

Evaluation of Lipid Peroxidation and Antioxidant Reaction of Strawberry to Drought Stress and Dust

Farzad Marivani¹, Nasser Ghaderi^{2*} and Taimoor Javadi³

- 1- M.Sc. Graduate of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Research Center of Strawberry Breeding and Improvement, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (n.ghaderi@uok.ac.ir)
- 3- Associate Professor, Department Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Research Center of Strawberry Breeding and Improvement, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 21 June, 2018

Accepted: 16 January, 2019

Abstract

Background and Objectives

In recent years, dust has been identified as a major source of adverse environmental and agricultural effects in west and southwest of Iran. Reducing light penetration, decreasing photosynthesis, changing stomatal performance, and reducing flowering are some of the adverse effects of air pollution on plants. Strawberries have a shallow root system, high leaf area, and are sensitive to drought stress. Kurdistan province is the major producer of strawberries in Iran. Since in Kurdistan dust occurs mostly in the spring and during the strawberry flowering and fruit production, we investigated the interaction effect of dust and drought stress on some physiological characteristics of two strawberry cultivars (cvs. Paros and Queen elisa) during 2013-2014.

Materials and Methods

The experiment was conducted based on a completely randomized design with four treatments (control, -1.2 MPa soil water potential as drought stress, dust and dust + drought stress) and three replications. In this experiment, leaf relative water content, membrane stability index, proline, soluble carbohydrates, lipid peroxidation, hydrogen peroxide, peroxidase and ascorbate peroxidase activity were evaluated.

Results

Results showed that relative water content and membrane stability index decreased in response to dust and drought in both cultivars. Also, the amount of malondialdehyde, hydrogen peroxide, and activity of antioxidant enzymes increased by dust and drought treatments. Most increase was observed in the proline and total soluble carbohydrates, hydrogen peroxide, malondialdehyde, and the activity of antioxidant enzymes was obtained by dust + drought stress. Drought stress + dust had the highest levels of POD and APX. There was a significant difference between the two cultivars, so that Paros cultivar had higher activity of POD and APX compared to queen elisa. Dust and drought treatments reduced shoot and root dry weight in both years and both cultivars.

Discussion

Probably due to the stress caused by dust, the total leaf soluble sugars increased in the first year. In this condition, the plant can continue to absorb water from the soil by increasing the soluble

carbohydrates through osmotic regulation. In the second year, the long-term reduction in photosynthesis led to a reduction in total soluble carbohydrates, due to prolonged exposure to dust or damage to light absorption pigments resulting from dust accumulation and its negative effects on stomatal function. Dust and drought stress decreased relative water content (RWC) through decreasing water absorption by the strawberry plants, and the decrease of water led to the increase of H_2O_2 . With the increase of H_2O_2 in dust and drought stress, membrane lipid degradation increased and led to the increase of malondialdehyde (MDA). The increase of MDA indicates cell wall destruction, which is accompanied by the decrease of membrane stability index (MSI). MDA increased in all treatments in Queen Eliza cultivar, which could indicate the higher sensitivity of this cultivar to dust and drought stress. In this study, Paros showed higher antioxidant enzyme activity accompanied with lower H_2O_2 content and consequently a lower MDA, thus, more resistance to drought and drought stress. In conclusion, dust had negative effects on evaluated characteristics, and drought stress exacerbated these effects. Adverse effects of dust and drought were observed on dry matter production in both years. Reducing the dry matter of the roots and the shoot might be due to increased free radicals, reduced leaf water content and, consequently, loss of photosynthesis of the leaf.

Keywords: Cell membrane stability index, Drought stress, MDA, Physiological characteristics

اثر تنش خشکی و گردوغبار بر پراکسیداسیون لیپیدی و واکنش ضد اکسایشی دو رقم توت فرنگی

فرزاد مریوانی^۱، ناصر قادری^{۲*} و تیمور جوادی^۳

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
 ۲- *نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (n.ghaderi@uok.ac.ir)
 ۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۳۱

چکیده

در سال‌های اخیر پدیده گردوغبار یکی از چالش‌های مهم در غرب و جنوب غربی ایران بوده که سالیانه خسارات فراوانی بر محیط‌زیست و محصولات کشاورزی به جا می‌گذارد. بر همین اساس، آزمایشی برای بررسی اثر گردوغبار و تنش خشکی روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم توت‌فرنگی (پاروس و کوئین‌الیزا) در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در شرایط گلخانه طراحی و اجرا گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (شاهد، تنش خشکی (۱/۲- مگاپاسکال)، گردوغبار، گردوغبار + تنش خشکی) و ۳ تکرار انجام شد. در این آزمایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI)، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل، پراکسیداسیون لیپیدی، پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم پراکسیداز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که RWC و MSI در واکنش به گردوغبار و تنش خشکی در هر دو رقم کاهش یافتند. افزایش میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل، مالون دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم پراکسیداز در پرولین، کربوهیدرات‌های محلول کل، مالون دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی در تیمار تنش خشکی + گردوغبار به‌دست آمد. تیمارهای گردوغبار و تنش خشکی سبب کاهش تولید ماده خشک در هر دو سال گردیدند. بر اساس این نتایج گردوغبار اثر منفی بر خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم توت‌فرنگی داشته و در شرایطی که تیمار گردوغبار همراه با تنش خشکی اعمال گردید آثار منفی بیشتری بر توت‌فرنگی داشت. به همین دلیل می‌توان عنوان کرد که گردوغبار تأثیر منفی روی صفات ارزیابی شده داشته و تنش خشکی این اثرات را تشدید نموده است.

کلیدواژه‌ها: خصوصیات فیزیولوژیکی، شاخص پایداری غشاء سلولی، مالون دی‌آلدئید

مقدمه

افزایش خطر خشکسالی می‌شود (Trenberth, 2011). بنابراین، تحت این شرایط آب و هوایی، کمبود آب از جمله محدودیت‌های گسترده برای تولید محصول است. برای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی و اطمینان از رشد مطلوب محصول، گیاهان برخی

کاهش بارندگی و کمبود آب موجود در خاک در طول فصل رشد گیاه اثرات منفی برای حفظ عملکرد بالای محصول خواهد داشت (Vadez et al., 2012). پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده کاهش تعداد روزهای بارانی است که منجر به

مکانیسم‌های دفاعی مانند افزایش محتوای گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive oxygen species (ROS)) را به کار می‌برند (Miller *et al.*, 2010). ROSها با آسیب به سلول‌ها و غشاءهای سلولی در گیاهان ارتباط دارند و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب‌زا در گیاهان شناخته می‌شوند. گیاهان تعدادی از مکانیسم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی را برای محافظت در برابر ROSها توسعه داده‌اند. این مکانیسم‌ها شامل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از جمله سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase)، آسکوربات پراکسیداز (Ascorbate peroxidase)، پراکسیداز (Peroxidase) و کاتالاز (Catalase) و همچنین آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی، از جمله اسید آسکوربیک، ترکیبات فنولی و غیره می‌باشند (Lee *et al.*, 2007). مکانیسم‌های دفاعی دیگر مانند افزایش میزان پرولین، قندهای محلول کل، و فعالیت آنزیم ضد اکسایشی پراکسیداز تحت تنش خشکی در برگ توت‌فرنگی گزارش شده است (Sun *et al.*, 2015).

امروزه آلودگی هوا یک مشکل حاد جهانی است و می‌تواند به‌عنوان یک تغییر در شرایط ثابت اتمسفری که در اطراف بشر وجود دارد تعریف شود (Tripathi and Gautam, 2007). گردوغبار می‌تواند سبب تغییرات آب‌وهوایی در مقیاس جهانی و محلی و تغییر در چرخه بیولوژیکی، زمین‌شناسی و محیط‌زیست انسان شود (Engelstaedter *et al.*, 2006). کاهش نفوذ نور، کاهش فتوسنتز، تغییر عملکرد روزنه‌ها و کاهش گل‌انگیزی تحت تأثیر آلودگی هوا روی می‌دهند (Nanos and Ilias, 2007). گردوغبار موجب از دست رفتن حاصلخیزی خاک یا آسیب مستقیم به محصول شده در نتیجه تولید کشاورزی کاهش یافته و موجب زیان اقتصادی در مقیاس وسیع می‌شود (Wang *et al.*, 2009). در چند سال اخیر پدیده گردوغبار از نظر غلظت و تعداد روزها، شدت و وسعت آن بیشتر از گذشته بوده و سبب نگرانی

شده است.

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa L.*) از جمله مهم‌ترین محصولات میوه ریز بوده و از محبوبیت زیادی در سراسر جهان برخوردار است (Amil-Ruiz *et al.*, 2011). توت‌فرنگی سیستم ریشه‌ای کم‌عمق دارد، سطح برگ و همچنین محتوای آب میوه‌های آن زیاد است در نتیجه میزان آب زیادی نیاز دارد (Klamkowski and Treder, 2006). یکی از بلاهای طبیعی که استان کردستان را به دلیل موقعیت جغرافیایی و نزدیک بودن به کشور عراق تحت تأثیر قرار می‌دهد، پدیده گردوغبار است. این پدیده در استان کردستان از ۷۵ روز در سال ۱۳۸۳ به ۱۰۵ روز در سال ۱۳۹۱ رسیده است. همچنین افزایش دمای سطح کره زمین و افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی‌ها سبب ایجاد تنش خشکی و کاهش آب در دسترس گیاه می‌شود. استان کردستان یکی از قطب‌های اصلی تولید توت‌فرنگی بوده به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۵ سطح زیر کشت آن ۲۹۱۶ هکتار و میزان تولید آن ۴۴۵۷۰ تن بوده که رتبه اول را در ایران به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2016). از آنجایی که وقوع گردوغبار در کردستان بیشتر در فصل بهار و در زمان گل و میوه‌دهی توت‌فرنگی روی می‌دهد جهت بررسی اثر منفی گردوغبار و همچنین بررسی اثر همزمان تنش خشکی و گردوغبار روی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم توت‌فرنگی کوئین‌الیزا و پاروس که بیشترین سطح زیر کشت را در استان کردستان دارند، آزمایش حاضر طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مکان و زمان انجام تحقیق

این آزمایش طی دو سال متوالی (اسفند ۹۱ لغایت شهریور ۹۳) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به اجرا درآمد. در این آزمایش از دو رقم توت‌فرنگی کوئین‌الیزا و پاروس استفاده شد. هر دو رقم روزکوتاه بوده و به‌طور وسیع در استان کردستان کشت

جمع آوری شده شامل آرسنیک، سرب، کادمیوم، نیکل، کروم، نقره، مس، روی، منگنز و آهن می باشد. به طور متوسط ذرات دارای قطر ۱۰ میکرومتر بودند (Karami *et al.*, 2017). هر واحد آزمایشی حاوی ۴ گلدان بود و در کل ۹۶ گلدان استفاده شد. نصف گیاهان تحت تنش خشکی قرار گرفتند و بقیه به طور کامل آبیاری شدند. از میان گیاهان تحت تنش خشکی و گیاهانی که آبیاری کامل شدند، نصف آن ها با گردوغبار تیمار شدند و بقیه بدون گردوغبار بودند. از زمان کاشت، بوته ها به طور یکسان با ترکیبات کودی تغذیه شده و مبارزه با آفات و بیماری ها هم در طول آزمایش انجام گرفت. تیمارهای گردوغبار و تنش خشکی بعد از استقرار کامل گیاه در مرحله ۵ برگی (۴۰ روز بعد از کاشت) اعمال شدند.

اعمال گردوغبار و تنش خشکی در سه دوره با فاصله زمانی ۲۰ روز یک بار انجام شد به این منظور گیاهان با محفظه پلاستیکی کاملاً پوشیده شده و با استفاده از پنکه، گردوغبار روی سطح برگ ها پخش شد. برای این که گردوغبار به طور یکنواخت در سطح برگ ها پخش شود، پنکه در جهات مختلف قرار گرفت. گیاهان تحت تیمار گردوغبار و گیاهانی که تحت تیمار گردوغبار نبودند تحت تنش خشکی قرار گرفتند و پتانسیل آب خاک هم با استفاده از بلوک گچی اندازه گیری شد و بعد از رسیدن به ۱/۲- مگاپاسکال گیاهان دوباره آبیاری شدند. در طول پاییز و زمستان ۱۳۹۲ گیاهان در گلخانه سرد نگهداری شده و در اسفند ۱۳۹۲ پس از تغذیه کامل گیاهان، آزمایش دوباره تکرار شد.

از آنجایی که این تیمارها در طولانی مدت بر روی گیاهان در شرایط طبیعی تأثیر می گذارند، گیاهان به مدت ۲ ماه در این شرایط تیماری قرار گرفتند. بنابراین دو ماه بعد از نگهداری گیاهان در شرایط تیماری، نمونه برداری برای اندازه گیری صفات مورد نظر انجام گرفت. برای مشخص کردن اثر گردوغبار و تنش خشکی بر خصوصیات رویشی بوته های مورد مطالعه، در هر دو سال

می شوند. پاروس یک رقم توت فرنگی روز کوتاه با عادت رشد ایستاده بوده و تراکم برگ آن متوسط است. برگ ها درشت و در زمان نسبتاً کوتاهی بعد از کاشت تولید گل می نماید. دارای مقاومت به کلروز ناشی از کمبود آهن است. عملکرد نسبتاً بالایی دارد و میوه ها درشت با خاصیت انباری بالا می باشند. این رقم در ایتالیا اصلاح شده و در سال ۱۹۹۸ معرفی شده است (Inra, 1998). کوئین الیزا یک رقم روز کوتاه بوده و عملکرد آن بالا می باشد. میوه های آن درشت، با کیفیت بالا و دارای خاصیت انباری زیاد است. این رقم مقاومت بالایی به عوامل بیماریزای خاکزی داشته و نسبت به سرما مقاوم است. کوئین الیزا در ایتالیا اصلاح شده و در سال ۲۰۰۳ معرفی شده است (Inra, 1998). نشاهای توت فرنگی با تعداد طوقه و برگ مساوی در آخر بهمن سال ۱۳۹۱ در گلدان های پلاستیکی کاشته شدند. برای این کار گلدان ها به طور یکسان با ترکیب خاکی ماسه، خاک زراعی و کود دامی با نسبت ۱:۱:۲ پر شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار شاهد (آبیاری کامل)، آبیاری کامل + گردوغبار (۰/۰۰۲ گرم در یک سانتی متر مربع سطح برگ)، تنش خشکی (۱/۲- مگاپاسکال) و تیمار گردوغبار + تنش خشکی با ۳ تکرار انجام شد. برای محاسبه میزان گردوغبار جمع شده روی برگ تعداد ۳ برگ از هر گیاه بعد از پاشیده شدن گردوغبار با آب مقطر شستشو داده شدند. حاصل شستشو که حاوی گردوغبار بود به آزمایشگاه منتقل گردید. بعد از تبخیر آب رسوبات باقی مانده وزن گردید. سطح برگ ها با دستگاه سنجش سطح برگ تعیین گردید. از تقسیم وزن گردوغبار بر سطح برگ میزان گردوغبار جمع شده در هر سانتی متر مربع سطح برگ محاسبه گردید. گردوغباری که برای تیمار استفاده گردید از جمع آوری گردوغبار ناشی از پدیده گردوغبار روی سطوح مختلف به دست آمد. در تحقیقات پیشین مشخص شده است که این گردوغبار

در رقم پاروس بین دو تیمار تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۱).

در سال اول، تیمار آبیاری کامل در هر دو رقم بیشترین MSI را دارا بوده و سایر تیمارها سبب کاهش میزان آن شدند. میزان MSI در تیمار تنش خشکی + گردوغبار در مقایسه با تنش خشکی تفاوت معنی داری نداشت. در سال دوم در تیمار آبیاری کامل در دو رقم بالاترین میزان MSI به دست آمده و سایر تیمارها میزان آن را کاهش دادند. بین تیمار تنش خشکی و تنش خشکی + گردوغبار از نظر MSI تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۱).

RWC شاخص مهم وضعیت آب در گیاهان است که نشان دهنده تعادل بین عرضه آب به بافت برگ است (Lugojan and Ciulca, 2011). محتوای نسبی آب برگ بالاتر از طریق تنظیم اسمزی و با توانایی ریشه در جذب آب حاصل می شود (Ghaderi and Siosemardeh, 2011). به نظر می رسد اثر منفی گردوغبار در سال دوم شدیدتر بوده و کاهش بیشتری در محتوای نسبی آب برگ ایجاد نموده است. گردوغبار از طریق پوشاندن سطح برگ و بستن روزنه‌ها سبب کاهش فتوسنتز گردیده است. کاهش فتوسنتز به نوبه خود باعث کاهش مواد فرآوری شده در دسترس برای رشد ریشه شده و از این طریق سبب کاهش توسعه ریشه می گردد. این مسئله در درازمدت باعث شده که قدرت جذب در گیاه کاهش یافته و گیاه نتوانسته به اندازه کافی آب جذب نماید و از این طریق بر RWC تأثیر منفی گذاشته است. هماهنگ با نتایج پژوهش حاضر کاهش RWC در اثر گردوغبار در *Syzygium*، *Tectona grandis* و *Anthocephalus cadamba cumini* گزارش شد (Chaturvedi et al., 2013).

غشاء سلولی یکی از مکان‌های بوده که ورود و خروج مواد به دو طرف غشاء سلول را کنترل می کند و در غیاب هر گونه سیستم حفاظتی، رادیکال‌های آزاد که در شرایط تنش‌های محیطی می شوند، از طریق تنش‌های اکسیداتیو و

بعد از اعمال تیمارها، بوته‌ها به طور کامل از گلدان خارج شدند. ریشه‌ها و سایر قسمت‌های هوایی گیاه با قرار گرفتن در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک آن‌ها به دست آمد (Yin et al., 2005). نمونه‌های تازه جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (Galmes et al., 2007) و پایداری غشای سلولی (Sairam et al., 2002) استفاده شدند. نمونه‌های برگ‌گی جهت بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی به آزمایشگاه فیزیولوژی باغبانی منتقل و در فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. از نمونه‌های فریز شده برای اندازه‌گیری تغییرات ایجاد شده در میزان پرولین آزاد (Bates et al., 1973)، قندهای محلول کل (Irigoyen et al., 1992)، پراکسید هیدروژن (Loreto and Velikova, 2001)، پراکسیداسیون لیپیدی (Rajinder Hemeda and et al., 1981)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (Nakano and Kelin, 1990) و آسکوربات پراکسیداز (Asada, 1981) استفاده شدند. داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC و SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel 2013 صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ (RWC) و شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI)

بررسی نتایج نشان داد که در سال اول، شاهد هر دو رقم بالاترین RWC را داشته و تیمارهای تنش خشکی و تنش خشکی + گردوغبار سبب کاهش RWC در هر دو رقم شدند. بین تیمار تنش خشکی و تیمار گردوخاک + تنش خشکی تفاوت معنی دار مشاهده نشد. در سال دوم هر دو رقم در شرایط آبیاری کامل بیشترین RWC را داشته و سایر تیمارها سبب کاهش آن در هر دو رقم شدند. تیمار خشکی + گردوغبار در مقایسه با تیمار تنش خشکی سبب کاهش RWC در رقم کوئین الیزا شد اما

مصرف نشدن انرژی جذب شده نوری برای فرایند تثبیت کربن تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست افزایش یافته (Das and Prasad, 2010) و احتمالاً از این طریق باعث آسیب رساندن به غشاء سلولی شده و MSI را کاهش داده است. گیاهان تحت تنش مقادیر بیشتری از گونه‌های اکسیژن واکنشی، از جمله H_2O_2 را تولید می‌کنند، که می‌تواند باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی شود (Hoekstra *et al.*, 2001).

آسیب رساندن به ساختمان پروتئین‌ها و چربی‌های غشاء متابولیسم طبیعی گیاه را مختل می‌نمایند (Ozuygur *et al.*, 2006). بنابراین تغییرات پایداری غشاء سلولی در اثر تنش از اهمیت بالایی برخوردار است. در تحقیق حاضر کاهش شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI) می‌تواند به دلیل کاهش آب برگ باشد. در اثر گردوغبار روزه‌ها بسته شده و در نتیجه سبب کاهش فراهمی CO_2 می‌گردد و کاهش فراهمی CO_2 فتوسنتز را کاهش می‌دهد. در نتیجه به دلیل

جدول ۱- اثر تنش خشکی و گردوغبار بر محتوای نسبی آب برگ (RWC)، شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI) و محتوای پرولین در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کوئین الیزا در طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳

Table 1. Effect of drought stress and dust on Relative water content (RWC), membran stability index (MSI) and proline content in Paros and Quinn Elisa Strawberry cultivars during 2013 and 2014

پرولین ۱۳۹۳ Proline 2014	پرولین ۱۳۹۲ Proline 2013	شاخص پایداری غشاء سلولی MSI 2014 ۱۳۹۳	شاخص پایداری غشاء سلولی MSI 2013 ۱۳۹۳	محتوای نسبی آب برگ RWC 2014 ۱۳۹۳	محتوای نسبی آب برگ RWC 2013 ۱۳۹۳	گردوغبار Dust	Cultivar رقم	تیمار خشکی Drought
0.12 ^e	0.08 ^g	86.33 ^a	80.66 ^a	87.00 ^a	80.67 ^a	بدون گردوغبار Without dust	پاروس	آبیاری کامل Full irrigation
0.18 ^d	0.095 ^g	78.33 ^b	73.67 ^b	76.67 ^b	78.00 ^{ab}	با گردوغبار Dust	Paros	
0.14 ^{de}	0.162 ^f	85.00 ^a	80.66 ^a	85.67 ^a	78.00 ^{ab}	بدون گردوغبار Without dust	کوئین الیزا	تنش خشکی Drought
0.25 ^c	0.225 ^e	73.66 ^c	71.33 ^{bc}	74.00 ^b	72.67 ^{bc}	با گردوغبار Dust	Queen eliza	
0.6 ^a	0.59 ^c	70.66 ^d	67.00 ^{cd}	70.33 ^c	63.33 ^{de}	بدون گردوغبار Without dust	پاروس	تنش خشکی Drought
0.61 ^a	0.68 ^b	69.00 ^d	72.00 ^{bc}	68.67 ^c	67.00 ^{cd}	با گردوغبار Dust	Paros	
0.51 ^b	0.42 ^d	65.66 ^e	65.66 ^{de}	65.65 ^d	64.67 ^d	بدون گردوغبار Without dust	کوئین الیزا	
0.61 ^a	0.86 ^a	63.33 ^e	61.67 ^e	60.00 ^e	58.00 ^e	با گردوغبار Dust	Queen eliza	

ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different at $P < 0.05$.

محتوای پرولین آزاد و قندهای محلول کل

بررسی مقایسه میانگین‌ها در هر دو سال نشان داد که در تیمار آبیاری کامل رقم پاروس کمترین میزان پرولین را دارا بوده و سایر تیمارها میزان پرولین هر دو رقم را افزایش دادند. تنش خشکی میزان پرولین دو رقم را افزایش داد و این افزایش در رقم پاروس چشمگیرتر بود. تیمار گردوغبار + تنش خشکی میزان پرولین را در هر دو رقم افزایش داد به طوری که بالاترین مقدار پرولین در این تیمار مشاهده شد اما در سال دوم در رقم پاروس بین تنش خشکی و تنش خشکی + گردوغبار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی در رقم کوئین‌الیزا در اثر تنش خشکی + گردوغبار میزان پرولین در مقایسه با تیمار تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۱).

در سال اول تیمار آبیاری کامل در هر دو رقم از پایین‌ترین میزان قندهای محلول کل برخوردار بود. تیمار گردوغبار سبب افزایش مقدار قندهای محلول در رقم پاروس شد اما در رقم کوئین‌الیزا بین تیمار شاهد و گردوغبار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در هر دو رقم بین تیمار تنش خشکی و تیمار تنش خشکی + گردوغبار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سال دوم تیمار گ گردوغبار میزان قندهای محلول کل را نسبت به شاهد در هر دو رقم کاهش داد. تنش خشکی موجب افزایش میزان قند محلول شد و بیشترین میزان قند در این تیمار مشاهده شد. تیمار گردوغبار + تنش خشکی نسبت به تیمار تنش خشکی میزان قند را در هر دو رقم کاهش داد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر تنش خشکی و گردوغبار بر قندهای محلول کل، مالون دی‌آلدئید (MDA) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در دو رقم توت‌فرنگی پاروس و کوئین‌الیزا در طی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳

Table 2. Effect of drought stress and dust on total soluble sugars, malondialdehyde (MDA) and hydrogen peroxide (H_2O_2) in Paros and Quinn Elisa Strawberry cultivars during 2013 and 2014

پراکسید هیدروژن روزن ۱۳۹۳ H_2O_2 2014	پراکسید هیدروژن روزن ۱۳۹۲ H_2O_2 2013	مالون دی‌آلدئید ۱۳۹۳ MDA 2014	مالون دی‌آلدئید ۱۳۹۲ MDA 2013	قندهای محلول ۱۳۹۳ Soluble sugars 2014	قندهای محلول ۱۳۹۲ Soluble sugars 2013	گردوغبار Dust	رقم Cultivar	تیمار خشکی Drought
میکرومول در گرم وزن تازه $\mu mol g FW^{-1}$								
0.36 ^g	0.45 ^d	0.65 ^f	0.52 ^f	50.95 ^c	38.84 ^d	بدون گردوغبار Without dust	پاروس	آبیاری کامل Full irrigation
0.64 ^f	0.73 ^{cd}	1.18 ^e	1.22 ^e	32.13 ^d	61.30 ^{ab}	با گردوغبار Dust	Paros	
0.41 ^g	0.80 ^c	0.86 ^f	1.22 ^e	60.20 ^b	51.23 ^c	بدون گردوغبار Without dust	کوئین‌الیزا	
0.75 ^e	1.59 ^b	1.54 ^d	1.86 ^d	30.15 ^d	55.75 ^c	با گردوغبار Dust	Queen eliza	
0.84 ^d	1.69 ^b	2.41 ^c	2.51 ^c	88.27 ^a	62.90 ^{ab}	بدون گردوغبار Without dust	پاروس	تنش خشکی Drought
1.17 ^b	2.39 ^a	3.23 ^b	4.70 ^b	63.50 ^b	71.20 ^a	با گردوغبار Dust	Paros	
0.99 ^c	1.70 ^b	2.57 ^c	2.61 ^c	83.91 ^a	66.75 ^a	بدون گردوغبار Without dust	کوئین‌الیزا	
1.36 ^a	2.55 ^a	4.85 ^a	4.96 ^a	64.66 ^b	61.95 ^{ab}	با گردوغبار Dust	Queen eliza	

ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different at $p < 0.05$.

محلول بیشتری برخوردار بود ولی در شرایط گردوغبار بدون تنش خشکی این میزان در هر دو رقم برابر بود. این نشان دهنده کاهش بیشتر کربوهیدرات‌های محلول کل در رقم کوئین الیزا است. دلیل کاهش کربوهیدرات‌های محلول کل در اثر گردوغبار کاهش فتوسنتز و بازده دستگاه فتوسنتزی گزارش شد. از جمله اثرات مخرب گردوغبار، تغییر در خصوصیات بیوشیمیایی مانند غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ است که به دلیل کاهش مواد فرآوری شده گیاه روی می‌دهد (Ramesh *et al.*, 2014). در این راستا کاهش میزان فتوسنتز و عملکرد در زیتون در اثر غبار سیمان (Nanos and Ilias, 2007)، کاهش میزان کربوهیدرات‌های محلول کل برگ و افزایش محتوای پرولین در اثر رسوب گردوغبار در گندم و نخود سبز (Rahman, 2015) و افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی و گردوغبار در انگور گزارش شده است (Karami *et al.*, 2017).

مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن

نتایج نشان می‌دهد که تیمار آبیاری کامل در هر دو رقم در هر دو سال کمترین میزان MDA را دارا بوده و تیمار گردوغبار سبب افزایش میزان آن شد. تنش خشکی سبب افزایش MDA در هر دو رقم شد و تیمار تنش خشکی + گردوغبار بیشترین میزان را دارا بود. بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین‌ها در سال اول نشان داد که آبیاری کامل در هر دو رقم از کمترین میزان H_2O_2 برخوردار بوده و تیمار گردوغبار سبب افزایش آن در رقم کوئین الیزا شد. تنش خشکی نیز میزان H_2O_2 را در هر دو رقم افزایش داد. تیمار گردوغبار + تنش خشکی بیشترین میزان H_2O_2 را ایجاد نمود. در سال دوم تیمار آبیاری کامل در هر دو رقم کمترین مقدار را دارا بوده و تیمار گردوغبار بدون تنش خشکی میزان آن را افزایش داد. تنش خشکی به تنهایی سبب افزایش H_2O_2 شد. تیمار گردوغبار + تنش خشکی میزان H_2O_2 را در هر دو رقم افزایش داد و این افزایش در رقم کوئین الیزا بیشتر بود (جدول ۲).

بر اساس این نتایج افزایش میزان پراکسید هیدروژن

در بسیاری از گونه‌های گیاهی، تجمع پرولین یکی از اصلی‌ترین پاسخ‌های متابولیکی به تنش‌های غیرزنده می‌باشد و به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی در پاسخ به تنش‌های غیرزنده تجمع می‌یابد (Szabados and Savoure, 2010; Ghanbari *et al.*, 2014). در تحقیق حاضر میزان پرولین در شرایط تنش خشکی و گردوخاک در هر دو رقم و در هر دو سال افزایش یافت. پرولین یکی از اجزای مهم واکنش دفاعی گیاه نسبت به تنش‌های محیطی است که رسوب گردوغبار روی برگ سبب افزایش معنی‌داری در غلظت آن می‌شود (Abdel-Rahman and Ibrahim, 2012). در مقایسه بین دو رقم میزان پرولین در اثر تنش خشکی در رقم پاروس به میزان بیشتری افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش میزان پرولین در رقم پاروس منجر به حفظ بیشتر RWC از طریق تنظیم اسمزی شده است و از کاهش آب در شرایط تنش جلوگیری کرده است. تجمع پرولین در برگ‌های توت‌فرنگی در این تحقیق با یافته‌های (Ghaderi *et al.*, 2015) و (Ghaderi and Siosemardeh, 2011) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که رقمی که پرولین بیشتری در برگ‌های آن تجمع یافته، سبب افزایش ادامه روند جذب آب در این رقم شده است. افزایش انباشت پرولین در پاسخ به استرس گردوغبار و تنش خشکی استراتژی برای بهبود تحمل (Hoekstra *et al.*, 2001) تنظیم تنظیم اسمزی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی (Gupta *et al.*, 2015) است. گردوغبار در سال اول سبب افزایش قندهای محلول کل برگ شد. دلیل این افزایش احتمالاً به دلیل تنش به وجود آمده در اثر گردوغبار باشد. در این شرایط گیاه با افزایش قندها تلاش نموده است که از طریق تنظیم اسمزی به جذب آب از خاک ادامه دهد و همچنین به حفظ آب در برگ‌ها کمک نماید. در سال دوم کاهش طولانی مدت فتوسنتز سبب کاهش کربوهیدرات‌های محلول کل شده به نظر می‌رسد این مسئله به دلیل سایه‌اندازی طولانی مدت گردوغبار و یا آسیب فتوسیستم‌های نوری به علت تجمع گردوغبار و اثرات منفی آن بر کارکرد روزنه‌ها باشد. هر چند در شرایط آبیاری کامل رقم کوئین الیزا از کربوهیدرات‌های

فعالیت POD و APX برخوردار بود و تیمار گردوغبار سبب افزایش فعالیت آن‌ها شد. تنش خشکی نیز POD و APX را در هر دو رقم افزایش داد. تیمار تنش خشکی + گردوغبار بیشترین میزان POD و APX را دارا بود. بین دو رقم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به طوری که رقم پاروس از میزان فعالیت POD و APX بیشتری برخوردار بود (شکل ۱- A و ۱- B، شکل ۲).

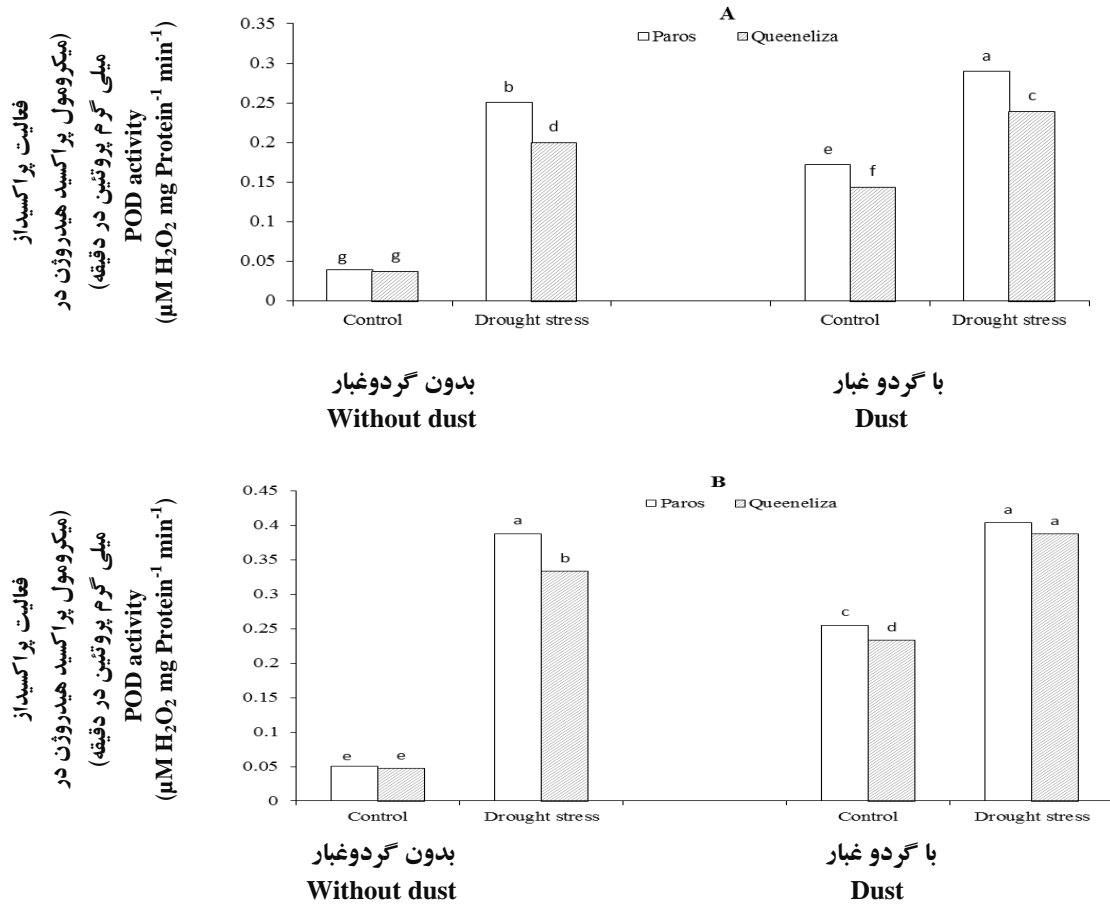
بر اساس نتایج پژوهش حاضر گردوخاک و تنش خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را در هر دو رقم افزایش دادند. رقم پاروس که دارای بیشترین فعالیت آنزیمی بود از میزان H_2O_2 و به تبع آن MDA کمتری برخوردار بود و در نتیجه مقاومت بیشتری نسبت به گردوغبار و تنش خشکی نشان داد. برای کاهش آسیب سلولی، گیاهان تحت تنش، آنزیم‌های ضد اکسایشی تولید می‌کنند (Zlatev and Lidon, 2012). تجمع گرد و غبار بر روی برگ گیاهان ممکن است مکانیسم ضد اکسایشی گیاه را تغییر دهد (Chaturvedi et al., 2013) و افزایش فعالیت POD و APX می‌تواند به عنوان مکانیسم دفاع از گیاه در برابر تقویت فرآیندهای اکسیداتیو در نظر گرفته شود. هماهنگی با نتایج پژوهش حاضر افزایش فعالیت APX در برابر آلودگی گرد و غبار (Siqueira-Silva et al., 2016) و افزایش فعالیت POD و APX در اثر تنش خشکی + گردوغبار گزارش شده است (Karami et al., 2017).

نتایج سال اول نشان داد که در رقم پاروس، تیمار شاهد بیشترین وزن خشک ریشه را دارا بود. گردوخاک روی آن اثر نداشت. تیمار تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد اما با تیمار تنش خشکی + گردوخاک اختلاف معنی‌داری نداشت. در رقم کوئین الیزا گردوخاک موجب کاهش وزن خشک ریشه شد و با تیمار تنش خشکی + گردوخاک اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین وزن خشک ریشه در تیمار تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۳- A). در سال دوم در هر دو رقم، گردوخاک وزن خشک ریشه را کاهش داد. تنش خشکی نیز موجب کاهش آن شد اما با تنش خشکی + گردوخاک اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳- B).

توسط تیمار گردوغبار و تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی همراه بود. افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی می‌تواند به دلیل تلاش سلول‌های گیاهی برای حذف بخشی از H_2O_2 باشد. شاید یکی از دلایل پایین بودن H_2O_2 در اثر گردوغبار و تنش خشکی در رقم پاروس افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز باشد. میزان H_2O_2 در هر دو سال تحت تأثیر تیمار گردوخاک و تنش خشکی افزایش یافت و این افزایش در تیمار گردوغبار + تنش خشکی بیشتر بود. به نظر می‌رسد که این تیمارها اثر منفی یکدیگر را تشدید کرده‌اند. پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از رادیکال‌های آزاد به منظور نشان دادن آسیب ناشی از تنش در سطح سلولی شناخته شده است (Shukla et al., 2012). MDA محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشای سلولی گیاهی و یکی از نشانه‌های مهم آسیب سیستم غشایی است (Cunhua et al., 2010). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش تنش خشکی و گردوغبار میزان مالون دی آلدئید را در هر دو رقم افزایش دادند و این افزایش در تیمار گردوغبار + تنش خشکی بیشتر مشاهده شد. افزایش بیشتر MDA می‌تواند به دلیل تشدید شرایط تنش توسط گردوغبار باشد. همچنین افزایش MDA در تمام تیمارها در رقم کوئین الیزا بیشتر بود که این می‌تواند بیانگر حساسیت بیشتر این رقم به گردوغبار و تنش خشکی باشد. در تیمار تنش خشکی و گردوخاک بیشترین میزان H_2O_2 تولید شد و در نتیجه آن غشاء سلول تخریب شده و سبب افزایش MDA در این تیمارها گردید (جدول ۲). در این راستا گزارش شده است که افزایش بیش از حد غلظت پراکسید هیدروژن سبب آسیب به سلول‌های گیاهی و افزایش تولید MDA می‌شود (Sajedi et al., 2017; Gharibi et al., 2016). هماهنگی با نتایج پژوهش حاضر افزایش میزان H_2O_2 و MDA در انگور در شرایط گردوغبار و خشکی (Karami et al., 2017) و افزایش MDA در گندم با افزایش غلظت ذرات گردوغبار گزارش شده است (Chen, 2010).

فعالیت آنزیم پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز

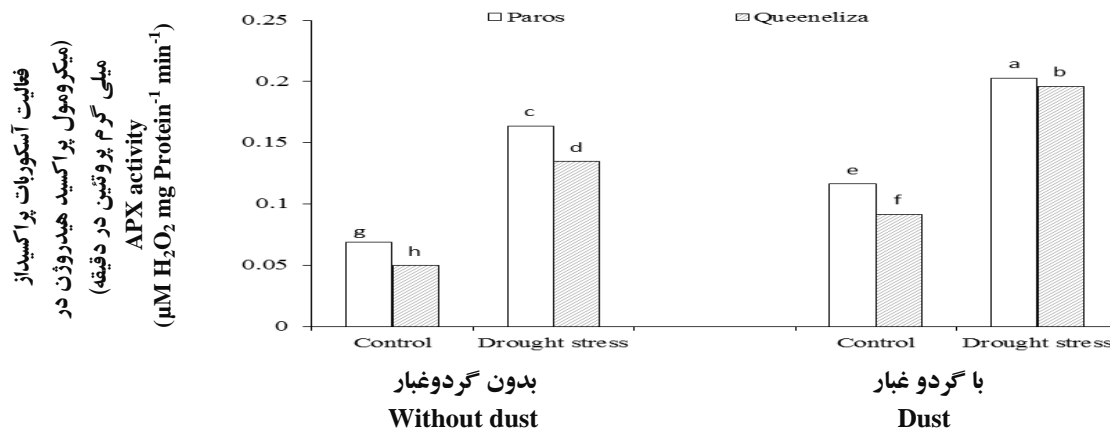
تیمار آبیاری کامل در هر دو رقم از پایین‌ترین میزان



شکل ۱- اثر تنش خشکی و گردوغبار بر فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) در دو رقم توت‌فرنگی در طی سال‌های ۱۳۹۲ (الف) و ۱۳۹۳ (ب) در محور افقی: شاهد (آبیاری کامل)، تنش خشکی (۱/۲- مکاپاسکال) ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Figure 1. The effect of drought stress and dust on Peroxidase (POD) activity in two strawberry cultivars during 2013 (A) and 2014 (B)

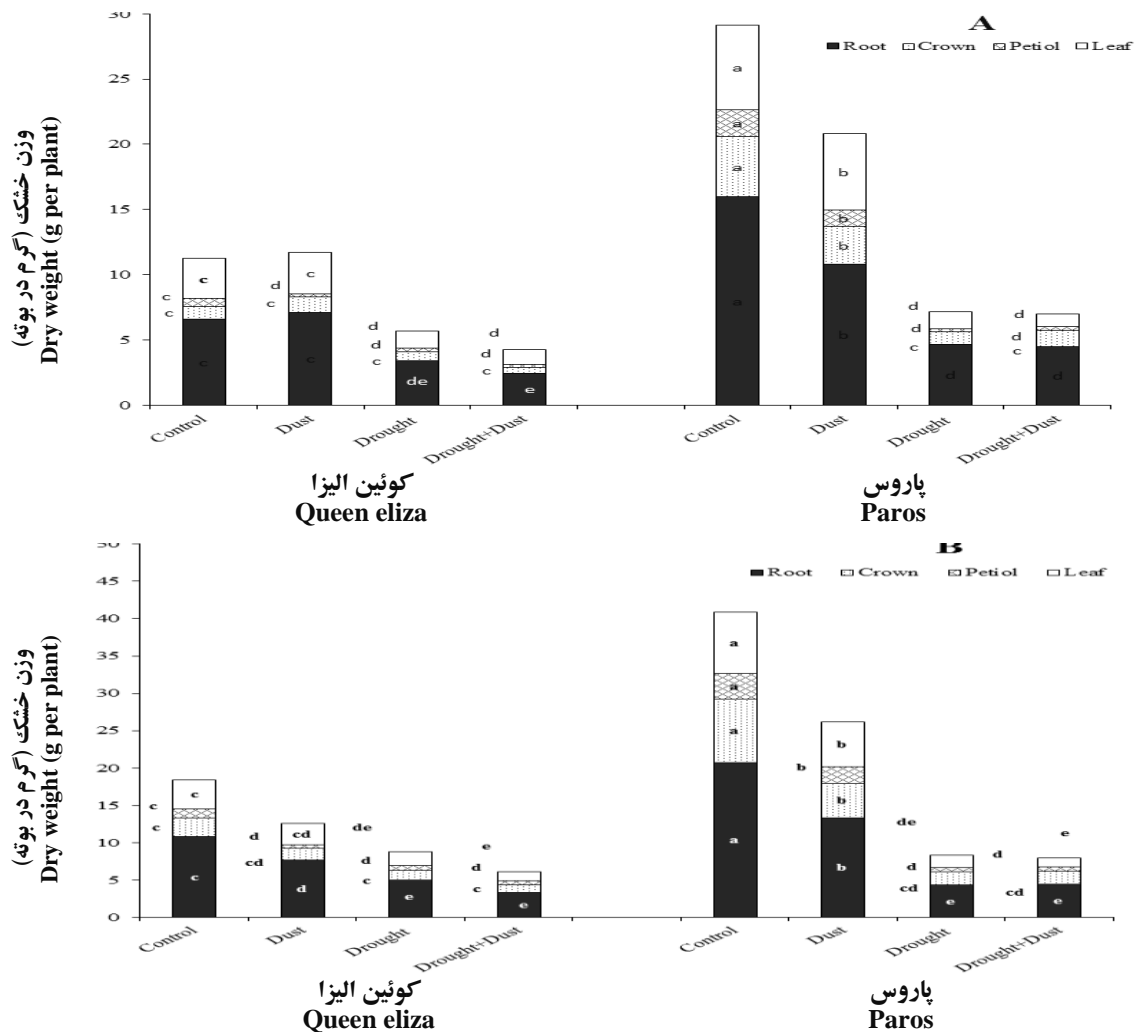
In the horizontal axis: control (full irrigation), drought stress (-1.2 MPa). Columns with the same letters in each column are not significantly different at $p < 0.05$



شکل ۲- اثر تنش خشکی و گردوغبار بر فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز (APX) در دو رقم توت‌فرنگی در سال ۱۳۹۳. در محور افقی: شاهد (آبیاری کامل)، تنش خشکی (۱/۲- مکاپاسکال) ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند

Figure 2. The effect of drought stress and dust on Ascurbat Peroxidase (APX) activity in two strawberry cultivars during 2013 (A) and 2014 (B)

In the horizontal axis: control (full irrigation), drought stress (-1.2 MPa). Columns with the same letters in each column are not significantly different at $p < 0.05$



شکل ۳- اثر تنش خشکی و گردوغبار بر وزن خشک برگ، دمبرگ، طوقه و ریشه دورقم توت‌فرنگی در سال‌های ۱۳۹۲ (A) و ۱۳۹۳ (B) در محور افقی: شاهد (آبیاری کامل)، تنش خشکی (۱/۲- مکاپاسکال) ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند
Figure 3. The effect of drought stress and dust on dry weight of leaf, petiole, crown and root in two strawberry cultivars during 2013 (A) and 2014 (B)
 In the horizontal axis: control (full irrigation), drought stress (-1.2 MPa) Columns with the same letters in each column are not significantly different at $p < 0.05$

تیمار گردوغبارک و تنش خشکی موجب کاهش آن شدند اما بین تیمار گردوغبارک، تنش خشکی و تنش خشکی + گردوغبارک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در رقم کوئین الیزا تیمار شاهد بیشترین مقدار را دارا بوده و گردوغبارک موجب کاهش میزان آن شد. تنش خشکی نیز وزن خشک دمبرگ را کاهش داد اما بین این تیمار و تنش خشکی + گردوغبارک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳- B و ۳- A).

در سال اول در رقم پاروس، تیمار شاهد بیشترین وزن خشک برگ را دارا بود. تیمار گردوغبارک بر میزان آن اثر

وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه

نتایج حاصل از سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نشان داد که در رقم پاروس هیچ یک از تیمارها روی وزن خشک طوقه اثر معنی‌داری نداشتند. در رقم کوئین الیزا تیمار شاهد بیشترین وزن خشک طوقه را دارا بود. گردوغبارک موجب کاهش آن شد. تیمار تنش خشکی نیز میزان آن را کاهش داد اما بین این تیمار و تنش خشکی + گردوغبارک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳- B و ۳- A).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هر دو سال در رقم پاروس بیشترین وزن خشک دمبرگ مشاهده شد.

افزایش تنش آبی می‌شود (Hossain *et al.*, 2015). هماهنگ با نتایج پژوهش حاضر کاهش سطح برگ و بیوماس کل در توت‌فرنگی رقم السانتا تحت تنش خشکی (Razavi *et al.*, 2008) و کاهش ماده خشک گیاهی با افزایش غلظت گردوغبار در جو (Sundra and Naresh, 2017) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که گردوغبار سبب افزایش میزان پرولین آزاد، قندهای محلول کل، H_2O_2 ، MDA، فعالیت آنزیم‌های POD و APX شد و RWC و MSI را کاهش داد. تنش خشکی و گردوخاک با کاهش RWC موجب کاهش جذب آب توسط گیاه شده و کاهش آب به نوبه خود موجب افزایش H_2O_2 گردید. با افزایش میزان H_2O_2 در طی تنش خشکی و گردوغبار، تخریب لیپیدهای غشاء افزایش یافته و میزان MDA افزایش یافت. افزایش MDA نشان‌دهنده تخریب دیواره سلولی بوده این مسئله همراه با افزایش MSI می‌باشد. در تیمار گردوغبار میزان H_2O_2 با فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی و MDA در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و با MSI و RWC در سطح احتمال یک درصد همبستگی منفی نشان داد (جدول ۳). این مسئله نشان می‌دهد که کاهش RWC سبب کاهش MSI شده و میزان رادیکال‌های

نداشت. تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک برگ نسبت به شاهد شد اما با تیمار تنش خشکی + گردوخاک اختلاف معنی‌داری نداشت. در رقم کوئین الیزا تیمار شاهد بیشترین وزن خشک برگ را دارا بوده و گردوخاک موجب کاهش میزان آن شد. تنش خشکی نیز مقدار آن را کاهش داد اما با تیمار تنش خشکی + گردوخاک اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳-B و ۳-A).

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در شرایط گردوغبار و تنش خشکی احتمالاً با کاهش سطح برگ‌ها سبب کاهش جذب نور توسط گیاه و بسته شدن روزنه‌ها در طول دوره آزمایش شده و ماده خشک تولیدی گیاه را کاهش داده است. احتمالاً کاهش ماده خشک در این پژوهش به دلیل سایه‌دهی برگ‌ها ناشی از پوشش گردوغبار و آسیب سیستم فتوسنتزی ناشی از افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد و تخریب غشاءهای سلولی باشد.

گزارش شده که برگ‌های پوشاننده شده با گردوغبار نور کمتری برای فتوسنتز دریافت می‌کنند که این مسئله تبادل گاز بین برگ و هوا را محدود کرده و با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای برگ فراهمی CO_2 را کاهش داده و از این راه بر تولید ماده خشک تأثیر می‌گذارد (Zia-Khan *et al.*, 2015). گرد و غبار روی برگ سبب سایه‌دهی، کاهش سطح برگ و آسیب به دستگاه‌های فتوسنتزی در اثر سمی بودن آلاینده‌ها و

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین صفات فیزیولوژیکی در رقم توت‌فرنگی تحت تیمار تنش خشکی و گردوخاک
Table 3. Pearson correlation coefficient between physiological traits in strawberry under drought and dust treatments

	MSI	RWC	H_2O_2	MDA	Proline	Soluble sugars	POD	APX
MSI	1							
RWC	0.97**							
H_2O_2	-0.95**	-94.00**						
MDA	-0.90**	-0.87**	0.96**					
Proline	-0.31 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.31 ^{ns}	-0.29 ^{ns}				
Soluble sugars	-0.39 ^{ns}	-0.44*	-0.37 ^{ns}	-0.42*	-0.25 ^{ns}			
POD	-0.91**	-0.91**	0.89**	0.81**	0.30 ^{ns}	0.42*		
APX	-0.86**	-0.85**	0.92**	0.88**	0.35 ^{ns}	0.42*	0.94**	1

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

Ns, * and **: non significant at 5 % and 1 % respectively.

برای فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

تضاد منافی در رابطه با اجرای این پژوهش و انتشار آن وجود ندارد.

سهام نویسندگان

اجرای آزمایش تحت راهنمایی دکتر ناصر قادری و مشاوره دکتر تیمور جوادی توسط مهندس فرزاد مربوئی صورت گرفته است.

آزاد را افزایش می‌دهد. افزایش رادیکال آزاد H_2O_2 به افزایش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و کاهش پایداری غشاء سلولی کمک نموده است. اثرات منفی گردوغبار و تنش خشکی بر تولید ماده خشک در هر دو سال مشاهده گردید. کاهش ماده خشک ریشه و اندام‌های هوایی می‌تواند به دلیل افزایش رادیکال‌های آزاد، کاهش محتوای آب برگ و در نهایت کاهش فتوسنتز برگ باشد.

سپاسگزاری

از مرکز پژوهشی به‌نژادی و به‌زراعی توت‌فرنگی

References

- Gupta, S. and Gupta, N. K. (2005). High temperature induced antioxidative defense mechanism in contrasting wheat seedlings. *Indian Journal of Plant Physiology*, 10, 73-75.
- Anonymous. (2016). *Iran agricultural statistics*. Ministry of Agriculture - Jihad, Department of Statistics and Information. Retrieved from <http://www.kurdistan.agri-jahad.ir/fa-IR/DouranPortal/5153/page/>.
- Abdel-Rahman, A. M. and Ibrahim, M. M. (2012). Effect of cement dust deposition on physiological behaviors of some halophytes in the salt marshes of Red Sea. *Academic Journal Biology Science*, 3(1), 1-11.
- Amil-Ruiz, F., Blanco-Portales, R., Munoz-Blanco, J. and Caballero, J. L. (2011). The strawberry plant defense mechanism: A molecular review. *Plant and Cell Physiology*, 52(11), 1873-1903.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Chaturvedi, R. K., Prasad, S., Rana, S., Obaidullah, S., Pandey, V. and Singh H. (2013). Effect of dust load on the leaf attributes of the tree species growing along the roadside. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 383-391.
- Chen, Y. (2010). Ecophysiological responses of winter wheat seedling to aerosol wet deposition of Xian area, China. *Journal of Environmental Science*, 22(11), 1786-1791.
- Cunhua, S., Wei, D., Xiangling, C., Xinna, X., Yahong, Z., Dong, S. and Jianjie, S. (2010). The effects of drought stress on the activity of acid phosphatase and its protective enzymes in pigweed leaves. *African Journal of Biotechnology*, 9(6), 825-833.
- Das, S. and Prasad, P. (2010). Seasonal variation in air pollution tolerance indices and selection of plant species for industrial areas of Rourkela. *Indian Journal of Environment and Protection*, 30(12), 978-988.
- Engelstaedter, S., Tegen, I. and Washington, R. (2006). North African dust emissions and transport. *Earth Science Reviews*, 79(1), 73-100.
- Galmes, J., Flexas, J., Save, R. and Medrano, H. (2007). Water relations and stomatal characteristics of mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Journal of Plant and Soil*, 290(1), 139-155.
- Ghaderi, N. and Siosemardeh, A. (2011). Response to drought stress of two strawberry cultivars (*cv. Kurdistan and Selva*). *Journal of Horticulture, Environment and Biotechnology*, 52(1), 6-12.
- Ghaderi, N., Normohammadi, S. and Javadi, T. (2015). Morpho-physiological responses of strawberry (*Fragaria×ananassa*) to exogenous salicylic acid application under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(1), 167-178.
- Ghanbari, Gh., Sayari, M., Saydi, M. and Amirinejad, A. (2014). Effect of 5-aminolevulinic acid on

- physiological responses of coriander plant (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Plant Productions*, 37(1), 93-105. [In Farsi]
- Gharibi, S., Sayed Tabatabaei, B. I., Saeidi, G. and Goli, A. H. (2016). Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(4), 796-809.
- Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal of Food Science*, 55(1), 184-185.
- Hoekstra, F. A., Golovina, E. A. and Buitink J. (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends to Plant Science*, 6(9), 431-438.
- Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W. and Li, H. Y. (2015). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: Insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontiers in Plant Science*, 6(420), 267-274.
- Inra. (1998) *GenBerry database: Strawberry genetic resources in Europe*. Retrieved from <http://www.bordeaux.inra.fr/eustrawberrydb/accession/817>.
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Journal of Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60.
- Karami, L., Ghaderi, N. and Javadi, T. (2017). Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*, 29(2), 231-240.
- Klamkowski, K. and Treder, W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(4), 159-165.
- Lee, Y. P., Kim, S. H., Bang, J. W., Lee, H. S., Kwak, S. S. and Kwon, S. Y. (2007). Enhanced tolerance to oxidative stress in transgenic tobacco plants expressing three antioxidant enzymes in chloroplasts. *Plant Cell Reports*, 26(5), 591-598.
- Loreto, F. and Velikova, V. (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Journal of Plant Physiology*, 127(4), 1781-1787.
- Lugojan, C. and Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
- Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. and Mittler, R. (2010). Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell Environment*, 33(4), 453-467.
- Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide in scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell Physiology*, 22(5), 867-880.
- Nanos, G. D. and Ilias, F. I. (2007). Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. *Environment of Science Pollution Research*, 14(3), 212-214.
- Ozuygur, M., Paydaskargi, S. and Kafkas, E. (2006). Investigation on yield, Fruit quality and plant characteristic of some local, European and American strawberry varieties and their Hybrids. *Agriculture Conspectus Science Entificus*, 71(4), 175- 180.
- Rahman, A. L. (2015). Response of two crop plants to dust deposition. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 27(2), 1-6.
- Rajinder, S. D., Dhindsa, P. P. and Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93-101.
- Ramesh, V., Ahmed, S. and Koperuncholan, M. (2014). Impact of cement industries dust on selective green plants: Acase study in ariyalur industrial zone. *International Journal of Pharmaceutical, Chemicals and Biological Science*, 4(1), 152-158.

- Razavi, F., Pollet, B., Steppe, K. and Vanlabek, M. C. (2008). Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica*, 46(4), 631-633.
- Sajedi, M., Asnaashari, M., Jafari, M. and Moshtaghi, A. (2017). Physiological, morphological and biochemical characteristics of four edible fig and two capri fig cultivars in response to drought stress. *Plant Productions*, 40(3), 101-112. [In Farsi]
- Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5), 1037-1046.
- Shukla, N., Awasthi, R. P., Rawat, L. and Kumar, J. (2012). Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzinaum* under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, 78-88.
- Siqueira-Silva, I. A., Pereira, E. G., Modolo, L. V., Lemos-Filho, J. P. and Paiva S. A. (2016). Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere*, 158, 56-65.
- Sun, C., Li, X., Hu, Y., Zhao, P., Xu, T., Sun, J. and Gao, X. 2015. Proline, sugars, and antioxidant enzymes respond to drought stress in the leaves of strawberry plants. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 33(5), 625-632.
- Sundra, S. and Naresh, R. (2017). Modeling the effect of dust pollutants on plant biomass and their abatement from the near earth atmosphere. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(42), 1-13.
- Szabados, L. and Savoure, A. (2010). Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89-97.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123-138.
- Tripathi, A. K. and Gautam, M. (2007). Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 127-132.
- Vadez, V., Berger, J. D., Warkentin, T., Asseng, S., Ratnakumar, P., Rao, K.P.C., Gaur, P. M., Munier-Jolain, N., Larmure, A., Voisin, A. S., Sharma, H. C., Pande, S., Sharma, M., Krishnamurthy, L. and Zaman, M. A. (2012). Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 31-44.
- Wang, F., Zeng, B., Sun, Z. and Zhu, C. (2009). Relationship between proline and Hg²⁺-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(4), 723-731.
- Yin, C., Wang, X., Duan, B., Luo, J. and Li, C. (2005). Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric populus species as affected by water stress. *Journal of Environment and Experimental Botany*, 53, 315-322.
- Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X. and Müller, J. (2015). Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in northwest china. *Water*, 7(1), 116-131.
- Zlatev, Z. and Lidon F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(1), 57-72.

