



اثر گردوغبار بر پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیک نهال زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)

زینب جوانمرد^۱، مسعود طبری کوچکسرایبی^{۲*}، حسینعلی بهرامی^۲، سید محسن حسینی^۲ و سید علی مدرس ثانوی^۴

^۱ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
^۲ استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
^۳ دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
^۴ استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰)

چکیده

هدف این تحقیق، ارزیابی تأثیرات گردوغبار بر صفات مورفوفیزیولوژیک نهال زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)، به‌عنوان گونه‌ای پرکاربرد در فضای سبز شهری است. تنش گردوغبار با غلظت‌های صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز گردوغبار در محیط گلخانه اعمال شد. آزمایش در پنج تکرار (نه اصله نهال در هر تکرار) در یک دوره ۴۵ روزه (با تناوب هر هفته) در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت پذیرفت. غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار، سبب ظهور علائم کلروز و نکروز در برگ شد. سطح ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار در مقایسه با شاهد سبب کاهش پارامترهای زنده‌مانی (۲۹ درصد)، رویش قطری (۳۸ درصد) و ارتفاعی (۳۳ درصد)، سطح برگ (۱۹ درصد)، فتوسنتز (۴۵ درصد)، تعرق (۶۰ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۴۶ درصد)، هدایت مزوفیلی (۵۵ درصد)، شاخص کلروفیل یا اسپد (۲۳ درصد)، حداکثر فلئورسانس کلروفیل پس از تابش نور به برگ یا F_m (۲۲ درصد)، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II یا F_v/F_m (۲۲ درصد)، افزایش غلظت CO_2 درون سلولی (۲۲ درصد)، کارایی مصرف آب (۴۰ درصد)، دمای برگ (۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد)، حداقل فلئورسانس کلروفیل پس از عادت یافتن برگ به تاریکی یا F_o (۳۰ درصد) و $T_{1/2}$ یا نصف مدت زمان لازم برای رسیدن F_o به F_m (۱۴ درصد) شد. در کل، نظر به یافته‌های این تحقیق، برای توسعه درختکاری و مقابله با پدیده گردوغبار در فضاهای شهری و برون‌شهری مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، نهال زبان گنجشک می‌تواند در مناطقی کاشته شود که مقدار گردوغبار کمتر از ۷۵۰ میکروگرم بر متر مکعب است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، رشد، زبان گنجشک، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

طبیعی خود خارج و به چالشی نگران‌کننده تبدیل شده است (Naidoo & Chirkoot, 2004). این پدیده در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌ویژه در عرض‌های جنب‌حاره‌ای از مهم‌ترین علل

گردوغبار^۱، یکی از آلاینده‌های هوا و از مهم‌ترین پیامدهای نامطلوب تغییر اقلیم و فعالیت‌های مخرب انسانی است که وقوع آن در چند دهه اخیر از روند

Malus pumila Mill.، *Ulmus laevis* Pall.، *Diospyrus kaki* L. و *Ginkgo biloba* از گونه‌های مناسب برای کاهش تأثیرات مخرب توفان‌های گردوغبار و نیز دارای پتانسیل زیاد جذب گردوغبار برای تصفیه هوا معرفی شدند. نتایج تحقیق Nanos & Ilias (2007) در زمینه بررسی تأثیر گردوغبار بر پارامترهای فیزیولوژیک *Olea europaea* L.، حاکی از کاهش فتوسنتز، تعرق، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a به b و افزایش دمای برگ همراه بود. در تحقیقی Siqueira-Silva et al. (2016b)، با بررسی تأثیر آلودگی به گردوغبار سیمان با مقادیر صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع در طی یک دوره ۴۱ روزه روی برگ *Cedrela fissilis* Vell. دریافتند که با افزایش گردوغبار، مقادیر کلروفیل a و b، محتوای کلروفیل کل، کارتنوئید، نسبت کلروفیل a به b و فلئورسانس کلروفیل کاهش یافت. نتایج تحقیق Taheri Analojeh et al. (2016) با اعمال گردوغبار ۱، ۲ و ۴ گرم بر سانتی‌متر مربع (یک ماه با تناوب هر هفته) روی *Cupressus sempervirens*، *Pinus eldarica* و *Ligustrum ovalifolium* نشان داد که افزایش گردوغبار تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل و کارتنوئید گونه‌های *P. eldarica* و *C. sempervirens* نداشت، اما در *L. ovalifolium* محتوای کلروفیل، طول ساقه و تعداد برگ افزایش یافت. همچنین در گزارش Moradi et al. (2017) تعداد روزنه‌های مسدود توسط گردوغبار در گونه‌های *Q. infectoria*، *Q. libani* و *Q. brantii* به ترتیب ۳۸/۱، ۴۸/۴۴ و ۶۱/۶ درصد بود و نهال‌های گردوغباری هر سه گونه در مقایسه با شاهد از میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب کمتر و غلظت CO₂ درون سلولی بیشتر برخوردار بودند.

با وجود تأثیر نامطلوب گردوغبار بر گیاهان، پتانسیل غبارزدایی درختان به‌خصوص در مناطق

کاهش کیفیت هوا به‌شمار می‌رود (Goudie, 2009). در این میان، خاورمیانه، یکی از پنج کانون اصلی تولید گردوغبار جهان به حساب می‌آید. ایران دومین کشور بزرگ خاورمیانه است که به‌واسطه عوامل طبیعی و انسانی به‌خصوص مجاورت با بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان در معرض سیستم‌های متعدد گردوغبار قرار دارد، به‌طوری که ۲۲ استان آن با این معضل جدی روبه‌روست (Azizi et al., 2012).

پدیده گردوغبار هم از منظر تهدید سلامت جوامع بشری و هم از نظر تأثیر سوء بر خدمات، تولید اکوسیستم‌ها و کاهش تنوع زیستی (اعم از گیاهی و جانوری) از مهم‌ترین و بحرانی‌ترین معضلات زیست‌محیطی جهان به‌شمار می‌رود. در این بین، گیاهان به‌علت ساکن بودن و به‌عنوان گیرنده‌های اولیه آلودگی هوا، بیشتر از موجودات دیگر در معرض آثار زیانبار این پدیده قرار دارند (Rai, 2013). این نوع تنش محیطی ممکن است به‌واسطه اثرهای فیزیکی و شیمیایی بر بخش‌های هوایی گیاه (همچون مسدود کردن روزنه‌ها، سایه‌اندازی و کاهش فعالیت فتوسنتزی، ریزش برگ و مرگ بافت‌های گیاهی، افزایش دما و تغییر رنگدانه برگ و محتوای کلروفیل) یا از راه تغییر در اسیدیته (pH) و شیمی خاک، جنبه‌های مختلف زندگی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین اثرهای گردوغبار بر گیاهان ممکن است زمینه‌ساز یا تشدیدکننده تنش‌های ثانویه مانند تنش آفات، بیماری‌ها و خشکی باشد (Grantez et al., 2003).

در چندین تحقیق، اثرهای نامطلوب گردوغبار بر پاسخ مورفوفیزیولوژیک گیاهان مختلف گزارش شده است. از جمله Xiong- Wen (2001) با تحقیق درباره پاسخ فیزیولوژی نهال ۲۲ گونه درختی به اعمال ۱ گرم بر سانتی‌متر مربع گردوغبار در شرایط گلخانه نتیجه گرفت که گردوغبار، فتوسنتز اغلب گونه‌ها را به‌طور معنی‌داری تغییر می‌دهد. همچنین

زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) به عنوان یک گونهٔ پرکاربرد در فضای سبز شهری را نسبت به مقادیر مختلف گردوغبار ارزیابی کند.

مواد و روش‌ها

در اواسط شهریور ۱۳۹۵، تعداد ۱۳۵ اصله نهال گلدانی یکسالهٔ زبان گنجشک از بهترین و همسان‌ترین نهال‌ها از نهالستان کرج تهیه شد. گلدان‌ها با ترکیب خاک، کود، ماسهٔ بادی و کوکوپیت با نسبت ۱:۱:۱:۲ پر شده بودند. سپس از نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از یکی از هفت کانون اصلی تولید گردوغبار در استان خوزستان (Heidarian et al., 2015)، واقع در جنوب و جنوب شرق اهواز (۵۵ کیلومتری جادهٔ ماهشهر- اهواز) که از لحاظ ژئومورفولوژیکی مستعد فرسایش بادی است، استفاده شد. نمونه‌های خاک، آسیاب شده و با صفحهٔ دستگاه الک با مش ۱۰۶ میکرون سرنده شدند و خاک باقی‌مانده در زیر دستگاه الک برای اعمال گردوغبار استفاده شد. جزئیات تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده برای اعمال گردوغبار در جدول ۱ ذکر شده است.

شهری (با متوسط گردوغبار ۰/۵ میلی گرم بر متر مکعب در مقابل غلظت ۰/۲ میلی گرم بر متر مکعب گردوغبار در مناطق غیرشهری) چنان اهمیتی دارد که از درختان به عنوان ریه‌های تنفسی شهرها یاد می‌شود. به طوری که یک خیابان بدون درخت ممکن است دارای ۱۲۰۰۰-۱۰۰۰۰ ذرهٔ معلق در لیتر و یک خیابان دارای درخت دارای ۳۰۰۰-۱۰۰۰ ذرهٔ معلق در لیتر باشد (Bernatzky, 1982). امروزه، ایجاد پوشش گیاهی به عنوان سپر سبز، در شمار روش‌های بیولوژیکی و اکولوژیکی کم‌هزینه و ساده برای مقابله با گردوغبار مطرح است. البته باید اذعان داشت که موفقیت طرح‌های فضای سبز شهری با هدف بهبود کیفیت هوا تا حد زیادی به آگاهی و شناخت پاسخ و مقاومت گونه‌های مدنظر (به‌ویژه در مراحل اولیه رشد) در مقابل آلودگی‌های شهری از جمله گردوغبار بستگی دارد (Khosropour et al., 2018). از این رو با توجه به نبود اطلاعات علمی در خصوص چگونگی تأثیرپذیری گونه‌های فضای سبز شهری کشور از تنش گردوغبار، تحقیق حاضر درصدد است با اجرای برخی حالات ممکن طبیعت در شرایط کنترل‌شدهٔ گلخانه‌ای، چگونگی پاسخ مورفوفیزیولوژیک نهال

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک استفاده شده برای گردوغبار

۰/۱۲	P ₂ O ₅ (درصد)	۰/۰۴	N (درصد)	رسی - لومی	بافت
۰/۰۱	V ₂ O ₅ (درصد)	۳۰/۴۲	SiO ₂ (درصد)	۴۴	شن (درصد)
۰/۰۱	NiO (درصد)	۶/۲	Al ₂ O ₃ (درصد)	۴۸/۶۶	رس (درصد)
۰/۰۳	Cr ₂ O ₃ (درصد)	۰/۴۱	TiO ₂ (درصد)	۷/۳۳	لای (درصد)
۱۵/۰۱	MgO (درصد)	۴/۲۱	Fe ₂ O ₃ (درصد)	۷/۲۹	هدایت الکتریکی (ds m ⁻¹)
۰/۰۱	CuO (درصد)	۲/۲۵	Na ₂ O (درصد)	۶/۶۵	pH
۰/۰۲	ZrO ₂ (درصد)	۲۴/۱۵	CaO (درصد)	۰/۶۸	(ppm) OM
۰/۱۲	P ₂ O ₅ (درصد)	۵/۱۱	MnO (درصد)	۱۳	(ppm) P
		۰/۳۵	K ₂ O (درصد)	۲۹۲	(ppm) K

NTX-3C) نشان می‌دهد. تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه سطح گردوغبار (مقادیر صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب) با پنج تکرار (هر تکرار شامل نه اصله نهال) انجام گرفت. شایان ذکر است که سطوح مقادیر گردوغبار به کار گرفته شده، براساس اطلاعات به دست آمده از سازمان حفاظت محیط زیست کشور در زمینه مقدار گردوغبار ثبت شده در استان‌های درگیر با پدیده گردوغبار انتخاب شد.

سپس محفظه‌هایی برای اعمال گردوغبار با پوشش پلاستیکی در ابعاد ۵×۳×۲ متر تهیه شد. آلودگی گردوغبار در سطوح ذکر شده از نمونه خاک‌های سرند شده با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز در مدت ۴۵ روز با تناوب هر هفته یک‌بار (از ساعت ۹ صبح تا ۱۲ ظهر) روی نهال‌ها اعمال شده و غلظت آن در هر یک از محفظه‌ها با دستگاه غبارسنج (مدل 176000A Microdust Pro Dust Monitor) تعیین شد. شکل ۱، رسوب گردوغبار روی برگ‌های زبان گنجشک را با میکروسکوپ بینوکولار (مدل



۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب

۷۵۰ میکروگرم بر متر مکعب

شاهد

شکل ۱- رسوب گردوغبار روی برگ زبان گنجشک (اخذ تصاویر با میکروسکوپ بینوکولار مدل NTX-3C)

هدایت روزنه‌ای (Gs)، غلظت CO₂ درون‌روزنه‌ای (Ci) و دمای برگ (CTleaf) در یک روز آفتابی و در هوای آزاد، در شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا (ساعت ۹ تا ۱۲ صبح) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی (Model LCpro+, ADC, BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) قابل حمل اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از هر تکرار، پنج برگ از بالغ‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین برگ‌ها از شاخه‌های بیرونی بالای نهال انتخاب شد. کارایی مصرف آب (WUE)^۱ از تقسیم فتوسنتز به تعرق، و هدایت مزوفیلی از تقسیم فتوسنتز به غلظت CO₂ درون سلولی (Ci) تعیین شد.

اندازه‌گیری‌ها

قطر یقه و ارتفاع همه نهال‌ها (به ترتیب با استفاده از کولیس دیجیتالی و خط‌کش) قبل از غباردهی و در پایان دوره غباردهی ثبت شد و از اختلاف این دو، رویش قطری و رویش ارتفاعی محاسبه شد. همچنین، در پایان دوره آزمایش، اندازه سطح برگ با استفاده از دستگاه (Model LI-3000, Li- Leaf Area Meter, Cor, Lincoln, NE, USA) و با انتخاب پنج برگ کاملاً توسعه‌یافته از قسمت بالای نهال محاسبه شد. میزان زنده‌مانی هم از طریق تقسیم تعداد نهال‌های زنده در هر تکرار به تعداد کل نهال‌های هر تکرار در پایان آزمایش تعیین شد (Azizi et al., 2014).

در پایان آزمایش، پارامترهای فیزیولوژیک نهال از جمله نرخ فتوسنتز خالص (A)، نرخ تعرق (E)،

1. Water Use Efficiency

تاریکی، مراکز واکنشی موجود به صورت کامل باز می شوند. سپس به این برگ ها به مدت چهار ثانیه یک پالس نوری در طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه تابیده شد و پارامترهای F_0 ، F_m ، F_v/F_m و $T_{1/2}$ (به ترتیب، بیانگر حداقل فلئورسانس کلروفیل پس از عادت یافتن برگ به تاریکی، حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در شرایط سازگار با تاریکی و نصف مدت زمان لازم برای رسیدن F_0 به F_m) ارزیابی شدند.

همچنین ویژگی هایی همانند شدت کلروز و نکروز برگ ظاهری نهال ها به ترتیب بر اساس طبقه بندی ارائه شده توسط (Khoshgoftarmansh et al. 2016) و (Erfani-Moghadam et al. 2013) ارزیابی شد (جدول ۲).

در پایان دوره آزمایش نیز شاخص کلروفیل (شاخص اسپد) با انتخاب پنج برگ بالغ و توسعه یافته از قسمت بالای نهال و پاک کردن غبار از سطح آنها توسط یک برس نرم و اندازه گیری در سه نقطه (در حد فاصل رگبرگ اصلی و حاشیه برگ) و ثبت میانگین این اعداد به عنوان عدد مربوط به هر برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج دستی (مدل CCM-200 plus, Opti-Sciences Inc, NH., USA) به طور مستقیم اندازه گیری شد.

فلئورسانس کلروفیل با دستگاه پرتابل فلورومتر (مدل Handy-PEA Portable fluorometer; Hansatech, UK) سنجیده شد. برای این کار، جوان ترین برگ های کاملاً توسعه یافته از بالای هر نهال و حاشیه تاج انتخاب شد و پس از پاک کردن گردوغبار روی آنها، با استفاده از گیره های مخصوص به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفتند. در این دوره از

جدول ۲- طبقه بندی شدت کلروز و نکروز برگ

شدت	کلروز	نکروز
ضعیف	کمتر از ۵ درصد برگ	۰-۱۰ درصد برگ
متوسط	کمتر از ۵۰ درصد برگ	۱۱-۵۰ درصد برگ
شدید	بیشتر از ۵۰ درصد برگ	۵۱-۸۰ درصد برگ
خیلی شدید	بیش از ۹۵ درصد برگ	۸۱-۱۰۰ درصد برگ

در مقایسه با دیگر تیمارها، علائم بیماری کلروز و نکروز برگ مشاهده شد و شدت وقوع این دو پدیده به ترتیب در طبقه های شدید و متوسط ارزیابی شد (شکل ۲). همچنین، نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر گردوغبار بر همه پارامترهای بررسی شده معنی دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین با آزمون دانکن نشان داد که با افزایش غلظت گردوغبار از سطح صفر تا ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، پارامترهای زنده ماندی، رویش قطری، رویش ارتفاعی و متوسط سطح برگ به ترتیب ۲۹، ۳۸، ۳۳ و ۱۹ درصد کاهش یافت (شکل ۳).

تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS version 23 انجام گرفت. نرمال بودن و همگنی واریانس داده ها به ترتیب با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و لون و مقایسه میانگین پارامترهای تحت بررسی با آزمون چنددامنه ای دانکن انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج

در پایان دوره ۴۵ روزه اعمال تنش، روی برگ های تیمار شده با ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار

۵۳ در صد بوده است (جدول ۳).

میزان زنده‌مانی در غلظت‌های صفر، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار به ترتیب، ۸۲، ۷۳ و

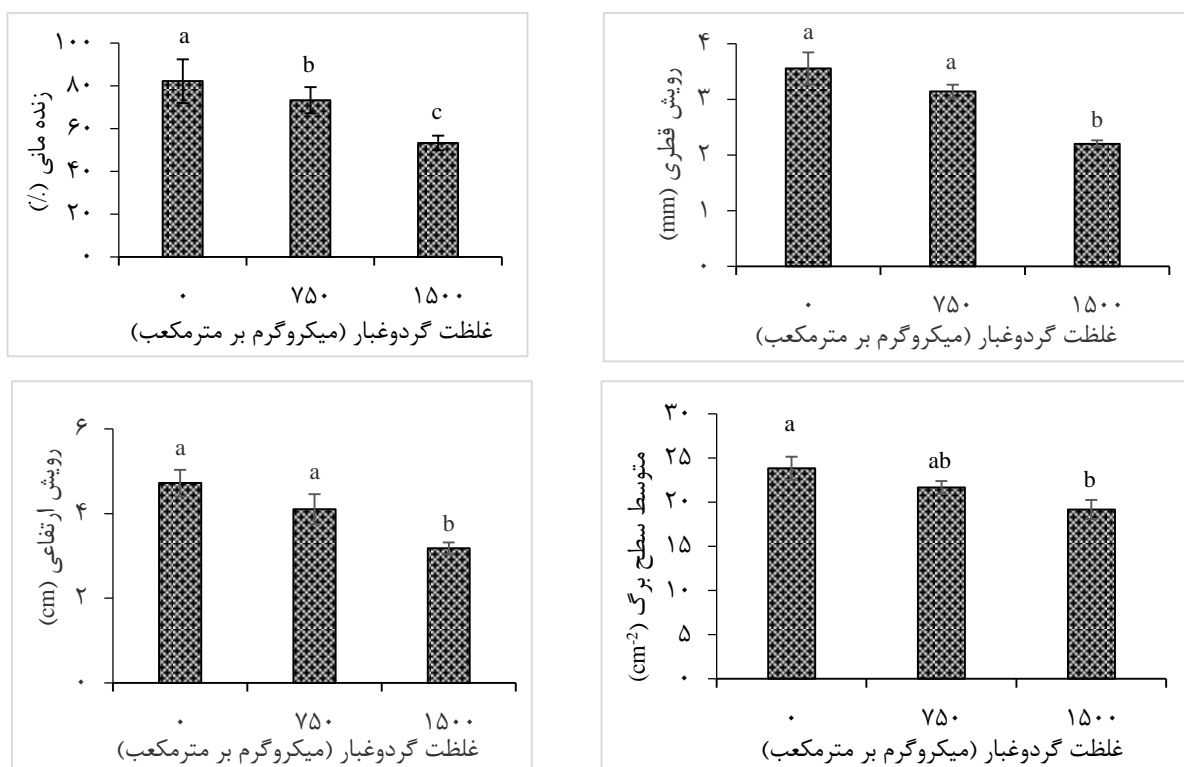


شکل ۲- وقوع پدیده کلروز یا تغییر رنگ (الف و ب) و نکروز یا لکه‌های قهوه‌ای در محل پیکان‌ها (ج) روی برگ زبان گنجشک در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار

جدول ۳- تجزیه واریانس یکطرفه صفات اندازه‌گیری شده نهال زبان گنجشک در غلظت‌های مختلف گردوغبار

P-value	F-value	MS	d.f.	SS	صفات
۰/۰۰۰	۴/۶۵۴	۴۳۷۸/۶۰۱	۲	۸۷۵۷/۲۰۲	زنده‌مانی (٪)**
۰/۰۰۵	۱۴/۲۷۶	۱/۴۴۵	۲	۲/۸۹۹	رویش قطری (mm) ^{ns}
۰/۰۲۵	۷/۳۰۶	۱/۸۰۲	۲	۳/۶۰۴	رویش ارتفاعی (mm)**
۰/۰۲۴	۴/۸۶۰	۳۲/۷۲۲	۲	۶۵/۴۴۴	سطح برگ (cm ²)*
۰/۰۰۰	۵۱/۷۱۹	۲۲/۷۶۵	۲	۴۵/۵۳۱	فتوسنتز (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)**
۰/۰۰۰	۸۳/۵۰۱	۲۴/۲۹۷	۲	۴۸/۵۹۴	تعرق (mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)**
۰/۰۰۰	۲۵۸/۲۴۵	۴۱۳۸۸/۹۰۳	۲	۸۲۷۷۷/۸۰۷	هدایت روزنه‌ای (mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)**
۰/۰۰۰	۱۱/۰۴۵	۱۳۶۰/۶۸۰	۲	۲۷۲۱/۳۵۹	غلظت CO ₂ درون سلولی (μmolCO ₂ mol ⁻¹)**
۰/۰۰۰	۶۱/۴۷۴	۰/۰۰۷	۲	۰/۰۱۵	هدایت مزوفیلی (mol m ⁻² s ⁻¹)**
۰/۰۰۱	۸/۵۹۴	۱/۵۸۷	۲	۳/۱۷۵	کارایی مصرف آب (μmolCO ₂ (mmol H ₂ O) ⁻¹)**
۰/۰۰۰	۵۹/۴۴۰	۲۷/۶۱۱	۲	۵۵/۲۲۳	دمای برگ (C°)**
۰/۰۰۱	۷/۳۳۴	۲۴۵/۰۹	۲	۴۹۰/۱۷۹	شاخص اسپد**
۰/۰۰۵	۸/۶۴۳	۰/۱۰۵	۲	۰/۲۱۱	** F0
۰/۰۰۰	۱۹/۷۲۱	۰/۴۴۷	۲	۰/۸۹۴	** Fm
۰/۰۰۱	۲۳/۲۷۷	۰/۰۲۴	۲	۰/۰۴۹	* Fv/Fm
۰/۰۰۲	۱۰/۷۳۸	۸۶۷/۲۶۷	۲	۱۷۳۴/۵۳۳	** T _{1/2}

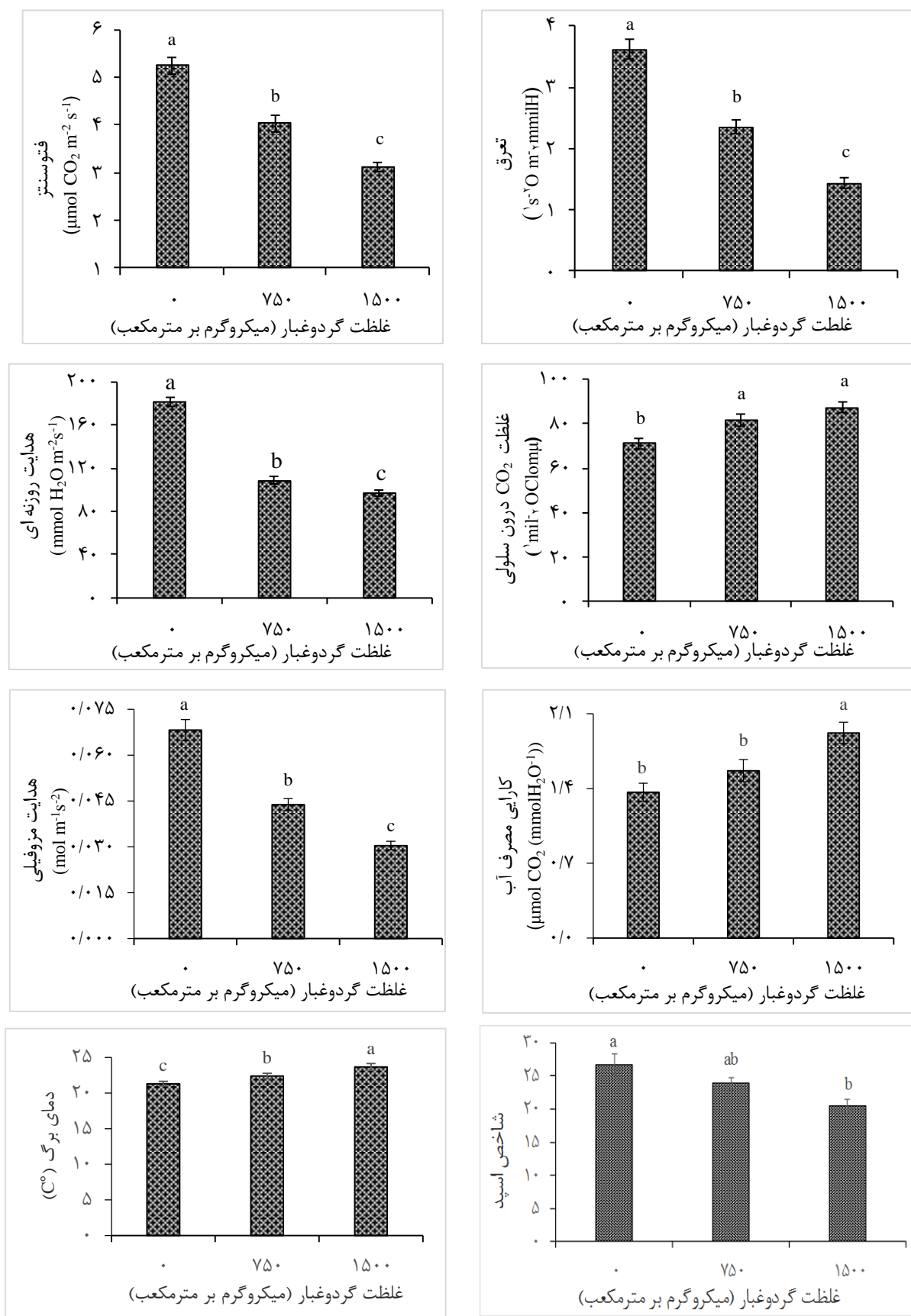
** معنی داری در سطح ۰/۰۱؛ * معنی داری در سطح ۰/۰۵



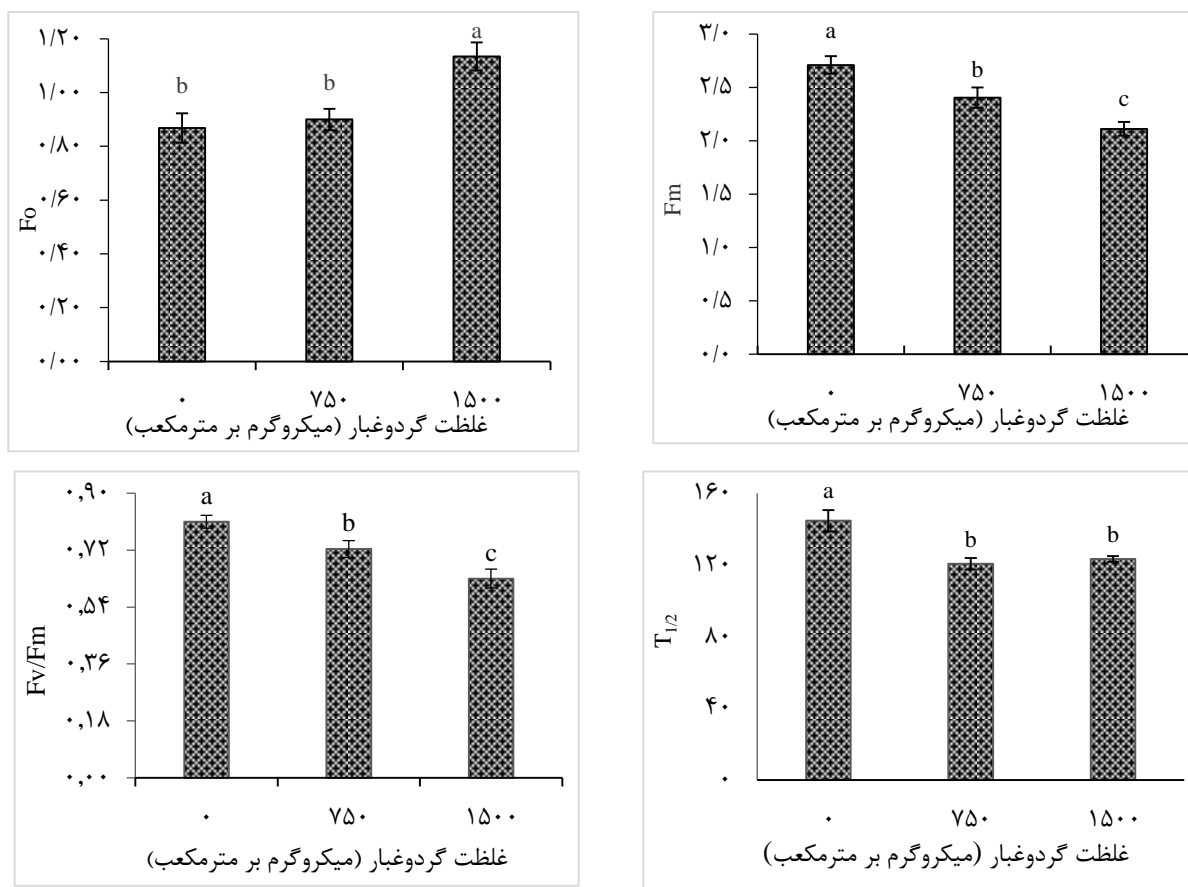
شکل ۳- مقایسه میانگین پارامترهای مورفولوژیکی نهال زبان گنجشک تحت تأثیر تنش گردوغبار

به صورتی که میانگین آن در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب (۱/۱۳) حداکثر بود و بین میانگین این صفت در شاهد (۰/۸۶) و تیمار ۷۵۰ میکروگرم بر متر مکعب (۰/۹) تفاوت معنی‌دار آماری دیده نشد. مقایسه میانگین پارامتر F_m ، نشان‌دهنده سیر نزولی آن همراستا با افزایش تنش گردوغبار بود، به طوری که میانگین F_m در شاهد، غلظت ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب ۲/۷۱، ۲/۴ و ۲/۱۱ بود. بیشترین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) در شاهد حاصل شد و کاهش آن در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب نسبت به شاهد ۲۲ درصد بود. اعمال گردوغبار سبب کاهش پارامتر $T_{1/2}$ شد، به نحوی که میانگین آن در غلظت ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب نسبت به شاهد به ترتیب ۱۶ و ۱۴ درصد کاهش یافت (شکل ۵).

همراستا با افزایش غلظت گردوغبار، نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش یافت، به نحوی که درصد کاهش آنها در تیمار ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب نسبت به شاهد به ترتیب ۴۵، ۶۰ و ۴۶ درصد بود. با افزایش غلظت گردوغبار از سطح صفر تا ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، غلظت CO_2 درون سلولی، کارایی مصرف آب و دمای برگ به ترتیب ۲۲، ۴۰ درصد و ۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و هدایت مزوفیلی ۵۵ درصد کاهش یافت. درباره پارامتر شاخص اسپد (کلروفیل)، بیشترین مقدار (۲۶/۷۸) در شاهد و کمترین مقدار (۲۰/۵۲) در بالاترین سطح تنش گردوغبار (۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب) حاصل شد. اگرچه تفاوت بین تیمار ۷۵۰ میکروگرم بر متر مکعب با شاهد و تیمار ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴). مقدار F_o با افزایش آلودگی گردوغبار بیشتر شد؛



شکل ۴- مقایسه میانگین پارامترهای فیزیولوژیکی نهال زبان گنجشک تحت تأثیر تنش گردوغبار



شکل ۵- مقایسه میانگین مولفه‌های فلئورسانس نهال زبان گنجشک تحت تأثیر تنش گردوغبار

ارتفاعی و سطح برگ شد که با نتایج تحقیق Anthocephalus در Chaturvedi et al. (2013) *Mangifera indica* *Madhuca indica* *cadamba* و *Syzygium cumini* *Phyllanthus emblica* و *Tectona grandis* و نیز تحقیق Rahman (2015) در *Pisum sativum* L. و *Triticum aestivum* L. مطابقت دارد. به طور کلی، در شرایط رسوب گردوغبار روی برگ، گرم شدن بیش از حد برگ‌ها (به‌واسطه نرخ تعرق کم)، مانع فسفوریلاسیون قندها و انتقال محصولات فتوسنتزی از برگ و در نتیجه کاهش رشد می‌شود. با پوشش سطح برگ توسط ذرات گردوغبار، تنفس گیاه افزایش می‌یابد که در نهایت سبب تخصیص کمتر انرژی برای رشد می‌شود (Horton & Ruban, 2004).

بحث

نرخ زنده‌مانی و رشد گیاهان تحت تنش‌های محیطی از جمله آلودگی هوا از شاخص‌های مهم ارزیابی مقاومت به این نوع پدیده نامطلوب به‌شمار می‌رود. در تحقیق حاضر، نهال‌های دوساله زبان گنجشک به مدت ۴۵ روز تحت آلودگی گردوغباری قرار گرفتند، به طوری که با افزایش غلظت گردوغبار، از شاهد تا سطح ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، میزان زنده‌مانی ۲۹ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد علت زنده‌مانی و موفقیت بیشتر نهال‌های شاهد نسبت به نهال‌های در معرض گردوغبار، بسته نشدن روزنه‌ها و در نتیجه تبادلات گازی و فعالیت‌های فیزیولوژیک بهتر باشد.

در تحقیق پیش‌رو، گردوغبار سبب کاهش رویش

مجموع این تغییرات ممکن است به تولید نشدن کلروفیل کافی و در نتیجه تغییر رنگ (کلروزه شدن برگ) بینجامد و در مواردی حتی سبب تخریب سلولی (نکروزه شدن برگ) شود. این در حالی است که گردوغبار ممکن است به واسطهٔ ایجاد تنش‌های ثانویه از جمله تنش خشکی، موجب آسیب برگی و تخریب سلولی شود (Ulrichs et al., 2008).

براساس نتایج تحقیق پیش‌رو، افزایش گردوغبار سبب کاهش فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شد که با نتایج تحقیق Siqueira-Silva et al. (2016b) در *Cedrela fissilis* Moradi et al. (2017) و گونه‌های *Q. libani* و *Q. brantii*، *Q. infectoria* مطابقت دارد. انسداد روزنه‌ها که سریع‌ترین پاسخ طبیعی گیاه به قرار گرفتن در معرض گردوغبار است، در فرایندهای تبادلات گازی اختلال ایجاد می‌کند (Siqueira-Silva et al., 2016b). در برخی موارد، افزون بر کاهش هدایت روزنه‌ای، برخی محدودیت‌های غیرروزنه‌ای همچون کاهش هدایت مزوفیلی و آسیب‌های احتمالی وارد به سیستم‌های نوری در کاهش تبادلات گازی دخیل‌ان (Proietti, 2000). همچنین وجود ذرات گردوغبار بر سطح برگ ممکن است موجب سایه‌اندازی و کاهش اشعه‌های فعال فتوسنتزی و به تبع آن تخریب کلروپلاست شود (Abu-Romman & Alzubi, 2015).

در یافته‌های تحقیق حاضر، افزایش غلظت گردوغبار با افزایش غلظت CO_2 درون سلولی و کاهش هدایت مزوفیلی همراه بود که با یافته‌های Moradi et al. (2017) همسوست. در توجیه نتایج ثبت‌شده برای پارامترهای یادشده می‌توان بیان کرد که رسوب گردوغبار روی سطح برگ ممکن است از طریق تأثیر بر ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست و سازوکارهای درونی برگ از فراوری CO_2 جلوگیری کند. به نحوی که به دلیل انتقال نیافتن CO_2 به سایت‌های پذیرندهٔ کربن، آسمیلاسیون کندتر کربن و تخریب آنزیم کربوکسیلاز از CO_2 موجود در برگ

گونه‌های گیاهی مختلف در مواجهه با تنش‌های محیطی از جمله آلودگی هوا از پتانسیل متفاوتی برخوردارند. از آنجا که برگ حساس‌ترین اندام گیاه در برابر آلاینده‌های هواست، به‌عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی و پایش آلودگی هوا به کار گرفته می‌شود. آسیب‌های مهم ناشی از آلاینده‌های هوا در برگ گیاهان شامل کلروز، نکروز، پیری زودرس و اپی‌ناستی است. به‌طور معمول در تنش آلودگی خفیف، ابتدا کلروز اتفاق می‌افتد و با افزایش شدت تنش ممکن است سلول‌های گیاهی یا کل گیاه از بین بروند (Katiyar & Dubey, 2000).

در تحقیق حاضر، گیاهانی که ۴۵ روز در معرض ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار قرار داشتند، نسبت به دیگر تیمارها علائم کلروز و نکروز را نشان دادند و شدت وقوع این دو پدیده به ترتیب با درجهٔ شدید و متوسط ارزیابی شد. در تحقیق Siqueira-Silva et al. (2016a) نیز با اعمال غبار سیمان (غلظت ۲/۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع، در ۴۴ روز) روی برگ *Guazuma ulmifolia* Lam. و در مطالعه Siqueira-Silva et al. (2016b) با اعمال غبار سیمان (۲/۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع در ۴۱ روز) روی برگ *Cedrela fissilis* علائم کلروز و نکروز برگ ظاهر شد. پدیدهٔ کلروز نوعی اختلال فیزیولوژیک است که عوامل زیادی در بروز آن تأثیر دارند و نور و اکسیژن، از واسطه‌های مهم مسیر بیوسنتز کلروفیل به‌شمار می‌روند (Yuan et al., 2017). رسوب ذرات گردوغبار با ایجاد لایه‌ای پوششی روی سطح برگ و مسدود کردن روزنه‌ها سبب کاهش جذب نور و اکسیژن اتمسفر می‌شود و از برانگیختگی انرژی در پروتئین‌های گیرنده نوری جلوگیری می‌کند (Horton & Ruban, 2004). همچنین، نفوذ ذرات شیمیایی گردوغبار به داخل سلول‌های برگ و انحلال آنها در شیرهٔ سلولی ممکن است سبب تغییر pH داخل سلول یا ایجاد اثر آنتاگونیستی برخی عناصر بر یکدیگر (جایگزینی منیزیم با اتم هیدروژن) شود.

است. تغییرات مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در تحقیق حاضر با یافته‌های Avicennia marina در Naidoo & Chirkoot (2004) و Cedrela fissilis در Siqueira-Silva et al. (2016b) هماهنگ است. افزایش Fo نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و تخریب کلروفیل‌ها به علت تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۲ دارد. کاهش Fm نیز بیانگر اکسیداسیون کمتر اولین پذیرنده الکترون، تغییر ساختار خارجی تیلاکوئید و در نتیجه کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی است (Yasemin et al., 2008). پارامتر Fv/Fm، شاخص خوبی از بازده فتوسنتز در گیاهان است که می‌تواند عملکرد اجزای فتوسنتزکننده و توانایی گیاهان را در تحمل به تنش‌های محیطی نشان دهد که در برگ‌های سالم بیشتر گونه‌های گیاهی حدود ۰/۸۳ است (Kordrostami et al., 2014). کم بودن این شاخص نشان می‌دهد که بخشی از مراکز واکنش فتوسیستم II دچار آسیب شده و پدیده‌ای به نام بازدارندگی نوری^۳ اتفاق افتاده است. در زمینه کاهش T_{1/2}، در پی افزایش غلظت گردوغبار در تحقیق پیش‌رو می‌توان اظهار داشت که اثرهای تنش بر انتقال الکترون فتوسنتزی توسط کوئینون دخالت داشته است. به عبارت دیگر، در صورتی که انتقال الکترون از مرکز واکنش به زنجیره انتقال الکترون مسدود شود T_{1/2} کاهش می‌یابد (Maxwell & Johnson, 2000).

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های تحقیق حاضر، رسوب ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب گردوغبار روی برگ نهال زبان گنجشک، سبب ظهور علائم کلروز و نکروز شد. رفتار مورفوفیزیولوژیک نهال تحت تأثیر گردوغبار قرار

به خوبی استفاده نمی‌شود. به عبارت دیگر، تجمع یا افزایش CO₂ برگ در شرایط تنش، نشان‌دهنده ناتوانی سلول‌های مزوفیل در استفاده از CO₂ و هدایت مزوفیلی کمتر است (Ulrichs et al., 2008). همانند یافته‌های Moradi et al. (2017) در تحقیق حاضر، کارایی مصرف آب گیاهان در معرض گردوغبار نسبت به شاهد افزایش یافت. کارایی مصرف آب شاخصی است که میزان فتوسنتز را به ازای هر واحد تعرق نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که گیاهان کارایی مصرف آب را در شرایط تنش‌های محیطی از طریق کاهش تعرق افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر، اگر کاهش میزان فتوسنتز کمتر از کاهش تعرق باشد، کارایی مصرف آب در گیاه افزایش می‌یابد.

همسو با یافته‌های Zia-Khan et al. (2015) در *Gossypium hirsutum* L. و Sayyahi et al. (2015) در *Saccharum officinarum* L. در پژوهش حاضر، دمای برگ گیاه در معرض گردوغبار افزایش یافت. از عوامل احتمالی افزایش دمای برگ در شرایط اعمال گردوغبار می‌توان به کاهش نرخ تعرق، افزایش خاموشی و جذب بیشتر امواج کوتاه (دارای مقادیر بیشتر انرژی توسط قشر گردوغباری ایجاد شده روی سطح برگ و تغییرات نقطه مصرف و جبران CO₂) اشاره کرد (Wijayratne et al., 2009). افزایش غلظت گردوغبار در تحقیق پیش‌رو، سبب کاهش شاخص اسپد شد که با یافته‌های Taheri Analojeh et al. (2016) در *Ligustrum ovalifolium* و Siqueira-Silva et al. (2016b) در *Cedrela fissilis* همسوست. سایه‌دهی و ممانعت نوری ایجاد شده به واسطه پوشش گردوغبار، تأثیر مخرب این ذرات روی برگ و بازدارندگی آنزیم‌های ضروری برای بیوسنتز کلروفیل و از عوامل احتمالی کاهش رنگدانه‌ها در شرایط تنش گردوغبار به‌شمار می‌رود (Abu-Romman & Alzubi, 2015).

فلئورسانس کلروفیل^۱ به‌عنوان شاخص فیزیولوژیکی معتبر برای اندازه‌گیری تغییرات القاشده در دستگاه فتوسنتزی در شرایط تنش‌های محیطی

1. Chlorophyll fluorescence
2. Reactive Oxygen species (ROS)
3. Photoinhibition

زبان گنجشک و دیگر گونه‌های درختی متداول در فضای سبز شهری برای دوره‌های طولانی‌تر و در مراحل رویشی بالاتر صورت گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری ارزشمند آقای دکتر نظام اصغری پور دشت بزرگ، عضو مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان در نمونه‌برداری گردوغبار و مطالعات خاک‌شناسی و همچنین ارائه اطلاعات در زمینه شناسایی کانون‌های داخلی تولید گردوغبار در استان خوزستان قدردانی کنند.

گرفت، به طوری که با افزایش غلظت گردوغبار، نرخ زنده‌مانی، رویش قطری و ارتفاعی، متوسط سطح برگ، نرخ فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، شاخص اسپد، F_m ، F_v/F_m و $T_{1/2}$ کاهش، و غلظت CO_2 درون سلولی، کارایی مصرف آب و دمای برگ افزایش یافت. در کل، براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت برای توسعه درختکاری و مقابله با پدیده گردوغبار در فضاهای شهری و برون‌شهری اقلیم‌های خشک یا نیمه‌خشک کشور از نهال زبان گنجشک در نقاطی می‌توان استفاده کرد که مقدار گردوغبار کمتر از 750 میکروگرم بر متر مکعب است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، دیگر تجزیه و تحلیل‌های تکمیلی و آزمایشگاهی برای بررسی اثرهای گردوغبار بر گونه

References

- Abu-Romman, S., & Alzubi, J. (2015). Effects of cement dust on the physiological activities of *Arabidopsis thaliana*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 10(4), 157-164.
- Azizi, G.H., Shamsipur, A.A., Miri, M., & Safarrad, T. (2012). Statistic and synoptic analysis of dust phenomena in West of Iran. *Journal of Environmental Studies*, 38(63), 123-134.
- Azizi, S., Tabari, M., & E. Sadati, E. (2014). Response of *Casuarina equisetifolia* Blancon. seedlings to salinity-flooding stress. *Iranian Journal of Forest*, 6(3), 255-265.
- Bernatzky A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 5, 1-10.
- Chaturvedi, R.K., Prasad S., Rana, S., Obaidullah, S.M., Pandey, V., & 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.
- Erfani-Moghadam, J., Abdollahi, H., Ali Ebadi, A., Ftahai Moghadam, M.R., & Arzani, K. (2013). Evaluation of fire blight resistance and the related markers in some European and Asian pear cultivars. *Seed and Plant Production Journal*, 4(1-29), 659-672.
- Goudie, A.M. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 89-94.
- Grantz, D.A., Graner, J.H.B., & Johnson, D.W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2), 213-239.
- Heidarian, P., Joudaki, M., Darvishi Khatoni, J., & Shahbazi, R. (2015). Recognized dust sources in Khuzestan province. 73 pp.
- Horton, P., & Ruban, A. (2004). Molecular design of the photosystem II light-harvesting antenna: photosynthesis and photoprotection. *Journal of Experimental Botany*, 56(411): 365-373.
- Katiyar, V., & Dubey, P.S. (2000). Growth behaviour of two cultivars of maize in response to SO_2 and NO_2 . *Journal of Environmental Biology*, 21(4), 317-323.

- Khoshgoftarmanesh, A.H., Eshghizadeh, H.R., Sanaei Ostovar, A., & Taban, M. (2016). Assessment of iron (Fe) chlorosis in plane trees (*Plantanus orientalis* L.) grown in green space of Isfahan city, I: leaf mineral concentration. *Journal of Water and Soil Science*, 20(76), 15-28.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvani, A., Bayramzadeh, V., Moeinaddini, M., & Hakimi, L. (2018). Morphological and physiological properties of *Patanus orientalis* and *Pinus eldarica* leaves to urban pollution in Tehran. *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 123-137.
- Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P. & Khoshnevis, M. (2014). Application of chlorophyll fluorescence technique as an indicator of drought tolerance in *Celtis caucasica* L. seedlings. *Iranian Journal of Forest*, 6(3), 287-296.
- Maxwell, K., & Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence- A practical guide. *Journal of Experimenta Botany*, 51(345), 659-668.
- Moradi, A., Taheri Abkenar, K., Afshar Mohammadian, M., & Shabaniyan, N. (2017). Effects of dust on forest tree health in Zagros oak forests. *Environmental Monitoring and sssessment*, 189: 549
- Naidoo, G., & Chirkoot, D. (2004). The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay. *Environmental Pollution*, 127(3), 359-366.
- Nanos, G.D., & Ilias, F. (2007). Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological para. *Environmental Science and Pollution Research*, 14(3), 212-214.
- Proietti, P. (2000). Effect of fruiting on leaf gas exchange in olive (*Olea europea* L.). *Photosynthetica*. 38(3), 397-402.
- Rahman, A.L. (2015). Response of Two Crop plants to Dust Deposition. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, 27(2), 1-6.
- Rai, P.K., Panda, L.S., Chutia,B., & Singh, M. (2013). Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) in the industrial (Rourkela) and non-industrial area (Aizawl) of India: an eco-management approach. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(10), 944-948.
- Sayyahi, N., Meskarbashee, M., Hassibi, P., & Shomeil, M. (2015). Effect of dust on chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Ahvaz. *Plant Physiology*, 22(3), 277-293.
- Siqueira-Silva, A.I., Pereira, E.G., Modolo, L.V., Lemos-Filho, J.P., & Paiva, E.A. (2016a). Leaf structural traits of tropical woody species resistant to cement dust. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 16104-16114.
- Siqueira-Silva, A.I., Pereira, E.G., Modolo, L.V., Lemos-Filho, J.P., & Paiva, E.A. (2016b). Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere*, 28(158), 56-65.
- Taheri Analojeh, A., Azimzadeh, H.R., Mosleh Arani, A., & Sodaiezadeh, H. (2016). Investigating and comparing short period impact of dust on physiological characteristics of three species of *Pinus eldarica*, *Cupressus sempervirens*, and *Ligustrum ovalifolium*. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 1-12.
- Ulrichs, C., Welke, B., Mucha-Pelzer, T., Goswami, A., & Mewis, I. (2008). Effect of solid particulate matter deposits on vegetation – a review. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 56-62.
- Wijayratne, U.C. Scoles-Scilla, S.J., & Defalco, L.A. (2009). Dust deposition effects on growth and physiology of the endangered *Astragalus jaegerianus* (Fabaceae). *Madrono*, 56(2), 81-88.
- Xiong-Wen, C. (2001). Study of the short-time eco-physiology response of plant leaves to dust. *Acta Botanica Sinica*, 43(10), 1058-1064.
- Yasemin, E., Deniz, T., & Beycan, A. (2008). Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 165(6), 600-611.

Yuan, M., Zhao, Y.Q., Zhang, Z.W., Chen, Y.E., Ding, C.B., & Yuan, S. (2017). Light regulates transcription of chlorophyll biosynthetic genes during chloroplast biogenesis. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36(1): 35-54.

Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X., & Müller, J. (2015). Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in northwest China. *Water*, 7(1), 116-131.



Research Article

**Effects of Dust on Morpho-physiological Responses of
Fraxinus rotundifolia Mill. Seedling**

Z. Javanmard¹, M. Tabari Kouchaksaraei^{2*}, H.A. Bahrami³, S.M. Hosseini², and S.A. Modarres Sanavi⁴

¹Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

²Professor of Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

³Associate Professor of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

⁴Professor of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

(Received: 11 August 2018, Accepted: 22 December 2018)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the impacts of dust on the morpho-physiological traits of *Fraxinus rotundifolia* Mill. seedling, a useful species in urban green space. In a greenhouse, a dust stress was applied using dust simulator with concentrations of 0, 750 and 1500 $\mu\text{g m}^{-3}$. Experiment was conducted by a completely randomized design with 5 replicates (9 seedlings in each replicate) within 45 days with one-week interval.) . Dust deposition with 1500 $\mu\text{g m}^{-3}$ concentration caused the appearance of symptoms of chlorosis and necrosis on leaves. This concentration decreased the amount of survival (29%), increment diameter (38%) and height (33%), average leaf area (19%), photosynthesis rate (45%), transpiration (60%), stomatal conductance (46%), mesophyll conductance (55%), spad index (23%), Fm (22%), Fv/Fm (22%), T_{1/2} (14%) increased intercellular CO₂ concentration (22%), water use efficiency (40%), leaf temperature (2.34 °C) and Fo (30%). For afforestation and tree planting initiatives in dust-polluted areas of urban and suburban regions of Iran, *F. rotundifolia* seedling can be usefully used in areas where dust concentration is less than 750 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Key words: Ash, Growth, Photosynthesis, Pollution, Stomatal conductance.