فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۵ شماره ۱، صفحه ۲۲-۱۳، (۱۳۹۶)

تأثیرپذیری متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) از برخی آلاینده‌های شهری

فرحناز رشیدی [۱]*، عادل جلیلی [۲] و روح‌انگیز عباس‌عظیمی [۳]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: fr_nrms@yahoo.com
۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۶

چکیده

آلودگی هوا و گازهای آلوده‌کننده به‌عنوان یکی از عامل‌های تهدیدکننده و تأثیرگذار بر سلامتی انسان‌ها و گیاهان در شهرها به‌شمار می‌آیند. از آن‌جایی‌که زندگی انسان‌ها در گرو زنده‌مانی و پایداری گیاهان است، بررسی اثرات مختلف آلودگی که به اشکال مختلف در گیاهان بروز می‌کند و می‌تواند در مدیریت و حفظ فضای سبز و پوشش گیاهی مناطق شهری تأثیرگذار باشد، الزامیست. پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی اثر گازهای آلاینده شهری شامل NO_2، SO_2 و O_3 بر متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) در تهران انجام شد. هفت منطقه مطالعاتی با توجه به ویژگی‌های ارتفاعی، ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و هواشناسی انتخاب شده و متغیرهای سطح برگ، سطح ویژه برگ، وزن تر و خشک، درصد رطوبت برگ، کشش برگ و ضخامت برگ گیاه اندازه‌گیری شدند. بررسی داده‌های کمی با استفاده از آنالیز همبستگی و t مستقل انجام شد. نتایج همبستگی بیانگر کاهش مقدار وزن خشک و سطح برگ با افزایش آلودگی بود. در بین هفت منطقه مطالعاتی، بررسی‌ها حاکی از تفاوت معنی‌دار آلودگی و عدم تفاوت معنی‌دار پارامترهای اقلیم و خاک بین دو منطقه آزادی و سرخه‌حصار بود. نتایج نشان داد که با افزایش آلودگی همه متغیرهای کمی برگ دارای تفاوت معنی‌دار شدند و مقادیر تمامی پارامترها به‌جز ضخامت برگ در منطقه آلوده‌تر نسبت به منطقه دیگر کمتر بود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی هوا، ضخامت برگ، سرخه‌حصار، سطح برگ، فضای سبز شهری.

مقدمه

آلودگی هوا به‌طور معمول بزرگترین مشکل در کلان‌شهرها است. اثرات منفی آلودگی هوا بر سلامت انسان، حیوانات و گیاهان آن‌را تبدیل به یک موضوع جهانی کرده است. ترکیباتی مانند اکسید نیتروژن (NO_2) و یا اکسید سولفور همیشه در هوا حضور دارند، اما مقدار زیاد آنها می‌تواند به سلامتی انسان‌ها و تولیدات کشاورزی و مرگ جنگل‌ها منجر شود (Treshow & Anderson, 1989). تحقیقات نشان داده است که تجمع زیاد بسیاری از آلودگی‌ها در گازهای خروجی از اگزوز اتومبیل‌ها می‌تواند به گیاهان صدمه بزند (Grantz *et al*., 2003). از آن‌جایی‌که برگ‌های گیاهان حساسترین اندام نسبت به آلودگی هوا هستند، بنابراین برگ‌ها در مراحل مختلف کامل شدن به‌عنوان یک شاخص مناسب معرفی می‌شوند (Shafiq *et al*., 2009). اثرات منفی آلودگی باعث تغییراتی در آناتومی، ریخت‌شناسی و فیزیولوژی گیاه می‌شوند. پژوهشگران

زیادی در مورد اثرات آلودگی هوا بر خصوصیات کمی برگ گیاهان تحقیق کرده‌اند (Ferdinand *et al*., 2000; Pathak & Pancholi, 2014).

تأثیر آلاینده‌های گازی بر کاهش رشد گیاه در مطالعات متعددی اثبات شده است (Runeckles, 1984; Mansfield & Mccune, 1988). مطالعات بیانگر آن است که گیاهان در مقایسه با انسان‌ها نسبت به ازن (O_3) حساستر هستند و یکی از واکنش‌های گیاه نسبت به آلودگی به‌صورت کاهش فتوسنتز نمود پیدا می‌کند (Dann & Pell, 1989) و کاهش فتوسنتز منجر به کاهش پارامترهای رشد برگ مانند سطح برگ خواهد شد. Nayak و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی متغیرهای رشد گیاه (ارتفاع، قطر، تعداد و سطح برگ) مشاهده کردند که تمامی این متغیرها در محیط شهری نسبت به منطقه شاهد کاهش نشان دادند. نتایج مطالعات Areington و همکاران (۲۰۱۵) نیز که به بررسی تأثیر شدت آلودگی هوا بر متغیرهای ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به‌عنوان نشانگرهای زیستی پرداختند، نشان داد که سطح برگ در کنار منابع آلودگی دی‌اکسید گوگرد (So_2) و دی‌اکسید نیتروژن به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. در محیط‌های شهری، دی‌اکسید نیتروژن یکی از مهمترین آلاینده‌های سمی برای گیاهان به‌شمار می‌آید. افزون بر اینکه NO رهاشده در فضاهای شهری نیز در حضور ازن اکسید شده و به NO_2 تبدیل می‌شود (Honour *et al*., 2009). در مطالعه انجام‌شده در ژاپن در مورد گونه *Salix sachalinea*، به‌منظور بررسی حساسیت گیاه نسبت به ازن، افزایش گاز آلاینده باعث کاهش وزن خشک و مجموع سطح برگ شد (Agathokleous *et al*., 2015).

مطالعات متعددی به بررسی تأثیر آلودگی هوا بر ضخامت برگ (Gratani *et al*., 2000; Gerosa *et al*., 2003) و سطح ویژه برگ (Kardel *et al*., 2010; Rafiei *et al*., 2014) پرداخته‌اند.

پژوهش پیش‌رو با هدف تعیین میزان تغییرات خصوصیات کمی برگ زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) تحت تأثیر آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و ازن در شهر تهران انجام شد. زبان‌گنجشک از تیره زیتون *Oleaceae* بوده که برگ‌های آن متقابل شانه‌ای است و برگچه‌ها به‌طور غالب سه تا هفت‌تایی هستند (Mozaffarian, 2005). این گونه به‌دلیل مقاومت به شرایط خشکی، پراکنش گسترده‌ای در پارک‌های شهر تهران دارد و با توجه به همین پراکنش می‌تواند تفاوت‌های رفتار رویشی برگ را در واکنش به آلودگی نشان دهد.

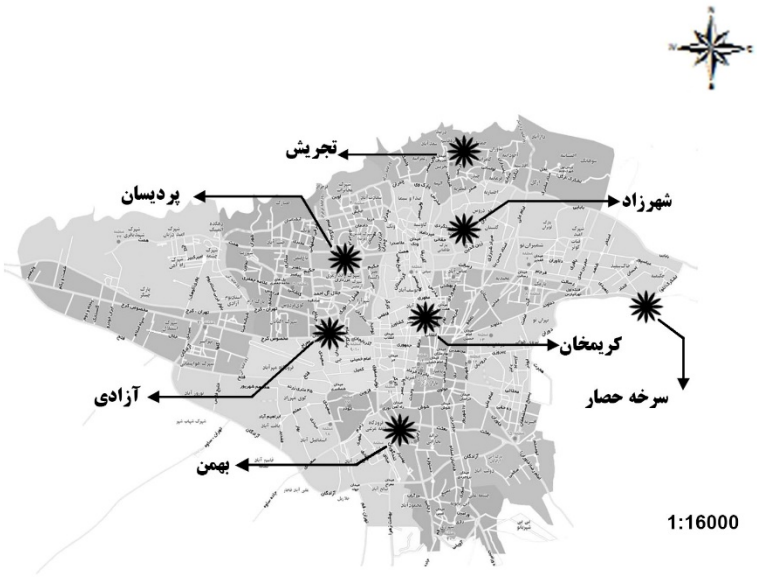
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در موقعیت جغرافیایی ´۳۶ °۳۵ تا ´۴۲ °۳۵ عرض شمالی و ´۱۷ °۵۱ تا ´۳۳ °۵۱ طول شرقی واقع شده است. هفت منطقه مطالعاتی با درنظر گرفتن تغییرات ارتفاعی (جدول ۱)، پراکنش ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا و هواشناسی به نحوی‌که بیشترین پوشش از شهر تهران را داشته باشند، انتخاب شدند (شکل ۱). با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، هر منطقه مورد مطالعه در حداکثر یک کیلومتری از ایستگاه سنجش آلودگی هوا و نزدیکترین فاصله با ایستگاه هواشناسی قرار گرفت.

جدول ۱- ارتفاع مناطق مورد مطالعه در شهر تهران

نام منطقه	تجریش	شهرزاد	آزادی	بهمن	پردیسان	کریم‌خان	سرخه‌حصار
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۶۱۵	۱۴۰۸	۱۱۸۰	۱۱۰۳	۱۳۸۲	۱۲۳۸	۱۴۴۴



شکل ۱- نقشه مناطق مورد مطالعه در شهر تهران

روش پژوهش

اطلاعات هواشناسی از نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به مناطق مورد مطالعه از پنج منطقه (مهرآباد، شمال تهران، دوشان‌تپه، ژئوفیزیک و امین‌آباد) تهیه شد. ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد منطقه آزادی، شمال تهران منطقه تجریش و شهرزاد، دوشان‌تپه منطقه سرخه‌حصار، ژئوفیزیک منطقه پردیسان و امین‌آباد پارک بهمن را پوشش داد. برای منطقه کریم‌خان به‌دلیل نبودن ایستگاه هواشناسی نزدیک به این منطقه، از اطلاعات هواشناسی صرفنظر شد. فاکتورهای هواشناسی مورد بررسی عبارت بودند از: میانگین کمترین دما، میانگین بیشترین دما، میانگین متوسط دما، میانگین روزهای یخبندان، میانگین حداقل مطلق دما، میانگین حداکثر مطلق دما و میانگین بارندگی سالانه.

اطلاعات آلودگی هوا از اطلاعات هفت ایستگاه پایش آلودگی هوا در نزدیکترین فاصله به مناطق مورد مطالعه مربوط به سازمان حفاظت محیط زیست (بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸) تهیه شد که شامل اطلاعات ساعتی مربوط به گازهای آلاینده دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ازن بود (جدول ۲).

جدول ۲- داده‌های آلودگی هوا در مناطق مورد مطالعه

منطقه	میانگین NO_2 (ppm)		میانگین SO_2 (ppm)		میانگین O_3 (ppm)		بیشینه O_3 (ppm)	
	(۱)	(۲)	(۱)	(۲)	(۱)	(۲)	(۱)	(۲)
تجریش	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	-	-	-	-
شهرزاد	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۱۰
آزادی	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۹
بهمن	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۲	-	-	-	-
پردیسان	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۳۲
کریم‌خان	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۷
سرخه‌حصار	-	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۱۲

(۱= ۲۰۰۸ و ۲= ۲۰۰۲-۲۰۰۸)

پنج پایه به‌صورت تصادفی از درختان با صفات قطر برابر سینه مساوی، سالم، دارای تاج متقارن و بدون آفت در هر یک از مناطق مورد مطالعه انتخاب و نمونه‌برداری از برگ درختان در اواخر مردادماه انجام شد. از هر پایه پنج برگ مرکب از سمت جنوب و وسط تاج جمع‌آوری و متغیرهای برگ شامل سطح برگ، وزن تر و خشک، کشش برگ و ضخامت برگ اندازه‌گیری شدند. وزن تر برگ با ترازوی دیجیتال با حساسیت یک میلی‌گرم اندازه‌گیری شد و سپس سطح برگ با استفاده از دستگاه مساحت‌سنج مدل LI-COR, L1-3100 برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. کشش برگ توسط دستگاه کشش‌سنج (Toughness) برحسب پوند بر میلی‌متر و ضخامت (Thickness) برگ توسط دستگاه ضخامت‌سنج بر حسب میلی‌متر تعیین شد. در انتها برگ‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند و بلافاصله وزن شدند (Mebrahtu & Hanover, 1991). سپس با استفاده از وزن تر و خشک برگ و با استفاده از رابطه ۱ (Jiahua *et al*., 2010) درصد رطوبت برگ‌ها محاسبه شد:

رابطه (۱) درصد رطوبت برگ = {وزن تر برگ/(وزن خشک برگ − وزن تر برگ)} × ۱۰۰

لازم به ذکر است که از نسبت بین سطح برگ بر وزن خشک، سطح ویژه برگ (SLA) برحسب سانتی‌متر مربع بر گرم (Karimi & Azizi, 1997) محاسبه شد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با حفر سه پروفیل تا عمق متوسط یک متر در هر منطقه مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری‌شده شامل بافت خاک، هدایت الکتریکی، درصد آهک، درصد مواد آلی، میزان پتاسیم، فسفر و نیتروژن بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

همبستگی بین خصوصیات کمی برگ و عامل‌های محیطی (آلودگی، اقلیم و خاک)، تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) بین کلیه مناطق مطالعاتی بر اساس آلودگی، اقلیم و خاک به‌منظور معرفی دو منطقه‌ای که فقط ازنظر پارامتر آلودگی تفاوت معنی‌دار از خود نشان بدهند و آزمون t مستقل برای بررسی تفاوت خصوصیات کمی برگ درخت تحت تأثیر آلودگی در دو منطقه ذکرشده انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Minitab 14 تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

میانگین متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج همبستگی خصوصیات کمی برگ با عامل‌های محیطی آلودگی، اقلیم و خاک‌شناسی (جدول ۴) بیانگر آن بود که کلیه خصوصیات به‌جز سطح ویژه برگ و کشش برگ با عامل‌های محیطی ارتباط داشتند. وزن خشک و سطح برگ متغیرهایی بودند که با آلودگی (میانگین دی‌اکسید گوگرد) ارتباط داشتند. این ارتباطات بیانگر آن بود که با افزایش دی‌اکسید گوگرد، میزان وزن خشک برگ ($r = -0.81, p < 0.05$) و سطح برگ ($r = -0.84, p < 0.05$) کاهش پیدا کرده است.

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه پارامترهای محیطی هفت منطقه مورد مطالعه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار پارامترهای اقلیمی و خاک و اختلاف معنی‌دار عامل محیطی آلودگی هوا (SO_2 و NO_2) فقط در دو منطقه آزادی و سرخه‌حصار بود. بررسی‌ها حاکی از آن بود که منطقه آزادی با میانگین مقدار دی‌اکسید نیتروژن ۰/۰۵۸ و دی‌اکسید گوگرد ۰/۰۵۷ آلوده‌تر از منطقه سرخه‌حصار با میانگین مقدار دی‌اکسید نیتروژن ۰/۰۲ و دی‌اکسید گوگرد ۰/۰۰۹ بود (جدول ۵). بنابراین بین مناطق مورد مطالعه، این دو منطقه به‌دلیل ثابت بودن پارامترهای خاک و اقلیم، برای بررسی تأثیر آلودگی هوا بر خصوصیات کمی برگ انتخاب شدند.

جدول ۳- میانگین ± انحراف معیار متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک در مناطق مورد مطالعه

منطقه	کشش برگ ($pound\ ml^{-1}$)	ضخامت برگ (mm)	درصد رطوبت	وزن خشک (g)	وزن تر (g)	سطح ویژه برگ (cm^2g^{-1})	سطح برگ (cm^2)
تجریش	۰/۹۳±۰/۱۰	۱۸/۱۰±۴/۰۴	۶۱/۱۴±۹/۸۰	۰/۴۵±۰/۲۱	۱/۰۸±۰/۴۰	۱۰۲/۳۶±۲۱/۴۵	۴۲/۳۶±۱۳/۱۵
شهرزاد	۰/۵۹±۰/۱۱	۱۴/۱۳±۱/۷۲	۶۷/۸۱±۴/۳۵	۰/۵۳±۰/۱۳	۱/۶۳±۰/۳۵	۱۳۸/۵۱±۳۰/۵۱	۷۰/۵۵±۱۵/۷۱
آزادی	۰/۸۲±۰/۱۲	۲۲/۰۴±۵/۳۳	۶۳/۴۴±۳/۶۳	۰/۵۳±۰/۲۰	۱/۴۴±۰/۴۸	۹۲/۷۵±۲۴/۱۷	۴۶/۰۶±۱۱/۷۲
بهمن	۰/۹۴±۰/۱۳	۲۳/۸۵±۴/۵۳	۶۶/۴۱±۳/۱۳	۰/۸۵±۰/۲۵	۲/۵۴±۰/۷۲	۹۴/۸۹±۱۹/۶۹	۸۰/۶۸±۲۹/۶۶
پردیسان	۰/۵۹±۰/۱۵	۱۹/۲۴±۲/۵۷	۶۱/۸۲±۳/۸۷	۰/۷۲±۰/۲۴	۱/۸۹±۰/۶۲	۱۰۲/۷۷±۱۳/۸۳	۷۲/۲۴±۲۲/۱۱
کریم‌خان	۰/۶۵±۰/۱۳	۱۹/۳۹±۴/۶۳	۶۶/۷۱±۷/۰۶	۰/۵۹±۰/۲۲	۱/۶۶±۰/۵۵	۱۰۴/۵۹±۲۳/۴۷	۵۸/۷۴±۱۹/۴۸
سرخه‌حصار	۰/۹۸±۰/۲۰	۱۸/۹۳±۵/۲۱	۷۰/۶۲±۱۳/۸۱	۰/۷۶±۰/۳۳	۲/۰۷±۰/۸۶	۱۰۷/۹۹±۲۶/۸۷	۷۷/۰۱±۳۶/۲۱

جدول ۴ – ضریب‌های همبستگی بین متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک با عامل‌های اقلیمی، خاک و گازهای آلاینده

	ضخامت برگ (mm)	درصد رطوبت	وزن خشک (g)	وزن تر (g)	سطح برگ (cm^2)
میانگین بیشینه دما (°C)	۰/۸۲*	ns	ns	ns	ns
بیشینه مطلق دما (°C)	۰/۸۵*	ns	ns	ns	ns
میانگین بارندگی سالانه (mm)	-۰/۸۷*	ns	ns	ns	ns
درصد آهک	ns	۰/۸۵*	ns	۰/۸۱*	۰/۸۸**
درصد شن	ns	ns	ns	ns	-۰/۸۴*
درصد رس	ns	ns	ns	ns	۰/۸۵*
میانگین دی‌اکسید گوگرد (ppm)	ns	ns	-۰/۸۱*	ns	-۰/۸۴*

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns غیرمعنی‌دار. فقط متغیرهایی که دارای همبستگی معنی‌دار با عامل‌های مورد مطالعه بودند، در جدول آورده شده‌اند.

براساس نتایج مشخص شد که همه خصوصیات کمی برگ (سطح برگ، سطح ویژه برگ، وزن مرطوب و خشک برگ، درصد رطوبت برگ، ضخامت برگ و کشش برگ) دارای تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه آزادی و سرخه‌حصار بودند و مقدار کلیه متغیرها به‌جز ضخامت برگ در منطقه آزادی (۲۲/۰۴) نسبت به سرخه‌حصار (۱۸/۹۳) کمتر بود (جدول ۵).

نتایج همبستگی نیز نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار و کاهشی متغیرهای وزن خشک و سطح برگ با آلودگی هوا (میانگین دی‌اکسید گوگرد) بود (جدول ۴). بنابراین، نتایج نشان‌دهنده برگ‌های کوچکتر، ضخیمتر، سبکتر و شکننده‌تر با درصد رطوبت کمتر در منطقه آلوده‌تر (آزادی) بود.

جدول ۵- نتایج آزمون t مستقل دو منطقه آزادی و سرخه‌حصار بر پایه عامل‌های محیطی و متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک (میانگین ± انحراف معیار)

آلاینده	سرخه‌حصار	آزادی	معنی‌داری
میانگین دی‌اکسید نیتروژن (ppm)	۰/۰۲۱±۰/۰۰۳	۰/۰۵۸±۰/۰۱۶	۰/۰۰۳**
میانگین دی‌اکسید گوگرد (ppm)	۰/۰۰۹±۰/۰۰۳	۰/۰۵۷±۰/۰۳۹	۰/۰۲۹*
میانگین ازن (ppm)	۰/۰۲۴±۰/۰۱۲	۰/۰۱۳±۰/۰۰۲	۰/۱۱۹ ns
بیشترین میزان ازن (ppm)	۰/۱۲۱±۰/۰۳۷	۰/۰۹۴±۰/۰۰۳	۰/۱۹ ns
اقلیم			
میانگین کمترین دما (°C)	۱۳/۳۴۲±۰/۷۸۸	۱۳/۲۷۲±۰/۶۹۹	۰/۷۶۲ ns
میانگین بیشترین دما (°C)	۲۳/۱۸۹±۰/۷۶۸	۲۳/۱۲۶±۰/۷۶۲	۰/۷۹۳ ns
میانگین متوسط دما (°C)	۱۸/۲۶۹±۰/۷۳	۱۸/۱۹۶±۰/۷۱۳	۰/۷۴۵ ns
روزهای یخبندان	۲۹/۶۷±۱۴/۹۴	۳۰/۶۲±۱۲/۹۸	۰/۸۲۷ ns
حداقل مطلق دما (°C)	-۵/۳۳۸±۱/۸۹۳	-۶/۱۵۲±۲/۳۶۳	۰/۲۲۵ ns
بارندگی سالانه (mm)	۲۵۲/۸۵±۷۲/۵۴	۲۴۰/۸±۶۶/۹۸	۰/۵۷۹ ns
حداکثر مطلق دما (°C)	۴۰/۹۸۶±۱/۲۶۴	۴۱/۰۴۸±۱/۱	۰/۸۶۶ ns
خاک			
درصد آهک	۱۶±۴/۲۱۳	۱۰/۰۵±۲/۸۷	۰/۲۰۱ ns
درصد کربن آلی	۰/۸۹±۰/۳۶	۱/۰۶±۰/۰۹۱	۰/۵۱۶ ns
مواد آلی	۱/۵۴±۰/۶۳	۱/۸۳±۱/۶۳	۰/۵۱۸ ns
درصد نیتروژن	۰/۱۱±۰/۵	۰/۱±۰/۰۲۸	۰/۸۰۳ ns
پتاسیم (ppm)	۳۷۳/۷±۲۰/۱	۲۳۱/۷±۲۵/۹	۰/۳۵۶ ns
فسفر (ppm)	۶۱/۹۸±۹/۸۸	۵۰/۵۳±۲/۶۳	۰/۱۹۷ ns
هدایت الکتریکی Ds/m	۰/۵۴±۰/۲۷۶	۰/۵۲۵±۰/۱۰۶	۰/۹۴ ns
اسیدیته	۷/۷۷±۰/۰۸۷	۷/۷۶±۰/۲۳	۰/۹۸۲ ns
درصد شن	۴۳±۱۷/۰۶	۵۷/۵±۱۹/۰۹	۰/۴۷۷ ns
درصد رس	۳۲/۸۸±۱۲/۱۲	۲۳/۸۸±۷/۰۷	۰/۴۰۵ ns
درصد سیلت	۲۴/۱۲±۵/۱۹	۱۸/۶۲±۱۲/۰۲۱	۰/۶۵۱ ns
خصوصیات گیاه			
سطح برگ (cm^2)	۷۷/۰۱±۳۶/۲۱	۴۶/۰۶±۱۱/۷۲	۰/۰۰۰**
سطح ویژه برگ (cm^2g^{-1})	۱۰۷/۹۹±۲۶/۸۷	۹۲/۷۵±۲۴/۱۷	۰/۰۲۱*
وزن مرطوب برگ (g)	۲/۰۶۶±۰/۸۵	۱/۴۳±۰/۴۸	۰/۰۰۰ **
وزن خشک برگ (g)	۰/۷۶±۰/۳۳	۰/۵۳±۰/۲	۰/۰۰۲**
درصد رطوبت برگ	۷۰/۶۲±۱۳/۸۱	۶۳/۴۴±۳/۶۳	۰/۰۰۵**
ضخامت برگ (mm)	۱۸/۹۲۹±۵/۲۰۵	۲۲/۰۴۳±۵/۳۲۵	۰/۰۱۶*
کشش برگ (pound ml^{-1})	۰/۹۷۹±۰/۱۹۵	۰/۸۲±۰/۱۱۶	۰/۰۰۰**

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns غیرمعنی‌دار

بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل متغیرهای کمی برگ زبان‌گنجشک در مناطق مورد مطالعه، بیانگر آن بود که تأثیرآلودگی بر کاهش سطح برگ بسیار بارز بوده و با افزایش آن سطح برگ کوچکتر می‌شود. مطالعات دیگر نیز بر کاهش معنی‌دار مساحت برگ در گیاهان رویش‌یافته در مناطق آلوده شهری، تأکید کرده‌اند. بررسی Dineva (۲۰۰۴) در مورد تغییرات سطح برگ *Fraxinus american* و *Platanus aceifolia* رویش‌یافته در مناطق آلوده نشان از کاهش معنی‌دار سطح برگ هر دو گونه در مناطق آلوده نسبت به منطقه شاهد داشت. در پژوهش Leghari و Zaidi (۲۰۱۳)، ریخت‌شناسی برگ ۱۳ گیاه رشدیافته در مناطق آلوده شهری و مناطق با آلودگی کمتر مطالعه شد. نتایج حاکی از آن بود که مساحت برگ در مناطق آلوده کاهش معنی‌داری نسبت به مناطق با آلودگی کمتر داشت. Pathak و Pancholi (۲۰۱۴) گزارش کردند که سطح برگ و طول برگ (پهنک) گونه‌های *Azadirachta indica*، *Mangifera indica*، *Polyalthia longifolia* و *Cassia siamea* در اثر آلودگی هوا به‌شدت کاهش پیدا کردند. لازم به ذکر است که سطح برگ یکی از مهمترین شاخص‌های رشد است (Kundu & Tigerstedt, 1998). نتایج مطالعات Ghorbanli و همکاران (۲۰۰۸) بیانگر کاهش رشد اقاقیا به‌دلیل کم شدن سرعت تقسیم سلول‌های اپیدرمی در اثر آلاینده‌های هوا و کاهش تعداد سلول‌های روزنه بود. این کاهش منجر به کاهش فتوسنتز و رشد شد که به‌صورت کاهش سطح برگ قابل اندازه‌گیری بود. Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که ویژگی‌های ساختاری برگ چنار (*Platanus orientalis* L.) تحت تأثیر آلودگی محیط شهری قرار گرفته است و کاهش رشد را به‌صورت کاهش سطح برگ، کاهش تراکم و عرض منفذ روزنه‌ها نشان داده است، بنابراین می‌توان علت اصلی کاهش سطح برگ در منطقه مورد بررسی را در نتیجه اثر آلاینده‌ها بر بافت‌های فتوسنتزی و روزنه‌ها دانست که منجر به کاهش فتوسنتز و درنهایت کاهش اندازه برگ‌ها (Tiwari, 2013) می‌شود.

مقدار سطح ویژه برگ در بیشتر مناطق شهری در معرض آلودگی هوا با افزایش همراه است. افزایش سطح ویژه برگ برای هفت گونه دایمی چوبی در هند (Pandey & Pandey, 1994)، زیتون تلخ (*Melia azedarach*) در آرژانتین (Pignata *et al*., 1999) و *Ligustrum lucidum* (Carreras *et al*., 1996) در مناطق با آلودگی بیشتر مشاهده شد. مطالعه Gratani و همکاران (۲۰۰۰) حاکی از افزایش ۲۵ درصدی سطح ویژه برگ در منطقه با آلودگی زیاد در مقابل منطقه شاهد در ایتالیا بود. Rafiei و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی تنش آلودگی هوا بر چنار در شهر اصفهان به همبستگی مثبت معنی‌دار بین ازن و دی‌اکسید نیتروژن با سطح ویژه برگ اشاره داشتند. Kardel و همکاران (۲۰۱۰) نیز افزایش سطح ویژه برگ در مناطق شهری را تأیید کرده‌اند، اما پژوهش پیش‌رو بیانگر کاهش معنی‌دار سطح ویژه برگ در منطقه آلوده (آزادی) نسبت به منطقه با آلودگی کمتر (سرخه‌حصار) بود. نتیجه مطالعه انجام‌شده به‌وسیله Balasooriya و همکاران (۲۰۰۹) در مورد *Taraxacum officinalis* حاکی از آن بود که مقدار زیاد سطح ویژه برگ در محیط با آلودگی کمتر می‌تواند بیانگر حساسیت این پارامتر به نوع مدیریت مانند هرس کردن باشد. این پژوهشگران یادآور شدند که سایه‌اندازی درختان می‌تواند مقدار زیاد سطح ویژه برگ در منطقه با آلودگی کمتر را توجیه کند و این واکنش می‌تواند پاسخ گیاه به نور کمتر و وجود سایه باشد، بنابراین افزایش سطح ویژه برگ در منطقه سرخه‌حصار (آلودگی کمتر) و کاهش در منطقه آزادی (منطقه آلوده‌تر) را می‌توان حاصل تفاوت در نوع مدیریت این دو منطقه دانست.

از نتایج دیگری که در پژوهش پیش‌رو به آن اشاره شد، کاهش وزن خشک برگ با افزایش آلودگی بود. نتایج مطالعات Ghorbanli و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که آلودگی هوا باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک در اقاقیا و خرزهره شد. Oka و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که وزن تر برگ‌های اطلسی (*Petunia hybrida*) تحت تأثیر پراکسی استیل نیترات (PAN) کاهش نشان داد. مطالعات

انجام‌شده توسط Ferdinand و همکاران (۲۰۰۰) و Lordifard و همکاران (۲۰۱۳) نیز تأییدکننده این مطلب بود. Salama و همکاران (۲۰۱۱) ضمن بررسی اثر هوای آلوده بر *Datura innoxia* نشان دادند که آلودگی هوا موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک و غلظت کلروفیل در این گیاه شده است. در تشریح این موضوع لازم به ذکر است که اثر کاهشی در سطح برگ منجر به کاهش در مقدار جذب تشعشعات و به دنبال آن کاهش در میزان فتوسنتز و کاهش وزن خشک برگ می‌شود (Wodward & Bennett, 2005). نتایج بررسی‌های Gratani و همکاران (۲۰۰۰) نشان از افزایش ضخامت برگ بلوط همیشه‌سبز (*Quercus ilex*) در مناطق آلوده داشت که با نتیجه پژوهش پیش‌رو هم‌خوانی دارد. مزوفیل ضخیم‌تر دارای توانایی بیشتر در سم‌زدایی است (Gerosa *et al*., 2003) و برگ‌های ضخیم دارای پتانسیل فتوسنتزی زیادی هستند (Niinemets, 1999) که می‌تواند ضخیم شدن برگ را در مناطق آلوده برای جبران کاهش فتوسنتز در اثر آلودگی توجیه کند.

همبستگی معنی‌دار آلودگی با سطح و وزن خشک برگ و تفاوت ایجادشده در این صفات در دو منطقه آزادی و سرخه‌حصار حاکی از آن بود که صفات کمی برگ زبان‌گنجشک تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته است و برخی پاسخ‌ها می‌تواند در راستای سازگاری این گونه با تنش آلودگی و مقاومت به شرایط نامناسب محیطی قلمداد شود.

References

- Agathokleous, E., Paoletti, E., Manning, W.J., Saitanis, C.J., Satoh, F. and Koike, T., 2015. Growth responses of a willow to free-air-O_3 fumigation and EDU. Programme and Abstracts of UFRO International Congress. France, 1-5 June, 2015: 119-119.
- Areington, C.A., Varghese, B., Ramdhani, S. and Sershen, 2015. An Assessment of morphological, physiological and biochemical biomarkers of industrial air pollution in the Leaves of *Brachylaena discolor*. Water, Air and Soil Pollution, 226(9): 1-14.
- Balasooriya, B.L.W.K., Samson, R., Mbikwa, F., Vitharana, W.A.U., Boeckx, P. and Van Meirvenne, M., 2009. Biomonitoring of urban habitat quality by anatomical and chemical leaf characteristics. Environmental and Experimental Botany, 65: 386-394.
- Carreras, H.A., Cañas, M.S. and Pignata, M.L., 1996. Differences in responses to urban air pollutants by *Ligustrum lucidum*. Environmental Pollution, 93: 211-218.
- Dann, M.S. and Pell, E.J., 1989. Decline of activity and quantity of ribu-lose isphosphate carboxylase/oxygenase and net photosynthesis in ozone-treated potato foliage. Plant Physiology, 91: 427-432.
- Dineva, S.B., 2004. Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash (*Fraxinus americana* L.) and London plane tree (*Platanus acerifolia* Willd) growing in polluted area. Dendrobiology, 52: 3-8.
- Ferdinand, J.A., Fredericksen, T.S., Kouterick, K.B. and Skelly, J.M., 2000. Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. Environmental Pollution, 108(2): 297-302.
- Gerosa, G., Marzuolib, R., Bussottic, F., Pancrazic, M. and Dentid, A.B., 2003. Ozone sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. Environmental Pollution, 125: 91-98.
- Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G. and Bakand, Z., 2008. Air pollution effects on fresh and dry weight, amount of Proline , number of stomata, trichome and epidermal cells in *Nerium oleander* and *Robinia pseudoacacia* in Tehran city. Pajouhesh-va-Sazandegi, 77(4): 28-34 (In Persion).
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B. and Johnson, D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. Environment International, 29: 213-239.
- Gratani, L., Crescente, M.F. and Petruzzi, M., 2000. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* in polluted urban areas (Rome). Environmental Pollution, 110: 19-28.
- Honour, S.L., Bell, J.N.B., Ashenden, T.W., Cape, J.N. and Power S.A., 2009. Responses of herbaceous plants to urban air pollution: effects on growth, phenology and leaf surface characteristics. Environmental Pollution, 157: 1279-1286.
- Jiahua, Z., Yun, X., Fengmei, Y., Peijuanl, W., Wenjuan1, G., Li1, L. and Limin Y., 2010. Advances in estimation methods of vegetation water content based on optical remote sensing techniques. Technological Sciences, 53(5): 1159-1167.
- Kardel, F., Wuyts, K., Babanezhad, M.,

Tokyo, 246p.
- Pandey, J. and Pandey, U., 1994. Evaluation of air pollution phytotoxicity in a seasonally dry tropical urban environment. Environmental Monitoring and Assessment, 33: 195-213.
- Pathak, H. and Pancholi, K., 2014. Effect of air pollution on foliar morphology of some tree species at Indore, Madhya Pradesh, India. Journal of Environmental Research and Development, 8(3): 669-672.
- Pignata, M.L., Gudiño, G.L., Cañas, M.S. and Orellana, L., 1999. Relationship between foliar chemical parameters measured in *Melia Azedarach* L. and environmental conditions in urban areas. Science of the Total Environment, 244: 85-96.
- Pourkhabbaz, A.R., Rastin, N., Olbrich, A.,Langenfeld Heiser, R. and Polle, A., 2010. Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, *Platanus orientalis* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 85(3): 251-255.
- Rafiei, Z., Mirghafari, N.A. and Matinkhah, S.H., 2014. Estimation of bio-indicator of plane tree (*Platanus orientalis* L.) versus air pollution stress. Journal of natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources), 67(1): 65-78 (In Persian).
- Runeckles, V.C., 1984. Impact of air pollutant combinations on plants, In: Treshow, M., (Ed.). Air Polution and Plant Life. John Wiley & sons, New York, 380p.
- Salama, H.M.H., Al-Rumaih, M.M. and Al-Dosary, M.A., 2011. Effects of Riyadh cement industry pollutions on some physiological and morphological factors of *Datura innoxia* Mill. Plant Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 227-237.
- Shafiq, M., Zafar Iqbal, M., Athar, M. and Qayyum, M., 2009. Effect of auto exhaust emission on the phenology of *Cassia siamea* and *Peltophprum pterocarpum* growing in different areas of Karachi. African Journal of Biotechnology, 8(11): 2469-2475.
- Tiwari, Sh., 2013. Air pollution induced changes in foliar morphology of two shrub species at Indore city, India. Research Journal of Recent Sciences, 2: 195-199.
- Treshow, M. and Anderson, F.K., 1989. Effects of sulphur dioxide and heavy metals. In: Treshow, M. and Anderson, F.K. (Eds.). Plant Stress from Air Pollution. John Wiley, Chichester, 257p.

Vitharana, U.W.A., Wuytack, T., Potters, G. and Samson, R., 2010. Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of *Plantago lanceolata* L. Environmental Pollution, 158: 788-794.
- Karimi, M. and Azizi, M.M., 1997. Basic Growth Analysis (translation). Published by Jihad-e Daneshgahi of Mashhad, Mashhad, 111p (In Persian).
- Kundu, S.K. and Tigerstedt, P.M.A., 1998. Variation in net photosynthesis, stomatal characteristics, leaf area and whole-plant phytomass production among ten provenances of neem (*Azadirachta indica*). Tree physiology, 19: 47-52.
- Leghari, S.K. and Zaidi, M.A., 2013. Effect of air pollution on the leaf morphology of common plant species of Quetta city. Pakistan Journal of Botany, 45(S1): 447-454.
- Lordifard, P., Seyyednejhad, S.M. and Motamedi, H., 2013. The effect of air pollution on some physiological parameters in conocarpus growthed in bidboland gas refinery. Proceedings of the First National Conference on Plant Stress. Esfahan University, 10-11 Nov. 2012: 1-6.
- Mansfield, T.A. and McCune, D.C., 1988. Problems of crop loss assessment when there is exposure to two or more gaseous pollutants, In: Heck, W.W., Taylor, O.C. and Tingey, D.T., (Eds.). Assessment of Crop Loss from Air Pollutants. Elsevier Applied Science, London, 350p.
- Mebrahtu, T. and Hanover, J.W., 1991. Family variation in gas exchange, growth and leaf traits of black locust half-sib families. Tree Physiology, 8: 185-193.
- Mozaffarian, V., 2005. Trees and shrubs of Iran. Published by Farhang-e Moaser, 991p.
- Nayak, D., Patel, D.P., Thakare, H.S. Satashiya, K. and Shrivastava, P.K., 2015. Evaluation of air pollution tolerance index of trees. Research in Environment and Life Sciences, 8(1): 7-10.
- Niinemets, U., 1999. Components of leaf dry mass per area -thickness and density-alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. New Phytologist, 144: 35-47.
- Oka, E., Yuko, T., Takeshi, O. and Noriaki, K., 2003. A physiological and morphological study on the injury caused by exposure to the air pollutant, peroxyacetyl nitrate (PAN), Based on the quantitative assessment of the injury. The Botanical Society of Japan and Springer,

Response of round-leaf ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) leaves to urban pollutant gases

F. Rashidi [1]*, A. Jalili [2] and R. Abbas Azimi [3]

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail:fr_nrms@yahoo.com

2- Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 16.07.2015 Accepted: 16.01.2016

Abstract

Air pollution is one the threatening factors affecting human and plants health in the cities. Since human continuance is closely related with the plants' survival, different effects of pollution on plants can affect green areas and vegetation management and preservation in urban zones. Therefore, this study was carried out to define the effects of urban pollutant gases (SO_2, NO_2 and O_3) on quantitative characteristics of round-leaf ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) in Tehran. The study was carried out in seven municipal districts of Tehran, which were selected to include the wide spectrum of climatic conditions and contrasted levels of air pollution within the city. Quantitative characteristics including leaf area, specific leaf area, wet and dry weight, leaf toughness and thickness and water content percentage were studied by means of correlation analysis and t- test. The correlation results showed that increasing air pollution results in decreasing dry and wet weights and leaf area. Amongst the seven studied districts, the analysis revealed that Azadi and Sorkhehesar areas were associated with significant differences in pollution and non-significant differences in soil and climate. Our study indicated that all of the characteristics are significantly different in two areas. Furthermore, the quantities of all parameters except leaf thickness significantly decreased in more polluted areas.

Keywords: Air pollution, leaf area, leaf thickness, Sorkhehesar, urban green space.