محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۲ ، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸
صفحات ۲۵۱ تا ۲۶۱

بررسی گونه‌های مقاوم به آلودگی هوا (اقاقیا، زبان‌گنجشک و چنار) در فضای سبز شهری تهران

فرحناز رشیدی[1]*

۱ - استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۹۷/۰۲/۲۳ - تاریخ پذیرش ۹۷/۰۳/۲۳)

چکیده:

تاثیرات منفی آلودگی هوا باعث تغییرات آناتومی، فیزیولوژی و مورفولوژی در گیاهان می‌شود. جهت بالا بردن کیفیت هوای آلوده شهر نیازمند گیاهان علی‌الخصوص درختان هستیم. لذا گیاهانی که بتوانند بین ساختارهای درونی و محیط آلوده بیرون تعادل ایجاد نمایند، می‌توانند در این شرایط دوام آورده و در فراهم آوردن کیفیت و پالایش بهتر هوای شهر موثر واقع شوند. لذا این مطالعه به منظور تعیین نمودن شاخص مناسب جهت تعیین نمودن مقاومت گونه‌هایی با حداکثر پراکنش درسطح شهر تهران انجام گرفت. جهت این بررسی هفت منطقه مطالعاتی انتخاب گردید و هفت پارامتر مورفولوژی (سطح برگ، وزن تر و خشک، کشش برگ، ضخامت برگ، سطح برگ مخصوص و درصد رطوبت برگ) و ۲۰ خصوصیت آناتومی بر سه گونه اقاقیا، زبان گنجشک و چنار اندازه‌گیری و محاسبه شد. دو منطقه سرخه‌حصار و آزادی به عنوان مناطقی که فقط تحت تاثیر آلودگی هوا بوده و پارامترهای اقلیمی و خاک در دو منطقه ثابت است معرفی شدند. کاهش و افزایش معنادار در برخی خصوصیات گیاهی در هر سه گونه چنار،زبان گنجشک و اقاقیا مشاهده شد. ضخامت برگ (سرخه حصار= ۰/۱۲، آزادی= ۱۴/ ۰ و $P<0.01$) و ضخامت کوتیکول فوقانی (سرخه حصار= ۱/۹، آزادی= ۳/۵ و $P<0.05$)، نسبت پارانشیم نردبانی به پارانشیم اسفنجی (سرخه حصار= ۱/۲، آزادی= ۱/۹ و $P<0.05$) و تراکم روزنه در سطح تحتانی (سرخه حصار= ۳۴۷، آزادی= ۴۴۴ و $P<0.05$) بصورت معنی‌داری در گونه اقاقیا افزایش داشتند. بیشترین ارتباطات معنی‌دار با شاخص‌های مقاومت به شرایط آلودگی در گونه اقاقیا و کمترین در گونه چنار مشاهده شد. نتایج مطالعه منجر به معرفی گونه اقاقیا به عنوان گونه‌ای که نسبت به دو گونه دیگر مقاوم‌تر به شرایط آلودگی می‌باشد می‌گردد.

کلید واژگان: پالایش، ساختار درونی، کاشت، مقاومت، Rp/Rs

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۲۱۴۴۷۸۷۲۸۲ ایمیل: Rashidi@rifr-ac.ir

۱. مقدمه

مطالعه بر روی گیاهان رشد یافته در فضای شهری که نقش مهمی در پالایش هوای شهر دارند، جهت داشتن اطلاعات کمی و پایه در انجام مدیریت مناسب فضاهای سبز شهری لازم و ضروری می باشد. گیاهان به تن آلودگی حساس بوده و به وسیله تغییردر فرآیندهای حیاتی خود مانند رشد و یا میزان فتوسنتز به استرس محیطی واکنش نشان می‌دهند (Pandy & Pandy, 1996). بسیاری از این تغییرات پاسخ‌های جبرانی زیستی به تنش‌های محیطی هستند که عکس‌العملی برای کم کردن آسیب‌های حاصل از تنش (Woo *et al*., 2007) و انطباق با شرایط نامناسب مانند آلودگی هوا است (Wyszkowski & Wyszkowski, 2003). توانایی گیاهان برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت، مدت تنش و همچنین گونه گیاهی دارد (Yordanov & Tsoev, 2000).

مطالعات بیانگر آنست که ویژگیهای برگ منعکس کننده مکانیزم انطباقی گیاهان به محیط اطرافشان هست (Miao *et al*., 2016). این محققان مکانیزم انطباقی برگها را از طریق تغییرات در مشخصه های آناتومی و مورفولوژی نسبت به تغییرات محیطی نشان دادند. بررسی ارتباط بین ده مشخصه مورفولوژی و آناتومی برگ (ضخامت برگ، ضخامت مزوفیل نردبانی، ضخامت مزوفیل اسفنجی، طول سلولهای نگهبان، ضخامت مزوفیل نردبانی به ضخامت برگ، ضخامت مزوفیل اسفنجی به ضخامت برگ، ضخامت مزوفیل نردبانی به ضخامت مزوفیل اسفنجی، سطح برگ، وزن برگ، توده مخصوص برگ (وزن برگ به سطح برگ) و حساسیت به ازن در دو ژنوتیپ از نونهالهای *Prunus serotina* از مطالعات مشابه در این زمینه می‌باشد. در برگهای ژنوتیپ حساس به ازن بصورت معنی‌داری لایه-های مزوفیل نردبانی نازک‌تر، لایه‌های مزوفیل اسفنجی ضخیم‌تر، نسبت مزوفیل نردبانی به اسفنجی پایین‌تر، وزن برگ و سطح برگ بزرگتر و ضخامت برگ، طول سلول نگهبان و توده برگ مخصوص در ژنوتیپ حساس به ازن بصورت غیرمعنی‌دار بزرگتربود (Ferdinand *et al*., 2000). مطالعات Dineva (۲۰۰۴) بر روی تغییرات مورفولوژی و آناتومی برگ *Fraxinus american* L. و *Platanus aceifolia* Willd رویش یافته در محیط‌های صنعتی شهر صوفیا (بلغارستان) با آلودگی سنگین با هدف تعیین و مقایسه تاثیر آلودگی هوا بر روی مورفولوژی (سطح برگ و ضخامت برگ) و ساختار برگ‌های (ضخامت کوتیکول فوقانی و تحتانی، ضخامت اپیدرم فوقانی و تحتانی، ضخامت مزوفیل نردبانی و اسفنجی) درختان برگ‌ریز نشان داد که در هر دو گونه سطح برگ مناطق آلوده به‌صورت معناداری کمتر از منطقه کنترلی است. بقیه فاکتورها غیر از ضخامت کوتیکول تحتانی در *Platanus aceifolia* Willd به‌صورت معنی‌داری از منطقه کنترلی بیشتر است. هر دو گونه مقاوم به تغییرات محیطی بوده و بصورت وسیع جهت جنگل-کاری استفاده می‌شوند.

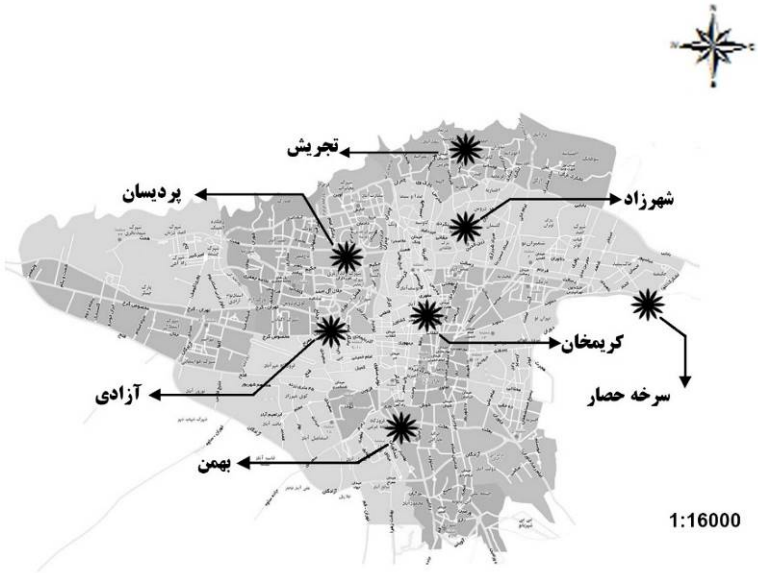
Amini و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات ایجاد شده در خصوصیات آناتومی درختان اقاقیا و عرعر را به منظور سازش بیشتر با الودگی هوای منطقه (شهر اراک) ذکر کرده اند. Madah (۲۰۱۶) به بررسی اثر آلودگی هوا بر روی خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی برگ چنار در

شهر تهران پرداختند و کاهش معنی دار سطح برگ و افزایش هدایت روزنه ای را در منطقه آلوده گزارش کردند. اطلاعات موجود حاکی از آنست که تحقیقات در زمینه تعیین گونه‌های مقاوم به آلودگی هوا در ایران کافی نمی‌باشد. در حال حاضر بیشتر اطلاعات و جداول ارایه کننده گونه‌های مقاوم به آلودگی هوا، عموما از خارج از ایران گرفته شده‌اند. لذا لازم است مطالعات مربوط به ارایه گونه‌های مقاوم به آلودگی با شرایط داخلی انجام و ارایه گردد. لذا این مطالعه با انتخاب کردن شهر تهران به عنوان کلانشهر آلوده و پراکنش مناسب سه گونه اقاقیا، زبان گنجشک و چنار اقدامی در معرفی گونه مناسب جهت کاشت در فضای سبز شهری تهران می‌باشد. جهت تعیین گونه مقاومتر به آلودگی هوا، شهر تهران به عنوان یکی از کلان شهرهای آلوده و بررسی تغییرات خصوصیات آناتومی و مورفولوژی در مقابل آلودگی هوا در سه گونه چنار، اقاقیا و زبان‌گنجشک با پراکنش بالا در سطح شهر تهران انتخاب گردید.

۲. مواد و روش‌ها

۱،۲. منطقه مطالعاتی

شهر تهران واقع در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. پس از بررسی اطلاعات هواشناسی و آلودگی هوا، هفت منطقه شهرزاد، تجریش، پردیسان، کریمخان، آزادی، سرخه حصار و بهمن انتخاب گردیدند (شکل ۱). این مناطق در فاصله حداکثر یک کیلومتری از ایستگاه سنجش آلودگی هوا و در نزدیکترین فاصله با ایستگاه هواشناسی قرار داشتند.



شکل ۱- نقشه مناطق مطالعاتی در شهر تهران

۲،۲. روش‌های جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات هواشناسی میانگین کمترین دما، میانگین بیشینه دما، میانگین متوسط دما، میانگین روزهای یخبندان، میانگین حداقل مطلق دما و میانگین حداکثر مطلق دما و میانگین بارندگی سالانه از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به مناطق مطالعاتی جمع‌آوری شد. اطلاعات آلودگی هوا شامل اطلاعات ساعتی مربوط به گازهای آلاینده دی اکسید نیتروژن (NO_2)، دی اکسید گوگرد (SO_2) و اوزن (O_3) از ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا مربوط به سازمان حفاظت از محیط زیست تهیه شد.

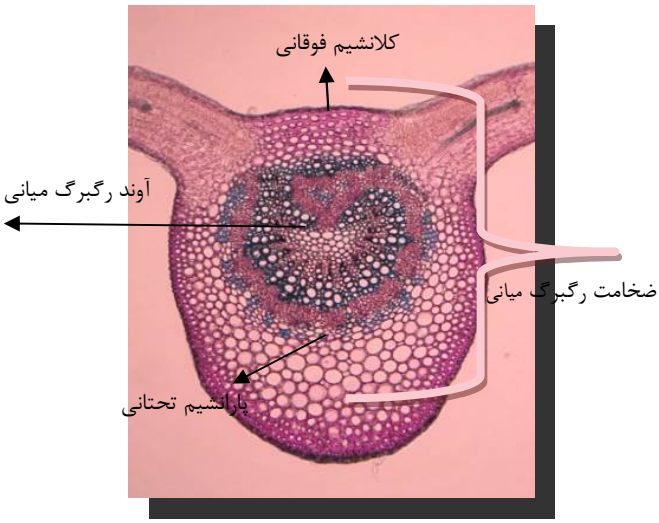
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با حفر سه پروفیل تا عمق متوسط یک متر در هر منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شامل بافت خاک، هدایت الکتریکی، درصد آهک، درصد مواد آلی، میزان پتاسیم، فسفر و نیتروژن است. پنج پایه بصورت تصادفی ازمیان درختان با صفات قطر برابر، سالم، دارای تاج متقارن و بدون آفت در هر یک از مناطق مورد مطالعه انتخاب و نمونه‌برداری از برگ درختان در اواخر مرداد ماه انجام گردید. جهت انجام مطالعات از هر پایه، پنج برگ از سمت جنوب و وسط تاج جمع‌آوری شد. ۷ پارامتر مورفولوژی سطح برگ، وزن تر و خشک، کشش برگ، ضخامت برگ، سطح برگ مخصوص و درصد رطوبت برگ و ۲۰ خصوصیات آناتومی ضخامت پهنک، مزوفیل پهنک، آوند پهنک، ضخامت و تعداد سلول‌های نردبانی و اسفنجی،Rp/Rs، (Rp ضخامت مزوفیل نردبانی و Rs ضخامت مزوفیل اسفنجی)، ضخامت کوتیکول، ضخامت اپیدرم، ضخامت و تعداد کلانشیم و پارانشیم رگبرگ اصلی، ضخامت رگبرگ میانی، مزوفیل و آوند رگبرگ میانی، تعداد و طول روزنه های سطح فوقانی و تحتانی) شکل۲و ۳ مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

لازم به ذکر است که جهت اندازه‌گیری پارامترهای تعداد و طول روزنه‌های سطح فوقانی و تحتانی برگ، مقاطع طولی سطح برگ جهت اپیدرم شکل۴ تهیه گردید. هدف از اندازه‌گیری این پارامترها، مشخص کردن پارامترهای حساس به آلودگی و در نتیجه تعیین گونه‌های مقاوم به آلودگی هوا و در نهایت پیشنهاد مقاوم‌ترین گونه جهت کاشت در فضای سبز شهری بود.

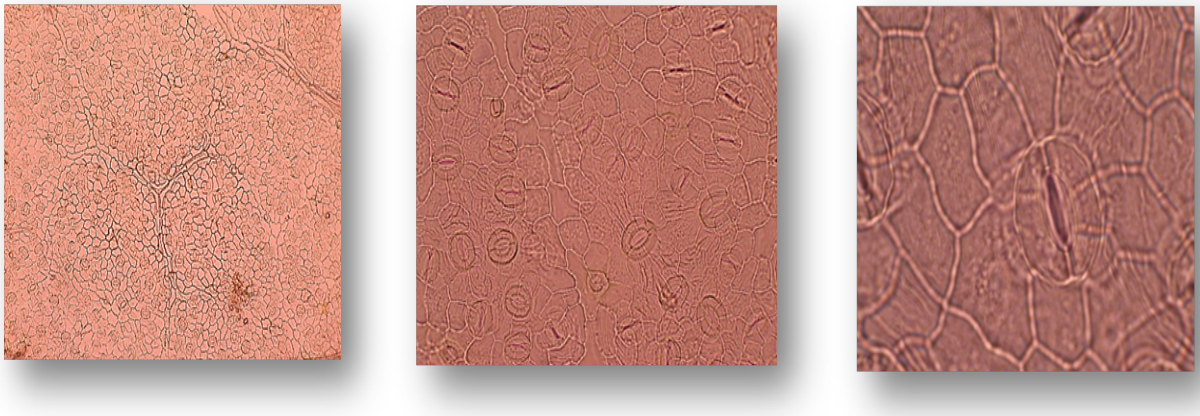
۲،۳. آنالیز داده ها

اطلاعات جمع‌آوری شده اقلیم، خاک، آلودگی و خصوصیات آناتومی و مورفولوژیکی برگ سه گونه درختی اقاقیا، زبان گنجشک و چنار در نرم افزارEXCEL وارد و با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 و آنالیز T برای نمونه‌های مستقل بین خصوصیات ذکر شده جهت بررسی تفاوت پارامترهای محیطی و خصوصیات کمی برگ درخت تحت تاثیر آلودگی انجام گرفت.

شکل۲- مقطع عرضی از پهنک برگ چنار



زبان گنجشک شکل ۳- مقطع عرضی از رگبرگ اصلی



شکل ۴- مقطع طولی برگ و نمایش روزنه‌ها در سطح تحتانی برگ چنار (بزرگ‌نمایی از چپ به راست به ترتیب x ۱۰، x ۴۰ و x ۱۰۰)

۳. نتایج

مطالعه سطوح مختلف آلودگی، اقلیم و خاک در مناطق مطالعاتی بیانگر مناسب بودن دو منطقه سرخه حصار و آزادی جهت بررسی تاثیر آلودگی هوا بر روی گونه‌های مد نظر و معرفی گونه مقاوم‌تر می‌باشد (جدول ۱). نتایج حاکی از آنست که دو منطقه دارای تفاوت معنادار از نظر پارامتر آلودگی (میانگین دی اکسید نیتروژن ۰/۰۲۱ در سرخه حصار و ۰/۰۵۸ در آزادی و میانگین دی اکسید گوگرد ۰/۰۰۹ در سرخه حصار و ۰/۰۵۷ در آزادی) و عدم تفاوت معنی‌دار بین پارامترهای خاک (یازده پارامتر) و اقلیم (هفت پارامتر) می‌باشد که شرایط را برای بررسی تاثیر آلودگی بر روی خصوصیات گیاهی فراهم می‌کند. لازم به ذکر است این دو منطقه در یک دامنه ارتفاعی و عرض جغرافیایی قرار دارند و می توان اثر این تغییرات را در دو منطقه ثابت فرض کرد.

جدول ۱- مقایسه سطوح مختلف آلودگی، اقلیم و خاک در دو منطقه مطالعاتی آزادی و سرخه حصار

	میانگین سرخه حصار	میانگین آزادی	P-value
آلودگی هوا			
میانگین دی اکسید نیتروژن (ppm)	۰/۰۲۱±۰/۰۰۳	۰/۰۵۸±۰/۰۱۶	۰/۰۰۳**
میانگین دی اکسید گوگرد (ppm)	۰/۰۰۹±۰/۰۰۳	۰/۰۵۷±۰/۰۳۹	۰/۰۲۹*
میانگین اوزن (ppm)	۰/۰۲۴±۰/۰۱۲	۰/۰۱۳±۰/۰۰۲	۰/۱۱۹ ns
بیشترین میزان اوزن (ppm)	۰/۱۲۱±۰/۰۳۷	۰/۰۹۴±۰/۰۰۳	۰/۱۹ ns
اقلیم			
میانگین کمترین دما (^{o}C)	۱۳/۳۴۲±۰/۷۸۸	۱۳/۲۷۲±۰/۶۹۹	۰/۷۶۲ ns
میانگین بیشترین دما (^{o}C)	۲۳/۱۸۹±۰/۷۶۸	۲۳/۱۲۶±۰/۷۶۲	۰/۷۹۳ ns
میانگین متوسط دما (^{o}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 (^{o}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 (^{o}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	۰/۴۰۵ns
درصد سیلت	۲۴/۱۲±۵/۱۹	۱۸/۶۲±۱۲/۰۲۱	۰/۶۵۱ ns

نتایج بررسی بین صفات آناتومی و مورفولوژی برگ درخت چنار، زبان‌گنجشک و اقاقیا حاکی از آنست که این خصوصیات تحت تاثیر تنش‌های زیستی قرار گرفته و به‌صورت تغییرات برخی صفات دردرخت چنار به-

صورت کاهش معنی‌دار تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی (سرخه حصار= ۲/۴،آزادی= ۱/۴)، ضخامت برگ (سرخه حصار= ۱۶/۳، آزادی= ۱۳/۷۴) و افزایش تراکم روزنه تحتانی و Rp/Rs، در درخت زبان‌گنجشک به‌صورت افزایش معنی‌دار ضخامت برگ (سرخه حصار= ۱۸/۹۳، آزادی=۲۲/۰۴)، ضخامت کوتیکول تحتانی (سرخه حصار= ۳/۶۷، آزادی=۴/۸) و افزایش ضخامت کوتیکول فوقانی، تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی، Rp/Rs، تراکم روزنه فوقانی و تحتانی و در درخت اقاقیا به‌صورت افزایش معنی‌دار ضخامت برگ (سرخه حصار= ۰/۱۲، آزادی= ۰/۱۴)، ضخامت کوتیکول فوقانی (سرخه حصار= ۱/۹، آزادی= ۳/۵)، Rp/Rs (سرخه حصار= ۱/۲، آزادی= ۱/۹)، تراکم روزنه تحتانی (سرخه حصار= ۳۴۷، آزادی= ۴۴۴) و فوقانی (سرخه حصار= ۵۵، آزادی=۸۱) و افزایش ضخامت کوتیکول تحتانی جدول ۲ در منطقه آزادی نسبت به سرخه حصار خود را نشان می‌دهند.

جدول ۲- تغییرات خصوصیات مورفولوژی و آناتومی برگ گونه‌های چنار، زبان‌گنجشک و اقاقیا در منطقه آلوده (آزادی) در مقابل منطقه با آلودگی کمتر(سرخه‌حصار)

صفات مورفولوژی و آناتومی	میانگین سرخه حصار	میانگین آزادی	P-value
چنار			
ضخامت برگ (mm)	۱۶/۳±۲/۸۶	۱۳/۷۴±۱/۸۷	<0.01***
ضخامت کوتیکول تحتانی	۳/۶۸±۰/۳۴	۳/۱۲±۰/۵۲	۰/۰۷۸
ضخامت کوتیکول فوقانی	۵/۲۲±۱/۱۶	۴/۸۳±۰/۸۵	۰/۵۹
تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی	۲/۴±۰/۵۵	۱/۴±۰/۵۵	۰/۰۲ *
Rp/Rs	۱/۴۵±۰/۵۱	۱/۷۷±۰/۲۳	۰/۲۳
تراکم روزنه تحتانی	۱۶۷/۵۶±۳۹/۸	۱۷۸/۷۱±۴۰/۲۸	۰/۱۶۵
زبان گنجشک			
ضخامت برگ (mm)	۱۸/۹۳±۵/۲۱	۲۲/۰۴±۵/۳۳	۰/۰۲*
ضخامت کوتیکول تحتانی	۳/۶۷±۰/۱۶	۴/۸±۱/۰۶	۰/۰۳ *
ضخامت کوتیکول فوقانی	۳/۹۳±۰/۶۴	۴/۴±۱/۵	۰/۵
تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی	۳/۵±۰/۵۵	۳/۷۵±۰/۹۶	۰/۶۱
Rp/Rs	۰/۹۹±۰/۱۹	۱/۱۴±۰/۳۵	۰/۳۹
تراکم روزنه فوقانی	۱۱۰/۵۶±۴۷/۶	۱۲۶/۳۳±۵۹/۳۹	۰/۱۳
تراکم روزنه تحتانی	۳۵۳/۵±۱۳۱	۳۷۲/۶±۷۳	۰/۳۶
اقاقیا			
ضخامت برگ (mm)	۰/۱۲±۰/۰۱	۰/۱۴±۰/۰۱۶	۰/۰۰۳**
ضخامت کوتیکول فوقانی	۱/۹±۰/۲	۳/۵±۰/۱	۰/۰۰ *
ضخامت کوتیکول تحتانی	۱/۷۶±۰/۳۶	۲±۰/۳۳	۰/۳۳
تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی	۲/۸±۰/۲	۲/۳±۰/۳۳	۰/۲۴
Rp/Rs	۱/۲±۰/۱۴	۱/۹±۰/۰۲	<0.01*
تراکم روزنه فوقانی	۵۵±۵/۱۶	۸۱±۳/۵۴	<0.01*
تراکم روزنه تحتانی	۳۴۷±۷/۹۱	۴۴۴±۱۰/۲۸	<0.01*

۴. بحث و نتیجه‌گیری

گیاهان تحت شرایط آلودگی تغییرات آناتومی و مورفولوژی خود را گسترش می‌دهند و گونه‌های مختلف در شدت عکس‌العمل به آلودگی‌ها متفاوت هستند. تنش آلودگی هوا، اندازه و ساختار برگ را تغییر می دهد و در حقیقت با تغییر در اندازه سلول های برگ در جهت کنترل جذب آلاینده های گیاهی رفتار می کند (Meerabai *et al*., 2012). مشخصات ساختاری گونه‌های بررسی شده نشان می‌دهد یک پتانسیل معنادار جهت مقاومت به آلودگی هوا وجود دارد. عکس-العمل گونه‌های مختلف به شرایط محیطی نشان از ارتباط قوی این شرایط با خصوصیات ساختاری و عملکردی آنها دارد. نتایج بررسیهای آناتومی و مورفولوژی سه گونه نشان داد که گیاه توانسته با عکس العمل در قبال تنش آلودگی، محیط داخلی خود را ثابت نگه دارد و به ادامه حیات خود به‌صورت طبیعی ادامه دهد. نسبت بالای Rp/Rs، ضخامت بالای کوتیکول، افزایش تراکم روزنه و تغییرات ضخامت برگ از خصوصیات مهمی هستند که نشان از مقاوم بودن گیاه به آلودگی دارند و به وسیله آن می‌توان گونه‌های گیاهی مقاوم را از گونه‌های حساس به آلودگی تشخیص داد. برگ‌های ضخیم دارای پتانسیل فتوسنتزی بالایی بوده که باعث ایجاد یک فرآیند جبرانی در کاهش فتوسنتز در شرایط آلودگی هستند (Niinemets, 1999). افزایش نسبت Rp/Rs نیز نشان از راه‌کاری جهت جبران کاهش فعالیت فتوسنتز (Higaki *et al*., 1984) و مانعی برای ورود کمتر مواد سمی به داخل گیاه (Nikolaevski, 1963) و افزایش ضخامت کوتیکول هم مانعی برای ورود آلودگی به‌درون ساختار برگ است (Sharma & Butler, 1975). نتایج مطالعات بیانگر آن است که تغییر در تراکم روزنه به‌عنوان یک واکنش به تنش‌های محیطی و یک شیوه مهم برای کنترل جذب آلاینده‌هاست (Meerabai *et al*., 2012; Gostin, 2009).

در درخت اقاقیا میزان شاخص Rp/Rs بصورت معنی-داری در منطقه آلوده بیشتر از منطقه با آلودگی کمتر می‌باشد. بدین مفهوم که ضخامت پارانشیم نردبانی نسبت به پارانشیم اسفنجی بصورت معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. مطالعات دیگر نیز تایید کننده نتیجه این مطالعه می باشند (Dineva., 2004; Reig-Armiñana *et al*., 2004). مطالعات Amini و همکاران (۲۰۱۶) نیز موید این مطلب در مورد گونه *Ailanthus altissima* است. Nikolaevski (۱۹۶۳) معتقد بود که یکی از پارامترهای اصلی جهت تشخیص پایداری گیاه به آلودگی هوا نسبت بالای Rp/Rs می‌باشد، هرچه ضخامت مزوفیل اسفنجی کمتر و مزوفیل نردبانی بیشتر شود مقدار ضریب بالاتر خواهد رفت و گیاه مقاومتر به آلودگی هوا خواهد بود. فضای بین سلولی عریض (پارانشیم اسفنجی)، باعث نفوذ و جذب سریع‌تر سموم گیاهی به سمت سلولهای نردبانی می‌شود (Reig-Armiñana *et al*., 2004). برگهای ژنوتیپ گیاه حساس به اوزن نشان از بزرگ بودن مزوفیل اسفنجی با فضای بین سلولی بزرگتر و مزوفیل نردبانی کوتاه‌تر دارد که باعث مقاومت کمتر برگ به دخول اوزن به لایه‌های مزوفیل نردبانی می‌شود (Ferdinand *et al*., 2000). از طرفی با توجه به اینکه پارانشیم نردبانی بخش اصلی در جذب نور و دارای

بیشترین تعداد کلروپلاست در هر سلول هست، لذا نقش عمده‌ای در فتوسنتز را دارد (Higaki *et al*., 1984). از آنجا که حفظ و افزایش کلروفیل گیاه در معرض آلودگی هوا می‌تواند نشانه تحمل و مقامت گیاه نسبت به آلودگی هوا باشد (Singh & verma, 2007)، می‌توان نتیجه گرفت درخت اقاقیا از این طریق نیز با تنش مقابله کرده و مانع کاهش فتوسنتز گیاه شده است. لذا افزایش نسبت پارانشیم نردبانی به پارانشیم اسفنجی به عنوان شاخص جهت تعیین گیاهان مقاوم به آلودگی هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تراکم روزنه تحتانی در هر سه گونه در منطقه آلوده افزایش نشان داده است و این تفاوت در گونه اقاقیا معنی‌دار می‌باشد. Amini و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود افزایش تراکم روزنه در گیاه عرعر را در مقابل شرایط آلودگی گزارش کردند. مطالعات Rai و Kulshreshtha (۲۰۰۴) نیز نشان از افزایش تعداد روزنه در گیاهان *Quisquali indica*، *Nyctanthus arbortristis*، *Terminalia arjuna* مناطق آلوده داد. به‌نظر می‌رسد تعدادی از گیاهان در برابر آلاینده‌های هوا با افزایش روزنه با آلودگی هوا مقابله می‌کنند. Wuytackو همکاران (۲۰۱۰) نیز تشکیل روزنه بیشتر در درختان بید سفید در مناطق آلوده را نشانی از سازش گیاه به شرایط محیطی می دانند.

با توجه به شاخصهای معرفی شده، در گونه چنار با کاهش ضخامت برگ و کاهش ضخامت کوتیکول مواجه هستیم. در واقع واکنش این صفات بیانگر آن است که جهت تغییرات در راستای مقاومت گیاه به شرایط آلودگی عمل نمی‌کنند و باعث آسیب پذیری گیاه نسبت به آلودگی می‌شوند. در حالیکه در درخت زبان گنجشک در واکنش به استرس آلودگی با افزایش ضخامت برگ و افزایش کوتیکول تحتانی و در درخت اقاقیا با افزایش معنی دار ضخامت برگ، ضخامت کوتیکول، افزایش تراکم روزنه و افزایش شاخص Rp/Rs مواجه هستیم. در این مقایسه گونه چنار مقاومت کمتری به آلودگی نشان می‌دهد و اقاقیا بیشترین مقاومت را نشان داده است. Pourkhabaz و همکاران (۲۰۱۰) نیز آلودگی هوا را سبب از بین رفتن تدریجی گونه چنار در تهران می دانند. Madah (۲۰۱۶) نیز علت زرد شدن برگ های گیاه در اواخر مرداد و شهریور را پس از مواجه شدن با تنش کم آبی تابستان به همراه آلودگی هوا دانسته‌اند.

نتیجه‌گیری نهایی منجر به معرفی گونه اقاقیا به عنوان گونه مقاوم‌تر نسبت به آلودگی می‌باشد و از آن می‌توان به عنوان یک گونه جهت کاشت در فضاهای سبز شهری با آلودگی بیشتر استفاده نمود. در تایید نتیجه مطالعه حاضر محققین مختلفی راجع به تاثیرات آلودگی بر روی گونه‌های مختلف خانواده Fabaceae مطالعه کرده‌اند. همبستگی قوی بین میزان آلودگی و تجمع در برگ‌های گیاهان ارزیابی شده نشان می‌دهد که برگ-های درخت اقاقیا عکس‌العمل مناسبی به تغیرات محیطی از خود نشان می‌دهند (Celik *et al*., 2005). Amini و همکاران (۲۰۱۶) نیز از گونه اقاقیا به عنوان گیاهی که با ساز و کارهای مختلف در مقابل آلودگی هوای منطقه واکنش نشان می‌دهد و نشان دهنده مقاومت نسبی این گیاه می‌باشد، نامبرده است. استفاده از نتایج این مطالعه جهت کاشت گونه‌های مقاوم به آلودگی در فضاهای شهری می‌تواند باعث افزایش کیفیت و پالایش هوای شهری شود.

References:

Amini, F., Fattah Ravandi, N., Askary Mehrabadi, M., 2016. Anatomical Study of the Air Pollution Effect on *Robinia pseudoacacia* and *Ailanthus altisima* Leaves Near to Iran Aluminum Co. (IRALCO). Journal of Cell & Tissue (JCT). 6(4), 501-511. (In persion).

Celik, A., Kartal, A., Akdogan, A., Kaska, Y., 2005. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinia pseudoacasia* L. Environment International. 31(1), 105-112.

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., 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.

Gostin, IN., 2009. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabacea species. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. 37(2), 57-63.

Higaki, T., Rasmussen, H.P., Carpenter, W.J., 1984. A Study of Some Morphological and Anatomical Aspects of *Anthurium Andreanum* Lind. HITAHR, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.

Madah, S.M., 2016. The effect of Tehran air pollution on some morphological and physiological parameters of plane (*platanus orientalis* L.) leaves. Plant Environmental Physiology. 11(43), 66-75. (In persion).

Meerabai, G., Venkata- Ramana, C., Rasheed, M., 2012. Effect of air pollutants on leaves of *pigeon pea*, A pulse crop of Fabaceae growing in the vicinity of a silicon Industry. World Rural Observ. 4(2), 19-21.

Miao, T., Guirui, Y., Nianpeng, He., Jihua, H., 2016. Leaf morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. Nature. 6,19703. DOI: 10.1038.

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.

Nikolaevski, V.S. O., 1963. pokazateliakh gazousto chivosti drevesnykh rasteni. INTA Biologii UFAN, Vyp, 31. Svredlovsk. 74 P. (In Russia)

Pandey, j. and Pandey, U. 1996. Adaptational strategy of a tropical shrub *Carissa Carandas* L. to urban air pollution. Environmental Monitoring and Assessment. 43(3), 255-265.

Pourkhabaz, A., Rastin, N., Olbrich, A., langenfeld-Heyser, R., Polle, A., 2010. Influence of environmental pollution on leaf properties of urban plane trees, Platanus orientalis. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 8(5), 251-255.

Rai, A., Kulshreshtha, K., 2004. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. Journal of Food, Agriculture and Environment. 4(1), 253-259.

Reig-Armiñana, J., Calatayud, V., Cervero´, J., Garcia-Breijo, F.J., Ibars, A., Sanz, M.J., 2004. Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). Environmental Pollution. 132, 321-331.

Sharma, G.K., Butler, J., 1975. Environmental pollution: leaf cuticular patterns in *Trifolium pratense* L. Annals of Botany. 39, 1087 –1090.

Singh, D.K., and Verme, R. 2007. Comparison of second derivative-spectrophotometric and reversed-phase HPLC methods for the determination of prednisolone in pharmaceutical formulations. Analytical Sciences. 10, 1241-1243.

Woo, S., Lee, D. and Lee, Y. 2007. Net photosynthetic rate, ascorbat peroxidase and

Wyszkowski, M. and Wyszkowska, J. 2003. Effect of soil contamination by copper on the content of macro elements in spring barley. Polish Journal of Natural Science. 14, 309-320.

Yordanov, V. and Tsoev, T. 2000. Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance. Photosynthica. 38,
171-186.

gluthation reductase activities of Erythrina orientalis in polluted and no polluted areas. Potosynthetica. 45, 293-295.

Wuytack, T., Verheyen, K., Wuyts, K., Kardel, F., adriaenssense, S., Samson, R., 2010. The potential of biomonitoring of air quality using leaf characteristics of white willow (*Salix alba* L.). CLIMAQS workshop, local air quality and its interactions with vegetation, January 21-22, Antwerp. Belgium.