

اثر تنش غرقاب بر فعالیت آنزیم کاتالاز و روند تغییرات کلروفیل برگ نارنگی انشو با پایه‌های مختلف در خاک‌های شرق مازندران

علی اسدی کنگرشاهی^{۱*}، غلامرضا ثواقبی^۲، سیدمحمود سمر^۳، نگین اخلاقی^۴

۱. دکتری علوم خاک بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

۲. استاد بخش خاک‌شناسی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور

۴. استادیار بخش باغبانی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۸/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، فعالیت آنزیم کاتالاز و پایداری قرائت کلروفیل برگ برخی پایه‌های مرکبات تحت تنش غرقابی بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار انجام گرفت. فاکتور اول ۷ خاک با کربنات کلسیم و رس متفاوت و فاکتور دوم ۷ پایه مختلف شامل نارنج، سوینگل سیتروملو، کاریوسیترونج، ترویرسیترونج، سی-۳۵، اسموت‌فلت‌سویل، و گوتو بود؛ که در سال دوم رشد تحت شرایط تنش غرقابی پیوسته قرار گرفتند. فعالیت آنزیم کاتالاز برگ تحت تنش غرقاب افزایش یافت و این افزایش در سی-۳۵ بیشتر از سایر پایه‌ها بود. همچنین تفاوتی معنادار در روند تغییرات شاخص پایداری کلروفیل در پایه‌ها و خاک‌های مختلف وجود داشت. پایه‌های گوتو، سی-۳۵ و سوینگل سیتروملو بیشترین و نارنج کمترین میانگین شاخص پایداری کلروفیل را داشتند. شاخص پایداری کلروفیل پایه‌ها در خاک‌های مختلف تفاوتی معنادار با هم داشتند که نشان‌دهنده تحمل متفاوت پایه‌ها به تنش غرقابی در خاک‌های مختلف است.

کلیدواژگان: ژنوتیپ، شاخص پایداری کلروفیل، غرقاب، کاتالاز، مرکبات.

مقدمه

چنین شرایطی، مقدار محدودی نیکوتین آمید آندین دی‌نوکلوتید فسفات (NADP) برای پذیرش الکترون وجود خواهد داشت و اکسیژن نیز می‌تواند به‌مثابه گیرنده الکترون عمل کند. این عمل به تجمع گونه‌های سمی اکسیژن^۱، نظیر رادیکال‌های سوپراکسید و هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسیل، می‌انجامد (Zheng et al., 2009; Ahmad et al., 2002).

تحمل درختان میوه در برابر غرقاب بیشتر به پایه آن‌ها بستگی دارد. مرکبات به‌طور کلی در طبقه محصولات حساس به غرقاب قرار می‌گیرند و هیچ‌گونه سازگاری مورفولوژی و آناتومی به تنش غرقابی ندارند. اما اختلاف‌های زیادی میان ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات در تحمل به تنش غرقابی وجود دارد که عمدتاً ناشی از تفاوت در پاسخ‌های فیزیولوژیکی است. همچنین تحمل درختان به تنش غرقابی می‌تواند به‌طور معناداری تحت تأثیر نوع خاک نیز قرار گیرد (Arbona, 2008; Kozłowski, 1997). گیاهان معمولاً یک رشته سیستم‌های آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی برای سازگاری با تنش‌ها و اجتناب از خسارت ناشی

استان مازندران یکی از قطب‌های کشاورزی ایران است که مرکبات کشت عمده آن به‌شمار می‌رود. این استان مقام اول سطح زیر کشت و تولید مرکبات را در کشور دارد (Agricultural Statistics, 2011). در برخی مناطق جهان، غرقاب تنشی فصلی است که موجب تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی و الکتروشیمیایی در محلول خاک می‌شود. در سواحل مدیترانه و دیگر نواحی عمده کشت مرکبات در جهان-مانند فلوریدا، برزیل، چین، شمال ایران- باران‌های شدید اغلب به غرقاب شدن کوتاه‌مدت خاک منجر می‌شوند (Domingo et al., 2002; Asadi and Akhlaghi, 2008). تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی و الکتروشیمیایی محلول خاک در خاک‌های غرقابی می‌تواند موجب ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای و بیوشیمیایی در درختان میوه شود (Kozłowski, 1997; Hossain et al., 2009). تنش غرقابی موجب بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود؛ در حالی که واکنش نوری و انتقال الکترون به‌صورت طبیعی انجام خواهد گرفت. در

1. Reactive oxygen species

* نویسنده مسئول: kangarshahi@gmail.com

مواد و روش‌ها

ابتدا بذر پایه‌های نارنج، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سوینگل‌سیتروملو، سی-۳۵، اسموت‌فلت‌سویل، و گوتو در سینی‌های کاشت با بستر کوکوپیت و پیت‌ماس کشت شد و بعد از مرحله چهاربرگی شدن به گلدان‌های کوچک پلاستیکی با همان ترکیب قبلی انتقال داده شد. در طول فصل رشد، تغذیه به‌صورت کود آبیاری با کودهای نیترات کلسیم (۵ میلی‌مول در لیتر)، نیترات پتاسیم (۱/۴ میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (۱ میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیم فسفات (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیم (۳ میلی‌مول در لیتر)، کلرید منیزیم (۰/۲ میلی‌مول در لیتر)، اسید بوریک (۴۱/۸ میکرومول در لیتر)، سولفات روی (۳/۸ میکرومول در لیتر)، سولفات مس (۳/۹ میکرومول در لیتر)، سولفات منگنز (۶/۹ میکرومول در لیتر)، مولیبدات آمونیم (۱ میکرومول در لیتر)، و کلات آهن (۱۰ میکرومول در لیتر) دو بار در هفته انجام شد (Carpena, 1983). همچنین آبیاری نهال‌ها به‌طور منظم انجام شد تا رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه نگه داشته شود (Fadl et al., 2008). هنگامی که قطر نهال‌ها به حدود ۱ سانتی‌متر رسید، نارنگی انشو میاگوا روی آن‌ها پیوند شد و نهال‌ها پس از رسیدن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری (بعد از ۱۱ ماه) به گلدان‌های ۳۰ لیتری، که حاوی خاک‌های مورد نظر بودند، انتقال داده شدند. این خاک‌ها با توجه به گزارش‌های خاک‌شناسی و مطالعات انجام‌شده در باغ‌های شرق مازندران (Asadi Kangarshahi et al., 2002) از نواحی عمده کشت مرکبات شهرهای بابل، قائم‌شهر، ساری، و نکا گردآوری گردید. خاک‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که دامنه کربنات کلسیم و رس آن‌ها متفاوت باشند و منطقه وسیعی را از نظر جغرافیایی دربرداشته باشند. پس از خشک کردن نمونه خاک‌ها در هوا، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، واکنش خاک در خمیر اشباع، شوری با هدایت‌سنج الکتریکی، کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی‌کردن با اسید، بافت خاک به‌روش هیدرومتر، ماده آلی به‌روش والکلی-بلک، و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش باور اندازه‌گیری شد (Bashour and Sayegh, 2007). نمونه‌های خاک مورد نظر به سطل‌های پلاستیکی مناسب ۳۰ لیتری انتقال داده شد. سپس نهال‌ها کشت گردید.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار انجام شد. فاکتور اول خاک شامل هفت خاک مختلف (جدول ۱)، از مناطق شرق مازندران (بابل، قائمشهر، ساری، نکا) و فاکتور دوم پایه شامل هفت پایه مختلف نارنج، سوینگل‌سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی-۳۵،

از اکسایش نوری دارند. از سیستم‌های آنزیمی می‌توان کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، و گلوکاتایون رداکتاز را نام برد. کاتالاز یک اکسید و ردوکتاز است که در پاک‌سازی سلول از گونه‌های فعال اکسیژنی و تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و مولکول اکسیژن نقش دارد (Jiang and Huang, 2001; Arbona et al., 2008). نتایج بررسی تحمل به غرقاب ژنوتیپ‌های کلئوپاتراماندارین، سوینگل‌سیتروملو، و کاریزوسیترنج نشان داد کاریزوسیترنج به‌نسبت متحمل، کلئوپاتراماندارین بسیار حساس، و سیتروملو حد وسط است. این اختلاف در تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به تنش غرقاب به توانایی آن‌ها در مصرف گونه‌های فعال اکسیژن بستگی دارد (Arbona et al., 2008 & 2009).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد مقدار کلروفیل در برگ مرکبات در اثر تنش‌های محیطی کاهش می‌یابد و شدت این کاهش با توجه به نوع ژنوتیپ متفاوت است (Guo et al., 2006; Bolhar-Nordenkamp, 1989). تنش غرقابی در درختان پرتقال هاملین با پایه‌های رافلمون و نارنج موجب کاهش کلروفیل برگ، بروز علائم پیری، پژمردگی، و ریزش برگ این درختان شد و این علائم در پایه نارنج بیشتر از رافلمون بود (Joseph and Yelenosky, 1991). شاخص پایداری کلروفیل در برگ ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات می‌تواند معیار ارزیابی حساسیت آن‌ها به تنش غرقابی باشد. نتایج بررسی غلظت کلروفیل در برگ کلئوپاترا ماندارین و سیتروملو، پس از ۲۰ روز تنش غرقابی، نشان داد مقدار کلروفیل در برگ کلئوپاترا ماندارین و سیتروملو نسبت به شاهد کاهش می‌یابد؛ اما مقدار کلروفیل در برگ کاریزوسیترنج تحت تنش غرقابی تقریباً ثابت می‌ماند. بنابراین، کاریزوسیترنج ژنوتیپ متحمل، سیتروملو نیمه‌حساس، و کلئوپاترا ماندارین حساس به تنش غرقابی گزارش شدند (Arbona et al., 2009).

با توجه به اینکه تا کنون تحقیقات چندانی در زمینه پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف پایه مرکبات به تنش غرقابی در خاک‌های مختلف صورت نگرفته است و پایه‌های کاریزوسیترنج، سوینگل‌سیتروملو، ترویرسیترنج، سی-۳۵، اسموت‌فلت‌سویل، و گوتو نیز به‌تازگی به صنعت مرکبات شمال وارد شده‌اند و در حال گسترش‌اند، هدف این پژوهش بررسی اثر تنش غرقابی (به مدت ۷۵ روز پیوسته) بر فعالیت کاتالاز و روند تغییرات شاخص پایداری کلروفیل برگ نارنگی انشو^۱ با پایه‌های مختلف بود.

تنش غرقابی پایه‌ها در خاک‌های ۶ و ۷ به ترتیب از کمترین و بیشترین میانگین شاخص پایداری کلروفیل برخوردارند. در ۱۰ روز دوم و سوم تنش غرقابی نیز میانگین شاخص پایداری کلروفیل پایه‌ها در خاک ۶ کمترین مقدار را داشت که به ترتیب ۵۰ و ۳۷ درصد بود. اما بیشترین میانگین شاخص پایداری در ۱۰ روز دوم و سوم غرقاب به ترتیب از خاک‌های ۴ و ۱ حاصل شد. محاسبه میانگین شاخص قرائت کلروفیل در ۶۰ روز پس از تنش غرقابی نشان داد خاک ۶ همچنان کمترین شاخص را دارد. بیشترین شاخص از خاک ۱ به دست آمد که حدود ۶۰ درصد بود. خاک‌های ۴، ۵، ۲، ۳، و ۷ به ترتیب با میانگین ۵۸، ۴۹، ۴۷، ۴۳، و ۳۴ درصد بعد از خاک ۱ قرار گرفتند. اما میانگین شاخص پایداری کلروفیل برگ در خاک‌های مختلف در کل دوره غرقاب نشان داد خاک ۶ و ۱ با میانگین شاخص ۴۵ و ۸۴ به ترتیب از کمترین و بیشترین شاخص پایداری برخوردار بودند و خاک‌های ۴، ۵، ۲، ۳، و ۷ به ترتیب بعد از خاک ۱ قرار گرفتند (شکل ۲). بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و میانگین شاخص پایداری قرائت کلروفیل در خاک‌های مختلف نشان داد فقط بین درصد شن خاک و مجموع درصد رس و سیلت با شاخص پایداری کلروفیل ارتباط معنادار وجود دارد. ارتباط شن با شاخص پایداری کلروفیل مثبت بود و با افزایش درصد شن خاک تا حدود ۵۰ درصد شاخص افزایش و سپس کاهش ($R^2=0.77$) یافت. اما رابطه مجموع رس و سیلت با شاخص پایداری کلروفیل منفی با افزایش مجموع درصد رس و سیلت تا ۵۰ درصد شاخص پایداری تغییر چندانی نداشت و با افزایش بیشتر مجموع رس و سیلت شاخص پایداری شروع به کاهش کرد ($R^2=0.89$). کمترین شاخص پایداری در خاک ۶ مشاهده شد که مجموع رس و سیلت آن ۶۵ درصد بود.

پایه‌های مختلف نیز از نظر شاخص پایداری کلروفیل تفاوتی معنادار با هم داشتند (شکل ۳). در ۱۰ روز اول تنش غرقابی، گوتو بیشترین شاخص و ترویرسیترنج کمترین شاخص را داشت و کاریزوسیترنج، سی-۳۵، سوینگل‌سیتروملو، اسموت‌فلت‌سویل، و نارنج به ترتیب شاخص کمتری نسبت به گوتو داشتند. گوتو و نارنج به ترتیب در ۱۰ روز دوم غرقاب از بیشترین و کمترین شاخص برخوردار بودند. با ادامه غرقاب (در ۱۰ روز سوم) سی-۳۵ و سوینگل‌سیتروملو به ترتیب با شاخص پایداری ۸۱ و ۸۰ درصد بیشترین شاخص و نارنج با شاخص پایداری ۵۴ درصد حداقل شاخص را داشت. گوتو، اسموت‌فلت‌سویل، ترویرسیترنج، و کاریزوسیترنج به ترتیب شاخصی کمتر از سوینگل‌سیتروملو داشتند. اما با گذشت ۶۰ روز از زمان غرقاب، سی-۳۵، سوینگل‌سیتروملو، و گوتو با شاخص ۵۴، ۵۳/۷، و ۵۲/۸ درصد از بالاترین شاخص برخوردار بودند. نارنج با شاخص پایداری ۳۶ درصد حداقل پایداری را

اسموت‌فلت‌سویل، و گوتو (جدول ۲) بود. تغذیه و آبیاری به‌طور منظم انجام شد (Boman *et al.*, 2008; Fadi *et al.*, 2008). پس از اسقرار کامل نهال‌ها در خاک‌های مورد نظر در سال اول رشد، در سال دوم سه تکرار آن‌ها به‌طور پیوسته به مدت ۷۵ روز غرقاب شدند؛ به‌طوری که ارتفاع آب روی سطح خاک گلدان‌ها به ۳ سانتی‌متر می‌رسید. سطح آب به‌طور مداوم کنترل و در صورت نیاز با افزودن آب ثابت نگه داشته شد. سه تکرار دیگر، بدون اعمال تنش غرقابی، به‌مثابه شاهد در نظر گرفته شد. غلظت کلروفیل (میکرومول بر متر مربع) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته با استفاده از کلروفیل‌متر دستی SPAD-502 (Minota, Osaka, Japan) قرائت شد. قرائت کلروفیل در ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، و ۶۰ روز پس از تنش غرقاب برای مقایسه روند تغییرات غلظت کلروفیل برگ نسبت به شاهد انجام شد. شاخص پایداری کلروفیل با استفاده از رابطه $\{Chl_a / Chl_b\} \times 100$ محاسبه شد. Chl_a و Chl_b به ترتیب غلظت کلروفیل در شاهد و تیمار تنش است (Sairam *et al.*, 1997; Jabari *et al.*, 2006).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته نمونه‌برداری شد. مقداری از برگ در هاون چینی قرار داده شد و با افزودن نیتروژن مایع کاملاً خرد گشت. نیم گرم از نمونه خردشده به لوله‌های کوچک مناسب منتقل شد. سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۰/۰۵ مولار به آن‌ها اضافه گشت و در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از آن، محلول رویی به‌دقت جدا و دوباره سانتریفیوژ شد و در فریزر -۸۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. سنجش فعالیت آنزیم به روش Chance and Maehly (1995) صورت گرفت. ۱ میلی‌لیتر محلول واکنشی شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیتته ۷ و آب‌اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و عصاره آنزیمی استخراج‌شده بود. محلول واکنش در کووت ریخته و قبل از اندازه‌گیری هیدروژن پراکسید ۱۵ میلی‌مولار به آن افزوده شد. سپس مقدار جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه در ۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Pharmacia, LKB, Novaspec II) خوانده شد. در نهایت، فعالیت آنزیم برحسب تغییرات جذب در دقیقه بیان شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SPSS و MSTAT-C استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها نرم‌افزار Excel به کار رفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و همچنین برخی ویژگی‌های پایه‌های آزمایشی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ می‌آید. اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص پایداری کلروفیل (شکل ۱) نشان داد در ۱۰ روز اول

داشتند. میانگین شاخص پایداری کلروفیل در کل دوره غرقاب (شکل ۴) نشان داد گوتو، سی-۳۵ و سوینگل سیتروملو با شاخص پایداری ۸۷، ۷۷ و ۷۳ درصد بیشترین پایداری

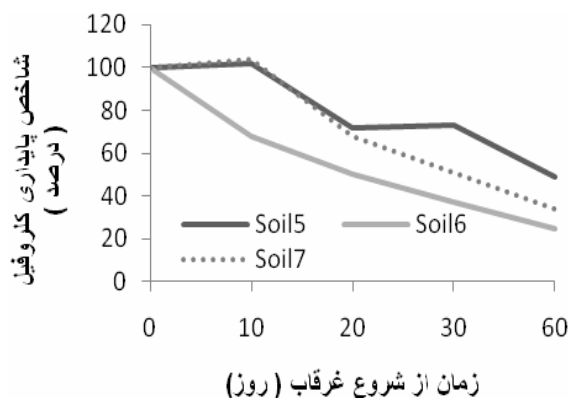
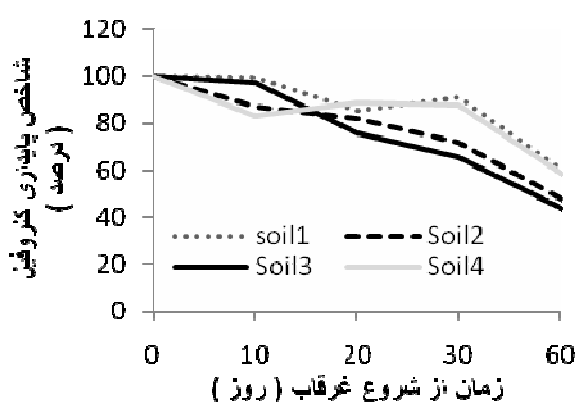
کلروفیل، نارنج با شاخص ۵۸ درصد کمترین پایداری، و ترویرسیترنج و اسموت فلت سویل و کاریزوسیترنج به ترتیب بعد از سوینگل سیتروملو قرار دارند.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

ویژگی	خاک و منطقه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	بابل	قائم‌شهر	ساری	نکا	نکا	ساری	ساری
رس (درصد)	۲۳	۲۹	۱۹	۴۱	۱۳	۳۷	۲۲
سیلت (درصد)	۳۰	۲۶	۳۵	۱۸	۲۹	۲۹	۳۷
شن (درصد)	۴۷	۴۵	۴۶	۴۱	۵۸	۳۴	۴۰
کربنات کلسیم (درصد)	۲	۹	۱۴	۳۰	۴۰	۲۵	۴۵
کربن آلی (درصد)	۱/۱۷	۰/۹۵	۱/۸۰	۱/۶۰	۰/۶۵	۱/۵۲	۱/۱۰
اسیدیته اشباع (pH)	۶/۸۰	۷/۴۵	۷/۸۶	۷/۶۰	۷/۷۷	۷/۷۸	۷/۷۶
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۶۵	۱/۲۰	۱/۴۲	۰/۷۷	۱/۱۰	۰/۷۸	۱/۱۲
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم)	۱۵/۶۰	۱۷/۹۰	۲۶	۳۷	۱۴/۸۰	۲۴/۳۱	۱۵/۸۵

جدول ۲. برخی ویژگی‌های پایه‌های مورد آزمایش (Singh et al, 2002)

ویژگی	پایه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	نارنج	سوینگل سیتروملو	سیترنج کاریزو	سیترنج ترویر	سی-۳۵	اسموت فلت سویل	گوتو
نام لاتین	Sour Orange	Swingle Citrumelo	Carrizo Citrange	Troyer Citrange	C-35	Smooth Flat Seville	Gou Tou
علامت اختصاری	SO	SC	CC	TC	CI	SFS	GT
هیبرید	-	Grapefruit & Trifoliolate orange	Washington navel & Trifoliolate orange	Ruby blood orange & Trifoliolate orange	Ruby orange & trifoliolate orange	Sour Orange & Poorman Orange	-
واکنش به تریتیزا	حساس	متحمل	متحمل	متحمل	متحمل	نسبتاً متحمل	متحمل



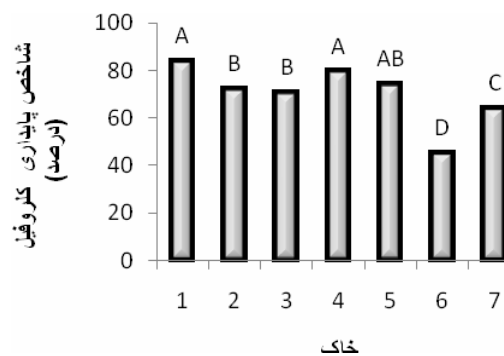
شکل ۱. اثر خاک‌های مختلف بر روند تغییر شاخص پایداری کلروفیل برگ در زمان‌های مختلف در تنش غرقابی

الف) نتایج خاک‌های ۵ تا ۷

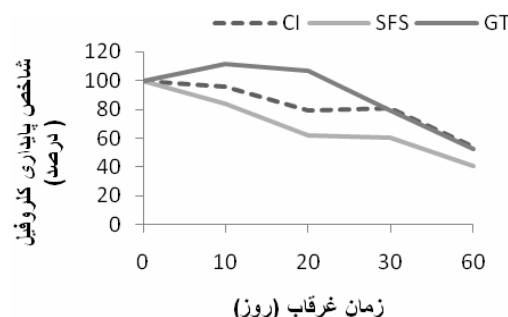
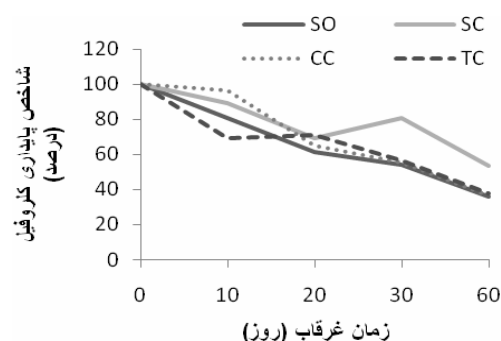
ب) نتایج خاک‌های ۱ تا ۴

نتایج برهمکنش خاک و پایه بر شاخص پایداری کلروفیل (شکل ۵) نشان داد در ۱۰ روز اول تنش غرقابی بیشترین و کمترین شاخص را در خاک ۱ به ترتیب کاربوسیترنج و تروپرسیترنج داشتند. در خاک ۲ شاخص گوتو، اسموتفلت سویل، سی-۳۵ و تروپرسیترنج بیشتر از ۱۰۰ بود و کمترین شاخص را نارنج داشت. شاخص پایداری کلروفیل اسموتفلت سویل، گوتو، تروپرسیترنج، و نارنج در خاک ۳ بیشتر از شاهد بود و کمترین شاخص را کاربوسیترنج داشت. در خاک ۴ شاخص پایداری نارنج و سوینگل سیتروملو بیشتر از شاهد بود و کمترین شاخص را کاربوسیترنج داشت. بیشترین شاخص پایداری در خاک ۵ را سی-۳۵ داشت و سوینگل سیتروملو و نارنج و اسموتفلت سویل به ترتیب بعد از آن قرار گرفتند. کمترین شاخص را کاربوسیترنج داشت که حدود ۱۶ درصد بود. شاخص سوینگل سیتروملو، تروپرسیترنج، سی-۳۵، اسموتفلت سویل، و گوتو در خاک ۶ کمتر از شاهد و شاخص نارنج و کاربوسیترنج بیشتر از ۱۰۰ بود. در خاک ۷ شاخص نارنج، کاربوسیترنج، سی-۳۵، و اسموتفلت سویل بیشتر از شاهد و شاخص سوینگل سیتروملو، تروپرسیترنج، و گوتو کمتر از ۱۰۰ بود.

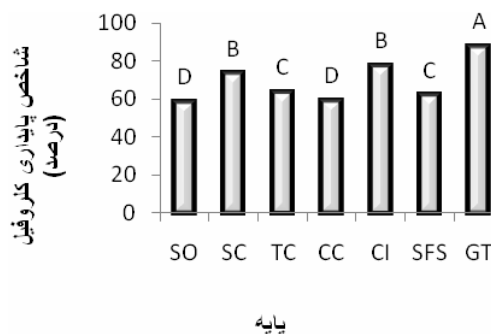
در ۱۰ روز دوم تنش غرقابی، شاخص پایداری کلروفیل کاربوسیترنج، تروپرسیترنج، و سی-۳۵ در خاک ۱ بیشتر از ۱۰۰ بود و بیشترین شاخص را کاربوسیترنج داشت. کمترین شاخص را در این خاک نارنج و سوینگل سیتروملو داشتند. در خاک ۲ شاخص پایداری تروپرسیترنج، اسموتفلت سویل، و گوتو بیشتر از شاهد بود. بیشترین شاخص را گوتو و کمترین شاخص را نارنج داشت که حدود ۴۷ درصد بود. کمترین شاخص پایداری کلروفیل را در خاک ۳ کاربوسیترنج داشت که حدود ۱۷ درصد بود. شاخص پایداری سی-۳۵ و سوینگل سیتروملو کمتر از شاهد و شاخص پایداری بقیه پایه‌ها بیشتر از ۱۰۰ بود. بیشترین شاخص را گوتو داشت. در خاک ۴، بیشترین شاخص را نارنج داشت و شاخص سی-۳۵ و گوتو بیشتر از ۱۰۰ بود. کمترین شاخص را تروپرسیترنج داشت که حدود ۳۲ درصد بود. در خاک ۵، بیشترین شاخص پایداری را سی-۳۵ و کمترین شاخص پایداری را کاربوسیترنج داشت که حدود ۱۹ درصد بود. شاخص پایداری کلیه پایه‌ها در خاک ۶ کمتر از شاهد و کمترین شاخص از آن تروپرسیترنج بود. در خاک ۷ کمترین شاخص پایداری را سوینگل سیتروملو داشت که ۷ درصد بود. همچنین شاخص تروپرسیترنج، گوتو، و نارنج کمتر از شاهد بود و بیشترین شاخص پایداری را کاربوسیترنج داشت.



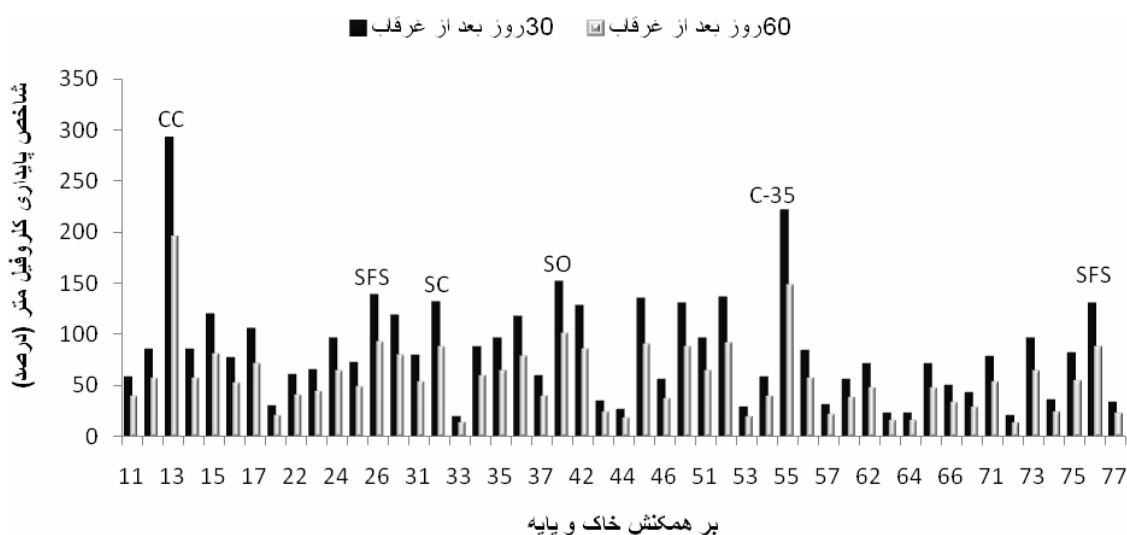
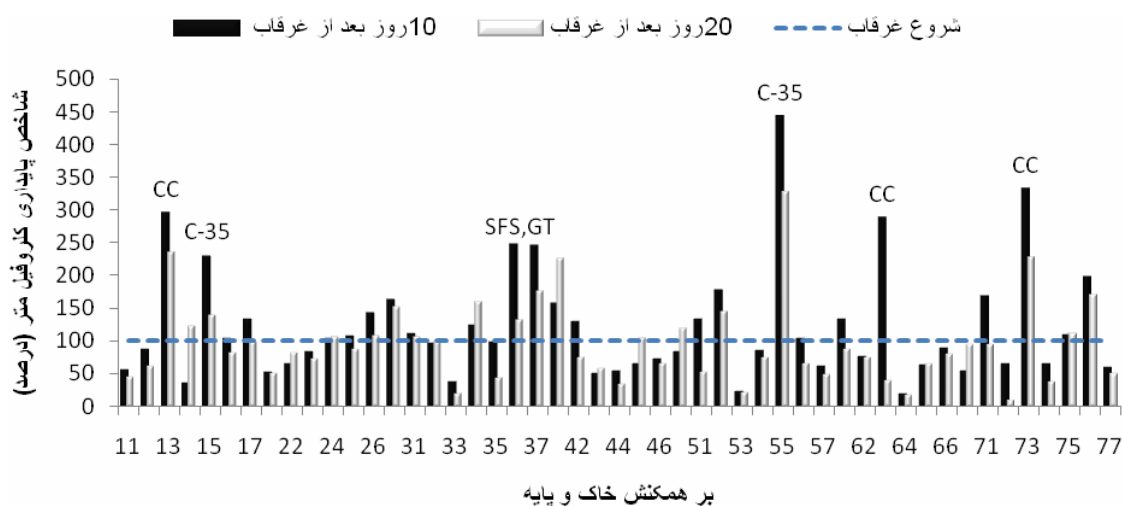
شکل ۲. میانگین شاخص پایداری کلروفیل برگ در خاک‌های مختلف در کل دوره تنش غرقابی



شکل ۳. اثر پایه بر روند تغییر شاخص پایداری کلروفیل برگ در زمان‌های مختلف در تنش غرقابی



شکل ۴. میانگین شاخص پایداری کلروفیل برگ در پایه‌های مختلف در کل دوره تنش غرقابی



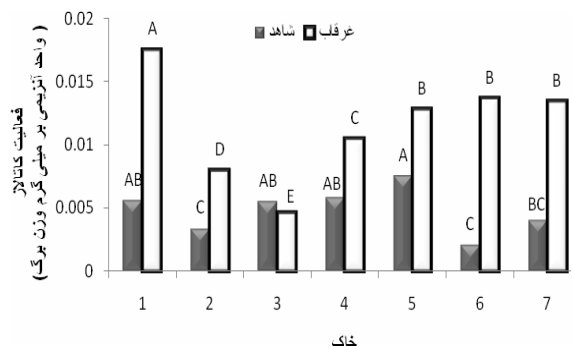
شکل ۵. اثر برهمکنش خاک و پایه بر شاخص پایداری کلروفیل برگ

شاخص پایداری کلیه پایه‌ها در خاک ۶ کمتر از ۱۰۰ بود و کمترین شاخص را کاریزوسیترنج و ترویرسیترنج داشتند. در خاک ۷ شاخص پایداری اسموت‌فلت‌سویل بیشتر از ۱۰۰ بود و سوینگل‌سیتروملو، با ۱۸ درصد، کمترین شاخص پایداری را داشت.

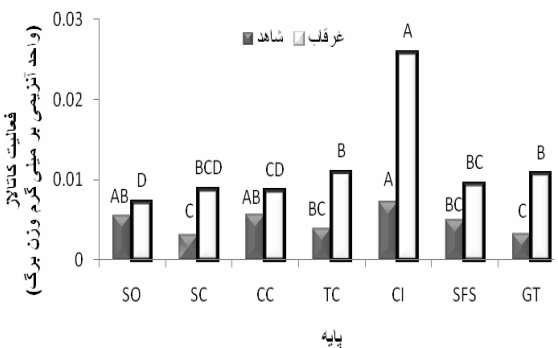
نتایج اندازه‌گیری‌ها پس از ۶۰ روز از زمان تنش غرقابی نشان داد شاخص پایداری کلروفیل کاریزوسیترنج بیشتر از ۱۰۰ است و نارنج کمترین شاخص را دارد. در خاک ۲ نیز کمترین شاخص را نارنج داشت که حدود ۱۸ درصد بود. بر اساس داده‌های کلروفیل‌متر، کاریزوسیترنج حساس‌ترین پایه در خاک ۳ بود که شاخص آن بعد از ۶۰ روز غرقاب ۱۲ درصد بود. سوینگل‌سیتروملو بیشترین شاخص پایداری را در این خاک داشت. شاخص پایداری آن در این دوره ۸۶ درصد بود. در خاک

قرائت کلروفیل در ۱۰ روز سوم تنش غرقابی نشان داد شاخص پایداری کاریزوسیترنج، سی-۳۵، و گوتو در خاک ۱ بیشتر از ۱۰۰ است. بیشترین شاخص را کاریزوسیترنج و کمترین شاخص را نارنج داشت که ۵۶ درصد بود. در خاک ۲ نیز کمترین شاخص از آن نارنج، با ۲۸ درصد، بود. شاخص اسموت‌فلت‌سویل و گوتو بیشتر از ۱۰۰ بود. در خاک ۳ کاریزوسیترنج کمترین شاخص پایداری را داشت که ۱۸ درصد بود و بیشترین شاخص را سوینگل‌سیتروملو داشت که بیشتر از ۴ بیشتر از ۱۰۰ بود و کمترین شاخص را به‌ترتیب اسموت‌فلت‌سویل، کاریزوسیترنج، و ترویرسیترنج داشتند. در خاک ۵ کمترین شاخص پایداری را کاریزوسیترنج و گوتو و بیشترین شاخص را سوینگل‌سیتروملو و سی-۳۵ داشتند.

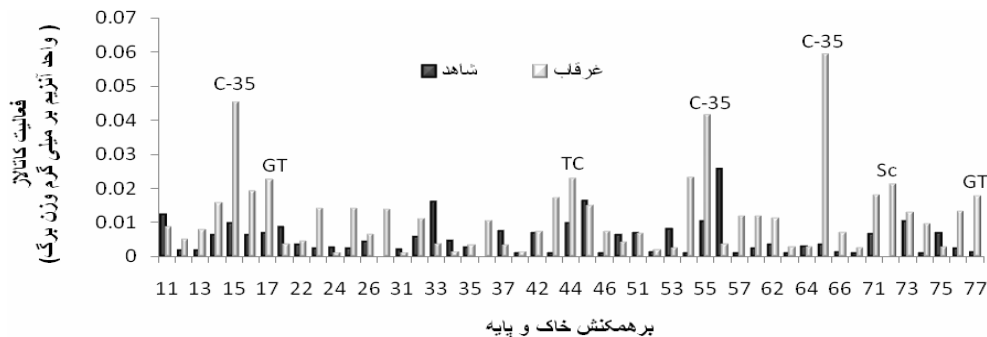
قرار گرفتند. در مقابل، تروپرسیترنج و نارنج و سوینگل سیتروملو کمترین فعالیت کاتالاز را داشتند. در خاک ۳ سوینگل سیتروملو و اسموت فلت سویل بیشترین فعالیت کاتالاز و نارنج کمترین فعالیت را داشت. تروپرسیترنج بیشترین فعالیت کاتالاز را در خاک ۴ داشت. در خاک ۵ نیز سی-۳۵ از بیشترین فعالیت کاتالاز برخوردار بود و تروپرسیترنج، گوتو، نارنج، اسموت فلت سویل، کاریزوسیترنج، و سوینگل سیتروملو به ترتیب بعد از سی-۳۵ قرار داشتند. سی-۳۵ در خاک ۶ نیز از بیشترین فعالیت کاتالاز برخوردار بود. اسموت فلت سویل، تروپرسیترنج، کاریزوسیترنج، و گوتو به ترتیب بعد از آن قرار داشتند. اما در خاک ۷ سوینگل سیتروملو بیشترین فعالیت کاتالاز را داشت و سی-۳۵ از کمترین فعالیت کاتالاز در این خاک برخوردار بود.



شکل ۶. میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز برگ در خاک‌های مختلف



شکل ۷. اثر پایه‌های مختلف بر میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز برگ



شکل ۸. اثر برهمکنش خاک و پایه بر فعالیت آنزیم کاتالاز برگ

۴ نارنج بیشترین شاخص پایداری و کاریزوسیترنج و تروپرسیترنج کمترین شاخص را داشتند. در خاک ۵ سی-۳۵ و سوینگل سیتروملو بیشترین شاخص و کاریزوسیترنج و گوتو کمترین شاخص پایداری را داشتند. شاخص پایداری کلروفیل کاریزوسیترنج و تروپرسیترنج در خاک ۶ به ترتیب ۱۳ و ۱۴ درصد بود که حداقل را نشان می‌داد. بیشترین شاخص را سوینگل سیتروملو و سی-۳۵ داشتند که به ترتیب ۳۶ و ۴۶ درصد بود و نشان می‌دهد هیچ‌یک از پایه‌ها در این خاک پایداری مناسبی ندارند. در خاک ۷ سوینگل سیتروملو، با ۱۲ درصد، کمترین شاخص و اسموت فلت سویل، با ۸۶ درصد، بیشترین شاخص پایداری را داشت.

در محور افقی هر عدد دورقمی نشان‌دهنده یک تیمار است. رقم اول شماره خاک و رقم دوم شماره پایه را نشان می‌دهد که در جدول‌های ۱ و ۲ تعریف شدند.

نتایج اثر تنش غرقابی در خاک‌ها و پایه‌های مختلف و همچنین برهمکنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم کاتالاز برگ در شکل‌های ۶ تا ۸ می‌آید. این نتایج نشان داد تنش غرقابی میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز برگ را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز برگ در خاک‌های غرقابی ۱۳۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز برگ از خاک ۱ به دست آمد؛ اما میانگین فعالیت کاتالاز برگ در شرایط تنش غرقابی در خاک ۳ نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین اثر پایه‌های مختلف در تغییر فعالیت کاتالاز نشان داد غرقاب میانگین فعالیت کاتالاز را در همه پایه‌ها نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. سی-۳۵ بیشترین فعالیت کاتالاز برگ را در تنش غرقاب داشت و تروپرسیترنج، گوتو، اسموت فلت سویل، سوینگل سیتروملو، کاریزوسیترنج، و نارنج به ترتیب بعد از آن قرار گرفتند. برهمکنش خاک و پایه بر فعالیت کاتالاز نشان داد در خاک ۱ سی-۳۵ بیشترین فعالیت کاتالاز را در شرایط تنش غرقابی دارد. کمترین فعالیت را سوینگل سیتروملو داشت و گوتو، اسموت فلت سویل، تروپرسیترنج، نارنج، و کاریزوسیترنج به ترتیب بعد از سی-۳۵

یافته‌ها و بحث

چالش‌های زیست‌محیطی تنش‌های اکسیدشدن را در گیاهان و به‌ویژه در مرکبات افزایش می‌دهند. تنش غرقابی موجب اختلال شدید در دستگاه فتوسنتزی می‌شود که می‌تواند به تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد اکسیژن منجر شود (Arbona *et al.*, 2008; Hossain *et al.*, 2009). در مرکبات تنش غرقابی عملکرد کمپلکس‌های دریافت‌کننده نور و به دنبال آن جریان الکترون بین دستگاه‌های نوری را کاهش می‌دهد که منجر به افزایش استفاده غیر فتوشیمیایی الکترون و تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Lopez-Climent *et al.*, 2008). آنتی‌اکسیدان‌های سلول‌های گیاهی اولین خط دفاعی علیه گونه‌های فعال اکسیژن‌اند که نقشی مهم در دفاع از سلول در مقابل تنش اکسیدکنندگی دارند و فعالیت آن‌ها مقدار رادیکال‌های آزاد را به‌طور مستقیم تعدیل می‌کند. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز در تنش غرقابی پیوسته احتمالاً پاسخ فعال و مؤثر گیاهان به تنش غرقاب است (Hossain *et al.*, 2009).

تنش غرقابی شاخص پایداری کلروفیل برگ همه پایه‌ها را نسبت به شاهد کاهش داد. مقدار کاهش در پایه‌های مختلف بسیار متفاوت بود. گوتو، سی-۳۵، و سوینگل‌سیتروملو بیشترین پایداری کلروفیل را داشتند. در مقابل، نارنج کمترین شاخص پایداری را داشت و ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل، و کاریزوسیترنج به ترتیب بعد از سوینگل‌سیتروملو قرار گرفتند. محتوی کلروفیل برگ یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش غلظت کلروفیل در اثر تنش غرقابی افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد که باعث پراکسیداسیون این رنگیزه و در نتیجه موجب تجزیه آن می‌شود (Hossain *et al.*, 2009). همچنین تنش غرقابی غلظت نیترژن و منیزیم و پتاسیم گیاهان را به‌طور معناداری نسبت به شاهد کاهش می‌دهد (Vu and Yelenosk, 1991; Chen *et al.*, 2005). فتوسنتز و کلروفیل می‌شود (Bondada and Syvertsen, 2005; De Groot, 2003; Paul and Foyer, 2001).

برهمکنش خاک و پایه بر میانگین شاخص پایداری کلروفیل در کل دوره تنش غرقابی نشان داد در خاک ۱ بیشترین و کمترین شاخص پایداری را به ترتیب کاریزوسیترنج و نارنج دارند و سی-۳۵، گوتو، اسموت‌فلت‌سویل، ترویرسیترنج، و سوینگل‌سیتروملو به ترتیب بعد از کاریزوسیترنج قرار می‌گیرند. در خاک ۲ نیز نارنج کمترین شاخص پایداری و گوتو و اسموت‌فلت‌سویل بیشترین شاخص را داشتند. اسموت‌فلت‌سویل، گوتو، ترویرسیترنج، و سوینگل‌سیتروملو در خاک ۳ از بیشترین

شاخص پایداری برخوردار بودند و کاریزوسیترنج، با ۲۱ درصد، کمترین شاخص پایداری را داشت. در خاک ۴ نارنج بیشترین و ترویرسیترنج با شاخص ۳۱ درصد حداقل شاخص پایداری را داشت. سی-۳۵ و سوینگل‌سیتروملو در خاک ۵ بیشترین شاخص و کاریزوسیترنج حداقل شاخص را داشت. در خاک ۶ حداقل شاخص از آن ترویرسیترنج بود و گوتو و کاریزوسیترنج بیشترین شاخص را داشتند. سوینگل‌سیتروملو در خاک ۷ بیشترین شاخص و نارنج کمترین شاخص را داشت. نتایج نشان داد فقط بین درصد شن خاک و مجموع درصد رس و سیلت با شاخص پایداری کلروفیل ارتباطی معنادار وجود دارد. ارتباط شن با شاخص پایداری کلروفیل مثبت، اما ارتباط مجموع رس و سیلت با شاخص پایداری کلروفیل منفی بود. کمترین شاخص پایداری در خاک ۶ مشاهده شد که مجموع رس و سیلت آن ۶۵ درصد بود.

نتایج این پژوهش نشان داد ویژگی‌های خاک و پایه اثری معنادار بر شاخص پایداری کلروفیل در شرایط تنش غرقابی دارد. این نتیجه با نتایج پژوهش دیگر پژوهشگران همخوانی دارد که تحمل به تنش غرقابی ژنوتیپ‌های یک محصول را در مناطق مختلف متفاوت می‌دانند (Larson *et al.*, 1991; Garcia-Sanchez *et al.*, 2007). همچنین نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران مطابقت دارد که گزارش کردند مقدار کلروفیل برگ مرکبات در اثر تنش‌های محیطی کاهش می‌یابد که بسته به نوع ژنوتیپ متفاوت است (Guo *et al.*, 2006; Bolhar-Nordenkampf *et al.*, 1989). نتایج اثر تنش غرقابی پیوسته خاک بر مقدار کلروفیل برگ پرتقال هاملین با پایه‌های رافلمون و نارنج نشان داد پس از ۲۴ روز تنش غرقابی در درختان علائم پیری و پژمردگی و ریزش برگ دیده می‌شود. این علائم در نارنج بیشتر از رافلمون بود. مقدار کاهش کلروفیل برگ پرتقال هاملین با پایه نارنج و رافلمون به ترتیب حدود ۳۸ و ۱۸ درصد بود. بر اساس شاخص پایداری کلروفیل برگ، تحمل پرتقال هاملین با پایه رافلمون به تنش غرقابی بیشتر از پایه نارنج است (Joseph and Yelenosky, 1991). مقدار کلروفیل برگ ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات می‌تواند شاخص ارزیابی حساسیت آن‌ها به غرقاب باشد. نتایج بررسی کلروفیل برگ کلتوپاترا ماندارین و سیتروملو-CPB4475 بعد از ۲۰ روز تنش غرقابی پیوسته نشان داد مقدار کلروفیل برگ این پایه‌ها نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. کلروفیل کاریزوسیترنج تحت تأثیر تنش غرقابی قرار نگرفت. بنابراین، کاریزوسیترنج ژنوتیپ متحمل به تنش غرقابی، سیتروملو نیمه‌حساس، و کلتوپاترا ماندارین حساس معرفی شدند (Arbona *et al.*, 2009).

میانگین فعالیت کاتالاز را دارند. به طور کلی، تنش غرقاب موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن می‌شود. در این شرایط مقدار محدودی نیکوتین آمیدآدنین دی‌نوکلوئید فسفات (NADP) تولید خواهد شد. بنابراین، اکسیژن نیز می‌تواند گیرنده الکترون باشد. این عمل منجر به تجمع گونه‌های سمی اکسیژن، نظیر رادیکال‌های سوپراکسید و هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسیل، می‌شود و تجمع گونه‌های فعال اکسیژنی موجب افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها و تخریب کلروفیل در برگ‌ها می‌شود. پایه‌های متحمل‌تر به تنش غرقابی احتمالاً در شرایط تنش فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتری دارد و با تجزیه گونه‌های فعال اکسیژن از شاخص پایداری کلروفیل بالاتری برخوردار است و ظرفیت فتوسنتزی بیشتری نیز دارد.

نتیجه‌گیری

میانگین شاخص پایداری کلروفیل برگ پایه‌های مختلف نشان داد گوتو، سی-۳۵، سوینگل‌سیتروملو، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل، کاریزوسیترنج، و نارنج به ترتیب بیشترین میانگین شاخص پایداری کلروفیل را در کل دوره تنش غرقابی دارند. بنابراین ارزیابی تحمل پایه‌ها به تنش غرقابی در این آزمایش با استفاده از شاخص پایداری کلروفیل نشان داد پایه‌های گوتو، سی-۳۵، سوینگل‌سیتروملو، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل، کاریزوسیترنج، و نارنج به ترتیب تحمل بیشتری نسبت به تنش غرقابی دارند.

نتایج برهمکنش خاک و پایه نشان داد خاک‌های مختلف اثری معنادار بر میانگین شاخص پایداری کلروفیل پایه‌های مختلف در کل دوره غرقاب دارند. نارنج که پایه معمول منطقه است در بیشتر خاک‌های استفاده شده (خاک‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷) کمترین شاخص پایداری کلروفیل را داشت و در نتیجه با استفاده از این شاخص بیشترین حساسیت به تنش غرقابی را نشان داد. اما در مقابل در خاک ۴ نارنج از شاخص پایداری کلروفیل بهتری برخوردار بود. بنابراین، تحمل بیشتری به تنش غرقابی داشت. در مجموع نتایج نشان داد در خاک ۱ کاریزوسیترنج، در خاک ۲ گوتو و اسموت‌فلت‌سویل، در خاک ۳ گوتو و اسموت‌فلت‌سویل و سوینگل‌سیتروملو، در خاک ۴ نارنج، در خاک ۵ سی-۳۵ و سوینگل‌سیتروملو، در خاک ۶ کاریزوسیترنج، و در خاک ۷ کاریزوسیترنج و اسموت‌فلت‌سویل بیشترین تحمل را به تنش غرقابی نشان می‌دهند. بنابراین تحمل به غرقاب علاوه بر ژنوتیپ می‌تواند به طور معنادار تحت تأثیر ویژگی‌های خاک نیز قرار گیرد.

به طور کلی، تنش غرقابی توانایی تسخیر نور را به وسیله دستگاه‌های نوری کاهش می‌دهد. ژنوتیپ‌های متحمل سازوکارهایی دارند برای تنظیم جریان الکترون فتوسنتزی متناسب با بازدهی کمپلکس‌های تسخیرکننده نور. این سازوکارها سلول‌های فتوسنتزی را از خسارت اکسیدشدن محافظت می‌کنند. اما در ژنوتیپ‌های حساس (حساسیت متوسط و زیاد) هیچ‌گونه سازوکار تنظیمی در جریان الکترون فتوسنتزی وجود ندارد و هدررفت زیادی انرژی به وسیله فرایندهای غیر فتوشیمیایی انجام می‌شود. در ژنوتیپ‌های با حساسیت متوسط یک شیب پروتون در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی در هدررفت زیادی انرژی دخالت دارد که موجب جریان مطلوب الکترون بعد از دستگاه نوری (II) می‌شود. اما در ژنوتیپ‌های بسیار حساس هدررفت زیادی انرژی عمدتاً در سلول‌های آنتن انجام می‌شود که به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب تدریجی کمپلکس‌های تسخیرکننده می‌انجامد (Sveshnikov *et al.*, 2006; Arbona *et al.*, 2009).

در این پژوهش فعالیت کاتالاز به شدت تحت تأثیر تنش غرقابی قرار گرفت. فعالیت آنزیم کاتالاز در همه پایه‌ها در شرایط تنش غرقابی افزایش یافت. مقدار این افزایش در سی-۳۵ بیشتر از سایر پایه‌ها بود و گوتو، ترویرسیترنج، سوینگل‌سیتروملو، اسموت‌فلت‌سویل، کاریزوسیترنج، و نارنج به ترتیب بعد از سی-۳۵ قرار گرفتند. آنزیم کاتالاز عمدتاً در پراکسی‌زوم‌ها قرار دارد که به گونه‌ای مؤثر در تجزیه و غیر سمی شدن گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد. بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش غرقابی احتمالاً نشان‌دهنده تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش غرقابی است (Yordanova *et al.*, 2004). برخی پژوهش‌های دیگر نیز افزایش فعالیت کاتالاز را در شرایط تنش غرقابی گزارش کرده‌اند (Arbona *et al.*, 2008 & 2009). بنابراین چنین به نظر می‌رسد که تنش غرقابی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها تا حد امکان از آثار زیان‌بار گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند (Hossain *et al.*, 2009). در ضمن، همبستگی مثبت مشاهده شده بین فعالیت کاتالاز در شرایط تنش غرقابی با شاخص پایداری کلروفیل نیز تأییدی دیگر بر توانایی این آنزیم در کاهش سمیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن است. به نظر می‌رسد پایه‌های متحمل که فعالیت آنزیم کاتالاز در آن‌ها در شرایط تنش بیشتر است از شاخص پایداری کلروفیل بیشتری نیز برخوردارند.

برهمکنش خاک و پایه بر فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد در خاک‌های ۱ و ۲ و ۵ و ۶ پایه سی-۳۵، در خاک‌های ۳ و ۷ پایه سوینگل‌سیتروملو، و در خاک ۴ پایه ترویرسیترنج بیشترین

REFERENCES

- Agricultural Statistics, Ministry of Jihad-e- Agriculture (2011). Department of Planning and Economic, Office of Statistics and Information Technology, Tehran, Iran.
- Ahmad, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. (2002). Alteration in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging, *Plant Sci*, 163, 117–123.
- Arbona, V., Lopez-Climent, M. F., Perez-Clement, R. M., and Gomez-Cadenas, A. (2009). Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus, *Environmental and Experimental Botany*, 66, 135–142.
- Arbona, V., Lopez-Climent, M. F., Perez-Clemente, R. M., and Gomez-Cadenas, A. (2008). Physiological responses involved in tolerance of citrus plants to soil waterlogging, The 11th International Citrus Congress, Wuhan, China.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast-polyphenoloxidase in *Beta-vulgaris*, *Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Asadi Kangarshahi, A and Akhlaghi Amiri, N. (2008). Effect of short-term water logging on the growth and yield of citrus, The 11th International Citrus Congress, Wuhan, China.
- Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., and Malakoti, M. J. (2002). Nutritional disorder of citrus in Mazandaran, Technical Bulletin No. 268 & 269, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
- Bashour, I. I. and Sayegh, A. H. (2007). Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 50-79.
- Bolhar-Nordenkampf, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Oquist, G., Schreiber, U., and Lechner, L. G. (1989). Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation, *Functional Ecology*, 3, 497-514.
- Boman, B. J., Obreza, T. A., and Morgan, K. T. (2008). Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida, Proceeding of The 11th International Society of Citriculture, 573–578.
- Bondada, B. R. and Syvertsen, J. P. (2005). Concurrent changes in net CO₂ assimilation and chloroplast ultrastructure in nitrogen deficient citrus leaves, *Environmental and Experimental Botany*, 54, 41-48.
- Carpena, O. (1983). Dinamica de nutrientes en portainjertos de citrus, I: Congreso Mundial de la Asociacion de Viveiristas de Agrios, *International Society of Citrus Nurserymen*, Valencia, Spain.
- Chance, B. and Maehly, A. C. (1995). Assay of catalase and peroxidase, In: Colowick, S. P., and N. D. Kaplan (eds.), *Methods in Enzymology*, Academic Press, New York, 2, 764–791.
- Chen, H., Qualls, R. G., and Blank, R. R. (2005). Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aquatic Botany*, 82, 250–268.
- Domingo, R., Perez – Paster, A., and Ruiz-Sanchez, C. (2002). Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding condition, *J. Plant Physiol*, 159, 725–732.
- Fadl, A., El-Otmani, M., Benismail, M. C., Abouatallah, A., and El-Jaouhari (2008). Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard, Proceeding of The 11th International Society of Citriculture, 573–578.
- Garcia-Sanchez, F., Syvertsen, J. P., Gimeno, V., Botia, P., Perez-Perez, J. G. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedling with different water use efficiency, *Physiol Plant*, 130, 532-542.
- Guo, Y. P., Zhou, H. F., and Zhang, L. C. (2006). Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against photooxidation during high temperature stress in two citrus species, *Scientia Horticulturae*, 108, 260–267.
- Hossain, Z., Lopez-Climent, M. F., Arbona, V., Perez-Clemente, R. M., and Gomez-Cadenas, A. (2009). Modulation of the antioxidant system in citrus under waterlogging and subsequent drainage, *J. Plant Physiology*, 166, 1391–1404.
- Jabari, F., Ahmad, A., Postini, K., and Alizadeh, H. (2006). Relationship between the activity of some atioxidant enzymes with the cell membrane and chlorophyll stability in wheat varieties resistant and sensitive to drought, *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 37, 307-316.
- Jiang, Y. and Huang, N. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation, *Crop Sci*, 41, 436–442.
- Joseph, C. V. and Yelenosky G. (1991). Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding, *Physiologia Plantarum*, 81: 7–14.
- Kozłowski, T. T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity, *Tree Physiology*, Monograph. No. 1, 1-29.
- Larson, K. D., Graetz, D., and Schaffer, B. (1991). Flood-induced chemical transformation in calcareous soils of South Florida, *Soil Science*, 152, 33-40.
- Lopez-Climent, M. F., Arbona, A., Perez-Clemente, R. M., and Gomez-Cadenas, A. (2008). Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus, *Environ. Exp. Bot*, 62, 176- 184.
- Paul, M. J. and Foyer, C. H. (2001). Sink regulation of photosynthesis, *Journal of Experimental Botany*, 52, 1383-1400.
- Sairam, R. K., Deshmuk, P. S., and Shukla, D. S. (1997). Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme

- activity in wheat, *J. Agronomy and Crop Science*, 178, 171-178.
- Singh, A., Naqvi, S. A. M. H., and Singh, S. (2002). Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks, *Natural Research Centre for Citrus*, Kalyani Publishers, New Delhi, India.
- Sveshnikov, D., Ensminger, I., Ivanov, A. G., Campbell, D., Lloyd, J., Funk, C., Huner, N. P. A., and Oquist, G. (2006). Excitation energy partitioning and quenching during cold acclimation in Scots pine, *Tree Physiology*, 26, 325-336.
- Vu, J. C. V. and Yelenosky, G. (1991). Photosynthetic responses of citrus trees to flooding, *Physiologia Plantarum*, 81, 7-14.
- Yordanova, R. Y., Christov, K. N., and Popova, L. P. (2004). Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding, *Environ, Exp. Bot.* 51, 93-101.
- Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Jing, Q., and Cao, W. (2009). Effect of salt and waterlogging and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat, *Plant Sci*, 176: 575-582.