Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 4, Winter 2021

Evaluation of Tolerance of Climate-Adapted Plant Species Planted in Green Walls to Air Pollutants Using APTI Index in Mashhad City

Mersedeh Sadat Hozhabralsadat
Masters Of Environmental Science, Faculty Of Natural Resources And Environmental Science, Ferdowsi University Of Mashhad.

Ava Heidari
* Assistant professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (Corresponding author): heidari@um.ac.ir, ava.heidari@yahoo.com

Zahra Karimian
Assistant professor, Faculty of Science, Ferdowsi University Of Mashhad.

Mohammad Farzam
professor, Faculty Of Natural Resources And Environmental Science, Ferdowsi University Of Mashhad.

Received: 2020/11/18
Accepted: 2021/01/14

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Today, air pollution, with an impact on a global scale, is an important concern of the modern world. It has many adverse effects on human health and the environment. Therefore, it is necessary to find sustainable and environment-friendly solutions that prevent the increase of pollution levels and help eliminate them. One of the newest ways to reduce air pollution and absorb particulate matter, as well as improve air quality, is to use green walls in urban spaces. The present study investigated the potential of green walls in reducing air pollutants.

Materials and Methods: In this research, two green walls were installed at the Khayyam intersection in Mashhad for three months. Finally, the Air Pollution Tolerance Index was determined for all the plants by measuring chlorophyll, ascorbic acid, leaf-related water content, and pH.

Results: All of the plant species planted on the walls were classified as intermediate in the tolerance. Among all the plants, Carpobrotus edulis and Rosmarinus officinalis had higher APTI, which makes them more resistant and suitable for planting in polluted areas. Considering the statistical analysis, the APTI of the plants was correlated with ascorbic acid and leaf-related water content.

Conclusion: Our findings suggest the suitability of the above-mentioned plants for plantation in areas with high levels of pollutants.

Keywords: Air pollution, Green Walls, Air Pollution Tolerance Index, Plants.

▶ **Citation:** Hozhabralsadat M, Heidari A, Karimian Z, Farzam M. Evaluation of Tolerance of Climate-Adapted Plant Species Planted in Green Walls to Air Pollutants Using APTI Index in Mashhad City. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2021; 6(4): 300-311.

بررسی توانایی تحمل و مقاومت گونه‌های گیاهی کاشته شده در دیوارهای سبز سازگار با اقلیم شهر مشهد نسبت به آلاینده‌های هوا با استفاده از شاخص APTI

مرسده سادات هژبرالسادات
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

آوا حیدری
* استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(نویسنده مسئول):
پست الکترونیک:
heidari@um.ac.ir,
ava.heidari@yahoo.com

زهرا کریمیان
استادیار، گروه گیاهان زینتی، پژوهشکده گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

محمد فرزام
استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵
نوع مقاله: مقاله اصیل پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: امروزه مشکل آلودگی هوا با اثرگذاری در مقیاس جهانی، نگرانی مهم دنیای متمدن و جدید است که اثرات نامطلوب بسیار زیادی بر سلامت انسان و محیط‌زیست می‌گذارد. بنابراین یافتن راه‌حل‌های پایدار و دوست‌دار طبیعت که از افزایش سطح آلودگی‌ها جلوگیری کرده و به حذف آنان کمک کند، نیاز است. یکی از جدیدترین روش‌های کاهش آلودگی هوا و جذب ذرات معلق و همچنین بهبود کیفیت هوا، استفاده از دیوارهای سبز در فضاهای شهری است. مطالعه حاضر با هدف بررسی پتانسیل دیوارهای سبز در کاهش آلاینده‌های هوا انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه پژوهشی، ۲ دیوار سبز به‌مدت ۳ ماه در چهارراه ترافیکی خیام شهر مشهد قرار گرفتند. پس از گذشت زمان مورد نظر، آزمایش‌های تحمل‌سنجی آلودگی هوا که شامل اندازه‌گیری میزان کلروفیل، اسید آسکوربیک، محتوای آب برگ و pH بود، بر روی تمام گیاهان انجام شده و داده‌های APTI(شاخص تحمل‌سنجی آلودگی هوا) به‌دست آمد.

یافته‌ها: بر اساس داده‌های به‌دست آمده، ۸ گونه گیاهی با میزان APTI نسبتاً بالا، جزء گونه‌های مقاوم برای کاشت در مناطق آلوده می‌باشند. با توجه به آنالیزهای آماری، مقدار APTI گیاهان مطالعه شده، با میزان اسید آسکوربیک و کلروفیل گیاهان در ارتباط است.

نتیجه‌گیری: از میان ۹ گونه گیاهی مطالعه شده و مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر، ۸ گونه گیاهی، جزء گونه‌های نسبتاً مقاوم در برابر آلودگی هوا هستند. مقاوم‌ترین گونه‌ها، گیاهان کارپوبروتوس و رزماری می‌باشند که مقاومت بیشتری از خود در برابر آلودگی هوا نشان داده و لذا برای کاشت در مناطقی با آلودگی زیاد هوا مناسب هستند.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، دیوار سبز، شاخص تحمل‌سنجی، گیاهان.

◀ **استناد:** هژبرالسادات م، حیدری الف، کریمیان ز، فرزام م. بررسی توانایی تحمل و مقاومت گونه‌های گیاهی کاشته شده در دیوارهای سبز سازگار با اقلیم شهر مشهد نسبت به آلاینده‌های هوا با استفاده از شاخص APTI. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۳۹۹؛۶ (۴): ۳۰۰-۳۱۱.

مقدمه

امروزه مشکل آلودگی هوا با اثرگذاری در مقیاس جهانی، نگرانی مهم دنیای متمدن و جدید است که اثرات نامطلوب بسیار زیادی بر سلامت انسان و محیط‌زیست می‌گذارد. آلودگی هوا در انسان‌ها باعث انواع بیماری‌ها، آلرژی و حتی مرگ شده است؛ این نوع آلودگی همچنین صدمات بسیار زیادی به حیوانات، گیاهان و محیط‌زیست وارد می‌کند. سازمان جهانی بهداشت[1] بیش از یک میلیون مرگ زودهنگام سالانه را در کشورهای پیشرفته به‌علت آلودگی هوا تخمین زده است. آلودگی هوا، منابع انتشار عمده‌ای از جمله منابع نقطه‌ای (کارخانجات) و منابع متحرک (خودروها) دارد، ولی اصلی‌ترین آن‌ها وسایل نقلیه و فرآیندهای صنعتی است. استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی، خودروهای فرسوده و استفاده از گازوئیل و همچنین گردوخاک هوا از دیگر عوامل اثرگذار در آلودگی هوا هستند که باعث به‌وجود آمدن آلاینده‌های هوا و ذرات معلق در اندازه‌ها و ابعاد مختلف می‌شوند(۱).

صندوق جمعیت سازمان ملل متحد[2] افزایش میزان جمعیت شهری را از ۳/۳ میلیون تا ۵ میلیون را بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرده است که این به معنای افزایش جمعیت گروه‌های حساس جامعه از جمله کودکان و سالمندان نیز می‌باشد و باعث می‌شود که تمامی شهرهای بزرگ در سراسر دنیا برای کاهش صدمات و خطرات ناشی از آلودگی هوا به دنبال راه‌حل باشند(۲). با وجود بهبود تدریجی ساخت وسایل نقلیه، تکنولوژی صنایع و سیستم کنترل انتشار گاز در آن‌ها، پتانسیل کاهش سطح آلودگی برقرار است، اما همچنان به راه‌حل‌های فوری برای یافتن گزینه‌های جایگزین پایدار و دوست‌دار طبیعت که از افزایش سطح آلودگی‌ها جلوگیری کرده و به حذف آن کمک کنند، نیاز است(۳). فضاهای سبز از مهم‌ترین زیرساخت‌ها برای حفظ طبیعت و توسعه پایدار در شهرهای مدرن است و فرصت‌های تفریحی بسیاری نیز برای مردم جامعه فراهم می‌کند. از مهم‌ترین روش‌های مقابله و کاهش آلودگی هوا در شهرها، می‌توان به ایجاد فضاها و ساختارهای سبز، استفاده از جنگل‌ها و درختان برای جذب آلاینده‌های هوا و همچنین کاشت گیاهان جاذب آلودگی اشاره کرد. برگ درختان در فرآیند فتوسنتز، آلاینده‌های هوا شامل دی‌اکسیدکربن و سایر مواد شیمیایی مانند اکسیدهای نیتروژن و آمونیوم تولید شده در هوا و همچنین بخشی از دی‌اکسید گوگرد و ازون را جذب و از محیط خارج می‌کنند و میزان آلودگی هوا را کاهش می‌دهند(۴). یکی از جدیدترین روش‌های کاهش آلودگی هوا و جذب ذرات معلق و همچنین بهبود کیفیت هوا، استفاده از ساختارهای سبز عمودی در فضاهای شهری است. دیوارهای سبز یا دیوارهای زنده، دیوارهایی هستند که بخشی از آن‌ها و یا تمام آن‌ها دارای پوشش گیاهی است. استفاده از این دیوارهای طبیعی در محیط‌زیست شهری فواید و اهداف بسیاری دارد. از مزایای استفاده از دیوارهای سبز می‌توان به زیبایی بصری، افزایش کیفیت هوا، کاهش آلاینده‌ها و ذرات معلق، ذخیره انرژی و کنترل دما در محیط‌های داخلی اشاره کرد(۵). به‌طور کلی استفاده از دیوارهای زنده و سبز که شامل تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی متفاوت با برگ‌های کوچک و مخروطی است، می‌تواند پتانسیل بالایی در اثرگذاری بر اصلاح کیفیت هوا با از بین بردن ذرات معلق ترافیکی و بهبود سلامت ساکنان شهر داشته باشد(۶).

در این پژوهش، کلان‌شهر مشهد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های صنعتی کشور، برای اولین بار برای استفاده از دیوارهای زنده سبز به عنوان راهی مؤثر برای کاهش آلودگی هوا و ذرات معلق انتخاب شده است و با کاشت گونه‌های گیاهی متفاوت در این دیوارها، تلاش برای یافتن مقاوم‌ترین گونه‌های گیاهی در شرایط آلودگی هوا انجام شده است. برای این منظور، ایستگاه چهارراه خیام جنوبی به‌عنوان یکی از شلوغ‌ترین و پرترددترین راه‌های ترافیکی شهر در سه ماه پاییز ۱۳۹۸ تعیین شد. ایستگاه پایش هوا و اطلاعات کامل هواشناسی در این منطقه نیز موجود است. ۹ گونه گیاهی متنوع از نظر ساختارهای مورفولوژیکی

1. World Health Organization
2. The United Nations Health Agency

و مورفومتری در دو ساختار دیوارهای سبز با ابعاد تقریبی ۳/۹۸×۲/۹ متر در طی ۵ روز کاشته شدند و به‌مدت ۳ ماه در حاشیه چهارراه ترافیکی خیام در معرض مستقیم آلاینده‌های هوا قرار گرفتند.

روش کار

مراحل استقرار دیوارهای سبز و کاشت گونه‌های مختلف گیاهی در ادامه شرح داده شده است. به منظور یافتن مقاوم‌ترین گونه‌های گیاهی در شرایط آلودگی هوا، آزمایش‌های تحمل‌سنجی آلودگی هوا (APTI[1]) بر روی تمام گونه‌ها انجام شد.

انتخاب گیاهان

در ابتدا ۱۰ گونه گیاهی مختلف از ۶ خانواده گل نازیان، نعناییان، فرانکنیاسه، خرزهره، تاج‌خروس و علف فرشیان انتخاب شدند. این گیاهان شامل رزماری، اسطوخودوس، یخ بنفش، پیچ تلگرافی، کارپوبروتوس (دم عقربی)، هیلوتلفیوم، فرانکینیا، کوشیا، سدوم رفلکسوم و دغدغک بودند. اما از میان تمامی گیاهان انتخاب شده، گیاه دغدغک به‌علت برگ‌ریزی‌های پیاپی و ماهانه، توانایی تحمل شرایط استرس‌زا و آلودگی را نداشته و لذا گزینه مناسبی برای کاشت در سیستم‌های سبز عمودی نبود و به‌دلیل کم بودن مقدار نمونه‌های برگ این گیاه، هیچ آزمایشی بر روی آن انجام نشد.

به‌طور کلی انتخاب گیاهان از چندین خانواده متفاوت، برای بررسی و یافتن مناسب‌ترین گونه‌ها با توجه به اقلیم و آب‌وهوای خشک مشهد در اجرای دیوارهای سبز بود. گیاهان نام برده شده در تمام ویژگی‌های مورفولوژیکی، اندازه، ابعاد برگ و سایر اندام‌ها، تفاوت‌های بسیار زیادی دارند. در جدول ۱ اسامی علمی و رایج گیاهان، ویژگی‌های بیولوژیکی آنان و همچنین ویژگی‌های مورفولوژی برگ‌هایشان بیان شده است.

جدول ۱. نام علمی و نام فارسی گیاهان دیوارهای سبز بلوار خیام و ویژگی‌های مورفولوژی برگ آنان

نام علمی گیاه	نام فارسی رایج گیاه	تیره گیاه	توصیف گیاه و ویژگی‌های مورفولوژی برگ
Rosmarinus officinalis	رزماری	Lamiaceae	گیاه معطر بوته‌ای همیشه سبز با برگ‌های فراوان، بلند (حدود ۲/۵ سانت)، سخت، خطی و سوزنی شکل
Lavandula angustifolia	اسطوخودوس	Lamiaceae	گیاه معطر بوته‌ای همیشه سبز و نیمه‌چوبی با برگ‌های بلند، نرم و کرک‌دار، و گل‌های سوسنی و بنفش
Carpobrotus edulis	دم‌عقربی	Aizoaceae	گیاه ساکولنت همیشه سبز با برگ‌های آب‌دار و منحنی شکل
Delosperma cooperi	یخ بنفش	Aizoaceae	گیاه پوششی ساکولنت سبز با برگ‌های گوشتی ساده و خطی شکل
Vinca minor	پیچ تلگرافی	Apocynaceae	گیاه بوته‌ای کوچک با برگ‌های ساده، کوچک، براق، کرک‌دار و بیضی شکل
Frankenia thymifolia	فرانکنیا	Frankeniaceae	گیاه بوته‌ای همیشه سبز با برگ‌های ساده، کوچک و کرک‌دار
Sedum reflexum	سدوم رفلکسوم	Crassulaceae	گیاه گل‌دار ساکولنت با برگ‌های ساده و متناوب
Hylotelephium sp	هیلوتلفیوم	Crassulaceae	گیاه علفی ساکولنت با برگ‌های صاف گوشتی، متقابل و بیضوی شکل
Kochia Prostrata	کوشیا	Amaranthaceae	گیاه بوته‌ای با برگ‌های متناوب، ساده، بیضی شکل، خطی و باریک

1. Air pollution tolerance index

محل آزمایش و استقرار دیوارهای سبز

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در شهر مشهد استان خراسان رضوی، واقع در شمال شرقی ایران انجام شد. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ مشهد با ۳/۰۰۱/۱۸۴ تن جمعیت، دومین کلان‌شهر پرجمعیت ایران پس از تهران و نود و پنجمین شهر پرجمعیت دنیا به‌شمار می‌رود. این شهر سالانه پذیرای بیش از ۲۷ میلیون زائر از داخل و ۲ میلیون زائر از خارج از کشور است. افزایش جمعیت، فعالیت مناطق صنعتی و کارخانجات و همچنین بالا بودن تعداد وسایل نقلیه و تردد خودروها، همگی از دلایل بالا بودن میزان آلودگی هوا در این شهر می‌باشد. بر طبق آمار ارائه شده، روزانه بیش از ۸۰۰ هزار دستگاه خودرو در شهر تردد می‌کنند که این تعداد خودرو عامل ۷۰٪ آلودگی هوای شهر مشهد است. بر اساس اطلاعات سازمان شهرداری مشهد در سطح این شهر، روزانه ۴ میلیون و ۲۰۰ هزار سفر درون‌شهری انجام می‌شود که در آن، ۱ میلیون و ۲۰۰ هزار نفر مسافر جابه‌جا می‌شوند. در حال حاضر، تنها ۵۰٪ این سفرها، با وسایل حمل‌ونقل عمومی انجام می‌گیرد. هم‌چنین سالانه حدود ۴۰ هزار خودرو به شبکه معابر شهری وارد می‌شوند.

دیوارهای سبز

در تاریخ ۵ شهریور ۱۳۹۸ دیوارهای سبز مورد مطالعه در بلوار خیام جنوبی، واقع در منطقه یک مشهد قرار گرفتند. دو ساختار دیوار سبز هر کدام به ابعاد ۳/۹۸×۲/۰۹ پس از حمل با جرثقیل، در دو طرف درب ساختمان سازمان راه و شهرسازی، واقع در نبش چهارراه خیام جای‌گذاری شدند. در شکل ۱ دیوارهای سبز مستقر شده در چهارراه خیام نشان داده شده است. ساختار بدنه اصلی این دیوارها از فولاد ضدآب می‌باشد. این بدنه دارای شبکه طبقه‌بندی عمودی و افقی است و در کناره‌های آن نیز سبدهای حصیری جهت استفاده از فضای بیشتر برای کاشت گیاهان تعبیه شده است. در ادامه، به‌مدت یک هفته جعبه‌های گلدانی سبزرنگ دیوار سبز که از جنس پلاستیک فشرده هستند، در طبقه‌های دیوار قرار گرفتند. در سطح پایینی این جعبه‌ها حفره‌هایی برای عبور و جریان آب قرار دارد. پس از جایگذاری ۶ جعبه در هر ردیف و اتصال آن‌ها از پشت بدنه گلدان با سیم فلزی به ساختارهای سبز برای استحکام و ماندگاری بیشتر در مدت طولانی، در مجموع ۴۸ جعبه گلدانی بر روی هر دیوار نصب گردید. سپس در داخل تمامی گلدان‌ها ترکیب یکسانی از ماسه، خاک و کود ریخته شد. پس از آن تعداد ۲۶۰ گیاه (از ۹ گونه گیاهی متفاوت) بر اساس طراحی مربع لاتین در طبقه‌های دیوارهای سبز کاشته شدند(۶).

شکل ۱. دیوارهای سبز مستقر شده در چهارراه خیام شهر مشهد پس از کاشت و آماده شدن

نمونه‌برداری از گیاهان دیوار سبز

در فصل پاییز ۱۳۹۸، دیوارهای سبز ساخته و کاشته شده در حاشیه بلوار خیام و نبش چهارراه ترافیکی آن، به‌مدت ۳ ماه در معرض مستقیم آلاینده‌های هوا و ذرات معلق ترافیکی قرار گرفتند. ایستگاه پایش هوا در کنار دیوارهای سبز استقرار داشته و تمامی اطلاعات و داده‌های هواشناسی ثبت گردید.

۱۰ هفته پیش از انجام عملیات نمونه‌برداری گیاهان دیوار سبز، تمامی آن‌ها یک‌بار با آب پرفشار برای پاک شدن سطوح برگ‌ها از ذرات معلق و آلاینده‌های هوا شسته شدند. سپس گیاهان به‌مدت ۱۰ هفته مجدداً در معرض انتشار ذرات معلق و تغییرات آب‌وهوا قرار گرفتند تا هرگونه اثرگذاری هر متغیری بر میزان آلاینده‌های هوا کاهش یابد. پس از گذشت ۱۰ هفته، در مدت ۶ روز

در هوای خشک نمونه‌گیری انجام شد. با توجه به اینکه دسترسی به ردیف‌های بالایی دیوارها کمتر بود و همچنین در ردیف‌های پایینی، احتمال اثرگذاری آلودگی خاک وجود داشت، لذا نمونه‌های تصادفی انتخاب شده برگ گیاهان از ۶ ردیف میانی هر کدام از دیوارهای سبز گرفته شدند. از تمام گونه‌ها در هر روز نمونه‌برداری، نمونه گرفته شد. ۳ برگ به‌طور تصادفی از هر گونه در هر روز از نمونه‌برداری گرفته شد (۶ روز×۳ برگ در هر روز = ۱۸ برگ).

۳۶ برگ از گیاه فرانکنیا و کارپوبروتوس و ۱۸ برگ از سایر گونه‌ها نمونه‌برداری شدند. برگ‌های نمونه‌برداری شده همگی در یک جعبه پلاستیکی تقسیم‌بندی شده که از قبل شسته و تمیز شده بود، چیده شدند. سپس نمونه‌ها به‌صورت تازه به آزمایشگاه منتقل و آنالیزهای APTI انجام شدند.

شاخص تحمل‌سنجی گیاهان (APTI)

پس از نمونه‌برداری مستقیم از دیوارهای سبز و برداشت تصادفی برگ‌های گیاهان از ردیف‌های مختلف دیوار، تمامی نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و تمامی آزمایش‌های پارامترهای APTI هم‌زمان در یک روز شروع شدند تا زمان انجام بررسی‌های هر چهار فاکتور آن مشابه باشد.

سنجش pH عصاره برگ گیاهان

برای اندازه‌گیری میزان pH برگ گیاهان از روش لیو ۲۰۰۸ (۷) استفاده شد. بدین‌منظور ۴ گرم برگ تازه در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر ساییده شده (لازم به ذکر است برای خرد کردن گیاهانی چون رزماری از نیتروژن مایع استفاده شد) و عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ قرار گرفت. سپس محلولی که در بالای لوله آزمایش جمع شده بود را به ارلن منتقل کرده و با دستگاه pH متر میزان pH نمونه‌ها قرائت شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC[1])

برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ گیاهان از روش لیو ۲۰۰۸ (۷) استفاده شد؛ بدین‌منظور وزن گیاهان در سه حالت اندازه‌گیری شد؛ ابتدا پس از انتقال نمونه‌های برداشته شده از دیوار سبز به آزمایشگاه، وزن تازه آن‌ها با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم سنجیده شد. سپس نمونه‌ها به شیشه‌های حاوی آب مقطر منتقل شدند و به‌مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از اتمام زمان لازم، وزن اشباع برگ‌ها با ترازو اندازه‌گیری شد و در نهایت برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و پس از پایان زمان لازم، وزن خشک هر کدام از نمونه‌ها مجدداً با ترازو اندازه گرفته شد. اعداد حاصل از توزین هر کدام از نمونه‌ها در فرمول ذیل قرار گرفته شد و میزان RWC هر گونه گیاهی به‌دست آمد:

$$RWC = (Wf-Wd)\,100/(Wt-Wd) \qquad (۱)$$

Wf: وزن تر نمونه

Wd: وزن خشک نمونه

Wt: وزن تورژسانس نمونه

سنجش میزان اسید آسکوربیک گیاهان

برای اندازه‌گیری میزان اسید آسکوربیک نمونه‌ها، ابتدا محلول‌های لازم برای آزمایش تهیه شدند که شرح آن‌ها به ترتیب ذیل می‌باشد(۸):

۱. محلول ۵٪ اسید متافسفریک: ۵ گرم اسید متافسفریک را در آب مقطر حل کرده و به حجم نهایی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس روی شیکر قرار داده تا محلول کاملاً یکنواخت گردد.

۲. محلول ۳ (میلی‌لیتر) از DCIP (نمک سدیم ۲، ۶ دی کلروایندوفنل، با وزن مولکولی ۲۹۰/۱): ۴۳/۵۲ میلی گرم از نمک سدیم ۲، ۶ دی کلروایندوفنل توسط ترازوی آزمایشگاه وزن شده و در بشر، ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و سپس روی شیکر گذاشته شده تا محلول به‌طور کامل حل شود.

۳. محلول تیواوره ۱٪ با وزن مولکولی ۷۶/۱۲ در محلول ۵٪ اسید متافسفریک: یک گرم تیواوره در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک حل گردید.

۴. اسید سولفوریک ۲۰٪: به ۷۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به‌دانسیته ۱/۸۴ اضافه گردید.

1. Related Water Content

۵. تهیه محلول ۱۰ (میلی‌لیتر) از DNPH (۲، ۴ دی‌نیتروفنیل هیدرازین، با وزن مولکولی ۱۹۸/۱): ۹۹/۰۵ میلی‌گرم از ۲، ۴ DNPH در ۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰٪ حل گردید.

۶. اسید سولفوریک ۸۵٪: به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۹۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به دانسیته ۱/۸۴ اضافه شد.

پس از تهیه محلول‌های لازم، روش سنجش میزان اسید آسکوربیک گیاهان به شرح ذیل است:

۱. یک گرم نمونه برگ از هر گیاه (۲۰ میلی‌لیتر از محلول استخراج‌کننده به ازای ۱ گرم از نمونه برگ) توسط محلول اسید متافسفریک ۵٪ در هاون چینی به‌طور کامل ساییده شدند.

۲. نمونه‌های به‌دست آمده با دور ۸۰۰۰ به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند.

۳. بعد از سانتریفیوژ محلول شفاف رویی جدا شد و برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک به‌کار برده شد.

۴. برای اندازه‌گیری مقدار اسید آسکوربیک کل، ۱ میلی‌لیتر از محلول شفاف در یک لوله آزمایش ریخته و ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول DCIP به آن اضافه شد تا اسید آسکوربیک را به اسید دهیدروآسکوربیک اکسید کند.

۵. برای اندازه‌گیری مقدار آسکوربیک اکسید شده، به ۱ میلی‌لیتر از محلول سانتریفیوژ شده، ۰/۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد.

۶. برای آماده کردن محلول شاهد، ۱ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۵٪ و همچنین ۰/۵ میلی‌لیتر محلول DCIP ترکیب شدند.

۷. به لوله‌های آزمایشی نمونه‌ها در مرحله ۴ و ۵، ۱ میلی‌لیتر تیواوره ۱٪ اضافه نموده شد و نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه ساکن ماندند. حجم نمونه‌ها در هر لوله تا این مرحله به ۲/۵ میلی‌لیتر رسیده بود.

۸. میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰٪ فقط به محلول شاهد اضافه شد؛ اما به بقیه نمونه‌ها ۱ میلی‌لیتر محلول ۱۰ (میلی‌لیتر) از DNPH اضافه شد تا مشتق ۲ و ۴ دی‌نیتروفنیل هیدرازین از اسید دهیدروآسکوربیک تشکیل شود. همه لوله‌های آزمایش به‌مدت یک ساعت در حمام آب ۵۰ درجه‌سانتی‌گراد گذاشته شده و پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه در حمام یخ ماندند. به تدریج ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۸۵٪ به نمونه‌ها در حالی‌که در حمام یخ قرار داشتند، اضافه شد؛ سپس مجدداً تمامی لوله‌های آزمایش به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام یخ قرار گرفتند. لازم به ذکر است حجم هر نمونه در لوله‌های آزمایش تا این مرحله، به ۶ میلی‌لیتر رسیده بود.

۹. میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰٪ به لوله‌های آزمایش اضافه شد، ولی به لوله شاهد ۱ میلی‌لیتر محلول ۱۰ (میلی‌لیتر) از DNPH اضافه گردید. (حجم نمونه در هر لوله در این مرحله به ۷ میلی‌لیتر رسید).

۱۰. مقدار جذب هر نمونه در مقایسه با شاهد آماده شده در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS اندازه‌گیری شد. با توجه به این که کمپلکس‌های به‌دست آمده به‌مدت ۱ ساعت پایدار هستند، لذا تمامی اندازه‌گیری‌ها در همین مدت زمان انجام شدند.

اندازه‌گیری محتویات کلروفیل کل گیاهان

برای سنجش محتوای کلروفیل a و b از روش آرنون استفاده شد(۹). به این منظور، ۰/۵ گرم از برگ تازه هر گیاه را در هاون چینی ریخته و با استفاده از نیتروژن مایع، به‌طور کامل خرد شدند. ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به هر نمونه اضافه گردید و پس از ترکیب، نمونه‌ها در دستگاه سانترفیوژ (Velocity 14R) به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. پس از اتمام مدت زمان مربوطه، نمونه‌ها به‌منظور شفاف‌سازی بیشتر، از کاغذ صافی عبور داده شدند و عصاره‌های به‌دست آمده به بالن‌های شیشه‌ای منتقل شدند.

مقداری از نمونه هر بالن شیشه‌ای در کووات اسپکتروفتومتر (مدل HACH, DR UV-visible,America,5000) ریخته و میزان جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (برای کلروفیل a)، ۶۴۵ نانومتر (برای کلروفیل b) و ۴۷۰ نانومتر

(برای کارتنوئیدها) قرائت شد. با استفاده از فرمول‌های ذیل، میزان کلروفیل a و b هر نمونه به‌دست آمد:

(۲)

$$\text{Chlorophyll a} = [\,(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})\,] \times \text{final volume}$$

(۳)

$$\text{Chlorophyll b} = [\,(22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})\,] \times \text{final volume}$$

محاسبه شاخص تحمل‌سنجی آلودگی هوا APTI

شاخص مقاومت آلودگی هوا APTI با استفاده از روش Singh ۱۹۸۳ (۱۰) برای تعیین توانایی تحمل و مقاومت گونه‌های گیاهی کاشته شده در دیوارهای سبز به‌دست آمد. مقادیر APTI نمونه‌های گیاهی مختلف بر اساس فرمول ریاضی ذکر شده و با استفاده از محاسبه ۴ پارامتر بیوشیمیایی در برگ‌های گیاهان، شامل RWC، pH، محتویات کل کلروفیل و اسید آسکوربیک به‌دست می‌آید (۱۱).

$$APTI = \frac{A(T+P)+R}{10} \qquad (۴)$$

در این فرمول، A نشان‌دهنده میزان اسید آسکوربیک گیاه تازه(میلی‌گرم بر گرم)، T نشان‌دهنده میزان کلروفیل کل گیاه تازه (میلی‌گرم بر گرم)، P نشان‌دهنده pH عصاره برگ و R نیز نشان‌دهنده محتویات آب‌برگ (درصد) می‌باشد.

یافته‌ها

ویژگی‌های بیوشیمیایی استخراج شده از برگ‌ها و پارامترهای APTI گیاهان نمونه‌برداری شده در آذرماه پاییز ۱۳۹۸ در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

pH

جدول ۲ مقادیر pH گیاهان پرورش داده شده بر روی دیوارهای سبز را نشان می‌دهد. مقادیر pH این گیاهان از ۵ تا ۷ متغیر است و بیشترین مقدار مربوط به گیاه هیلوتلفیوم از تیره کراسولا با میزان ۷/۰۵ و کمترین مقدار مربوط به یخ بنفش از تیره علف‌فرشیان با میزان ۵/۴ می‌باشد. بررسی داده‌های pH در این پژوهش نشان می‌دهد که گیاه رزماری از تیرهی نعناییان با میانگین pH=۶/۹ نسبت به آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه مقاوم‌تر است؛ اگرچه میانگین pH بیشتر گیاهان انتخاب شده در این پژوهش در محدوده ۶ تا ۷ می‌باشد.

محتویات آب برگ (Related Water Content)

در جدول ۲ مقدار RWC گیاهان کاشته شده بر روی دیوارهای سبز را نشان داده شده است. میانگین مقدار RWC برگ‌های ۹ گیاه بررسی شده از رنج ۳۰٪ تا ۹۰٪ متغیر هستند. بالاترین مقدار به‌ترتیب مربوط به گیاهان یخ بنفش (۸۶٪) و هیلوتلفیوم (۸۵٪) از تیره علف‌فرشیان و کراسولا و کمترین مقدار مربوط به کوشیا (۳۸٪) از تیره تاج‌خروسان می‌باشد.

اسید آسکوربیک (Ascorbic acid)

در جدول ۲ مقادیر اسید آسکوربیک گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز نشان داده شده است. مقادیر اسید آسکوربیک در این گیاهان، از ۰/۵ (میلی‌گرم بر گرم) تا ۹ (میلی‌گرم بر گرم) متغیر هستند. بیشترین مقدار مربوط به گیاه رزماری (۸/۸۷۵) از تیره نعناییان و کمترین مقادیر نیز به‌ترتیب مربوط به گیاه یخ بنفش (۰/۸۷۸) و گیاه هیلوتلفیوم (۰/۸۴۵) از تیره‌های علف فرشیان و کراسولا می‌باشند.

محتویات کلروفیل کل (Total chlorophyll content)

جدول ۲ مقدار محتویات کلروفیل کل گیاهان کاشته شده بر روی دیوارهای سبز را نشان می‌دهد. میانگین مقادیر محتویات کلروفیل کل در گیاهان آزمایش شده از ۰/۰۵ تا ۱/۵ (میلی‌گرم بر گرم) متغیر هستند. بیشترین مقدار کلروفیل کل به‌ترتیب مربوط به گیاه رزماری از تیره نعناییان با میزان ۱/۴۶۰ (میلی‌گرم بر گرم) و گیاه هیلوتلفیوم از تیره کراسولا با میزان ۱/۴۳۱ (میلی‌گرم بر گرم) می‌باشد. همچنین کمترین مقدار نیز مربوط به گیاه سدوم رفلکسوم از تیره کراسولا با میزان ۰/۰۸۵ (میلی‌گرم بر گرم) است.

جدول ۲. شاخص‌های محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده APTI گیاهان دیوارهای سبز در چهارراه خیام

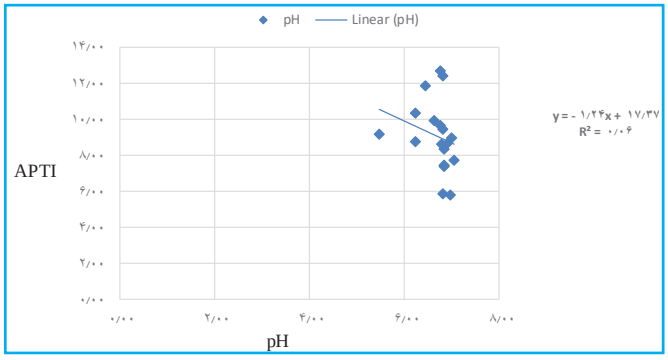
گیاهان		شاخص‌های ATPI				نتایج
نوع گیاه	نام گیاه	pH	RWC (درصد)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	اسید آسکوربیک (میلی‌گرم بر گرم)	APTI
Frankeniaceae	فرانکنیا	۶/۷	۷۶/۱۹	۱/۲۱۰	۱/۳۰۳	۸/۶۶۰
		۶/۲	۸۳/۲۷	۱/۳۳۷	۲/۷۰۶	۱۰/۳۷۶
Aizoaceae	کارپوبروتوس	۶/۴	۸۱/۹۷	۰/۴۹۸	۵/۲۹۵	۱۱/۸۷۵
		۶/۷	۸۱/۹۱	۰/۴۸۴	۶/۲۴۰	۱۲/۷۱۷
	یخ بنفش	۵/۴	۸۶/۵	۰/۲۸۷	۰/۸۷۸	۹/۱۵۵
		۶/۲	۸۰/۶۶	۰/۲۶۸	۱/۱۲۳	۸/۷۹۶
Lamiaceae	اسطوخودوس	۶/۷	۴۰/۰۲	۱/۱۸۶	۷/۱۵۱	۹/۶۸۱
		۶/۹	۵۸/۰۶	۰/۲۱۴	۴/۰۰۷	۸/۷۱۲
	رزماری	۶/۹	۵۹/۳۹	۱/۴۶۰	۳/۵۸۹	۸/۹۷۵
		۶/۸	۵۱/۳۲	۱/۴۱۳	۸/۸۷۵	۱۲/۴۳۴
Crassulaceae	سدوم رفلکسوم	۶/۸	۶۱/۳۵	۰/۱۲۸	۴/۸۴۴	۹/۴۹۲
		۶/۸	۵۲/۴	۰/۰۸۵	۴/۵۳۶	۸/۳۷۷
	هیلوتلفیوم	۷/۰	۷۰/۰۳	۱/۴۳۱	۰/۸۴۵	۷/۷۲۰
		۶/۶	۸۵/۲	۱/۳۲۳	۱/۸۳۱	۹/۹۷۴
Apocynaceae	پیچ تلگرافی	۶/۸	۴۸/۱۵	۰/۱۸۲	۳/۶۴۶	۷/۳۷۷
		۶/۸	۴۵/۳۳	۰/۱۰۱	۴/۲۱۷	۷/۴۵۹
Amaranthaceae	کوشیا	۶/۸	۳۸/۳۳	۱/۱۸۴	۲/۵۲۸	۵/۸۵۵
		۶/۹	۳۹/۶	۱/۱۷۵	۲/۲۲۴	۵/۷۶۸

شاخص مقاومت آلودگی هوا (APTI)

در جدول ۲ مقدار APTI محاسبه شده گیاهان کاشته شده بر روی دیوارهای سبز نشان داده شده است. با توجه به محاسبات انجام شده و داده‌های به‌دست آمده، گیاه کارپوبروتوس از تیره علف فرشیان با میزان ۱۲/۷۱ و نیز گیاه رزماری از تیره نعناییان با میزان ۱۲/۴۳ دارای بیشترین مقدار APTI می‌باشند. کمترین مقدار APTI نیز مربوط به گیاه کوشیا از تیره تاج‌خروسان با میزان ۵/۷ می‌باشد. به‌طور کلی در منطقه‌ای که دیوار سبز در آن جای‌گذاری شده بود، مقادیر APTI گیاهان کاشته شده، بین ۵ تا ۱۲ متغیر بود.

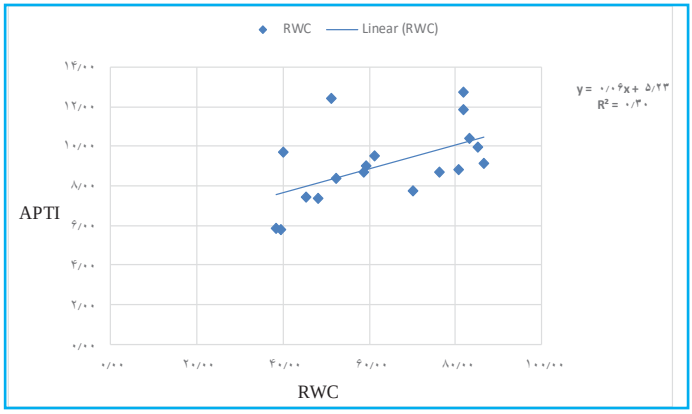
آنالیز آماری APTI

آنالیز رگرسیون خطی بین متغیرهای مستقل شامل کلروفیل، اسید آسکوربیک، RWC و pH و همچنین متغیر وابسته یعنی APTI، به کمک نرم‌افزار آماری MINITAB 17 انجام شد. ضریب همبستگی (R^2) بین متغیرها نیز در هر نمودار نشان داده شده است.

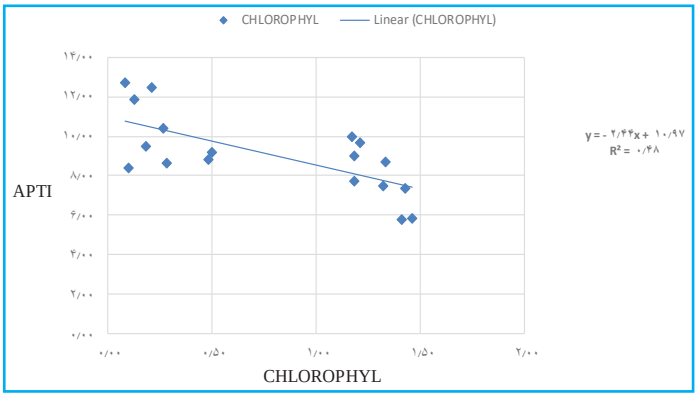


نمودار ۱. آنالیز رگرسیون خطی بین متغیر مستقل pH و متغیر وابسته APTI گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز

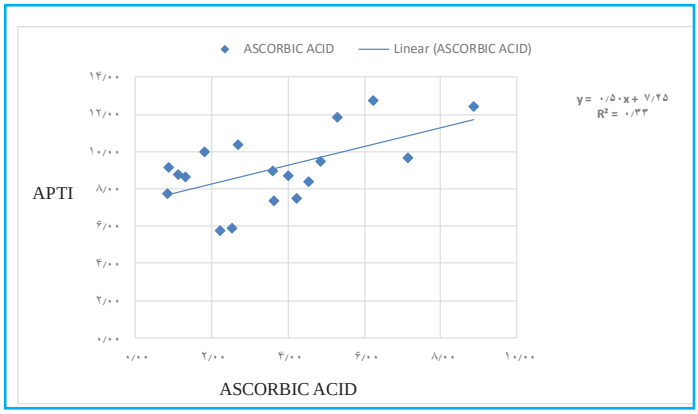
شد؛ اما وابستگی کمی بین APTI و محتویات آب برگ گیاهان (R^2=۰/۳) و نیز بین APTI و pH برگ گیاهان (R^2=۰/۰۶) مشاهده شد. این آنالیزها نشان می‌دهند که اسید آسکوربیک و کلروفیل برگ گیاهان، از عوامل تعیین کننده‌ای هستند که میزان APTI به آن‌ها وابسته است



نمودار ۲. آنالیز رگرسیون خطی بین متغیر مستقل RWC و متغیر وابسته APTI گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز



نمودار ۳. آنالیز رگرسیون خطی بین متغیر مستقل کلروفیل و متغیر وابسته APTI گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز



نمودار ۴. آنالیز رگرسیون خطی بین متغیر مستقل اسید آسکوربیک و متغیر وابسته APTI گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز

بر اساس نتایج به‌دست آمده، وابستگی مثبت بسیار بالایی بین APTI و کلروفیل (R^2=۰/۴۸) و همچنین وابستگی مثبت بالایی بین APTI و اسید آسکوربیک گیاهان (R^2=۰/۳۳) مشاهده

بحث

pH

میزان بالای مقادیر pH در یک گیاه باعث افزایش مقاومت آن نسبت به آلودگی هوا می‌شود(۱۲)، اما به‌طور کلی در حضور آلودگی‌های اسیدی، pH برگ کاهش می‌یابد و این میزان کاهش در گیاهان حساس بسیار بیشتر از گیاهان مقاوم است(۵-۱۳). در واقع هنگامی که گیاهان در شرایط آلودگی هوا (به‌خصوص در حضور آلاینده سولفور دی اکسید (SO_2)) قرار می‌گیرند، در مایع سلولی آن‌ها یون H^+ به میزان انبوه تولید می‌شود تا با SO_2 هوا که از طریق روزنه‌ها و منافذ بین سلولی وارد گیاه شده است، ترکیب شود؛ بنابراین اسید سولفوریک H_2SO_4 تولید می‌شود و pH گیاه کاهش می‌یابد(۱۴). هرچه pH استخراج شده از گیاه بیشتر باشد، توانایی گیاه برای جذب SO_2 و NO_X (اکسیدهای نیتروژن) بسیار بیشتر است.

محتویات آب برگ (RWC)

بالا بودن محتویات آب برگ در پیکره گیاه، در به‌دست آوردن توازن و تعادل فیزیولوژیکی تحت شرایط استرس‌زا (همچون قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا) به آن کمک می‌کند(۱۵). در شرایط آلودگی هوا، میزان تعرق در گیاهان به‌صورت مکرر بالاتر است که این امر ممکن است منجر به خشک شدن آن‌ها شود؛ بنابراین به‌دست آوردن مقادیر RWC گیاهان، میزان مقاومت آنان نسبت به آلودگی را نشان می‌دهد(۲). افزایش مقدار RWC در گونه‌ها نشان‌دهنده عملکرد بهتر آن‌ها نسبت به تحمل شرایط خشکی می‌باشد، از این رو بالا بودن مقادیر RWC گیاهان در یک منطقه صنعتی، ممکن است نشان‌دهنده عملکرد طبیعی فرآیندهای

بیولوژیکی گیاهان باشد(۱). تفاوت‌های میان مقادیر RWC به‌علت وجود تفاوت‌های موجود در بین گونه‌های گیاهی مختلف می‌باشد. به‌طور کلی RWC با نفوذپذیری پروتوپلاسمی ارتباط دارد و بالا بودن مقدار آن برای مقاومت نسبت به خشکی و شرایط تنش‌زا مفید است(۱۶).

اسید آسکوربیک (Ascorbic acid)

اسید آسکوربیک برای سنتز دیواره سلول، دفاع و تقسیم سلولی اساسی است و نقش مهمی را در تثبیت کربن در فرآیند فتوسنتز گیاهان ایفا می‌کند و به‌دلیل اهمیت آن، یکی از فاکتورهای بررسی شده در فرمول APTI می‌باشد. آسکوربیک اسید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند و اغلب در قسمت‌های در حال رشد گیاهان یافت می‌شود و باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر آلودگی هوا می‌شود. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که اسید آسکوربیک باعث کاهش تجمع اکسیژن فعال در برگ‌های گونه‌های گیاهی می‌شود. افزایش میزان اسید آسکوربیک در برگ گیاهان، مقاومت نسبت به آلودگی را بالا برده و جزء مکانیسم دفاعی گیاهان مربوطه می‌باشد(۱۷). در واقع، گونه‌های گیاهی با میزان بالای اسید آسکوربیک، جزء گونه‌های مقاوم نسبت به آلودگی هوا می‌باشند.

محتویات کلروفیل کل (Total chlorophyll content)

کلروفیل یکی از مهم‌ترین متابولیک‌های گیاه در شرایط استرس و تنش‌زاست و میزان بالای کلروفیل در گیاهان باعث تحمل شرایط آلوده می‌شود. تنزل رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخص آلودگی هوا استفاده می‌شوند و با افزایش سطح آلودگی، محتویات کلروفیل کاهش می‌یابد، زیرا آلاینده‌ها، محتویات کلروفیل کل گیاه را کم می‌کنند. به‌طور کلی مقادیر بالای کلروفیل در گیاهان باعث افزایش مقاومت نسبت به آلودگی هوا می‌شوند. البته محتویات کلروفیل گیاهان هم بر اساس میزان آلودگی منطقه پژوهشی و هم بر اساس مقاوم و یا حساس بودن گونه‌های گیاهی تغییر می‌کند. علاوه بر موارد ذکر شده، تفاوت میزان کلروفیل در هر گیاه، به سن برگ‌های گیاه، شرایط آب‌وهوایی و نوع آلاینده‌ها نیز ربط دارد(۳).

شاخص مقاومت آلودگی هوا (APTI)

یکی از اصلی‌ترین صفات گیاهان برای محاسبه میزان آلودگی هوا به‌خصوص در مناطق شهری و صنعتی، APTI می‌باشد. مقادیر APTI با استفاده از بررسی چهار پارامتر بیوشیمی در برگ‌های گیاهان که شامل pH، RWC، محتویات کلروفیل کل و اسید آسکوربیک است، اندازه‌گیری می‌شود. تمامی این پارامترها، پیش‌بینی کننده وضع کیفیت هوا می‌باشند(۱۱). درمجموع گیاهانی که میزان APTI بیشتری دارند، نسبت به آلودگی هوا مقاوم‌تر هستند؛ درحالی که گیاهان با میزان APTI کمتر، مقاومت کمتری دارند و جزء گونه‌های حساس می‌باشند. ارزیابی مناسب از مقاومت و حساسیت گونه‌های گیاهی در شرایط آلودگی هوا را با استفاده از شاخص APTI می‌توان انجام داد؛ زیرا یافتن گونه‌های حساس و مقاوم برای کاهش آلودگی در مناطق شهری و صنعتی بسیار مهم است(۱۶). به‌طور کلی طبقه‌بندی‌های متفاوتی برای شاخص APTI بیان شده است؛ آچاکزی و همکاران، گیاهان با میزان APTI کمتر از ۱۶ را جزء گونه‌های حساس طبقه‌بندی کرده‌اند(۱۸)، در حالی که مانجونا و همکاران گیاهان با میزان APTI ۱۲ تا ۱۶ را جزء گونه‌های نسبتاً مقاوم معرفی کرده‌اند(۴). در این مطالعه با توجه شرایط اقلیمی و میزان آلودگی شهر مشهد، میزان مقاومت گیاهان کاشته شده در دیوارهای سبز به‌صورت مقایسه‌ای بیان شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آماری به‌دست آمده در این مطالعه، میزان مقاوت و تحمل‌سنجی آلودگی هوا در گیاهان با مقادیر اسید آسکوربیک و محتویات آب برگ آنان ارتباط بسیار زیادی دارد. بررسی میزان APTI نه گونه گیاهی متفاوت نشان می‌دهد که تمامی این گیاهان به‌جز کوشیا، مقاومت بسیار مناسبی برای کاشت و قرارگیری در دیوارهای سبز را دارند و از میان آن‌ها مقاوم‌ترین گونه‌ها برای کاشت در شرایط آلودگی هوا با بیشترین میزان APTI، گیاهان کارپوبروتوس و رزماری می‌باشند. این گیاهان تحت شرایط استرس

و حضور آلاینده‌های هوا به رشد خود ادامه داده و آلاینده‌های هوا بدون اثرگذاری بر فرآیند رشد آنان، از محیط جذب می‌گردند. گیاهان اسطوخودوس، سدوم رفلکسوم، پیچ تلگرافی، هیلوتلفیوم، یخ بنفش و فرانکنیا نیز با میزان APTI متوسط، دارای مقاومت نسبتاً مناسبی نسبت به آلودگی هوا و گزینه مناسبی برای کاشت در دیوارهای سبز، در مناطق صنعتی و شهری آلوده هستند؛ اما گیاه کوشیا با میزان APTI بسیار کمتر از حد متوسط، دارای مقاومت مناسبی نسبت به آلودگی هوا نبوده و برای کاشت در دیوارهای سبز، در مناطق صنعتی و شهری آلوده، مناسب نمی‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته شده از پایان‌نامه با کد ۳/۵۰۹۶۴ می‌باشد. بدین‌وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام این مطالعه یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1.Rai P. K., L.S.S. Panda, B.M. Chutia, and M.M. Singh. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) in the industrial and non-industrial area Aizawl of India : An Eco management approach. Environ. Sci. and Tech 2013; 7(10): 944-948.

2.Verma A. "Attenuation of automobile generated air pollution by higher plants." 2003.

3.AbidaB H S. "Evaluation of some tree species to absorb air pollutants in three industrial locations of South Bengaluru India." E–J of chem 2010;7:151–156.

4. Manjunath BT , Jayaram Reddy. Comparative evaluation of air pollution tolerance of plants from polluted and non-polluted regions of Bengaluru, Journal of Applied Biology & Biotechnology 2019; 7(03).

5.Govindaraju M, Et al. "identification and evaluation of air pollution tolerant plants lignite-based thermal power station for green belt ". Environ.sci.pollut 2013; 1210-1223.

6. Weerakkody Udeshika, PaulMitchell, Kevin Reiling . "Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics." Science of the Total Environment 2018.

7.Liu Y J, Ding H."variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory: implication for landscape-plant species selection for industrial areas." Wseas Transsactions on Environment and Development 2008;4: 24-32.

8.Smirnoff N, Wheeler G.L."Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function." critical reviews in biochemistry and molecular biology 2000; 291-314.

9.Arnon. A. J."Method of extraction of chlorophyll in the plants." 1967; 23(1): 112-121.

10.Singh SK, Rao D.N."Evaluationofplantsfortheirtolerancetoairpollution.In:I.A.f. A.P.Control,(Ed." ProceedingsSymposiumonAirPollutionControl(1983). vol.1,NewDelhi,India pp.218–224.

11.Gholami A, AMaH A."INVESTIGATION OF THE AIR POLLUTION TOLERANCE INDEX (APTI) USING SOME PLANT SPECIES IN AHVAZ REGION." The Journal of Animal & Plant Sciences 2016;1018-7081.

12.Abedesfahani A, Amini H, Samadi N, Hoodaji M S. a. K P."Assesment of air pollution tolerance index of higher plants suitable for green belt development in east of Esfahan City, Iran." Ornam. and Hort. 2013; 3(2): 87-94.

13.Scholz, F., Reck S. "Effects of acids on forest trees as measured by titration in vitro, inheritance of buffering capacity in Picea." abies. Water, Air and Soil PPollutes 1977;8: 41-45.

14.Zhen S Y. "The evolution of the effects of so2 pollution on vegetation." ECOL.Sci. 2000.

15.Innes J L., Haron A. H. "Air pollution and the forests of developing and rapidly industrializing regions." Wallingford, UK. (2000).

16.Singh s., k et al. "air pollution tolerance index of plants." environ. Sci 1991.

17.Keller T., H. Schwager "Air pollution and ascorbic acid. Europ." 1997; 7: 338350.

18. Achakzai Khanoranga, Khalid Sofia , Adrees Muhammad , Aasma Bibi ,Shafaqat Ali , Rab Nawaz , Muhammad Rizwan. Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan, journal of environmental management 2016; 252-258.