

ارزیابی شاخص مقاومت به آلودگی هوا در سه گونه درختی توت سفید، آسمان‌دار و بیدمجنون در چند منطقه از کلان‌شهر تهران

اعظم سلیمی*^۱، حامد دادخواه آغداش^۲

salimi@khu.ac.ir

۱. دانشیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

hameddadkhah71@yahoo.com

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۲۴

چکیده

پراکنش آلاینده‌های سمی و سرطان‌زای ناشی از حمل‌ونقل وسایل نقلیه و دود حاصل از کارخانه‌های صنعتی از جمله عوامل عمده آلوده‌کننده هوا در شهر تهران به شمار می‌آیند. یکی از راهکارهای مقابله با آلاینده‌های هوا، کاشت درختان مقاوم در معابر عمومی و جاده‌هاست. مقاومت گیاهان نسبت به آلاینده‌های هوا توسط شاخص مقاومت به آلودگی هوا (APTI) اندازه‌گیری می‌شود. افزایش این شاخص نشانه مقاومت بیشتر گیاه به آلودگی هوا است. در این پژوهش، APTI در سه گونه درختی توت سفید، آسمان‌دار و بیدمجنون در اواخر فصل تابستان سال ۱۳۹۶ ارزیابی شد. بدین منظور از ۴ منطقه کلان‌شهر تهران اعم از مناطق میرداماد، پونک، انقلاب و آزادی (مناطق ۳، ۵، ۶، ۹ شهرداری) نمونه‌های برگ‌ی جمع‌آوری شد. سپس با انجام سنجش‌های بیوشیمیایی همچون اندازه‌گیری میزان اسید آسکوربیک و کلروفیل کل به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و تعیین pH عصاره‌های برگ‌ی و اندازه‌گیری محتوای نسبی آب در برگ‌های درختان مورد مطالعه، شاخص APTI محاسبه شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که درخت توت سفید با شاخص APTI بیشتر (۱۴/۸۵) به‌طور معناداری نسبت به APTI درختان آسمان‌دار (۱۱/۸۰) و بیدمجنون (۱۱/۴۴) مقاومت بیشتر دارد. با توجه به این نتایج، به نظر می‌رسد کاشت این درخت برای بهبود کیفیت هوای کلان‌شهر تهران در فصل تابستان و اوایل پاییز مناسب باشد.

کلیدواژه

آسمان‌دار، بیدمجنون، درخت توت سفید، شاخص مقاومت به آلودگی هوا (APTI)، کلان‌شهر تهران

۱. سرآغاز

چهارمین فاکتور اصلی مرگ‌ومیرهاست (She et al., 2017). آلاینده‌های مناطق شهری به دو گروه منابع آلاینده ناشی از فعالیت انسانی و منابع طبیعی (طوفان، گردوغبار) تقسیم‌بندی می‌شوند. منابع آلاینده ناشی از فعالیت انسانی به دو گروه منابع آلاینده سیار یا متحرک مثل خودرو، وسایل نقلیه سنگین و منابع آلاینده ثابت مثل منابع خانگی، منابع صنعتی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند. آلاینده‌هایی که در مناطق شهری هستند شامل ذرات معلق^۳ با اندازه‌های ۲/۵ و ۱۰ میکرون، ازن، دی‌اکسید سولفور، مونواکسید نیتروژن، سرب و مونواکسید کربن است که اغلب جز آلاینده‌های ثانویه هستند

از بین تعاریف مختلف برای آلودگی هوا در یک تعریف می‌توان گفت که آلودگی هوا عبارت است از حضور یک یا چند آلاینده یا ترکیبی از آن‌ها در هوای آزاد (محیط)^۱ و هوای داخل ساختمان‌ها و منازل^۲ در مقادیر مختلف و در مدت‌زمانی خاص که زندگی راحت یا برخورداری از اموال را برای آن‌ها مختل می‌سازد (Wark & Warner, 1981). آلودگی هوا آثار سوئی بر سلامت انسان داشته و سبب شیوع بیماری‌هایی همچون سرطان ریه و ناهنجاری‌های دستگاه‌های قلبی - عروقی می‌شود. در چین آلودگی هوا

انتخاب گونه‌های گیاهی برای کاشت آن‌ها در شهرهای بزرگ مدنظر باشد و به‌عنوان معیار ارزیابی در توسعه کمربند سبز در شهرها استفاده شود.

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی مقاومت برخی از درختان کاشته شده در شهر تهران نمونه‌برداری از درختان از ۴ منطقه شهر و از سه گونه درختی شامل توت سفید (*Morus alba* L.)، آسمان دار (*Ailanthus altissima* (Mill.)Swingle) و بیدمجون (*Salix babylonica* L.) که با فراوانی بیشتری در شهر تهران وجود دارد صورت گرفت تا با اندازه‌گیری شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) در آن‌ها، حساسیت یا مقاومت آن‌ها در برابر آلودگی هوا تعیین شود.

۲. مواد و روش بررسی

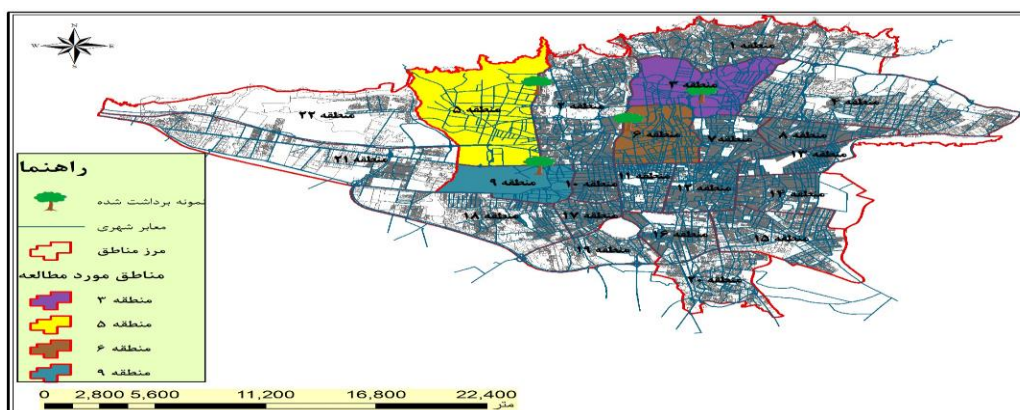
۱.۲. توصیف مناطق مورد مطالعه

تهران با مساحت ۸۰۰ کیلومتر مربع، ۲۲ منطقه شهرداری دارد که در این پژوهش چهار سایت از شهر شامل خیابان میرداماد در منطقه ۳ به‌عنوان سایت ۱، خیابان میرزا بابائی در منطقه ۵ (پونک) به‌عنوان سایت ۲، خیابان کارگر شمالی در منطقه ۶ به‌عنوان سایت ۳ و پایانه مسافربری آزادی در منطقه ۹ به‌عنوان سایت ۴ برای مطالعه انتخاب شدند. بر اساس داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوا (<http://www.airnow.tehran.ir>)، آلاینده اصلی شهر تهران ذرات معلق و از نوع ذرات ۲/۵ میکرون بوده و در بین مناطق مورد مطالعه در این پژوهش، پایانه مسافربری آزادی بیشترین میزان آلودگی و خیابان پونک کمترین میزان را نشان داده‌اند و به این ترتیب به‌عنوان سایت پر آلوده و سایت کم آلوده در این تحقیق منظور شده‌اند.

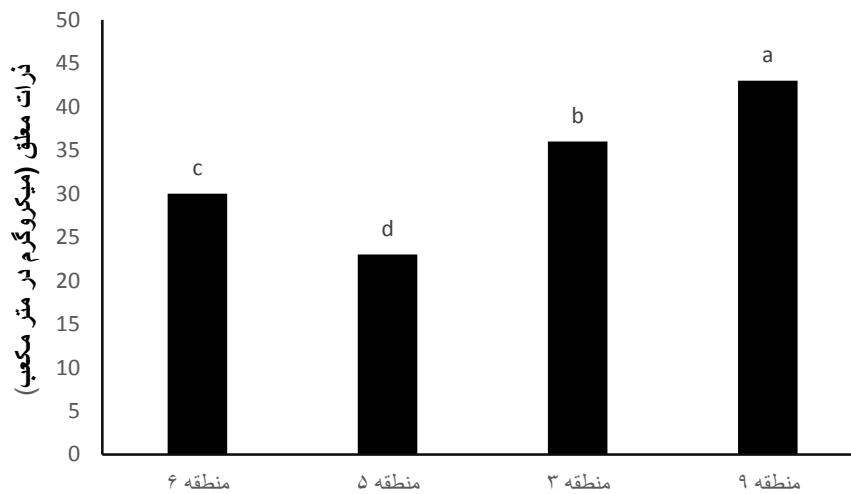
و در اثر احتراق ناقص سوخت وسایل نقلیه و کارخانه‌ها و منابع ثابت ناشی از فعالیت انسان ایجاد می‌شوند (Wark & Warner, 1981; Seinfeld & Pandis, 2016).

گیاهان یکی از عوامل محیطی مؤثر در جذب آلاینده‌ها هستند و در مواردی به‌عنوان مخزن در کاهش سطح آلاینده‌ها در محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند و نقش برجسته‌ای در حفظ تعادل اکولوژیکی محیط‌زیست دارند (Selmi et al., 2016). گیاهان در مقایسه با دیگر موجودات همچون جانوران و انسان‌ها نسبت به آلاینده‌های گازی مقاوم‌تر هستند (Swami & Chauhan, 2015). آلاینده‌های مختلف می‌توانند به‌طور مستقیم بر گیاهان از طریق برگ‌ها یا به‌طور غیرمستقیم از طریق اسیدی کردن خاک تأثیر بگذارند (Swami & Chauhan, 2015). گیاهان که در معرض آلاینده‌ها قرار می‌گیرند قبل از بروز آسیب‌های قابل مشاهده، متحمل تغییرات فیزیولوژیکی آشکار می‌گردند (Dohmen et al., 1990) همچنین واکنش‌های متفاوت از حساسیت تا مقاومت نسبی متوسط و مقاومت نسبی خوب را بروز می‌دهند.

گیاهانی که در مقابل آلودگی هوا مقاومت دارند آن را در ریخت و ظاهر خود و نیز در سطوح مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان می‌دهند همچنین مقاومت در سطوح اخیر در پاسخ‌های فتوسنتزی، تنفسی و واکنش‌های آنزیمی قابل‌ردیابی است (Rai et al., 2013). محققان با کمک برخی از همین فاکتورهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به کمی‌سازی و اندازه‌گیری میزان تحمل گیاهان نسبت به آلودگی هوا پرداخته و شاخصی به نام شاخص تحمل آلودگی هوا^۴ (APTI) را معرفی کردند که می‌تواند در کنار دیگر معیارها در



شکل ۱. معرفی مناطق و محل‌های مورد نمونه‌برداری در شهر تهران



شکل ۳. غلظت ذرات معلق (با اندازه ۲/۵ میکرون) در هریک از مناطق مورد مطالعه در تابستان ۱۳۹۶

(برگرفته از گزارش سازمان کنترل کیفیت هوا <http://www.airnow.tehran.ir>)

از کاغذ صافی واتمن عبور داده و جذب نوری محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV Visible مدل Perkin Elmer، در طول موج‌های ۶۶۳/۲ نانومتر و ۶۴۶/۸ نانومتر اندازه‌گیری شد. از استون ۸۰ درصد به‌عنوان محلول شاهد برای تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل (a+b) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر از روابط زیر استفاده شد (Lichtenthaler, 1987).

$$\text{Chl.a (mg.ml}^{-1}\text{)} = 12.5 \text{ A663.2} - 2.79 \text{ A646.8} \quad (1)$$

$$\text{Chl.b (mg. ml}^{-1}\text{)} = 21.51 \text{ A646.8} - 5.1 \text{ A663.2} \quad (2)$$

$$\text{Chl. (a+b) (mg. ml}^{-1}\text{)} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b} \quad (3)$$

در معادله‌های بالا A663.2 و A646.8 به ترتیب نشان‌دهنده میزان جذب نوری در طول موج‌های ۶۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ است. غلظت کلروفیل با توجه به حجم عصاره و وزن نمونه‌ها بر اساس واحد میلی‌گرم بر گرم وزن تر (mg g⁻¹ FW بیان شد.

۴.۲ درصد محتوای نسبی آب

محتوای نسبی آب برگ گیاهان مورد مطالعه بر اساس فرمول ارائه شده توسط (Liu & Ding, 2008; Zhang et al., 2016) محاسبه شد (رابطه ۴).

۲.۲ نمونه برداری گیاهی

پس از انتخاب محل‌های نمونه برداری، از هر یک از درخت‌های توت سفید (*Morus alba* L.)، آسمان دار (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) و بید مجنون (*Salix babylonica* L.) تعداد چهار پایه با سن و قطر برابر سینه یکسان به صورت تصادفی انتخاب و نمونه برداری برگ از آن‌ها از سطح تاج پوشش و عمق متفاوت آن درختان در ۲۶ شهریور ۱۳۹۶ صورت گرفت. از هر پایه ۳۰ برگ برداشت شد و به منظور آنالیزهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی نمونه‌های برگ‌ی روی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. در همان روز، تعدادی از نمونه‌های برگ‌ی برداشت شده شستشو داده شده و برخی از آنالیزهای بیوشیمیایی روی آن‌ها انجام گرفت و آب حاصل از شستشوی برگ‌ها و نیز بقیه برگ‌ها در دمای ۲۰- درجه در یخچال فریزر ذخیره شدند (Achakzai et al., 2017).

۳.۲ سنجش میزان کلروفیل

برای سنجش میزان کلروفیل‌ها، نخست برگ‌های سالم، بالغ و بدون جراحت تفکیک شده سپس با ترازوی دیجیتالی توزین شد. برگ‌های توزین شده با استون ۸۰ درصد در داخل هاون چینی سائیده شد. هموژن حاصل از برگ‌ها را

با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب $\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$ محاسبه شد (De Pinto *et al.*, 1999).

۷.۲. اندازه‌گیری شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI)

شاخص تحمل آلودگی هوای گونه گیاهی با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط (Singh *et al.*, 1991) تعیین شد (رابطه ۵).

$$\text{APTI} = \frac{[A(T+P)] + R}{10} \quad (5)$$

که در این فرمول، A محتوای اسید اسکوربیک برگ بر حسب $\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$ ، T محتوای کلروفیل کل برگ بر حسب $\text{mg.g}^{-1}\text{Fw}$ ، P pH عصاره برگ و R درصد محتوای نسبی آب برگ است.

۸.۲. تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. برای تجزیه آماری از SPSS ورژن ۲۴ و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار ۲۰۱۳ Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال $p < 0.05$ انجام شد.

۳. نتایج

۱.۳. کلروفیل کل در برگ

میزان کلروفیل کل درخت توت سفید، در سایت‌های ۲، ۳ و ۴ به طور معناداری نسبت به سایت ۱ بیشتر بود. بیشترین میزان کلروفیل در سایت ۴ و کم‌ترین آن در سایت ۱ مشاهده شد (شکل ۳). همچنین در درخت آسمان دار، در سایت‌های ۱ و ۳ به طور معناداری نسبت به سایت‌های ۲ و ۴ بیشتر بود. بیشترین میزان کلروفیل در سایت ۲ و کم‌ترین آن در سایت ۱ مشاهده شد (شکل ۳). در درخت بیدمجنون، میزان کلروفیل کل در سایت‌های ۱ و ۲ اختلاف معناداری نداشتند. در حالی که در سایت ۴ به طور معناداری نسبت به سایت ۳ بیشتر بود. بیشترین میزان کلروفیل در سایت ۴ و کم‌ترین آن در سایت ۲ مشاهده شد (شکل ۳).

$$\text{RWC} = \frac{[(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})] * 100}{(4)}$$

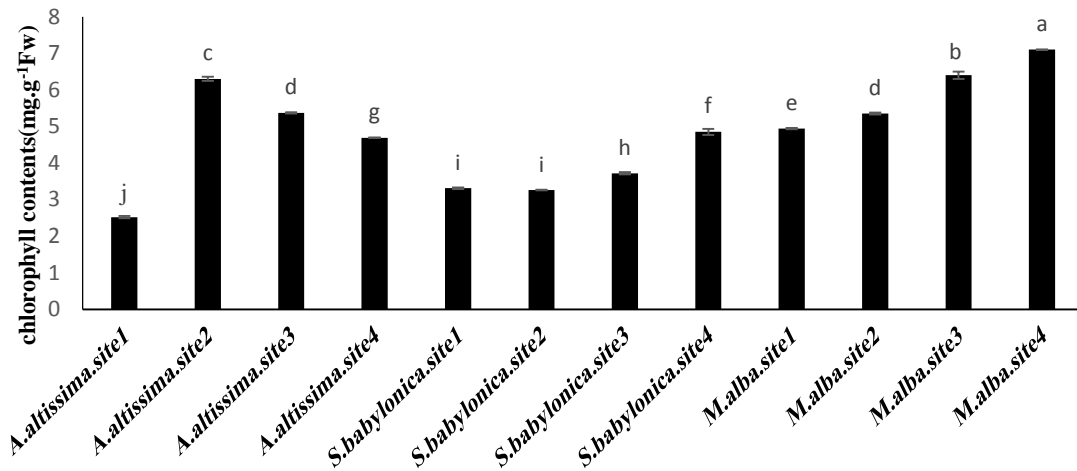
در این فرمول، FW معرف وزن تازه؛ DW معرف وزن خشک برگ و TW معرف وزن اشباع‌شده برگ که ۲۴ ساعت در آب دیونیزه خوابانده شده است. محتوای نسبی آب برگ با قرار دادن مقادیر به دست آمده در فرمول ۴ تعیین شد که به درصد بیان می‌شود.

۵.۲. pH برگ

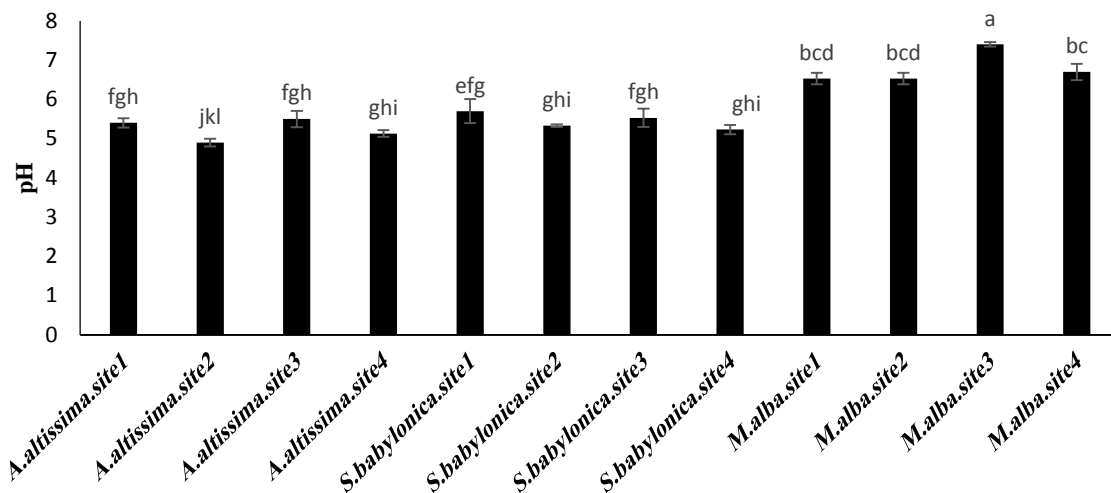
برای اندازه‌گیری pH برگ، ۰/۵ گرم از برگ‌های جمع‌آوری‌شده از هر درخت را ریز کرده و در هاون چینی محتوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه سائیده شد. محلول حاصل را به مدت ۱۵ دقیقه با ۳۰۰۰ دور سانتریفوژ کرده و pH آن با pH متر ساخت شرکت فن آزما گستر سنجش شد.

۶.۲. غلظت اسید اسکوربیک برگ

اندازه‌گیری غلظت اسید اسکوربیک برگ بر طبق روش (De Pinto *et al.*, 1999) انجام شد. روش عمل بدین صورت است که نخست ۰/۵ گرم برگ تازه را به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد اسید متافسفریک ساییده سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در 10000g سانتریفوژ شد. سپس ۰/۳ میلی‌لیتر از عصاره سانتریفوژ شده با ۰/۷۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم و ۰/۳ میلی‌لیتر آب مقطر توسط ورتکس به طور کامل مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد. سپس ۰/۶ میلی‌لیتر لیترتریکلرواستیک اسید ۱۰ درصد، ۰/۶ میلی‌لیتر ارتوفسفریک ۴۴ درصد و ۰/۶ میلی‌لیتر دی پیریدیل ۴ درصد و ۱۰ میکرولیتر 0.3FeCl_3 درصد (w/v) به محلول اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از طی این مدت، محتوی لوله‌های آزمایش توسط ورتکس مخلوط شد و مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت میزان جذب نور در طول موج ۵۲۵ نانومتر خوانده شد و میزان اسید اسکوربیک



شکل ۳. مقایسه تأثیر تنش آلودگی هوا بر میزان کلروفیل کل درختان توت سفید (*M.alba*)، آسمان دار (*A.altissima*) و بید مجنون (*S. babylonica*) در سایت های ۱ (میرداماد)، ۲ (پونک)، ۳ (انقلاب) و ۴ (آزادی) شهر تهران. میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معناداری ندارند ($p < 0.05$). داده ها $Mean \pm SE$ را نشان می دهند.



شکل ۴. مقایسه تأثیر تنش آلودگی هوا بر pH عصاره های برگ در درختان توت سفید (*M.alba*)، آسمان دار (*A.altissima*) و بید مجنون (*S. babylonica*) در سایت های ۱ (میرداماد)، ۲ (پونک)، ۳ (انقلاب) و ۴ (آزادی) شهر تهران. میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معناداری ندارند ($p < 0.05$). داده ها $Mean \pm SE$ را نشان می دهند.

۲.۳. pH عصاره های برگ

(شکل ۴). در درخت بید مجنون، بین هر ۴ سایت مورد مطالعه اختلاف معناداری مشاهده نشد. بیشترین pH برگ در سایت ۱ و کمترین آن در سایت ۴ مشاهده شد (شکل ۴). بر اساس داده های ارائه شده، درخت توت سفید بیشترین مقدار pH را داشت. همچنین نسبت به درختان دیگر pH عصاره برگ آن به pH خنثی نزدیک تر است.

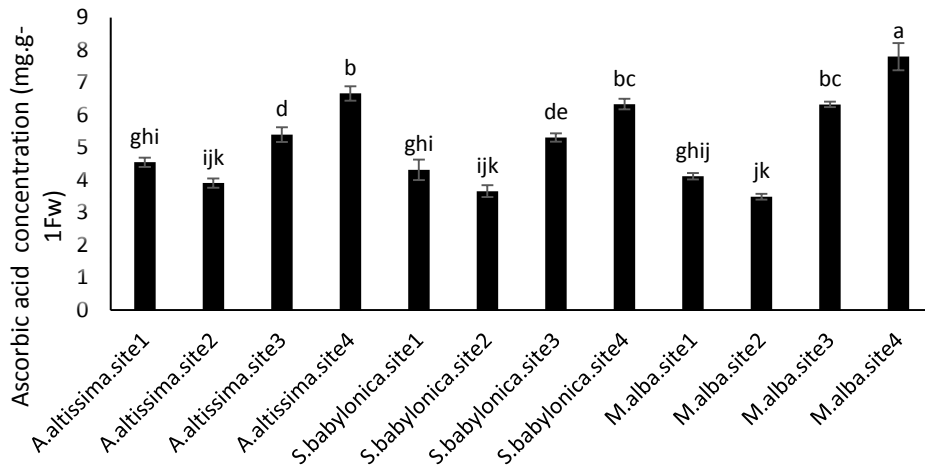
در درخت توت سفید، بیشترین pH برگ مربوط به سایت ۴ بود در حالی که این پارامتر در سه سایت دیگر مورد مطالعه (۱، ۲ و ۳) تفاوت معناداری نداشتند (شکل ۴). همچنین در درخت آسمان دار، در سایت های ۱ و ۳ به طور معناداری نسبت به سایت های ۲ و ۴ بیشتر بود بیشترین pH برگ در سایت ۳ و کمترین آن در سایت ۲ مشاهده شد

۵.۳. درصد محتوای نسبی آب

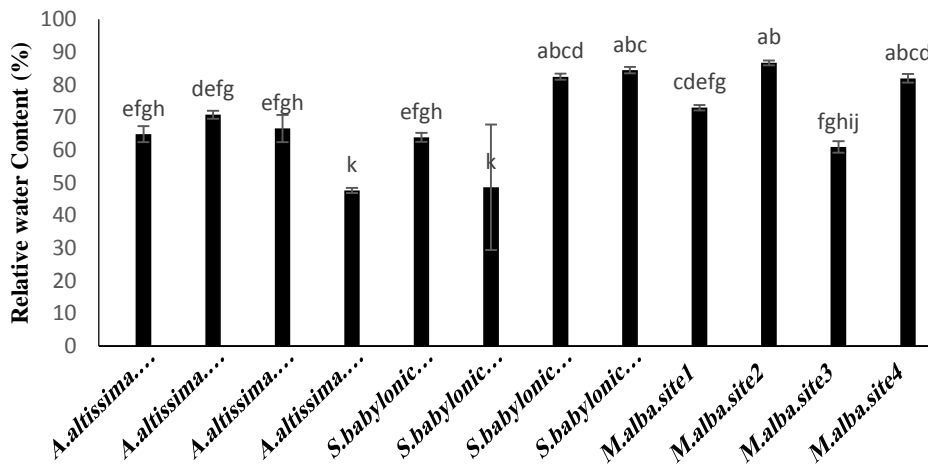
درصد محتوای نسبی آب برگ درخت توت سفید، در سایت‌های ۲ و ۴ به‌طور معناداری نسبت به سایت‌های ۱ و ۳ بیشتر بود (شکل ۶). در درخت آسمان دار، سایت ۱ نسبت به سایت ۲ اختلاف معناداری نداشت درحالی‌که سایت ۴ نسبت به دیگر سایت‌ها بیشترین درصد محتوای آب نسبی را داشت (شکل ۶). در درخت بیدمجنون، سایت ۱ نسبت به سایت ۲ تفاوت معناداری در درصد محتوای آب نسبی نداشت درحالی‌که بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ در سایت ۴ مشاهده شد (شکل ۶).

۴.۳. میزان آسکوربیک اسید در برگ

محتوای آسکوربیک اسید برگ در درختان توت سفید، آسمان دار و بیدمجنون در سایت‌های ۳ و ۴ به‌طور معناداری نسبت به سایت‌های ۱ و ۲ بیشتر بود. بیشترین میزان آسکوربیک اسید در سایت ۴ و کم‌ترین آن در سایت‌های ۱ و ۲ مشاهده شد. همچنین درخت توت سفید، در سایت ۴ بیشترین میزان آسکوربیک اسید را در بین گونه‌های مورد مطالعه نشان داد (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه تأثیر تنش آلودگی هوا بر غلظت آسکوربیک اسید برگ در درختان توت سفید (*M. alba*)، آسمان دار (*A. altissima*) و بیدمجنون (*S. babylonica*) در سایت‌های ۱ (میرداماد)، ۲ (پونک)، ۳ (انقلاب) و ۴ (آزادی) شهر تهران. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معناداری ندارند ($p < 0.05$). داده‌ها Mean \pm SE را نشان می‌دهند.

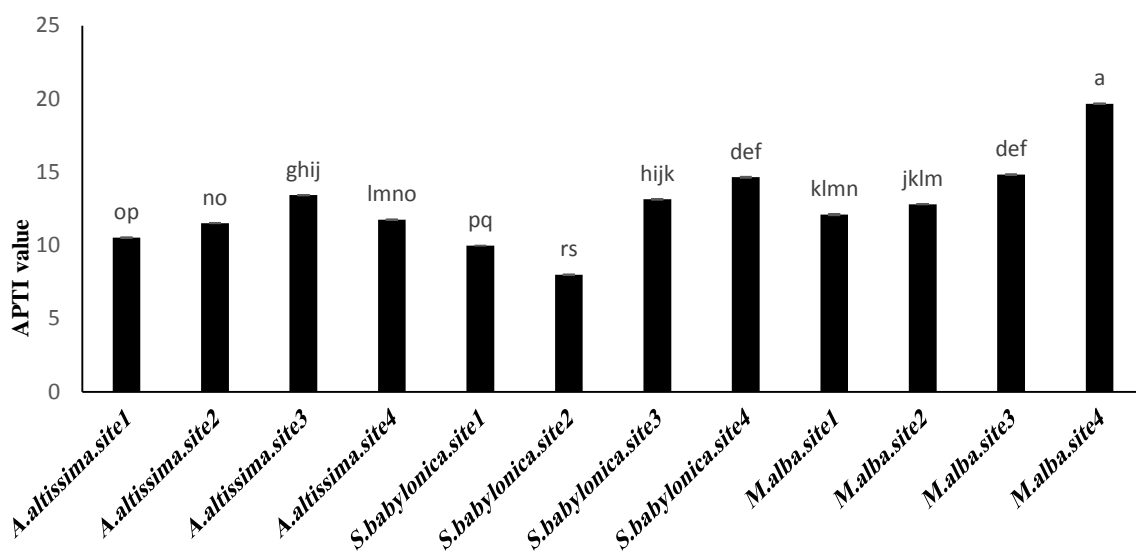


شکل ۶. مقایسه تأثیر تنش آلودگی هوا بر درصد محتوای نسبی آبی برگ در درختان توت سفید (*M. alba*)، آسمان دار (*A. altissima*) و بیدمجنون (*S. babylonica*) در سایت‌های ۱ (میرداماد)، ۲ (پونک)، ۳ (انقلاب) و ۴ (آزادی) شهر تهران. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معناداری ندارند ($p < 0.05$). داده‌ها Mean \pm SE را نشان می‌دهند.

۶.۳. شاخص APTI

نسبت به دیگر سایت‌ها به‌طور معناداری بیشتر بود (شکل ۷). در درخت بیدمجنون، این شاخص در سایت‌های ۳ و ۴ نسبت به سایت‌های ۱ و ۲ به‌طور معناداری بیشتر بود (شکل ۷). درخت توت سفید بیشترین شاخص APTI^۳ را در بین درختان مورد مطالعه داشت درحالی‌که درختان بید مجنون و آسمان دار کمترین شاخص APTI^۳ را داشتند.

درخت توت سفید از نظر شاخص APTI، در بین سایت‌های ۱ و ۲ اختلاف معناداری نداشت درحالی‌که در سایت ۴ نسبت به دیگر سایت‌ها بیشترین شاخص تحمل آلودگی را نشان داد (شکل ۷). در درخت آسمان دار، در بین سایت‌های ۱ و ۲ و ۴ اختلاف معناداری در شاخص تحمل آلودگی هوا مشاهده نشد درحالی‌که در سایت ۳



شکل ۷. مقایسه ارزش APTI درختان توت سفید (*M.alba*)، آسمان دار (*A.altissima*) و بید مجنون (*S.babylonica*) در سایت‌های (۱) (میرداماد)، (۲) (پونک)، (۳) (انقلاب) و (۴) (آزادی) شهر تهران. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند از نظر آماری اختلاف معناداری ندارند ($p < 0.05$). داده‌ها Mean \pm SE را نشان می‌دهند.

آن در سایت‌های پر آلوده ۳ و ۴ کاهش یافت. این می‌تواند نشان دهنده تحمل اندک آسمان دار در برابر آلودگی باشد. مطالعات نشان داده است که گیاهان با میزان کلروفیل بالاتر می‌توانند به آلودگی هوا مقاوم‌تر باشند (Agarwal, 1986; Pathak et al., 2011). بسیاری از تغییرات رشدی و فیزیولوژیکی در گیاهان که در اثر آلاینده‌های هوا ایجاد می‌شوند پاسخی برای جبران تنش‌های محیطی هستند که نوعی استراتژی برای کم کردن آسیب‌های تنش به حساب می‌آیند (Woo et al., 2007). تنش آلودگی هوا در بعضی گیاهان باعث افزایش وزن تر و خشک برگ‌های آلوده و در نتیجه موجب افزایش کلروفیل می‌گردند (Seyyednejad et al., 2011). افزایش کلروفیل در گیاهان

۴. بحث

در پژوهش حاضر سه گونه درختی توت سفید، آسمان دار و بید مجنون در ۴ منطقه شهری با میزان آلودگی هوای مختلف مقادیر کلروفیل متفاوتی را نشان دادند که در این میان بیشترین مقادیر کلروفیل کل ۶/۴۷/۱ مربوط به توت سفید در سایت‌های ۴ و ۳ و کمترین مقادیر کلروفیل کل ۲/۲۶ و ۳/۵۲ مربوط به بید مجنون در سایت‌های ۱ و ۲ بود. رفتار درخت آسمان دار با توت سفید و بیدمجنون تفاوت دارد. با افزایش میزان آلودگی هوا، میزان کلروفیل توت سفید و بید مجنون بیشتر شد و در سایت ۴ به بیشترین میزان خود رسید اما در درخت آسمان‌دار با اندک افزایش آلودگی (سایت ۲) میزان کلروفیل افزایش یافت. ولی میزان

در پژوهش حاضر درختان مورد مطالعه در سایت‌های ۳ و ۴ بیشترین میزان اسید آسکوربیک را داشتند. اسید آسکوربیک آنتی‌اکسیدانی است که گیاهان را از تهدیدات محیط زیستی همچون آلودگی هوا محافظت می‌کند (Keller & Schwager, 1977; Lima et al., 2000). همچنین عامل احیا کننده قوی بوده و بسیاری از مکانیسم‌های دفاعی و فیزیولوژیکی را در گیاه فعال می‌کند. از طرفی قدرت احیاکنندگی آن متناسب با غلظت آن بوده و فعالیت احیاکنندگی آن وابسته به pH سلول بوده و در pH های بالاتر فعال است (Agbaire & Esiefarienrhe, 2009). در ضمن مقدار زیاد اسید آسکوربیک در برگ گیاهان جمع‌آوری شده از جمله *Taraxacum officinale* در سایت‌های با ترافیک سنگین، گزارش شده است (Nadgórska-Socha et al., 2017). حاضر مطابقت دارد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که گیاهانی از جمله *Ailanthus altissima*, *Fraxinus sogdiana*, *Rosa chinensis* با میزان آسکوربیک اسید بیشتر نسبت به محیط پر آلوده مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی هوا نشان دادند (Zhang et al., 2016). این یافته با پژوهش حاضر که درخت توت سفید در سایت‌های آلوده اسید آسکوربیک بیشتر دارند همخوانی دارند. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج دیگر محققان که با افزایش میزان تنش‌ها مقادیر آنتی‌اکسیدانت‌ها همچون اسید آسکوربیک افزایش می‌یابد همخوانی دارد (Mächler et al., 1995; Krishnaveni, 2013; Kaur & Nayyar, 2014).

در این پژوهش RWC توت سفید و بیدمجنون در سایت آلوده ۴ تفاوت معناداری ندارد. از این جنبه توت سفید و بیدمجنون با هم دیگر مشابه هستند که می‌تواند نشانه‌ای از واکنش بهتر این درختان نسبت به آلودگی هوا باشد. اما آسمان دار کم‌ترین میزان آب نسبی را در سایت ۴ نشان داده است و می‌تواند دلیلی بر حساسیت این درخت باشد. مقدار نسبی آب برگ در گیاهان هرچه بیشتر باشد گیاه در مواجهه با تنش‌های غیر زیستی بهتر تعادل فیزیولوژیک خود را حفظ می‌کند بنابراین می‌تواند در مقابل آلودگی هوا نسبتاً مقاوم باشد (Verma, 2003; Rai

در معرض آلودگی هوا می‌تواند نشانه تحمل و مقاومت بیشتر آن‌ها نسبت به این تنش باشند (Singh & Verma, 2007). در مطالعات مختلف مقادیر بالای کلروفیل در برگ گیاهان *Taraxacum officinale*, *Plantago lanceolata*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia* در سایت‌های آلوده در اثر ترافیک سنگین و متأثر از فعالیت‌های صنعتی مشاهده شد (Agbaire & Esiefarienrhe, 2009; Nadgórska-Socha et al., 2017).

در پژوهش حاضر درخت توت سفید با تلاش برای تنظیم pH خنثی و قلیایی مقاومت مناسبی را نسبت به دو گونه درختی دیگر نشان داد. درختان آسمان دار و بیدمجنون pH نزدیک به هم را نشان دادند که pH آن‌ها تقریباً اسیدی و به مقدار تقریبی ۵/۵ بود. pH خنثی در درخت توت نخستین نتیجه از نوع خود است که با قلیایی شدن pH برگ منجر به افزایش مقاومت گیاه می‌گردد. در سایت‌های آلوده ۳ و ۴ به ویژه در سایت ۳ توت سفید pH عصاره برگی را در حدود ۷ حفظ کرده است. در حالی که دو درخت دیگر کاملاً pH اسیدی را نشان دادند. این که pH تحت تأثیر چه عواملی در گیاه تغییر می‌کند قابل بحث است. pH برگ تعیین کننده تشکیل آسکوربیک اسید از قندهای هگزوز است همچنین pH بالا سبب تبدیل بیشتر قند هگزوز به آسکوربیک اسید می‌شود که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است (Joshi et al., 2009). بعضی از عملکردهای آنزیمی در pH بالا نسبت به pH خنثی بیشتر و بهتر است و در ضمن تنظیم pH در کده بندی سلولی برای ترافیک اجزای سلولی مثل وزیکول‌ها، پروتئین‌ها و مولکول‌های کوچک ضروری است (Swami et al., 2004; Escobedo et al., 2008; Rai et al., 2013). آلاینده‌های pH درون سلولی را اسیدی می‌کنند که در گونه‌های حساس بیشتر مشاهده می‌شود. بیشترین ارزش pH عصاره برگی در برگ‌های قاصدک در جنوب لهستان ثبت شد که با داشتن بیشترین pH دارای مقاومت بیشتر به آلودگی هوا بودند (Nadgórska-Socha et al., 2017). این امر با پژوهش حاضر که توت سفید با بیشترین اسیدیته دارای مقاومت بیشتر به آلودگی هوا است مطابقت دارد.

گروه گیاهان با مقاومت نسبی متوسط نسبت به آلودگی هوا طبقه‌بندی می‌شود، درحالی‌که درخت بید مجنون و آسمان دار به ترتیب با شاخص‌های ۱۱/۸ و ۱۱/۴۴ در گروه حساس قرار می‌گیرند. همچنین با مقایسه شکل مربوط به نتایج APTI در سایت پر آلوده تهران درخت توت سفید مقاومت بسیاری را نسبت به دو درخت آسمان دار و بید مجنون نشان داده است و بدین ترتیب در گروه گیاهان مقاوم به آلودگی هوا قرار می‌گیرد.

با توجه به نتیجه این پژوهش درخت توت سفید گزینه مناسبی برای کاشت در تهران برای مبارزه با آلودگی هوای فصلی تابستان و اوایل پاییز است.

برای کاشت این درخت در مناطق مختلف تهران لازم است که به معیارهای دیگری نیز از جمله نیاز آبی این درخت، میزان تعرق آن، میزان مقاومت در برابر حشرات از جمله شته و مگس سفید، میزان نگه‌داری آلاینده‌ها در سطح برگ توجه شود. همچنین نهال‌های آن برای آزمون حداکثر تحمل در مقابل آلودگی هوا در گلخانه‌های مناسب با طراحی صحیح و اجرای طرح آزمایش‌های متناسب بررسی شوند.

تشکر و قدردانی

از گروه علوم گیاهی دانشکده علوم زیستی دانشگاه خوارزمی تهران که در انجام این پژوهش کمال همکاری و مشارکت را داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Out door
2. in door
3. Particulate Matter (PM)
4. Air Pollution Tolerance Index (APTI)
5. Relative water content (RWC)

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به معیار بندی ارائه شده توسط پانندی و همکاران (۲۰۱۵) و گزارش سازمان کیفیت هوای شهر تهران، درخت توت سفید با شاخص تحمل آلودگی ۱۴/۸۵ در

(*et al.*, 2013). افزایش میزان کربوهیدرات‌ها و دیگر متابولیت‌ها باعث کاهش پتانسیل اسمزی می‌شود در نتیجه آن RWC افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده در مورد این پارامتر در سایت‌های آلوده در این درختان مطابق با نتایج دیگر محققان است (Prajapati & Tripathi, 2008; Govindaraju *et al.*, 2012).

پانندی و همکاران (۲۰۱۵) گیاهان حساس و مقاوم به آلودگی هوا را بر اساس معیار APTI به صورت زیر گروه‌بندی کردند. گیاهان با مقدار APTI بین ۱۷-۳۰ مقاوم، بین ۱۳-۱۶ با مقاومت متوسط، بین ۱-۱۳ حساس و با معیار کمتر از یک خیلی حساس معرفی شدند. بر اساس این معیار توت سفید بیشترین شاخص APTI را در میان درختان مورد مطالعه نشان داد که نسبت به دو درخت دیگر مقاومت متوسطی به آلودگی هوا دارد. مقادیر APTI در درختان آسمان دار، بیدمجنون و توت سفید به ترتیب ۱۱/۸۰، ۱۱/۴۴ و ۱۴/۸۵ بود (Pandey *et al.*, 2015). شاخص APTI در درختان مورد مطالعه در سایت‌های آلوده به خصوص سایت ۴ افزایش معناداری داشت و در این سایت‌ها درختان بیشترین مقاومت را به آلاینده‌های هوا از خود نشان دادند. طبقه‌بندی درخت توت سفید با شاخص ۱۴/۸۵ به عنوان درخت با مقاومت متوسط با نتایج Nadgorska-Socha و همکاران (۲۰۱۷) که گیاهان *P. lanceolata* و *Robinia pseudoacacia* با شاخص APTI بین ۱۲-۱۶ را به عنوان گیاهان با مقاومت متوسط به آلودگی هوا در نظر گرفته‌اند همخوانی دارد.

منابع

- Achakzai, K., Khalid, S., Adrees, M., Bibi, A., Ali, S., Nawaz, R. and Rizwan, M. 2017. Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan. *Journal of environmental management* 190: 252-258.
- Agarwal, S., 1986. A new distributional function of foliar phenol concentration in the evaluation of plants for their air pollution tolerance index. *Acta Ecol*, 8: 29-36.
- Agbaire, P. and Esiefarienrhe, E. 2009. Air Pollution tolerance indices (APTI) of some plants around Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 13.

- Agrawal, M., Singh, S., Singh, J. and Rao, D. 1991. Biomonitoring of air pollution around urban and industrial sites. *Journal of Environmental Biology*, 12: 211-222.
- Carvalho-Oliveira, R., Amato-Lourenço, L.F., Moreira, T.C., Silva, D.R.R., Vieira, B.D., Mauad, T., Saiki, M. and Saldiva, P.H.N. 2017. Effectiveness of traffic-related elements in tree bark and pollen abortion rates for assessing air pollution exposure on respiratory mortality rates. *Environment international*, 99: 161-169.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P. and Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30: 239-264.
- De Pinto, M., Francis, D. and De Gara, L. 1999. The redox state of the ascorbate-dehydroascorbate pair as a specific sensor of cell division in tobacco BY-2 cells. *Protoplasma*, 209: 90-97.
- Dohmen, G., Koppers, A. and Langebartels, C. 1990. Biochemical response of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) towards 14-month exposure to ozone and acid mist: effects on amino acid, glutathione and polyamine titers. *Environmental pollution*, 64, 375-383.
- Escobedo, F.J., Wagner, J.E., Nowak, D.J., De la Maza, C.L., Rodriguez, M. and Crane, D.E. 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of environmental management*, 86: 148-157.
- Govindaraju, M., Ganeshkumar, R., Muthukumar, V. and Visvanathan, P. 2012. Identification and evaluation of air-pollution-tolerant plants around lignite-based thermal power station for greenbelt development. *Environmental Science and Pollution Research*, 19:1210-1223.
- Joshi, N., Chauhan, A. and Joshi, P. 2009. Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. *The Environmentalist*, 29: 398-404.
- Katiyar, V. and Dubey, P. 2001. Sulphur dioxide sensitivity on two stages of leaf development in a few tropical tree species. *Indian Journal of Environment and toxicology*, 11: 78-81.
- Kaur, R. and Nayyar, H. 2014. Ascorbic acid: a potent defender against environmental stresses. *Oxidative Damage to Plants*. Elsevier, 235-287.
- Keller, T., Schwager, H., 1977. Air pollution and ascorbic acid. *Forest Pathology* 7, 338-350.
- Krishnaveni, M. 2013. Air pollution tolerance index and antioxidant activity of *Parthenium hysterophorus*. *Journal of Pharmacy Research*, 7: 296-298.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosyntheticbiomembranes. *Methods in enzymology*. Elsevier, 350-382.
- Lima, J.S., Fernandes, E. and Fawcett, W. 2000. *Mangifera indica* and *Phaseolus vulgaris* in the bioindication of air pollution in Bahia, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46: 275-278.
- Liu, Y.J. and Ding, H. 2008. Variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory: Implication for landscape-plant species selection for industrial areas. *WSEAS Transactions on Environment and development*, 4: 24-32.
- Mächler, F., Wasescha, M.R., Krieg, F. and Oertli, J.J. 1995. Damage by ozone and protection by ascorbic acid in barley leaves. *Journal of plant physiology*, 147: 469-473.
- Nadgórska-Socha, A., Kandziora-Ciupa, M., Trzęsicki, M. and Barczyk, G. 2017. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. *Chemosphere*, 183: 471-482.
- Ninave, S., Chaudhari, P., Gajghate, D. and Tarar, J. 2001. Foliar biochemical features of plants as indicators of air pollution. *Bulletin of environmental Contamination and Toxicology*, 67: 133-140.
- Pandey, A.K., Pandey, M., Mishra, A., Tiwary, S.M. and Tripathi, B. 2015. Air pollution tolerance index and anticipated performance index of some plant species for development of urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 866-871.
- Pathak, V., Tripathi, B. and Mishra, V. 2011. Evaluation of Anticipated Performance Index of some tree species for green belt development to mitigate traffic generated noise. *Urban forestry & urban greening*, 10: 61-66.

- Prajapati, S.K. and Tripathi, B. 2008. Anticipated Performance Index of some tree species considered for green belt development in and around an urban area: A case study of Varanasi city, India. *Journal of environmental management*, 88: 1343-1349.
- Rai, P.K., Panda, L.L., Chutia, B.M. and Singh, M.M. 2013. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) in the industrial (Rourkela) and non industrial area (Aizawl) of India: An ecomanagement approach. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7:944-948.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30: 105-111.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2016. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L. and Nowak, D. 2016. Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban forestry & urban greening*, 17: 192-201.
- Seyyednejad, S., Niknejad, M. and Koochak, H. 2011. A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5: 302-309.
- She, Q., Peng, X., Xu, Q., Long, L., Wei, N., Liu, M., Jia, W., Zhou, T., Han, J. and Xiang, W. 2017. Air quality and its response to satellite-derived urban form in the Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 75, 297-306.
- Singh, S., Rao, D., Agrawal, M., Pandey, J. and Naryan, D. 1991. Air pollution tolerance index of plants. *Journal of Environmental Management*, 32: 45-55.
- Singh, S. and Verma, A. 2007. *Phytoremediation of air pollutants: a review*. *Environmental bioremediation technologies*. Springer, 293-314.
- Smirnoff, N. 2000. Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule. *Current opinion in plant biology*, 3: 229-235.
- Steubing, L., Fangmeier, A., Both, R. and Frankenfeld, M. 1989. Effects of SO₂, NO₂, and O₃ on population development and morphological and physiological parameters of native herb layer species in a beech forest. *Environmental pollution*, 58: 281-302.
- Swami, A., Bhatt, D. and Joshi, P. 2004. Effects of automobile pollution on sal (*Shorea robusta*) and rohini (*Mallotus philippinensis*) at Asarori, Dehradun. *Himal J Environ Zool*, 18: 57-61.
- Swami, A. and Chauhan, D. 2015. Impact of air pollution induced by automobile exhaust pollution on air pollution tolerance index (APTI) on few species of plants. *Science4*.
- Verma, A. 2003. *Attenuation of automobile generated air pollution by higher plants*. Dissertation, University of Lucknow.
- Wark, K. and Warner, C.F. 1981. *Air pollution: its origin and control*.
- Woo, S., Lee, D. and Lee, Y. 2007. Net photosynthetic rate, ascorbate peroxidase and glutathione reductase activities of *Erythrina orientalis* in polluted and non-polluted areas. *Photosynthetica*, 45: 293-295.
- Zhang, P.-q., Liu, Y.-j., Chen, X., Yang, Z., Zhu, M.-h. and Li, Y.-p. 2016. Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132: 212-223.