بررسی تأثیر برخی آلاینده‌های درون ساختمان بر گیاه سانسوریا (*Sansevieria trifasciata* L.)

ویدا اخوان[۱]، روح‌انگیز نادری(نویسنده مسئول)[۲*]، الهام دانائی[۳]، سپیده کلانه‌جاری[٤] و فرشته نعمت‌اللهی[٥]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، vidaakhavan87@gmail.com

۲- استاد، گروه مهندسی و علوم باغبانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، البرز کرج پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشکاه تهران گروه باغبانی، rnaderi@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، گرمسار، ایران، dr.edanaee@yahoo.com

٤- استادیار، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، kalatejari@yahoo.com

۵- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران، fnematollahi@yahoo.com

تاریخ دریافت: خرداد ۱٤۰۰ تاریخ پذیرش: مرداد ۱٤۰۰

Effect of indoor airpollution on *Sansevieria trifasciata* L.

Vida Akhavan[1] ,Rohangiz Naderi(Corresponding author)[2]*, Elham Danaee[3], Sepideh kalatejari[4] and Fereshteh Nematollahi[5]

1- Ph.D student, Department of Horticulture and Agronomy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, vidaakhavan87@gmail.com

2- Professor, Department of Horticulture College of Agriculture and Natural Resource University of Tehran, Tehran Iran, rnaderi@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, dr.edanaee@yahoo.com

4- Assistant Professor, Department of Horticulture and Agronomy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, kalatejari@yahoo.com

5- Assistant Professor, Department of Chemistry, East Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, fnematollahi@yahoo.com

Received: June 2021 Accepted: July 2021

چکیده

به منظور ارزیابی اثر برخی آلاینده‌ها بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های بروز مقاومت نسبت به تنش در گیاه سانسوریا (*Sansevieria trifasciata* L.)، آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی با ۷ تیمار شاهد، بنزن ۵۰ و ۲۵ میلی‌لیتر در لیتر، استون ۵۰ و ۲۵ میلی‌لیتر در لیتر، اتانول ۵۰ میلی‌لیتر در لیتر و متانول ۵۰ میلی‌لیتر در لیتر با سه تکرار انجام شد. جهت اعمال تیمارها محیط‌های بسته اتاقک‌های شیشه‌ای با حجم و مساحت یکسان تهیه گردید که هر محفظه شیشه‌ای شامل دریچه‌ای جهت تزریق و یا مکش هوا بود. در هر اتاقک یک گیاه قرار گرفت که حجم گیاه اندازه‌گیری شد و سپس غلظت‌های معینی از آلاینده‌ها به درون اتاقک‌ها تزریق گردید. نتایج نشان داد که آلاینده‌های گازی مورد ارزیابی تأثیر منفی بر شاخص‌های بررسی شده نسبت به شاهد داشتند، اما استون ۵۰ میلی‌لیتر در لیتر موجب بروز شدیدترین تنش در گیاه سانسوریا و تحریک تولید گونه‌های اکسیژن فعال و از این طریق موجب افزایش تولید پرولین و نیز با افزایش سیستم دفاعی گیاه سبب افزایش سطح پروتئین‌ها شد. فعالیت فتوسنتزی گیاه سانسوریا نیز تحت تأثیر آلاینده‌های مورد بررسی افزایش یافت. بر این اساس، به نظر می‌رسد گیاه سانسوریا مقاومت خوبی نسبت به گازهای غالب موجود در فضای ساختمانی بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها و غیره دارد که جهت نگهداری در این مکان‌ها توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: اتانول، استون، آلاینده‌های گازی، بنزن، گیاه زینتی، متانول.

Abstract

To evaluate the effect of some air pollutants on photosynthetic pigments and stress resistance parameters in *Sansevieria trifasciata* L., a completely randomized experiment with 7 treatments including control, benzene 50 and 25 $ml.l^{-1}$, acetone 50 and 25 $ml.l^{-1}$, ethanol 50 $ml.l^{-1}$ and methanol 50 $ml.l^{-1}$ with three replications. To apply the treatments, glass chambers with closed environments and same volume and area were prepared, each glass chamber containing valves for injection or air suction. One plant was placed in each chamber and the plant volume was measured and then certain concentrations of contaminants were injected into the chambers. The results showed that the evaluated air pollutants had a negative effect on the studied characteristics compared to the control, but acetone 50 $ml.l^{-1}$ caused the most severe stress in censorship and stimulated the production of reactive oxygen species, thereby increasing proline production and increasing the plant's defense system increased protein levels. The photosynthetic activity of the Sansevieria plant also increased under the influence air pollutants. Accordingly, it seems that Sansevieria plant has a good resistance to the dominant air pollutants in the construction space of hospitals, laboratories, etc., which is recommended for these places.

Keywords: Acetone, Air pollutants, Benzene, Ethanol, Methanol, Ornamental plants.

مقدمه و کلیات

کیفیت هوای داخلی (IAQ) در سراسر جهان رو به کاهش است که با گذشت زمان، سلامت انسان هر چه بیشتر به آن گره خورده است (Hao *et al.*, 2014). آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) در طی گزارشی عنوان کرده که غلظت ترکیبات آلی فرار (VOC) در داخل ساختمان ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از VOC در فضای باز است (Styszko *et al.*, 2017). آلاینده‌های معمول داخلی شامل ذرات معلق (PM)، مونواکسیدکربن (CO) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) هستند (Bolden *et al.*, 2015؛ Sekine *et al.*, 2016). از این ترکیبات آلی فرار می‌توان به بنزن و الکل‌هایی نظیر اتانول، متانول و استون که در محیط‌های بیمارستانی و درمانگاه‌ها و همچنین کارخانه‌ها و آرایشگاه‌ها به فراوانی وجود دارند، اشاره کرد. کیفیت هوا در داخل ساختمان می‌تواند توسط بسیاری از تکنیک‌های تصفیه هوا از جمله جذب، فوتولیز و فوتوکاتالیز بهبود یابد (Yu *et al.*, 2009). هر تکنیک دارای معایب خاص خود، از جمله هزینه‌های بالای بهره‌برداری یا تولید آلاینده‌های ثانویه است (Guieysse *et al.*, 2008). برای جلوگیری از این معایب، گیاه‌پالایی به‌عنوان یک روش جایگزین سازگار با محیط زیست برای تصفیه آلاینده‌های هوا در محیط داخلی ارائه شده است (Gong *et al.*, 2019). پوشش‌های گیاهی با روش‌های متفاوتی آلاینده‌های محیطی را از بین می‌برند. آلاینده‌های گازی توسط روزنه‌های گیاهان جذب شده و ریشه و میکروارگانیسم‌های موجود در خاک نیز در حذف ترکیبات سمّی مؤثر بوده و توانایی شکستن اجزای هیدروکربن‌های فرار در بافت گیاه یا خاک را دارا هستند. گیاهان از طریق فتوسنتز با جذب CO_2 و تبدیل آن به O_2، به‌طور طبیعی کربن موجود در جو را جذب و به پالایش هوا کمک می‌کنند. در فرایند فتوسنتز، برگ درختان مواد شیمیایی معلق در هوا نظیر انواع اکسید نیتروژن و آمونیوم، گوگرد دی‌اکسید، ازون و غیره توسط گیاهان از محیط حذف می‌شود. گیاهان با جذب گرد و غبار و ذره‌های معلق در هوا (PM)، این آلاینده را تا ۷۵ درصد در محیط کاهش می‌دهند (Pipal *et al.*, 2012). گیاه پالایی به دلیل توانایی ذاتی گیاهان در جذب و تخریب آلاینده‌های موجود در هوا، یک جایگزین طبیعی و کارآمد برای بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان است (Fusaro *et al.*, 2017؛Przybysz *et al.*, 2020). محققان استفاده از تعدادی از گیاهان زینتی آپارتمانی را برای از بین بردن آلاینده‌های مختلف موجود در محیط داخلی ساختمان گزارش داده‌اند (Irga *et al.*, 2017; Irga *et al.*, 2019). سطح موم برگ‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها اشغال شده و یک میکرو اکوسیستم تشکیل می‌دهند که به‌طور متوسط از 10^6 تا 10^7 میکروارگانیسم در هر سانتی‌متر مربع تشکیل شده است (Vorholt, 2012). گزارش‌هایی وجود دارد که این باکتری‌ها به‌طور فعال در تخریب آلاینده‌های آلی موجود در هوا مانند تولوئن نقش دارند (De Kempeneer *et al.*, 2004). این پدیده بیشتر به بهبود کیفیت هوا توسط سطح گیاهانی که این میکرو اکوسیستم را تا میکروبیوم بوته گسترش می‌دهند، کمک می‌کند. آلاینده‌های گازی از طریق روزنه‌ها در

برگ‌ها نفوذ می‌کنند در حالی که ترکیبات لیپوفیلیک رسوبی سطوح برگ‌ها می‌توانند به موم کوتیکول نفوذ کرده و توسط باکتری‌ها تخریب شوند (Evers *et al.*, 2017). گیاهان جنس سانسوریا (*Sansevieria* Sp.) از گیاهان خشکی پسند بوده که گیاهانی چند ساله با برگ‌های مستحکم و سفت و ریزوم‌دار با ریزوم‌های کوتاه و ضخیم هستند (Brown, 1915). این گونه عمدتاً به قاره آفریقا و جزایر نزدیک به آن و از شمال به عربستان محدود می‌شود که اکثر گونه‌های آن در مناطق گرمسیری این قاره جمع شده و حدود پنج گونه در آفریقای جنوبی و دو گونه در سریلانکا و هند مشاهده شده‌اند (Mbugua and Moore, 1996). سانسوریا گیاهی است که به‌خوبی می‌تواند هوای آلوده محیط را پاک‌سازی کند. این گیاه به‌عنوان یک فیلتر، آلاینده‌های سمّی موجود در هوا نظیر فرمالدهید، بنزن، تولوئن، انواع الکل، تری‌کلرواتیلن و غیره را جذب می‌نماید. سانسوریا قادر به تحمل شرایط سخت محیطی بوده و به همین سبب، گیاه بسیار مقاوم و مناسبی جهت استفاده در مکان‌های مسقف می‌باشد (Wolverton *et al.*, 1989). در طی مطالعه‌ای، ترکیبی از دو گونه زاموفیلیا (*Zamioculcas zamiifolia*) و سانسوریا برای حذف VOCهای قطبی و غیرقطبی و به حداقل رساندن انتشار CO_2 از محفظه استفاده شد. *Z. zamiifolia* و *S. trifasciata*، در صورت ترکیب، قادر به حذف بیش از ۹۵٪ از آلاینده‌ها در مدت ۴۸ ساعت بودند و توانستند این کار را برای شش دوره در معرض آلاینده متوالی انجام دهند. غلظت CO_2 از ۴۱۰ به ۱۶۰ ppm در داخل محفظه کاهش یافت (Ullah *et al.*, 2021). گزارش شده ترکیب *Sansevieria trifasciata*، *Euphorbia milii* و *Dieffenbachia seguine* پتانسیل کنترل آلاینده های بیولوژیکی و حذف آلاینده‌های قطبی و غیرقطبی هوای درون ساختمان را داراست. ثابت شده است که گیاه برای جذب ترکیبات آلی فرار (VOC) استفاده می شود. *E. milii* قادر به جذب فرمالدئید، تری متیل‌آمین و بنزن، *S. trifasciata* قادر به جذب تولوئن، اتیل بنزن، بنزن و تری متیل‌آمین بوده و *D. seguine* فرمالدئید و زایلن را جذب می‌کند (Sriprapat and Thiravetyan, 2016). ترکیب این گیاهان ممکن است در هنگام جذب آلاینده‌های هوا، میزان انتشار CO_2 ناشی از تنفس گیاه را متعادل کند (Siswanto, 2017). نتایج یک پژوهش نشان داد که ترکیب *S. trifasciata* و *Chlorophytum comosum* به‌عنوان بیوفیلتر گیاهی عمل کرده و در از بین بردن VOCها و PM2.5 (ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر) بسیار مؤثر است. علاوه بر این، این بیوفیلتر گیاهی می‌تواند فرمالدئید، استون، بنزن و زایلن را با انتشار CO_2 کم در شرایط داخل ساختمان با شدت نور متوسط (۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) با موفقیت حذف کند (Siswanto *et al.*, 2020). در پژوهشی با بررسی تأثیر آلودگی هوا بر میزان پرولین ۲۰ گونه گیاهی مشخص شد که محتوای پرولین تحت شرایط تنش افزایش یافت که نشان دهنده مکانیسم محافظتی آن در شرایط استرس است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین غلظت پرولین در گیاهان تیمار شده و شاهد وجود داشت. درصد تغییر (افزایش) میزان پرولین در

شاهد نسبت به گیاهان تیمار شده بین ۲٤/۹ درصد در *Citrus sinesis* تا ۵۷/۲۲ درصد در *Carica papaya* بود (Agbaire, 2016). در طی مطالعه‌ای، گونه‌های *Mangifera indica* L.، *Cassia fistula* L. و *Eucalyptus hybrid* برای مدت کوتاهی در معرض آلودگی هوا قرار گرفتند که نتایج نشان داد میزان کلروفیل، قندهای محلول و پروتئین در بافت گیاهی تحت تأثیر آلاینده‌های مختلف کاهش معنی‌داری به‌خصوص در شدت آلودگی زیاد پیدا کرد (Tripathi and Gautam, 2007). در طی پژوهشی با بررسی تأثیر آلودگی هوا بر گیاه نخودفرنگی گزارش شد میزان فتوسنتز و بازده مصرف آب در گیاهان در معرض آلودگی در پاسخ به سطح آلاینده‌های محیط کاهش یافت. میزان کلروفیل کل و عملکرد کل در گیاهان در معرض آلودگی نسبت به شاهد کمتر بوده و کیفیت بذر از نظر متابولیت و محتوای مواد مغذی نیز در سایت‌های با بار آلودگی شدید، روند کاهشی داشت (Rajput and Agrawal, 2004). با توجه به موارد بیان شده، در این پژوهش سعی شده تأثیر آلودگی هوای درون ساختمان به‌ویژه در بیمارستان‌ها، مراکز درمانی و آرایشگاه‌ها بر گیاه سانسوریا مورد ارزیابی قرار گیرد تا میزان مقاومت این گیاه سنجیده و در بررسی‌های بعدی تأثیر آن بر جذب این آلاینده‌ها مشخص گردد.

فرآیند پژوهش

به‌منظور بررسی تأثیر گیاهان آپارتمانی در پالایش گازهای آلاینده آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. در محیط‌های بسته اتاقک‌های شیشه‌ای با حجم و مساحت یکسان (۵۰ سانتی‌متر ارتفاع×۵۰ سانتی‌مترطول×۵۰ سانتی‌متر عرض) تهیه گردید. این اتاقک‌ها از نظر عبور و مرور هوا کاملاً محفوظ بودند (Air Tight). هر محفظه شیشه‌ای شامل دریچه‌ای جهت تزریق و یا مکش هوا بود. در هر اتاقک یک گیاه قرار گرفت که حجم گیاه (تعداد، طول و عرض برگ) اندازه‌گیری شد و پس از قرارگرفتن آن در محفظه‌های شیشه‌ای غلظت‌های معینی از آلاینده‌ها (بنزن، استون، اتانول و متانول) به درون اتاقک‌ها تزریق گردید. در این آزمایش برای هر یک از تیمارها یک اتاقک خالی از گیاه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس شاخص‌های موردنظر شامل میزان پرولین، پروتئین، کلروفیل و نشت یونی مورد ارزیابی قرارگرفت.

سنجش کلروفیل برگ: برای اندازه‌گیری، شش عدد پانچ از برگ‌های گیاه تهیه و در هشت میلی‌لیتر متانول غوطه‌ور شده و به مدت ۲٤ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ٦٦٥/٢ و ٦٥٢/٤ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) قرائت و ثبت گردید. در نهایت میزان کلروفیل *a* (Chl_a)، b (Chl_b) و کلروفیل کل (Chl_{a+b}) به‌ترتیب با استفاده از روابط یک تا پنج محاسبه و بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر گزارش گردید (Porra, 2002).

$$Chl_a\ (\mu g/ml) = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$$
$$Chl_b(\mu g/ml) = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$$
$$Chl_{a+b}\ (\mu g/ml) = Chl_a + Chl_b$$
$$Chla_{/b}(\mu g/ml) = Chl_a\ /Chl_b$$

اندازه‌گیری پرولین: اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) به دست آمد.

اندازه‌گیری نشت یونی: جهت اندازه‌گیری نشت یونی، از هر برگ ٦ تکه مدور به قطر ۱۰ میلی‌متر با چوب پنبه سوراخ کن برداشته شد. تکه‌های پوست در داخل ۲۵ میلی‌لیتر مانیتول ۰/٤ نرمال قرار گرفتند. پس از چهار ساعت به هم زدن با شیکر با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه، هدایت الکتریکی اولیه (Ec اولیه) محلول توسط دستگاه هدایت سنج (مدل Metroham 644) اندازه‌گیری شد. سپس محلول حاوی نمونه‌ها در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و پس از قرار گرفتن در دمای محیط به - مدت ۲٤ ساعت، مجدداً هدایت الکتریکی کل محلول اندازه‌گیری و درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (McCollum and McDonald, 1991):

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{\text{EC اولیه}}{\text{EC کل}} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری پروتئین محلول: میزان پروتئین موجود در نمونه‌های آنزیمی استخراج شده به روش Bradford (1976) اندازه‌گیری گردید. کمپلکس واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر محلول آنزیمی استخراج شده، ۲۰۰ میکرولیتر معرف بردفورد و ۷۰۰ میکرولیتر آب دیونیزه می‌باشد. پس از گذشت دو دقیقه از تشکیل کمپلکس فوق، معرف بردفورد حداکثر ترکیب را با اسیدهای آمینه آروماتیک نظیر آرژنین از خود نشان می‌دهد. حداکثر زمان پایداری ترکیب حاصل، تا یک ساعت پس از تشکیل بوده و سپس شروع به تجزیه و جدا شدن می‌نماید. لذا در این فاصله زمانی نمونه‌ها حداکثر جذب را داشته و جذب آن‌ها در طول موج ۵۳۵ نانومتر یادداشت شد. میزان پروتئین نمونه‌ها، از روی منحنی استاندارد حاصل از آلبومین سرم گاوی به‌دست آمد. برای به دست آوردن میزان فعالیت ویژه آنزیم‌ها، پس از محاسبه تعداد واحدهای آنزیمی، هر یک از آنزیم‌های مورد مطالعه بر میزان پروتئین حاصل تقسیم شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: آنالیز داده‌های حاصل از پژوهش با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۱٪ و ۵٪ انجام گرفته و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

تأثیر آلاینده‌های مورد بررسی بر میزان پرولین: با توجه به جدول تجزیه واریانس، آلاینده‌های محیطی بر میزان پرولین بافت گیاه سانسوریا تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). براین اساس، با توجه به شکل ۱، میزان پرولین تحت تأثیر

آلاینده‌های مختلف، در بافت گیاه سانسوریا متفـاوت بود.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس تأثیر آلاینده‌ها بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سانسوریا

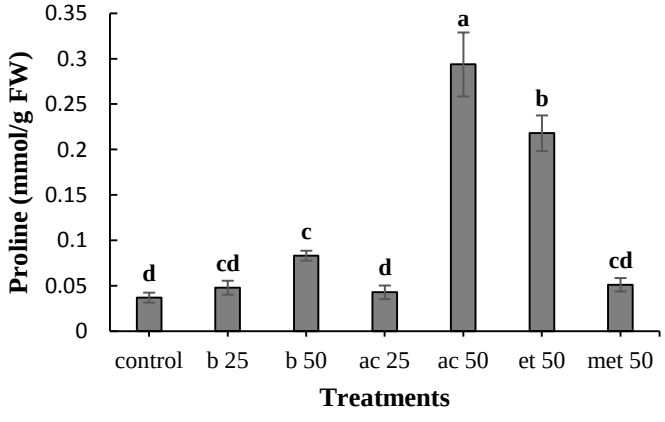
Table 1: Analysis of variance of the effect of air pollutants on some physiological and biochemical indicators of Sansevieria.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پرولین	پروتئین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a/b	نشت یونی
تیمار	۶	۰/۰۶۳**	۷۱۶۸/۴**	۷/۶۳**	۲/۶۳**	۱۷/۸۹**	۰/۳۵۱*	۵۵۶/۶*
خطا	۳۳	۰/۰۰۰۹۸	۷۳/۱۲	۰/۲۰۱	۰/۲۸۸	۰/۳۵۸	۰/۱۲۷	۲۳۰/۵
ضریب تغییرات(٪)	-	۲۸/۳۷	۱۷/۳۲	۱۰/۰۶	۱۷/۸۲	۸/۰۱	۲۳/۴۲	۲۴/۸

** و** به‌ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ و* **ns** *عدم تفاوت معنی‌دار.*

*** and **: significant at <0.05 and <0.01. ns: non-significance.**

باتوجه به شکل ۱، میزان پرولین در گیاهان شاهد بـا میـانگین ۰/۰۳۶۹ میلـی‌مـول بـر گـرم وزن تـر در پـایین‌تـرین میـزان قـرار داشـت کـه تحـت تـأثیر آلاینده‌های محیطی با غلظت‌های مختلف، پاسخ‌هـای متفاوتی نیز داد. بیشترین میزان پرولین در بافت بـرگ سانسوریا تحت تأثیر اسـتون بـا غلظـت ۵۰ ppm بـا میانگین ۰/۲۹۳ میکرومول بر گرم وزن تر حاصل شد که با دیگر سطوح تیمـاری تفـاوت معنـی‌دار ایجـاد کرده است. پس از اسـتون، تیمـار اتـانول بـا غلظـت ۵۰ ppm با میانگین ۰/۲۱۷ میکرومـول بـر گـرم وزن تر بیشترین تأثیر را بـر افـزایش محتـوای پـرولین در گیاه سانسوریا داشت.

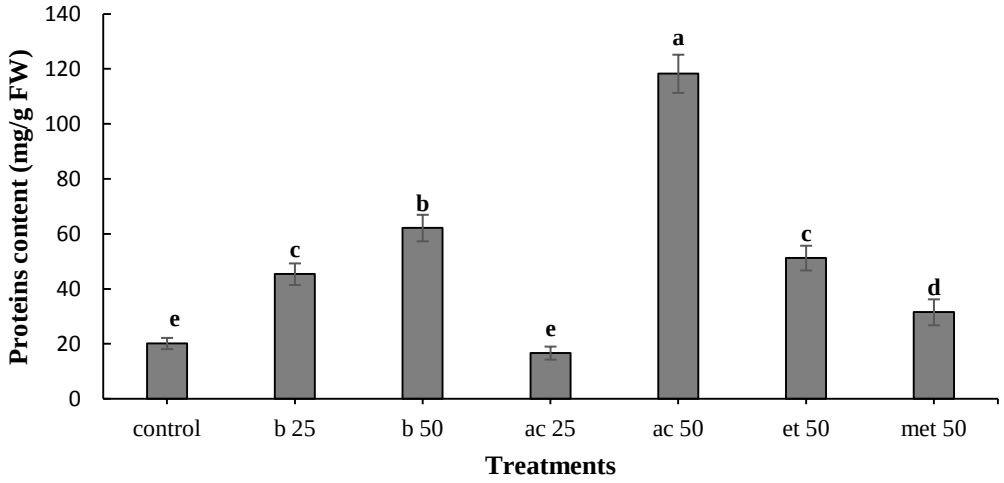


شکل ۱: تأثیر آلاینده‌های محیطی مورد بررسی بر میزان پرولین گیاه سانسوریا (Control: شاهد، b 25: بنزن ppm ۲۵، b 50: بنزن ppm ۵۰، ac 25: استون ppm ۲۵، ac 50: استون ppm ۵۰، et 50: اتانول ppm ۵۰ و met 50: متانول ppm ۵۰).

Figure 1: Effect of air pollutants on proline content of Sansevieria (Control: control, b 25: benzene 25 ppm, b 50: benzene 50 ppm, ac 25: acetone 25 ppm, ac 50: acetone 50 ppm, et 50: ethanol 50 ppm and met 50: methanol 50 ppm).

پرولین یکی از مؤلفه‌های اصلی مکانیسم دفاعی گیاهان در برابر تنش محسوب می‌شود که تحت تنش زیستی و غیرزیستی افزایش می‌یابد (Muhammad *et al.*, 2013). اسیدآمینه پرولین پایدارترین اسید آمینه‌ای است که در مقابل هیدرولیز و تجزیه اکسیداتیو به توکسین‌ها مقاومت کرده و کمترین اثر بازدارندگی را برای رشد سلول در بین دیگر اسیدآمینه‌ها داراست. به همین علت، در گیاهانی که تحت شرایط تنش زیستی یا غیرزیستی قرار می‌گیرند تجمع پرولین مشاهده می‌گردد (Joshi *et al.*, 2009). الکترون‌ها از طریق سیستم‌های انتقال الکترون در ساختار میتوکندری و کلروپلاست سلول‌های گیاهی انتقال می‌یابند و زمانی که با مولکول‌های اکسیژن برخورد می‌کنند، می‌توانند انواع گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROSها) را که برای گیاهان مضر هستند، افزایش دهند. عوامل ایجاد کننده تنش‌های اکسیداتیو مثل گازهای آلاینده ممکن است با افزایش میزان گونه‌های اکسیژن واکنشگر سبب آسیب شدید به مولکول‌های زیستی درون سلول مانند انواع اسیدهای چرب، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شوند (Wang *et al.*, 2009). اسیدآمینه پرولین موجب از بین بردن رادیکال‌های آزاد شده و گیاهان با مکانیسم افزایش محتوای پرولین، آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند. طبق نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد گازهای آلاینده به‌خصوص استون با ایجاد و بروز تنش در گیاه سانسوریا و تحریک تولید گونه‌های اکسیژن فعال، موجب افزایش تولید پرولین در بافت گیاه (شکل ۱) و همچنین وقوع نشت الکترولیت‌ها از غشای سلولی (شکل ٤) شده اند که احتمال می‌رود ارتباطی بین پراکسیده شدن غشا و افزایش نشت یونی از آن و تجمع پرولین در گیاهانی که در معرض تنش‌های مختلف هستند، وجود دارد که می‌تواند سبب ممانعت از پراکسیداسیون لیپید ناشی از تنش شود (Wang *et al.*, 2009). در شرایط تنش با افزایش میزان گاباکولین فعالیت آنزیم اورنیتین آمینو ترانسفراز که محدودکننده میزان پرولین است، کاهش یافته و به این ترتیب بر میزان پرولین افزوده خواهد شد (نجات، ۱۳۹۳). در بررسی اثر آلاینده‌های هوا بر میزان پرولین گیاه اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) گزارش شده با توجه به ارتباط میزان پرولین و پراکسیداسیون لیپیدها، تجمع پرولین می‌تواند از آسیب به غشاء سلولی جلوگیری کرده و در نتیجه موجب پایداری سلول در شرایط تنش آلودگی هوا گردد (Seyyednejad and Koochak, 2011).

تأثیر آلاینده‌های مورد بررسی بر محتوای پروتئین کل: با توجه به جدول تجزیه واریانس، آلاینده‌های محیطی بر محتوای پروتئین بافت گیاه سانسوریا تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). کمترین میزان پروتئین برگ در گیاه سانسوریا تحت تأثیر استون ppm ۲۵ و سپس بدون تفاوت معنی‌دار در تیمار شاهد با میانگین ۲۰/۱۸ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر مشاهده گردید (شکل ۲). بیشترین میزان پروتئین نیز مشابه با میزان پرولین در تیمار استون با غلظت ppm ۵۰ با میانگین ۱۱۸/۲٦ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر حاصل شد که با دیگر سطوح تیماری تفاوت معنی‌دار ایجاد کرده است.



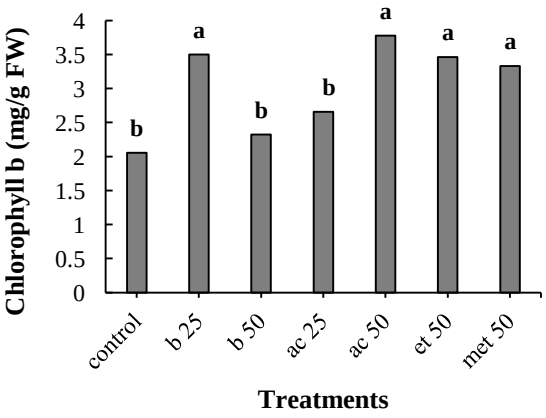
شکل ۲: تأثیر آلاینده‌های محیطی مورد بررسی بر میزان پروتئین گیاه سانسوریا (Control: شاهد، b 25: بنزن ۲۵ ppm، b 50: بنزن ۵۰ ppm، ac 25: استون ۲۵ ppm، ac 50: استون ۵۰ ppm، et 50: اتانول ۵۰ ppm و met 50: متانول ۵۰ ppm).

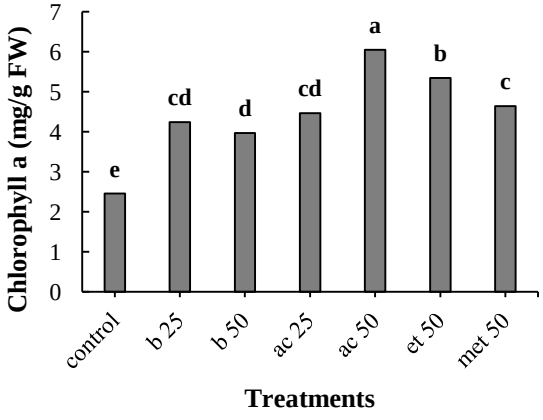
Figure 2: Effect of air pollutants on proteins content of Sansevieria (Control: control, b 25: benzene 25 ppm, b 50: benzene 50 ppm, ac 25: acetone 25 ppm, ac 50: acetone 50 ppm, et 50: ethanol 50 ppm and met 50: methanol 50 ppm).

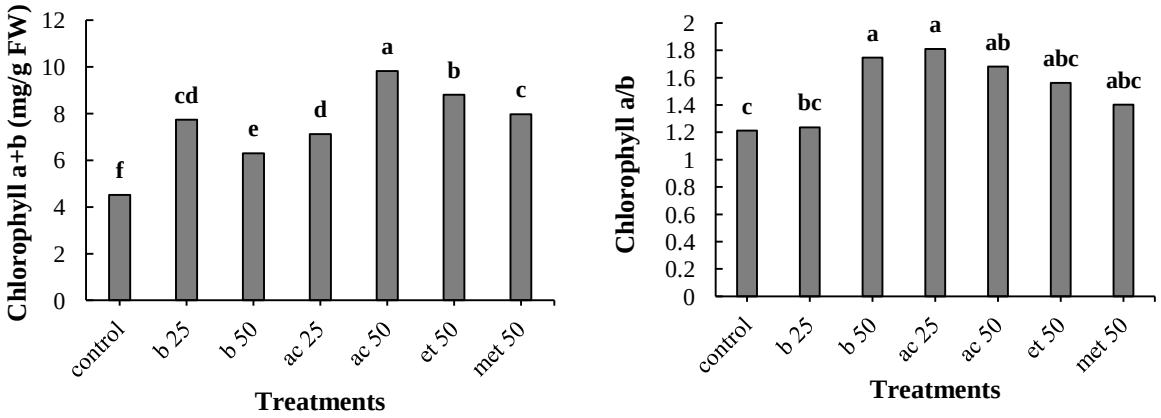
تنش‌های محیطی نظیر آلودگی هوا با ترکیبات آلی فرار موجب ایجاد تنش و در نتیجه ایجاد پاسخ به این تنش در گیاه می‌گردد. از جمله پاسخ‌های گیاهان به این تنش‌ها افزایش میزان پروتئین‌هاست. در این پژوهش نیز میزان پروتئین‌ها تحت تنش در بافت گیاهی افزایش معنی‌داری در گیاه سانسوریا از خود نشان داد (شکل ۲). افزایش پروتئین‌ها در شرایط تنش به دلایل مختلفی انجام می‌گیرد. یکی از این دلایل، تأمین و افزایش سطح منابع نیتروژنی برای تبدیل به مواد دیگر به عنوان عنصر واسطه و یا عمل به عنوان ذرات اسمولیت می‌باشد. همچنین افزایش محتوای پروتئینی گیاه موجب تغییر الگوی بیان ژن‌های مقاومت گیاهی شده و به این ترتیب افزایش مقاومت به تنش تضمین می‌گردد (Baghali *et al.*, 2011). محققین دریافتند که افزایش میزان پروتئین بافت گیاه به دلیل افزایش برخی از آنزیم‌ها نظیر آنزیم‌های تجزیه کننده قندهای نامحلول است که با توجه به افزایش میزان قند محلول در گیاهان رشد یافته در محیط آلوده به گازهای گلخانه‌ای نسبت به محیط غیرآلوده، به نظر می‌رسد میزان آنزیم‌های تجزیه کننده قندهای نامحلول بالا رفته و به طور غیرمستقیم سبب افزایش مقدار پروتئین‌های کل گیاه می‌گردد. همچنین می‌تواند به دلیل افزایش سنتز پروتئین‌ها و پلی‌پپتیدهای مرتبط با سیستم دفاعی سلول‌ها در مقابل انواع تنش باشد. همچنین در شرایط تنش آلودگی با گازهای گلخانه‌ای، افزایش میزان mRNAهای سلولی رخ داده و به این ترتیب موجب افزایش محتوای پروتئین کل می‌گردد (یارقلی و همکاران، ۱۳۸۷). در همین راستا گزارش شده که تغییر در فعالیت آنزیم‌های نوکلئولیتیک و پروتئولیتیک می‌تواند موجب القای سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌های دفاعی نظیر پروتئین‌های خاص شود

(علـومی و منـوچهری کلانتـری، ۱۳۸۲). Kapoor و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشابه با یافته‌های این پـژوهش گزارش کردند که گیاهـان *Dalbergia sissoo* Roxb تحت شرایط تـنش آلـودگی هـوا، محتـوای پـروتئین بیشـتری نسـبت بـه شـرایط عـادی دارنـد. در گیـاه *Cassia fistula* مقدار پروتئین کل در مناطق آلوده به گازهای گلخانـه‌ای نسـبت بـه گیاهـان منـاطق پـاک کاهش نشان داد، در صورتی که مقدار آن در گیاهـان *Heliotropium baceiferum* و *Tevetia neralfoia* نسبت به گیاهان شاهد افـزایش نشـان داد (Ali and El-Yemeni, 2010).

تأثیر آلاینده‌های مـورد بررسـی بـر رنگیـزه‌هـای فتوسـنتزی: بـا توجـه بـه جـدول تجزیـه واریـانس، آلاینده‌های محیطی بر میزان کلروفیـل a، b و کـل در سطح احتمال یک درصد و بر نسبت کلروفیل a/b در سطح احتمال پنج درصد تـأثیر معنـی‌دار داشـتند امـا نتوانستند تأثیری بـر محتـوای کاروتنوئیـدهای بـرگ سانسوریا بگذارند (جدول ۱). بـا توجـه بـه نمـودار، بیشترین میزان کلروفیل a و b در تیمـار اسـتون ppm ۵۰ به‌ترتیب با میانگین ٦/٠٤ ۳/۷۷ میلی‌لیتر بـر گـرم وزن تر حاصل شد که در کلروفیل a با دیگر سـطوح تیمـاری تفـاوت معنـی‌داری دارد امـا در کلروفیـل b تفاوت معنی‌داری با بنـزن ppm ۲۵، اتـانول ppm ۵۰ و متانول ppm ۵۰ ندارد. کمترین میزان کلروفیـل a و b برگ در تیمار شاهد بـه ترتیـب بـا مقـادیر ۲/٤٥ و ۲/۰۵ میلی‌لیتر بـر گـرم وزن تـر در گیـاه سانسـوریا مشاهده شـد کـه بـا سـایر سـطوح تیمـاری تفـاوت معنی‌دار دارد. نتایج نشان می‌دهد که میزان کلروفیل a و b تحـت تـنش آلاینـده‌هـای محیطـی در گیـاه سانسوریا افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهـان شـاهد داشته که می‌تواند ناشی از سـطح تحمـل بـالای ایـن گیاه نسبت به شرایط تنش‌زا باشد.







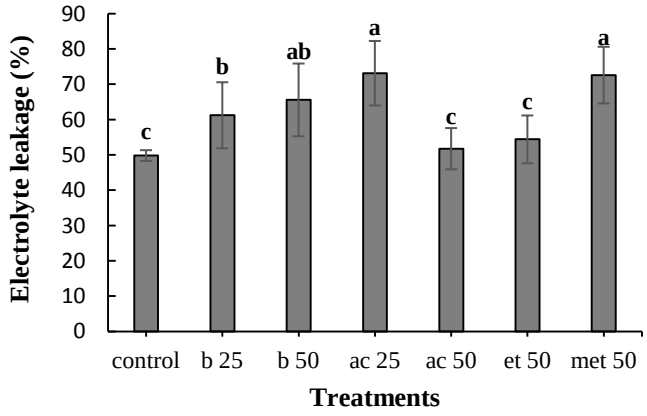
شکل ۳: تأثیر آلاینده‌های محیطی مورد بررسی بر میزان کلروفیل *a*، *b*، کل و نسبت کلروفیل *a/b* در برگ گیاه سانسوریا (Control: شاهد، b 25: بنزن ۲۵ ppm، b 50: بنزن ۵۰ ppm، ac 25: استون ۲۵ ppm، ac 50: استون ۵۰ ppm، et 50: اتانول ۵۰ ppm و met 50: متانول ۵۰ ppm).

Figure 3: Effect of air pollutants on chlorophyll a, b, a+b and chlorophyll a/b ratio in Sansevieria leaves (Control: control, b 25: benzene 25 ppm, b 50: benzene 50 ppm, ac 25: acetone 25 ppm, ac 50: acetone 50 ppm, et 50: ethanol 50 ppm and met 50: methanol 50 ppm)

بیشترین مقدار کلروفیل کل (a+b) تحت تأثیر استون ۵۰ ppm با میانگین ۹/۸۲ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر و کمترین میزان در تیمار شاهد با میانگین ٤/٥١ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر حاصل شد که با سایر سطوح تیماری تفاوت معنی‌داری داشتند. کمترین نسبت کلروفیل a/b نیز در تیمار شاهد با میانگین ۱/۲۱ مشاهده گردید (شکل ۳). افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و همچنین کلروفیل کل برگ گیاهان در مواجهه با آلودگی هوا، با تحریک فعالیت فتوسنتزی گیاه مرتبط است. بسیاری از تغییرات رشد و فیزیولوژی گیاهان که در پاسخ به آلودگی هوا ایجاد می‌شوند، پاسخ جبرانی زیستی به انواع تنش‌های محیطی هستند و استراتژی جبرانی عمده در برابر تنش‌ها در اکثر گیاهان، کاستن از آسیب‌های به وجود آمده از تنش است (Woo *et al*., 2007). بر این اساس تنش آلودگی هوا در برخی گیاهان موجب افزایش وزن تر و خشک برگ‌های آلوده و در نتیجه منجر به افزایش کلروفیل کل برگ می‌گردد (Seyyednejad *et al*., 2011). در این پژوهش، میزان کلروفیل a، b و کل در گیاه سانسوریا تحت تأثیر گازهای آلاینده افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد (بدون تنش) نشان داد (شکل ۲). افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل تحت اثر تنش آلودگی هوا می‌تواند به دلیل افزایش تعداد برگ‌ها و در نتیجه افزایش سطح فتوسنتزی گیاه باشد. حفظ و افزایش کلروفیل گیاه در معرض آلودگی هوا می‌تواند نشانه تحمل و مقاومت گیاه نسبت به آلودگی هوا باشد (Singh and Verma, 2007). با بررسی اثر آلودگی هوا بر محتوای کلروفیل گیاهان *Moltkiopsis ciliate* و *Tevatia neralfoia* و گیاه قیچ مشخص شد که در پاسخ به آلودگی هوا میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌طور چشمگیری افزایش نشان داد (Ali and El-Yemeni, 2010). میزان رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در منطقه دارای آلودگی هوا، در برگ گیاه *Eucalyptus camaldulensis* به‌ترتیب به میزان ۸/۳۹، ۸/۹٦ و ۸/۵۸ درصد افزایش

یافت (Seyyednejad and Koochak, 2011). افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌تواند تحت تأثیر افزایش فعالیت فتوسنتزی در برگ به دلیل بالا بودن مقاومت گیاه به تنش آلودگی باشد. این افزایش در این شرایط جهت بهبود مقاومت گیاه در مقابل آلاینده‌ها از طریق تولید و سنتز رنگیزه‌ها انجام می‌گیرد. در نتیجه به نظر می‌رسد شرایط تنش‌زای گازهای آلاینده علاوه بر این که بر سنتز و ساختمان و عملکرد رنگیزه‌ها تأثیر منفی نداشته بلکه موجب افزایش آنها شده است (جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۷).

تأثیر آلاینده‌های مورد بررسی بر نشت یونی: با توجه به جدول تجزیه واریانس، آلاینده‌های محیطی بر نشت الکترولیت‌ها از غشای سلولی برگ سانسوریا در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۱). طبق نمودار ٤، بیشترین نشت یونی از غشای سلولی گیاهان تیمار شده با استون ppm ۲۵ با میانگین ۷۳/۱۳ درصد مشاهده شد که نشانگر بیشترین آسیب به غشای سلولی است که البته با تیمار متانول ppm ۵۰ و بنزن ppm ۵۰ به‌ترتیب با مقادیر ۷۲/٦ و ٦۵/۵۷ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد. کمترین آسیب به غشای سلولی در تیمار شاهد و سپس استون ppm ۵۰ و اتانول ppm ۵۰ به‌ترتیب با میانگین ٤۹/۸۱، ۵۱/۷۵ و ٥٤/٤ درصد مشاهده شد (شکل ٤).



شکل ٤: تأثیر آلاینده‌های محیطی مورد بررسی بر نشت یونی غشای سلولی برگ سانسوریا (Control: شاهد، b 25: بنزن ppm ۲۵، b 50: بنزن ppm ۵۰، ac 25: استون ppm ۲۵، ac 50: استون ppm ۵۰، et 50: اتانول ppm ۵۰ و met 50: متانول ppm ۵۰).

Figure 4: Effect of air pollutants on electrolytes leakage of Sansevieria (Control: control, b 25: benzene 25 ppm, b 50: benzene 50 ppm, ac 25: acetone 25 ppm, ac 50: acetone 50 ppm, et 50: ethanol 50 ppm and met 50: methanol 50 ppm).

احتمالاً مواجهه گیاهان با انواع گازهای آلاینده باعث تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن واکنشگر شده که به این ترتیب بروز آسیب اکسیداتیو به غشای سلولی گیاه دور از انتظار نیست. بر این اساس، با افزایش نفوذپذیری غشا، میزان الکترولیت بیشتری از آن خارج شده و لذا موجب مرگ سلول‌ها می‌گردد. مطالعات اثرات نامطلوب گازهای آلاینده روی غشای سلولی را گزارش کرده‌اند. در پژوهشی گزارش شده که کمترین نشت یونی در برگ گیاهان شاهد (بدون تنش) و بیشترین نشت از سلول‌های

برگ گیاهان *Brachylaena discolor* تحت تنش گازهای آلاینده ثبت شد که علت آن افزایش تولید و فعالیت گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROSs) می‌باشد (Areington *et al.*, 2015). آلودگی هوا باعث افزایش پراکسیداسیون غشاء در گیاه سانسوریا شد. افزایش نشت یونی به‌واسطه آسیب به غشای سلولی توسط گازهای آلاینده در گندم (Zheng *et al.*, 2012)، *Brachylaena discolor* (Areington *et al.*, 2017)، *Quercus mongolica* (Yan *et al.*, 2010)، سه گونه گیاهی فضای سبز (Duan *et al.*, 2019)، *Eriobotrya japonica* (Elloumi *et al.*, 2017) و تنباکو (Wang *et al.*, 2019) گزارش شده است که منطبق با نتایج حاصل از این آزمایش می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تأثیر آلاینده‌های مورد بررسی بر شاخص‌های فتوسنتزی و مقاومت گیاه سانسوریا و نیز سازگاری خوب این گیاه به شرایط موجود در مکان‌های مسقف، به نظر می‌رسد گیاه مناسبی برای نگهداری در محیط‌های آلوده به این ترکیبات مانند بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها و غیره باشد. با این حال، با توجه به نتایج، وجود استون در مقادیر بالا در فضای داخلی ساختمان تأثیر منفی بر شاخص‌های رشدی و مقاومتی این گیاه نسبت به اتانول، متانول و بنزن می‌گذارد که می‌توان کارایی این گیاه در ترکیب با گیاهان دیگر را نیز در جذب استون مورد ارزیابی قرار داد. در بررسی‌های بعدی می‌توان به نقش این گیاه در جذب و گیاه پالایی این ترکیبات پرداخت.

منابع

۱) جلیلیان، ز.، س. سیدنژاد، م. و ح، معتمدی. ۱۳۹۷. تاثیر آلودگی هوا برفعالیت آنتی اکسیدانی دو گیاه کنار (*Ziziuph spina –christa*) و ناترک (*Dodonaea viscosa*) رشد یافته در اطراف پالایشگاه نفت. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۸): ۳۰-۱۶.

۲) علومی، ح. و خ. منوچهری‌کلانتری. ۱۳۸۲. مطالعه اثر کادمیوم کلراید بر پارامترهای رشد، محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها و محتوای قند و پروتئین در گیاهک کلزا (*Brassica napus*). پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۵۹: ۸۰-۷٤.

۳) نجات، ج. ۱۳۹۳. مطالعه اثر آلودگی هوا بر خصوصیات تشریحی، ریخت شناسی و بیوشیمیایی گونه های خارشتر، یونجه وحشی و اکلیل الملک، رشد یافته در منطقه صنعتی نیشکر هفت تپه. پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۳۳ صفحه.

٤) یارقلی، ب.، عباسی، ف. و ع، لیاقت. ۱۳۸۷. بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در اندام‌های مختلف محصولات جالیزی رایج در ایران. نشریه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۵۸: ۷۸-۷۰.

5) Agbaire, O. P. 2016. Impact of air pollution on proline and soluble sugar content of selected plant species. Chem Mater Res, 8(5): 72-76.

6) Ali, A. A. and El-Yemeni, M. N. 2010. Atmospheric air pollution effects on some exhibited plants at Aljubail Industrial City, KSA. I-Physiological characteristics and antioxidant enzymes. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(6): 1251-1263.

7) Areington, C. A. and Varghese, B. 2017. The utility of biochemical, physiological and morphological biomarkers of leaf sulfate levels in establishing Brachylaena discolor leaves as a bioindicator of SO_2 pollution. Plant physiology and biochemistry, 118: 295-305.

8) Areington, C. A., Varghese, B. and Ramdhani, S. 2015. An assessment of morphological, physiological and biochemical biomarkers of industrial air pollution in the

18) Fusaro, L., Marando, F., Sebastiani, A., Capotorti, G., Blasi, C., Copiz, R. and Manes, F. 2017. Mapping and assessment of PM10 and O3 removal by woody vegetation at urban and regional level. Remote sensing, 9(8): 791.
19) Gong, Y., Zhou, T., Wang, P., Lin, Y., Zheng, R., Zhao, Y. and Xu, B. 2019. Fundamentals of Ornamental Plants in Removing Benzene in Indoor Air. Atmosphere, 10(4): 221.
20) Guieysse, B., Hort, C., Platel, V., Munoz, R., Ondarts, M. and Revah, S. 2008. Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges. Biotechnology advances, 26(5): 398-410.
21) Hao, J., Zhu, T. and Fan, X. 2014. Indoor air pollution and its control in China. In Indoor air pollution (pp. 145-170). Springer, Berlin, Heidelberg.
22) Irga, P. J., Paull, N. J., Abdo, P. and Torpy, F. R. 2017. An assessment of the atmospheric particle removal efficiency of an in-room botanical biofilter system. Building and Environment, 115: 281-290.
23) Irga, P. J., Pettit, T., Irga, R. F., Paull, N. J., Douglas, A. N. and Torpy, F. R. 2019. Does plant species selection in functional active green walls influence VOC phytoremediation efficiency?. Environmental Science and Pollution Research, 26(13): 12851-12858.
24) Joshi, N., Chauhan, A. and Joshi, P. C. 2009. Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. The Environmentalist, 29(4): 398-404.
25) Kapoor, C. S., Bamniya, B. R. and Kapoor, K. 2013. Efficient control of air pollution through plants, a cost-effective alternative: studies on Dalbergia sissoo Roxb. Environmental Monitoring and Assessment, 185(9): 7565–7580.
26) Mbugua, P. K. and Moore, D. M. 1996. Taxonomic studies of the genus Sansevieria (Dracaenaceae). In The Biodiversity of African Plants (pp. 489-492). Springer, Dordrecht.
27) McCollum, T. G. and McDonald, R. E. 1991. Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling leaves of Brachylaena discolor. Water, Air, & Soil Pollution, 226(9): 291.
9) Baghali, Z., Majd, A., Chehregani, A., Pourpak, Z., Ayerian, S. and Vatanchian, M. 2011. Cytotoxic effect of benzo (a) pyrene on development and protein pattern of sunflower pollen grains. Toxicological & Environmental Chemistry, 93(4): 665-677.
10) Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973 Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
11) Bolden, A. L., Kwiatkowski, C. F. and Colborn, T. 2015. New look at BTEX: are ambient levels a problem?. Environmental science & technology, 49(9): 5261-5276.
12) Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry, 72(1-2): 248-254.
13) Brown, N. E. 1915. Sansevieria. A monograph of all the known species. Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew): 185-261.
14) De Kempeneer, L., Sercu, B., Vanbrabant, W., Van Langenhove, H. and Verstraete, W. 2004. Bioaugmentation of the phyllosphere for the removal of toluene from indoor air. Applied microbiology and biotechnology, 64(2): 284-288.
15) Duan, J., Fu, B., Kang, H., Song, Z., Jia, M., Cao, D. and Wei, A. 2019. Response of gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence to acute sulfur dioxide exposure in landscape plants. Ecotoxicology and environmental safety, 171: 122-129.
16) Eevers, N., White, J. C., Vangronsveld, J. and Weyens, N. 2017. Bio-and phytoremediation of pesticide-contaminated environments: a review. In Advances in botanical research, 83: 277-318. Academic Press.
17) Elloumi, N., Zouari, M., Mezghani, I., Ben Abdallah, F., Woodward, S. and Kallel, M. 2017. Adaptive biochemical and physiological responses of Eriobotrya japonica to fluoride air pollution. Ecotoxicology, 26(7): 991–1001.

36) Singh, S.N. and Verma, A. 2007. Phytoremediation of air pollutants: a review. In Environmental bioremediation technologies. (pp. 293-314). Springer, Berlin, Heidelberg.
37) Siswanto, D. 2017. Potentiality of Plant Combination for Removing Indoor Air Pollutants: Fundamental Physiology of Euphorbia milii, Sansevieria trifasciata, and Dieffenbachia seguine–A Review. Proceeding of The 7th Annual Basic Science International Conference. pp 69-70.
38) Siswanto, D., Permana, B. H., Treesubsuntorn, C. and Thiravetyan, P. 2020. Sansevieria trifasciata and Chlorophytum comosum botanical biofilter for cigarette smoke phytoremediation in a pilot-scale experiment—evaluation of multi-pollutant removal efficiency and CO2 emission. Air Quality, Atmosphere & Health, 13(1): 109-117.
39) Sriprapat, W. and Thiravetyan, P. 2016. Efficacy of ornamental plants for benzene removal from contaminated air and water: Effect of plant associated bacteria. International Biodeterioration & Biodegradation, 113: 262-268.
40) Styszko, K., Samek, L., Szramowiat, K., Korzeniewska, A., Kubisty, K., Rakoczy-Lelek, R. and Giebl, A. K. 2017. Oxidative potential of PM10 and PM2. 5 collected at high air pollution site related to chemical composition: Krakow case study. Air Quality, Atmosphere & Health, 10(9): 1123-1137.
41) Tripathi, A. K. and Gautam, M. 2000. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. Journal of Environmental Biology, 28(1): 127.
42) Ullah, H., Treesubsuntorn, C. and Thiravetyan, P. 2021. Enhancing mixed toluene and formaldehyde pollutant removal by Zamioculcas zamiifolia combined with Sansevieria trifasciata and its CO 2 emission. Environmental Science and Pollution Research, 28(1): 538-546.
43) Vorholt, J. A. 2012. Microbial life in the phyllosphere. Nature Reviews Microbiology, 10(12): 828-840.
injury in grapefruit. HortScience, 26(9): 1191-1192.
28) Muhammad, J., Ijaz, M., Salma, P., Tayybah, N., Arshad, A., Sami, U. J. and Shafiq, U. R. 2013. Smoke priming, a potent protective agent against salinity: Effect on proline accumulation, elemental uptake, pigmental attributes and protein banding patterns of rice (Oryza Sativa). Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 9(1).
29) Pipal, A. S., Kumar, A., Jan, R. and Taneja, A. 2012. Role of plants in removing indoor air pollutants. In Chemistry of phytopotentials: health, energy and environmental perspectives (pp. 319-321). Springer, Berlin, Heidelberg.
30) Porra, R. J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.
31) Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Małecka-Przybysz, M., Stankiewicz-Kosyl, M., Skwara, M., Kłos, A. and Sikorski, P. 2020. Urban wastelands: On the frontline between air pollution sources and residential areas. Science of The Total Environment, 721: 137695.
32) Rajput, M. and Agrawal, M. 2004. Physiological and yield responses of pea plants to ambient air pollution. Indian Journal of Plant Physiology, 9: 9-14.
33) Sekine, Y., Katori, R., Tsuda, Y. and Kitahara, T. 2016. Colorimetric monitoring of formaldehyde in indoor environment using built-in camera on mobile phone. Environmental technology, 37(13): 1647-1655.
34) Seyyednejad, S. M., & Koochak, H. 2011. A study on air pollution effects on Eucalyptus camaldulensis. In International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology, 16: 98-101.
35) Seyyednejad, S. M., Niknejad, M. and Koochak, H. 2011. A review of some different effects of air pollution on plants. Research Journal of Environmental Sciences, 5(4): 302-309.

44) Wang, F., Zeng, B., Sun, Z. and Zhu, C. 2009. Relationship between proline and Hg 2+-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. Archives of environmental contamination and toxicology, 56(4): 723.
45) Wang, Y., Zhang, X. L., Hu, Y. B., Teng, Z. Y., Zhang, S. B., Chi, Q. and Sun, G. Y. 2019. Phenotypic response of tobacco leaves to simulated acid rain and its impact on photosynthesis. Int. J. Agric. Biol, 21: 391-398.
46) Wolverton, B. C., Johnson, A. and Bounds, K. 1989. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. NASA Stennis Space Center: New York, NY, USA.
47) Woo, S. Y., Lee, D. K. and Lee, Y. K. 2007. Net photosynthetic rate, ascorbate peroxidase and glutathione reductase activities of Erythrina orientalis in polluted and non-polluted areas. Photosynthetica, 45(2):, 293-295.
48) Yan, K., Chen, W., He, X., Zhang, G., Xu, S. and Wang, L. 2010. Responses of photosynthesis, lipid peroxidation and antioxidant system in leaves of Quercus mongolica to elevated O3. Environmental and Experimental Botany, 69(2): 198-204.
49) Yu, B. F., Hu, Z. B., Liu, M., Yang, H. L., Kong, Q. X. and Liu, Y. H. 2000. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. International journal of refrigeration, 32(1): 3-20.
50) Zheng, Y. H., Li, X., Li, Y. G., Miao, B. H., Xu, H., Simmons, M. and Yang, X. H. 2012. Contrasting responses of salinity-stressed salt-tolerant and intolerant winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to ozone pollution. Plant Physiology and Biochemistry, 52: 169-178.