cotton boll of modern and obsolete cultivars. In: D. A. Richter (Ed.), *Proceedings Beltwide Cotton Conferences, National Cotton Council, Memphis, Tenn* (pp. 1886-1889).
- Cakmak, I. (2005). Role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 521-530.
- Clarke, J. M. & McCaig, T. N. (1982). Excised leaf water retention capacity as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Plant Science*, 62, 571-576.
- Djanaguiraman, M., Prasad, A. & Seppanen, M. (2010). Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 999-1007.
- Doshi, R., Braida, W., Christodoulatos, C., Wazne, M. & O'connor, G. (2008). Nano aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plant and soil communities. *Environmental Research*, 106, 296-303.
- Filippi, L. D., Fournier, M., Cameroni, E., Linder, P., Virgilio, C. D., Foti, M. & Deloche, O. (2007). Membrane stress is coupled to a rapid translational control of gene expression in chlorpromazine-treated cells. *Current Genetics*, 52, 171-185.
- Firon, N., Shaked, R., Peet, M. M., Pharr, D. M., Zamski, E., Rosenfeld, K., Ahan., L. &. Pressman, E. (2006). Pollen grains of heat tolerant tomato cultivars retain higher carbohydrate concentration under heat stress conditions. *Scientia Horticalturae*, 109, 212-217.
- Ghorbani, A., Zarinkamar, F. & Fallah, A. (2009). Effect chilling stress on morphologic and physiologic of two variety of rice. *Journal of Crop Breeding*, 1(2), 50-66.
- Haghighi, M., Abolghasemi, R. & Da Silva, J. A. (2014). Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticalturae*, 178, 231-240.
- Hall, A. E. (2004). Mitigation of stress by crop management. *Available online with updates at http://www. plantstress. com/Articles/heat_m/heat_m. htm*.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., Teixeira da Silva, J.A., & Fujita, M. (2012). Plantresponses and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defenses are a key factors. In: V. Bandi., A. K. Shanker., C. Shanker. & M. Mandapaka. (Eds.), Crop stress and its management: perspectives and strategies. Springer, Berlin, (pp. 261-316). Springer, Dordrecht.
- Hasibi, P., Moradi, F. & Nabipour, M. (2007). Screening rice genotype for

resistance to low temperature with using chlorophyll florescence. *Iranian Agronomic Science Journal*, 9, 14-31. (In Farsi)
- Heidarvand, L. & Maali Amiri, R. (2010). What's happens in plant molecular responses to cold stress? *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 419-431.
- Hura, T., Grzesiak, S., Hura, K., Thiemt, E., Tokarz, K. & Wedzony, M. (2007). Physiological and biochemical tools useful in drought-tolerance detection in genotypes of winter triticale: Accumulation of ferulic acid. *Annals of Botany*, 100, 767-775.
- Jain, M., Nandwal, A. S., kundu, B. S., kumar, B., Mann, A. & kukreja, S. (2006). Water relations, activities of antioxidants, ethylene evolution and membrane integrity of pigeconpea roots as affected by soil moisture. *Biologia plantarum*, 50(2), 303-306.
- Kai, H. & Iba, K. (2014). Temperature stress in plants. eLS, http://dx.doi.org/ 10.1002/9780470015902.a0001320.pub2.
- Karami, F. (2013). Physiological response of plants to drought stress. *Olive Magazine*, 128, 34-40.
- Lin, K. H., Chao, P. Y., Yang, C. M., Cheng, W. C., Lo, H. F. & Chang, T. R. (2006). The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies*, 47, 417-426.
- Lobnanijoghshahi, M. (2007). Evaluation of morpho-physiological traits related to drought tolerance in Triticale. MS Thesis Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Technology.
- Mahajan, S. & Tuteja, N. (2006). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-158.
- Mohsenzadeh, S. (2006). Physiological and molecular responses of *Aeluropuslagopoides* (Poaceae) to water deficit. *Journal of Environment Expriment Botany*, 56, 314-322.
- Oktay, M., Gulcin, I. & Kufrevioglu, O. I. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. LWT- *Food Science and Technology*, 36, 263-271.
- Piterkova, J., Luhova, L., Mieslerova, B., Lebeda, A., & Petrivalsky, M., (2013). Nitric oxideand reactive oxygen species regulate the accumulation of heat shock proteins intomato leaves in response to heat shock and pathogen infection. *Plant Science*, 207, 57-65.
- Prasad, P. V. V., Pisipati, S. R., Mutava, R. N. & Tuinstra, M. R. (2008). Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. *Crop Science*, 48, 1911-1917.
- Raven, J. A. (2003). Cycling silicon: the role of accumulation in plants. *New Phytologist Journal*, 158, 419-30.
- Reddy, K. R. & Karni, V. G. (2007). Screening capsicum species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. *Scientia Horticalturae*, 112, 130-135.
- Rivell, A. R., De Maria, S., pizza, S. & Gherbin, P. (2010). Growth and physiological response of hydroponically grown sunflower as affected by salinity and magnesium levels. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 1307-1323.
- Sairam, R. & Srivastava, G. (2002). Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, 162, 897-904.

- Saranga, Y., Jiang, C. X., Wright, R. J., Yakir, D. & Paterson, A. H. (2004). Genetic dissection of cotton physiological responses to arid conditions and their inter-relationships with productivity. *Plant Cell Environment*, 27, 263-277.
- Schwambach, J., M.Ruedell, C., R.Almeida, M., Penchel, R. M., Dearaujo, E. F. & FettNeto, A. G. (2008). Adventitious rooting of Eucalyptus glabus×maidenni mini cutting derived from mini stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. *New Forests*, 36, 261-271.
- Siddique, M. R. B., Hamid, A. & Islam M. S. (2000). Drought stress effect on water relation of whet. *Botany Bull Academic*, 41, 35-39.
- Siosemarde, A., Ahmadi, A., Pustini, K. & Ebrahimzadeh, H. (2004). Stomatal and non-stomatal factors controlled photosynthesis and their connection with drought resistant in wheat cultivars. *Journal of Iranian Agricultural Sciences*, 35, 93-106. (In Farsi)
- Tóth, S. Z., Schansker, G., & Strasser, R. J. (2007). A noninvasive assay of the plastoquinone pool redox state based on the OJIP-transient. *Photosynthesis Research*, 93, 193-203.
- Xin, Z. & Browse, J. (2000). Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. *Plant Cell Environment*, 23, 893-902.
- Xin, Z., Mandaokar, A., Chen, J., Last, R. L. & Browse, J. (2007). *Arabidopsis* ESK1 encodes a novel regulator of freezing Tolerance. *The Plant Journal*, 49, 786-799.
- Yadeghari, L. Z., Heidari, R. &. Carapetian. J. (2008). The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyd (MDA), Total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Research Journal of Biological Sciences*, 3, 74-79.
- Yan, S. P., Zhang, Q. Y., Tang, Z. C., Su, W. A., & Sun, W. N. (2006). Comparative proteomic analysis provides new insights into chilling stress responses in rice. *Molecular & cellular proteomics*, 5(3), 484-496.
- Zhao-Shi, X., Lan-Qin, X., Ming, C., Xian-Guo, C. C., Rui-Yue, Z., Lian-Cheng, L., Yun- Xiang, Z., Yan, L., Hi-Yong, N., Li, L., Zhi-Gang, Q. & You-Zhi, M. (2007). Isolation and molecular characterization of the *Triticum aestivum* L. Ethylene responsive factor 1 (TaERF1) that increases multiple stress tolerance. *Plant Molecular Biology*, 65, 719-732.