

Investigating the Phytochemical Indices of Plantain (*Platanus orientalis*) Trees Located in Four Areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr Street in Tehran under Different Climatic Conditions and Environmental Pollutants

G.H. Homayouni¹, M.R. Raji^{1*}, A. Ehteshamnia¹, M. Aalifar¹

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

(*- Corresponding author's Email: raji.m@lu.ac.ir)

Received: 11 August 2024
Revised: 14 December 2024
Accepted: 23 December 2024
Available Online: 23 December 2024

How to cite this article:

Homayouni, G.H., Raji, M.R., Ehteshamnia, A., & Aalifar, M. (2025). Investigating the phytochemical indices of plantain (*Platanus orientalis*) trees located in four areas (1, 3, 6 and 11) of Valiasr street in Tehran under different climatic conditions and environmental pollutants. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 251-268. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

Introduction

Climate change and environmental pollutants are effective on the growth of different plant species. Plants in general and trees in particular react to climatic and environmental changes. Air pollution and climate changes have a significant effect on the growth, quality and phytochemical characteristics of trees in urban green spaces, because chronic injuries are caused by continuous absorption of pollutants. The metropolis of Tehran is known as one of the most immigrant-friendly cities in the country. The main environmental problems of Tehran city are the lack of natural air ventilation, the persistence of pollutants, dryness of the air, the existence of dust, the noise and the destruction of natural ecosystems. Air quality is related to the chemical state of the atmosphere at any time and place. Like weather, air quality affects everyone.

Materials and Methods

The current research was carried out in the city of Tehran in the form of a completely random design with three replication. This research was carried out with the aim of investigating the effect of ten-year climate changes and environmental pollutants on the chemical properties of plantain trees in 4 regions of Valiasr street of Tehran (regions 1, 3, 6 and 11). In this study, four areas of the city include Valiasr Street in area 1 from Tajrish Square to Parkway (average height above sea level 1611 meters and average slope 20.17), area 3 from Parkway to Hemat Bridge (average height 1501 meters and average slope 5.89), zone 6 from Hammet bridge to Valiasr intersection (height 1308 meters and average slope 5.17) and zone 11 from Valiasr intersection to railway square (average height 1152 meters above sea level and average slope 2.19) were selected for the study. Region 1 was selected as a clean or low pollution region, region 3 as a polluted region one, region 6 as a polluted region two and region 11 as a polluted region three. The obtained data were analyzed by ANOVA using SAS 9.4 software, comparison of averages was done with Duncan's test and graphs and statistical tables were drawn by Excel software. The difference of traits in three times was evaluated using t-test.

Results and Discussion

Data homogeneity test was not significant by Bartlett's test, which shows that the variances are homogeneous in four locations. Due to the homogeneity of the data and the non-significance of Bartlett's test, the data of this experiment were subjected to combined analysis. The results showed that the highest amount of ion leakage was obtained from regions 6 and 11. The highest relative humidity content was shown in regions 3 and 6. With the



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

increase of environmental pollutants in regions 3 and 11 in compared to region1 ,the amount of anthocyanins and antioxidants increased. In addition, the activity of catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase enzymes in plantain tree leaves showed a significant increase in areas with more pollution (11, 6 and 3) due to lower sea level height and slope gradient in compared to region 1. Many researchers have also stated in numerous reports the existence of a relationship between the place of growth and its effect on the quality and quantity of phytochemical compounds of plants. In general, air pollution and decreasing sea level height and slope led to increased ion leakage, malondialdehyde, relative leaf water content, flavonoids, anthocyanins, antioxidants, phenols, and antioxidant enzyme activity.

Conclusions

In the present study, significant difference was observed in the phytochemical content, quantity and quality of these compounds, in plane trees (*Platanus orientalis*) growing along Valiasr Street in Tehran. Environmental conditions at the growth site play a key role in determining the quantity and quality of phytochemical characteristics by influencing the total amount of active substances, the composition of bioactive elements, and dry matter production. Among these, altitude above sea level is considered one of the most important environmental factors affecting the phytochemical composition of plants. In addition, other environmental factors that shape the climate of a region—such as temperature, humidity, and air quality—also influence the accumulation of physiological and phytochemical compounds in plants. Furthermore, Several studies have reported a relationship between the growing location and its impact on the quality and quantity of phytochemical compounds in plants.

Keywords: Altitude, Antioxidant, Flavonoid, Ion leakage, Malondialdehyde, Pollutants, Superoxide dismutase

مقاله پژوهشی

جلد ۳۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۲۶۸-۲۵۱

بررسی شاخص‌های فیتوشیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) واقع در چهار منطقه (۱، ۳، ۶ و ۱۱) از خیابان ولیعصر تهران تحت شرایط اقلیمی و آلاینده‌های محیطی متفاوت

غلامحسین همایونی^۱ - محمدرضا راجی^{۱*} - عبداله احتشام نیا^۱ - مصطفی عالی فر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳

چکیده

آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی بر رشد، کیفیت و خصوصیات فیتوشیمیایی درختان در فضای سبز شهری تأثیر بسزایی دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییرات اقلیم و آلاینده‌های محیطی بر خصوصیات شیمیایی درختان چنار (*Platanus orientalis*) در چهار منطقه از شهر تهران (مناطق ۱، ۳، ۶ و ۱۱) اجرا شد، داده‌برداری در سه زمان ۱، ۱۵ و ۳۰ آبان ماه در سال ۱۴۰۲ انجام و نتایج تی تست نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین این سه زمان برای صفات مورد ارزیابی وجود ندارد و میانگین داده‌های این سه زمان جهت تجزیه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مناطق آلوده ۶ و ۱۱ بیشترین میزان نشت یونی و در منطقه ۱۱ بالاترین محتوای مالون دی‌آلدئید حاصل گردید. آلودگی هوا در مناطق ۳ و ۶ منجر به افزایش بالاترین محتوای نسبی آب برگ شد. بیشترین محتوای فلاونوئید در منطقه ۱۱ که دارای بالاترین میزان آلودگی هوا بودند، مشاهده گردید. افزایش آلاینده‌های محیطی در مناطق ۳ و ۱۱ در مقایسه با منطقه ۱ (منطقه پاک) با افزایش معنی‌دار میزان آنتوسیانین و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در منطقه ۱۱ همراه بود. همچنین بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به‌ترتیب با میزان ۵۴/۶۴ و ۴۵/۷۰ میلی‌گرم بر گرم حاصل شد. علاوه‌بر آن، در مناطق با آلودگی بیشتر (۱۱، ۶ و ۳) و ارتفاع از سطح دریا و شیب کمتر در مقایسه با منطقه پاک ۱، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ درخت چنار افزایش معنی‌داری را نشان داد. به‌طور کلی، آلودگی هوا و کاهش ارتفاع از سطح دریا و شیب منجر به افزایش نشت یونی، مالون دی‌آلدئید، محتوای نسبی آب برگ، فلاونوئید، آنتوسیانین، آنتی‌اکسیدانت، فنل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، آلاینده‌ها، آنتی‌اکسیدانت، سوپراکسید دیسموتاز، فلاونوئید، مالون دی‌آلدئید، نشت یونی

مقدمه

تغییر اقلیم و آلاینده‌های محیط زیست در رشد گونه‌های مختلف گیاهی مؤثر هستند. گیاهان به‌طور اعم و درختان به‌طور خاص نسبت به تغییرات اقلیمی و محیطی از خود واکنش نشان می‌دهند. در گیاهان به‌طور کلی میزان و کیفیت مواد فیتوشیمیایی تحت تأثیر ژنتیک است، ولی عوامل اقلیمی از جمله نور، باد، درجه حرارت، میزان بارندگی، اسیدیته و بافت خاک و عوامل جغرافیایی نظیر ارتفاع از سطح دریا، مقدار شیب و جهت آن اثرات قابل توجهی بر کمیت و

کیفیت ترکیبات فیتوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه دارند (Parvizi et al., 2022). درختان می‌توانند نماینده تغییرات محیطی محل رشد خود باشند. تغییر اقلیم طی چند دهه اخیر، اثرات متفاوتی بر محیط زیست و به‌خصوص گونه‌های مختلف گیاهی داشته است (Torkaman et al., 2023). توپوگرافی عمدتاً با تأثیر بر دما بر محتوای ماده آلی، عناصر معدنی و جریان آب در خاک تأثیرگذار است، همچنین الگوها و ویژگی‌های ریخت‌شناختی پوشش گیاهی را در مقیاس چشم‌اندازی تحت تأثیر قرار می‌دهد. شیب به‌عنوان یکی از عوامل اصلی توپوگرافی نقش کلیدی در تنظیم تابش دارد که به‌نوبه خود بر رطوبت، عناصر معدنی و دمای خاک تأثیرگذار است، به‌گونه‌ای که می‌تواند به‌طور مستقیم بر توسعه پوشش گیاهی و بوم‌نظام محلی تأثیرگذار باشد (Zhang et al., 2018). همچنین شیب زمین بر

۱- گروه آموزشی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

(*) نویسنده مسئول:

(Email: raji.m@lu.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89321.1369>

خصوصیات پوشش گیاهی از جمله ترکیب و توزیع گونه‌ها، عملکرد گیاه، کارایی فتوسنتزی پوشش و بهره‌وری آن، تنوع گونه‌ها، عملکرد و مواد مغذی تأثیرگذار است (Yanyan et al., 2017). تغییر ارتفاع از سطح دریا بر میزان بارندگی، شدت تشعشعات خورشیدی، تبخیر و تعرق تأثیر داشته و این عوامل به‌نوبه خود بر نوع و تراکم پوشش‌های گیاهی تأثیر داشته و سبب کاهش رشد گیاهان می‌شود (Roupioz et al., 2016). در پژوهشی، اثر ارتفاع از سطح دریا بر فتوسنتز و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک سه گونه درختی بلوط (*Quercus brantii* Lindl)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf) و زالزالک (*Crataegus pontica* C.Koch) در جنگل‌های استان ایلام بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، محتوای قند محلول و پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که میزان این افزایش در درخت بلوط و بنه بیشتر از زالزالک بود. در رابطه با آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، فقط در گونه بنه در ارتفاع‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم‌ها در درخت بنه منظم‌تر از دو گونه دیگر بود (Parvizi et al., 2022). در پژوهشی مشاهده گردید که اثر مبدأ بذر بر صفات ریخت‌شناسی، زنده‌مانی بذر و رویش نهال‌های بلوط ایرانی معنی‌دار است و با افزایش ارتفاع از سطح دریا، خصوصیات مذکور کاهش می‌یابد (Mataji et al., 2016).

گیاهان با اینکه تا حدی در کاهش آلودگی هوا مؤثر هستند، اما ممکن است تحت تأثیر آلاینده‌ها نیز قرار گرفته و آسیب ببینند. یکی از خدمات درختان شهری، نقش آن‌ها در تصفیه مواد زائد و جذب آلاینده‌های هوا است. از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های هوا که توسط درختان جذب می‌شوند، می‌توان به دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، اوزون (O_3) و دی‌اکسید کربن (CO_2) اشاره نمود (Zahid et al., 2023). دی‌اکسید گوگرد به دو طریق توسط درخت جذب می‌گردد، یکی از طریق روزنه‌ها و دیگری از طریق رطوبت سطحی موجود در برگ. تحقیقات نشان می‌دهد که تراکم گاز دی‌اکسید گوگرد برای چندین ساعت می‌تواند به برخی از گونه‌های گیاهی آسیب برساند (Timilsina et al., 2022). امروزه ایجاد فضای سبز مناسب در مناطق شهری موجب کاهش آلودگی‌های محیطی و صدمات زیان‌آور ناشی از آن می‌شود. گیاهان به‌خصوص گیاهان کاشته‌شده در مناطق آلوده جهت پاسخ به آلاینده‌های محیطی، از طریق سازوکارهای خاص تا حد زیادی از خود مقاومت نشان می‌دهند (Chauhan et al., 2022). آلودگی هوا می‌تواند موجب تغییر در میزان گروهی از مشخصه‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان گردد. برای مثال، اگر غلظت SO_2 در گیاه به بیش از حد استاندارد افزایش یابد، سلول‌ها ابتدا غیرفعال شده و سپس می‌میرند. آلاینده‌های مختلف موجود در هوا می‌توانند به شکل‌های مختلفی به گیاهان

آسیب برسانند (Sawarkar et al., 2023). به‌عنوان مثال، پس از ورود ازن به برگ، این ماده با لایه مرطوب سطح سلول‌های پارانشیمی درون اتاقک زیر روزنه (آپوپلاست) واکنش داده و تولید رادیکال‌های آزاد مانند هیدروپروکسید و سوپراکسید می‌کند. هیدروپروکسید موجب پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود و رادیکال هیدروکسیل به اجزاء غشای سیتوپلاسمی حمله می‌کند (Bala et al., 2022). آلاینده‌های دیگر مانند دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن علاوه بر اکسیداسیون، با تغییر pH و تداخل در متابولیسم عناصر غذایی گوگرد و نیتروژن، تعادل متابولیسمی سلول‌ها را بر هم می‌زنند (Bui et al., 2022). درحالی‌که آلاینده ذرات معلق بیشتر از راه فیزیکی و با مسدود کردن روزنه و به‌مقدار کمتر از راه شیمیایی به گیاه آسیب وارد می‌سازد. گیاهان در پاسخ به تنش آلودگی به دو صورت عمل می‌نمایند: یا گیاه آلاینده را در خود تجمع می‌دهند و یا در اثر تنش آلودگی از خود علائم ویژه نشان می‌دهد. این علائم بسته به نوع آلاینده، غلظت آن، گونه، شرایط فیزیولوژیکی و سن گیاه متفاوت است (Uka et al., 2019).

استفاده از درختان و درختچه‌ها در ایجاد و توسعه فضای سبز و در کاهش مشکلات یادشده، نقش مهمی ایفا می‌کنند. درخت چنار با نام علمی *Platanus orientalis* از خانواده Platanaceae است و جزء درختان پهن‌برگ و خزان‌کننده نیم‌کره شمالی محسوب می‌شود. چنار، درخت بزرگ و زیبایی است با تنه مستقل، تاجی گسترده و شاخه‌های قوی که این ویژگی‌ها موجب شده‌اند تا چنار در ردیف مهم‌ترین درختان سایه‌دار پارک‌ها و حاشیه خیابان‌ها قرار گیرد (Danika et al., 2024). در ایران، درخت چنار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در حال حاضر نیز مهم‌ترین گونه مورد استفاده در فضای سبز شهری، چنار است. از لحاظ گیاه‌شناسی درختی خزان‌کننده به ارتفاع تا ۵۰ متر، برگ‌ها متناوب و پنجه‌ای شکل و میوه فندقه کرکدار که در زمستان به شاخه‌ها آویزان است. چنار درختی است یک‌پایه با گل‌های تک‌جنس و شبیه هم که بر روی گل‌آذین‌های فشرده کروی شکل قرار دارند. زمان گل‌دهی آن در ماه‌های فروردین و خرداد است (Mohsenzadeh & Akbari, 2017).

کلان شهر تهران به‌عنوان یکی از شهرهای مهاجرپذیر کشور مطرح است. عمده‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهر تهران، کمبود تهویه طبیعی هوا، پایداری مواد آلاینده، خشکی هوا، وجود گرد و غبار، وجود سر و صدا و تخریب بوم‌نظام‌های طبیعی است. کیفیت هوا مرتبط با وضعیت شیمیایی اتمسفر در هر زمان و مکان است. همانند آب‌وهوا، کیفیت هوا نیز بر همگان اثرگذار است (Kalaipriya et al., 2023). کیفیت نامطلوب هوا، دارای پتانسیل ایجاد بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی در انسان می‌باشد. آلودگی هوا بر رشد و کیفیت

(Salam, 2024). بنابراین توزیع انواع گیاهان در مناطق شهری به وجود آلاینده‌های هوا و حساسیت گیاهان نسبت به این تنش وابسته است. خطرات ناشی از آلاینده‌های هوا روی مشخصه‌های رشدی و شیمیایی گیاهان، به الگوی انتشار آلاینده‌ها، انتقال اسمزی، جذب برگی آن‌ها و ظرفیت دفاع بیوشیمیایی گیاه وابسته است. تاکنون پژوهشی جهت بررسی تأثیر آلودگی هوا و پارامترهای اقلیمی نظیر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین بر صفات مختلف درختان چنار انجام نشده است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی درختان چنار واقع در چهار منطقه شهر تهران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در شهر تهران که در 51° و $17'$ تا 51° و $33'$ طول خاوری و 35° و $36'$ تا 35° و $44'$ عرض شمالی قرار گرفته و دارای ۲۲ منطقه است. در این پژوهش، چهار منطقه از شهر شامل خیابان ولیعصر، منطقه ۱ (از میدان تجریش تا پارک وی)، منطقه ۳ (از پارک وی تا پل همت)، منطقه ۶ (از پل همت تا چهار راه ولیعصر) و منطقه ۱۱ (از چهارراه ولیعصر تا میدان راه آهن) با ارتفاع از سطح دریا و شیب‌های متفاوت که در **جدول (۱)** ذکر شده، برای مطالعه انتخاب شدند. با توجه به همگنی داده‌ها و معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت، داده‌های این آزمایش تجزیه مرکب شدند.

درختان در فضای سبز شهری تأثیر بسزایی دارد، زیرا صدمات زمینی در اثر جذب مداوم آلاینده‌ها ایجاد می‌شود (Mehmood et al., 2024). منظور از آلودگی، ورود عناصر و ترکیبات جدید به محیط و یا تغییر نسبت عناصر و ترکیباتی است که به‌طور طبیعی در محیط وجود دارند. آلودگی هوا براساس تعریف عبارت است از وجود هر آلاینده اعم از جامد، مایع و گاز در هوا به مقدار و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر موجودات زنده به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد (Anil et al., 2022). میزان حساسیت گیاهان نسبت به آلودگی هوا متفاوت است و موجب تغییراتی مانند تغییر در فرآیندهای بیوشیمیایی و تجمع متابولیت‌های معین در آن‌ها می‌شود. مسئله آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است (Sekhar & Sekhar, 2019).

بر طبق نظر برخی پژوهشگران، براساس شاخص‌های بیوشیمیایی، گیاهان را در تنش آلودگی هوا می‌توان براساس پاسخ‌های فیزیولوژیکی، رشد مناسب و گل‌دهی به چهار گروه شامل متحمل، نیمه‌متحمل، حساس و خیلی حساس تقسیم‌بندی نمود. پاسخ‌های گیاهان به آلاینده‌های هوا ممکن است بسیار گسترده و متفاوت باشد و اختلاف این پاسخ‌ها می‌تواند به‌وسیله عواملی از قبیل اختلاف در غلظت‌های آلاینده‌ها و توزیع زمانی آن‌ها، منشأ ژنتیکی، فعالیت فیزیولوژیکی، عوامل هواشناسی و وضعیت تغذیه گیاهان و سایر عوامل محیطی ایجاد شود (Mahaveerchand & Abdul, 2019).

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی
Table 1- The climatic characteristics of the studied areas

نام مناطق Name of the area	شیب Slope	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level (m)
منطقه ۱ (میدان تجریش تا پارک وی) Area 1 (Tajrish Square to Parkway)	20.17	1611
منطقه ۳ (پارک وی تا پل همت) Area 3 (Parkway to Hemet Bridge)	5.89	1501
منطقه ۶ (پل همت تا چهار راه ولیعصر) Area 6 (Hemet bridge to Valiasr intersection)	5.17	1308
منطقه ۱۱ (چهارراه ولیعصر تا میدان راه آهن) Area 11 (Valiasr Intersection to Railway Square)	2.19	1152

در این پژوهش براساس داده‌های ۱۰ ساله اداره کل هواشناسی تهران، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران و داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای شهر به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب و آلودگی هوا بر عوامل فیتوشیمیایی درخت چنار واقع در چهار منطقه ۱، ۳، ۶ و ۱۱ پرداخته شد. بدین منظور، مناطق آلوده و پاک شهر تهران با در نظر گرفتن آلاینده‌های AQI (نظیر SO_2 ، O_3 ، CO_2 ، PM_{10} و $PM_{2.5}$) و عناصر غذایی متأثر از شرایط آلودگی (نظیر N، P، K، Fe و S) براساس آمار ۱۰ ساله ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (ایستگاه اقدسیه واقع در منطقه یک، ایستگاه پاسداران واقع در منطقه سه، ایستگاه تربیت مدرس واقع در منطقه شش و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱ واقع در منطقه یازده) بررسی شدند (جدول ۲). براساس آلاینده‌های AQI، منطقه ۱۱

در این پژوهش براساس داده‌های ۱۰ ساله اداره کل هواشناسی تهران، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران و داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای شهر به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب و آلودگی هوا بر عوامل فیتوشیمیایی درخت چنار واقع در چهار منطقه ۱، ۳، ۶ و ۱۱ پرداخته شد. بدین منظور، مناطق آلوده و پاک شهر تهران با در نظر گرفتن آلاینده‌های AQI (نظیر SO_2 ، O_3 ، CO_2 ، PM_{10} و $PM_{2.5}$) و عناصر غذایی متأثر از شرایط آلودگی (نظیر N، P، K، Fe و S) براساس آمار ۱۰ ساله ایستگاه‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران (ایستگاه اقدسیه واقع در منطقه یک، ایستگاه پاسداران واقع در منطقه سه، ایستگاه تربیت مدرس واقع در منطقه شش و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۱ واقع در منطقه یازده) بررسی شدند (جدول ۲). براساس آلاینده‌های AQI، منطقه ۱۱

بیشترین میزان آلودگی و منطقه ۱ کمترین میزان را نشان داده‌اند و به این ترتیب به‌عنوان سایت آلوده و سایت پاک در این تحقیق منظور گردید. منطقه ۱ به‌عنوان منطقه پاک یا کم آلودگی، منطقه ۳ به‌عنوان منطقه آلوده یک، منطقه ۶ به‌عنوان منطقه آلوده دو و منطقه ۱۱ به‌عنوان منطقه آلوده سه انتخاب شدند. جهت بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین و آلودگی هوا، پس از انتخاب مناطق و محل‌های نمونه‌برداری (درختانی با سن ۳۵ تا ۴۰ انتخاب شدند که تا فاصله ۱۰ متر، سازه‌ای در کنار آن‌ها قرار نداشت) و نمونه‌های برگ بر روی درختان هم‌سن براساس داده‌های شهرداری برای سنجش

مشخصه‌های فیتوشیمیایی به‌صورت تصادفی از ارتفاع ۱/۵ متری به بالای درخت جمع‌آوری گردید. در مناطق مورد بررسی، ۱۵ برگ (به‌طور تصادفی سه درخت انتخاب و از هر درخت در جهات مختلف پنج برگ برداشت شد) به فواصل هر ۲۰۰ متر درخت انتخاب گردید. به‌منظور آنالیزهای فیتوشیمیایی، نمونه‌ها روی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. جهت بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین با استفاده از آمار داده‌های شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران نسبت به بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا و شیب زمین بر خصوصیات فیتوشیمیایی گیاه اقدام و بررسی شد.

جدول ۲- میانگین آلاینده‌های ده ساله مناطق ۱، ۳، ۶ و ۱۱ شهرداری تهران براساس داده‌های شرکت کنترل کیفیت هوای تهران

Table 2- Ten-year average pollutants in zones 1, 3, 6, and 11 of Tehran Municipality based on data from Tehran Air Quality Control Company

منطقه Region	آلاینده PM 2.5 PM 2.5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	آلاینده PM 10 PM 10 ($\mu\text{g.m}^{-1}$)	دی‌اکسید گوگرد SO ₂ (ppb)	اکسید نیتروژن NO _x (ppb)	دی‌اکسید نیتروژن NO ₂ (ppb)	اکسید نیتروژن NO (ppb)	مونوکسید کربن CO (ppm)	اوزون O ₃ (ppb)
1	24.76	29.1	7.66	96.53	37.18	57.19	1.45	17.2
3	32.836	47.366	8.411	111.38	54.21	59.47	2.4	19.4
6	35.91	65.53	9.1	127.91	60.83	67.55	2.6	24.18
11	38.2	84.8	9.945	157.33	61.85	97.69	3.5	27.3

خشک و وزن نهایی آن‌ها ثبت شد (DW). محتوای نسبی آب برگ از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Barrs & Weaterley, 1962).

$$\text{RWC (\%)} = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad (2)$$

ارزیابی مالون دی‌آلدئید

اندازه‌گیری میزان مالون دی‌آلدئید براساس روش مینگ و همکاران (Meng et al., 2012) انجام شد. بدین ترتیب، حدود سه گرم از بافت گیاه در ۱۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید پنج درصد هموژنیزه و سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ (دور در دقیقه) سانتریفیوژ شد. سپس دو میلی‌لیتر از روشناور با دو میلی‌لیتر اسید تیوباریتوریک ۶۷ درصد مخلوط گردید و تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه گرما داده شد، سپس به‌سرعت سرد شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ (دور در دقیقه) سانتریفیوژ شد. بعد از آن، روشناور جمع‌آوری و میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲، ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. مقدار مالون دی‌آلدئید از طریق معادله (۳) محاسبه گردید. در این رابطه، حجم کل محلول عصاره (Vt)، حجم محلول مخلوط واکنش (Vr)، حجم کل عصاره موجود در محلول مخلوط واکنش (Vs) و وزن نمونه (m) در نظر گرفته شد (Chang et al., 2002).

صفات مورد ارزیابی

نشت یونی

به‌منظور ارزیابی میزان نشت یونی، برگ‌های تازه (یک گرم) به قطعاتی به‌طول پنج میلی‌متر به‌طور مساوی تقسیم و در لوله‌های آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. سپس لوله‌ها به‌مدت دو ساعت روی شیکر چرخش‌دار با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از آن هدایت الکتریکی (EC1) نمونه با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمایش در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۰ دقیقه جهت آزاد شدن همه الکترولیت‌ها قرار داده شد. در نهایت تا دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی خنک گردید (EC2). اندازه‌گیری نشت یونی از طریق معادله (۱) محاسبه شد (Barrs & Weaterley, 1962):

$$\text{ELR (\%)} = \frac{EC1}{EC2} \times 100 \quad (1)$$

محتوای نسبی آب برگ

برای این منظور، برگ‌های چنار در هر منطقه وزن شد و وزن آن ثبت گردید (FW) و بعد از آن، نمونه‌ها به‌مدت شش ساعت در آب مقطر قرار داده شد و دوباره وزن آن‌ها ثبت گردید (TW). در نهایت، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون

آنتی‌اکسیدانت

(۳)

$$\text{MDA (mmol/kg)} = \frac{[6.45 \times (0D532 - 0D600) - 0.56 \times 0D450] \times \frac{Vt \times Vr}{(Vs \times m)}}{}$$

فلانونوئید

محتوای فلانونوئید با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد. بدین منظور به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط ۳۰ دقیقه پس از نگهداری در دمای اتاق، در طول موج ۴۱۵ نانومتر در مقابل بلانک قرائت شد. از کوئرتستین به‌عنوان استاندارد برای رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. میزان فلانونوئید براساس میزان معادل میلی‌گرم کوئرتستین در گرم عصاره گزارش گردید (Chang et al., 2002).

آنتوسیانین

برای سنجش میزان آنتوسیانین، ۰/۲ گرم از بافت تر گیاه در سه میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل متانول ۹۹/۵ درصد و اسید هیدروکلریک خالص به‌نسبت ۹۹ به ۱) همگن و درون تیوب دو میلی‌لیتری ریخته و به حجم رسانده شد. سپس به‌مدت پنج دقیقه با دور ۱۰۰۰ در دقیقه سانتیفریوژ شد و جذب عصاره رویی در طول موج ۵۳۰ نانومتر برای آنتوسیانین با دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین گردید (Fan, 2005).

فنل

برای اندازه‌گیری میزان فنل کل از روش فولین-سیوکالتیو استفاده شد. بدین منظور، ابتدا یک گرم بافت نمونه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد در دستگاه همزنایزر همگن شد. هموژن حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با شتاب ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتیفریوژ گردید. محلول رویی جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل اختصاص داده شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی به هفت میلی‌لیتر آب مقطر، اضافه شد. سپس مقدار یک میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتیو به آن اضافه شد و پس از گذشت پنج دقیقه، یک میلی‌لیتر محلول سدیم کربنات ۲۰ درصد به آن اضافه گردید. میزان جذب نمونه‌های حاصل پس از گذشت یک ساعت در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد و مقدار فنل کل نمونه‌ها براساس استاندارد اسید تانیک محاسبه گردید (Fan, 2005).

برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدانت نیاز به تهیه عصاره می‌باشد. بنابراین، یک گرم از بافت گیاه هموژنیزه و به ۲۰ میلی‌لیتر محلول یک به یک آب و اتانول ۸۰ درصد (شرکت مرک آلمان) اضافه شد و توسط دستگاه ورتکس، یک محلول کاملاً همگنی تهیه گردید. سپس محلول حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتیفریوژ و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول به ۳/۹ میلی‌لیتر DPPH (Di Phenyl-1Picryl Hydrazyl) متانولی (۰/۰۳ گرم بر لیتر) از شرکت سیگما آمریکا اضافه شد. در نهایت، پس از انجام مراحل فوق و جهت تکمیل و عدم ایجاد اختلال در فرآیندهای جذب، یک ساعت وقفه ایجاد شد. پس از این مدت زمان، طیف جذبی محلول توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید و فعالیت آنتی‌اکسیدانتی با توجه به معادله (۴) محاسبه شد، به‌طوری‌که جذب کمتر، نشان‌دهنده فعالیت جداسازی بیشتر DPPH بود (Sánchez-Moreno et al., 1998).

$$\text{جذب DPPH} = \frac{\text{DPPH جذب}}{\text{جذب نمونه - جذب DPPH}} \quad (۴)$$

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)

ارزیابی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی

تهیه عصاره آنزیمی

به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری آنزیم‌ها، ۰/۵ گرم از بافت برگ در پایان آزمایش در حضور نیتروژن مایع در هاون چینی آسیاب شد. سپس چهار میلی‌لیتر از بافر استخراج (حاوی ۵۰ میلی‌مولار پتاسیم فسفات (pH = ۷/۸)، یک میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA)، یک درصد پلی وینیل پیرولیدون (PVP)، یک میلی‌مولار دی‌تیوتریتول (DTT) و یک میلی‌مولار فنیل متیل سولفونیل ((PMSF) به نمونه گیاهی اضافه گردید. بعد از آن، عمل سانتیفریوژ با ۱۳ هزار دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به‌مدت پنج دقیقه صورت گرفت. پس از اتمام سانتیفریوژ، از عصاره رویی برداشته و از این عصاره برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد (Correa de Souza et al., 2014).

آنزیم کاتالاز

جهت سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی بافت گیاه، یه میلی‌لیتر از محلول واکنش حاوی ۴۵ میلی‌مولار آب اکسیژنه و ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = ۷) اضافه گردید. فعالیت آنزیمی با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر و جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به‌مدت یک دقیقه ارزیابی شد. واحد اندازه‌گیری آن،

واحد آنزیمی بر میلی گرم وزن تر در نظر گرفته شد (Courtney et al., 2016).

آنزیم پراکسیداز

برای سنجش میزان این آنزیم، محلول واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۳۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی-مولار، ۳۵۰ میکرولیتر پیروگالول ۱۰ میلی-مولار و یک میلی-لیتر H_2O_2 ۷۰ میلی-مولار بود. میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به صورت میکرومول H_2O_2 تجزیه شده در میلی گرم پروتئین در دقیقه محاسبه گردید (Correa de Souza et al., 2014).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز

بدین ترتیب، مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با $pH=7$ (شامل ۰/۱ میلی مولار EDTA و یک میلی-مولار سدیم آسکوربات)، ۰/۱ میلی لیتر عصاره استخراجی و ۰/۲ میلی لیتر هیدروژن پراکسید یک درصد بود. سپس فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به صورت کاهش در جذب طی یک دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز از ضریب خاموشی ($2/8 \text{ Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از معادله (۵) به دست آمد (Nakano & Asada, 1981).

$$\text{Unit (mM/min)} = \frac{\text{doD} / \text{min(slop)} \times \text{Vol. of assay (0.0001)}}{\text{Extinction Coefficient (208)}} \quad (5)$$

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در مخلوط واکنش دارای ۱۰۰ سی سی بافر فسفات، EDTA ۰/۱ میلی مولار، یک گرم متیونین، نیتروبلوترازولیم، ۰/۰۰۲۸ گرم ریبوفلاوین و ۰/۱ گرم NBT انجام شد. برای هر نمونه، پنج سی سی از محلول نهایی برداشته شد. همه اجزاء به جز ریبوفلاوین در بالن ژوژه مخلوط گردید، بعد از حل شدن کامل، ریبوفلاوین به بالن اضافه شد. در نهایت به هر یک از لوله های آزمایش، میزان ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه شد. نمونه ها تحت نور فلورسنت قرار گرفتند. جذب نمونه ها در زمان های ۱۰ تا ۲۲ دقیقه صورت گرفت. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد (Correa de Souza et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 مورد تجزیه ANOVA قرار گرفتند، میانگین ها با آزمون چنددامنه ای دانکن مقایسه شدند و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel صورت گرفت. تفاوت صفات در سه زمان با استفاده از آزمون تی تست مورد ارزیابی قرار گرفت. تست همگنی داده ها توسط آزمون بارتلت معنی دار نشد که نشان می دهد، واریانس ها در چهار مکان همگن می باشند. با توجه به همگنی داده ها و معنی دار نشدن آزمون بارتلت، داده های این آزمایش تجزیه مرکب شدند.

نتایج و بحث

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان نشت یونی در درخت چنار معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان نشت یونی در مناطق ۶ و ۱۱ در محدوده بین ۴۳/۸۷ تا ۶۸/۸۷ درصد نشان داده شد. کمترین میزان در منطقه ۱ با میزان ۴۳/۸۷ درصد حاصل شد (جدول ۴). آلاندهای محیطی بعد از ورود از طریق روزنه به برگ در لایه آبکی حل می شود و تولید رادیکال های هیدروکسیل (OH^-) و سوپراکسید (O_2^-) و H_2O_2 می کند و می تواند از خلال غشاء عبور کند و باعث پراکسیداسیون لیپید غشاء و آسیب به ماکرومولکول ها شود. اوزون (O_3) باعث تغییر در نفوذپذیری و سیالیت غشاء و همچنین اختلال در تبادل پتاسیم و کلسیم و کار پمپ ATPase می شود (You et al., 2021). به نظر می رسد که آلودگی هوا با ایجاد تغییر در اسیدهای چرب غیر اشباع بر ساختار و ویژگی های غشاء سلولی اثر گذاشته و موجب ایجاد رادیکال های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش نفوذپذیری و تراوایی غشاء سلولی و در نتیجه تراوش اسمولیت ها در گیاهان حساس می شود (García-Sánchez et al., 2019). در مطالعه امینی و همکاران (Amini et al., 2015) مبنی بر بررسی اثر آلاندها بر خصوصیات برگ زبان گنجشک مشاهده گردید که میزان نشت یونی تحت شرایط آلودگی هوا تغییر معنی داری را نشان نداد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت نداشت که این امر ممکن است به دلیل تفاوت در میزان آلودگی هوا در مناطق مورد بررسی باشد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ در درخت چنار معنی دار شد (جدول ۳). در بین مناطق ۳ و ۶ تفاوت آماری معنی داری حاصل نشد و بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در مناطق مورد مطالعه

می‌شود و می‌توان این چنین بیان نمود که گیاهان تحت شرایط آلوده با محتوای نسبی آب بالا ممکن است به آلاینده‌ها مقاوم باشند (Patel & Hina, 2011). میرعبایی و همکاران (Meerabai et al., 2012) بیان داشتند که در مکان‌های آلوده صنعتی، محتوای نسبی آب بالا پاسخی بر نرمال بودن عملکرد فرایندهای بیولوژیکی در گیاهان است.

در محدوده بین ۶۱/۵۳ تا ۳۵/۳۳ درصد نشان داده شد. در مناطق ۳ و ۶ بالاترین میزان محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با مناطق ۱ و ۱۱ حاصل شد (جدول ۴). در بیشتر گیاهان، کمبود آب سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شده که منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادل گازی می‌گردد (Gindaba et al., 2005). در واقع، محتوای نسبی آب باعث حفظ کلروفیل در برابر تنش‌های شیمیایی

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 3- ANOVA for the effect of the area of Tehran city on some phytochemical characteristics of the plantain tree

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares						
		نشست یونی Ion leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde	فلاونوئید Flavonoid	آنتوسیانین Anthocyanin	فنل Phenol	آنتی‌اکسیدان Antioxidants
منطقه Area	3	371.9**	426.2**	0.012*	73.90**	0.0002*	201.1**	41.58*
خطا Error	8	20.16	37.33	0.002	4.92	0.00003	24.41	9.38
ضریب تغییرات CV (%)		7.68	12.33	17.23	16.39	12.80	11.22	8.51

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۴- اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 4- The effect of the area of Tehran city on some phytochemical characteristics of plantain tree

منطقه Area	نشست یونی Ion leakage (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (%)	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)	فلاونوئید flavonoid (mg.g^{-1})	آنتوسیانین Anthocyanin ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	فنل Phenol (mg.g^{-1})	آنتی‌اکسیدان Antioxidants ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	43.87 ^{c*}	44.45 ^b	0.۱۹ ^b	8.84 ^b	0.040 ^{ab}	35.69 ^c	34.32 ^b
3	56.08 ^b	61.53 ^a	0.23 ^b	10.12 ^b	0.048 ^a	40.00 ^{bc}	32.16 ^b
6	65.17 ^a	56.93 ^a	0.22 ^b	15.67 ^a	0.030 ^b	54.64 ^a	36.56 ^{ab}
11	68.87 ^a	35.33 ^b	0.۳۳ ^a	19.51 ^a	0.045 ^a	45.70 ^{ab}	40.87 ^a

* در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک یکسان در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند.

* In each column, the averages with the same common letters do not have a statistically significant difference at the 5% level based on the Duncan's multiple range test.

مالون دی‌آلدئید

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر محتوای مالون دی‌آلدئید درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، منطقه ۱۱ که دارای بالاترین میزان تنش در مقایسه با سایر مناطق مورد مطالعه می‌باشد، بالاترین محتوای مالون دی‌آلدئید با میزان ۰/۳۳ میکرومول بر گرم مشاهده گردید (جدول ۴). مقدار حساسیت گیاه و آسیب وارد شده به غشاء با اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید که حاصل قرار گرفتن اسیدهای چرب غیراشباع در معرض تنش است، مشخص می‌شود

(Arvin & Firouzeh, 2024). افزایش تنش با ایجاد تغییر در اسیدهای چرب غیراشباع بر ساختار و ویژگی‌های غشاء سلولی اثر گذاشته و موجب ایجاد رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش نفوذپذیری و تراوایی غشاء سلولی و در نتیجه تراوش اسمولیت‌ها در گیاهان حساس می‌شود. پژوهشگران با بررسی پاسخ-های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادام به آلودگی هوای منطقه صنعتی شازند استان مرکزی نیز افزایش لیپید پراکسیداسیون غشاء سلولی و میزان مالون دی‌آلدئید را گزارش نموده‌اند (Askari Mehrabadi et al., 2016). در اثر آلاینده‌هایی چون O_3 و SO_2 در نتیجه فعالیت

فیتوتوکسیسیته، اکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها ایجاد می‌شود (Torkaman et al., 2023).

فلاونوئید

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فلاونوئید در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بالاترین میزان فلاونوئید در منطقه ۱۱ با میزان ۱۹/۵۱ میلی گرم بر گرم مشاهده گردید (جدول ۴). فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی، متابولیت‌های ثانویه بوده و دارای نقش محافظتی و آنتی‌اکسیدانی هستند. گزارش شده است که در گیاهان کاشته‌شده تحت غلظت‌های بالای فلزات سنگین، فلاونوئیدها فعال شده و از گیاه محافظت می‌کنند. فعالیت چنین سیستم‌هایی در گیاه ضروری به نظر می‌رسد، زیرا شرایط بهینه را جهت رشد گیاه فراهم می‌آورد (Kovalikova et al., 2021). حضور حلقه‌های آروماتیک و اجزاء متنوع دیگر در ساختار این ترکیبات، از آن‌ها جارب‌کنندگان رادیکالی مناسبی ساخته است. تولید فلاونوئید محدود به بافت‌های خاص است و در مراحل خاصی از تکامل گیاه انجام می‌شود. محیط آلوده به آلاینده‌ها باعث رنگی و متمایل به قرمز شدن اندام هوایی گیاهان در زمان رشد می‌شود که نتیجه افزایش تجمع فلاونوئیدها است (Qaderi et al., 2023). افزایش در مقدار آن‌ها می‌تواند به شدت از تنش اکسیداتیو به‌وجودآمده بکاهد. به‌طور کلی، ترکیبات فنلی گیاهان در ارتفاعات بالاتر در مقایسه با ارتفاعات پایین بیشتر است و دارای حداکثر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی است. تفاوت در سطح ترکیبات می‌تواند به توانایی گیاهان در مقابله با تنش غیرزنده از درجه حرارت پایین‌تر و اشعه ماوراءبنفش بالاتر باشد (Cirak et al., 2017). شرایط جغرافیایی مرتفع‌تر، کاهش دمای هوا و رطوبت نسبی و همچنین افزایش کیفیت نور مهم‌ترین دلایلی هستند که موجب تحریک سازوکار سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات فنولی خواهند شد، اگرچه محققان دیگر با مطالعه در مورد مهر سلیمان (Suyal et al., 2019) و پیرو (Ghorbanzadeh et al., 2019) و بقیه موارد نتایج متفاوتی را گزارش کردند و همبستگی ارتفاع از سطح دریا با ترکیبات فنولی را منفی ارزیابی کردند.

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر میزان آنتوسیانین در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان آنتوسیانین در مناطق ۳ و ۱۱ به‌ترتیب با میزان ۰/۰۴۸ و ۰/۰۴۵ میکروگرم بر گرم مشاهده شد (جدول ۴). آنتوسیانین‌ها که زیرگروهی

از فلاونوئیدها می‌باشند، مسئول ایجاد رنگ‌های قرمز، بنفش و آبی در بسیاری از گل‌ها، میوه‌ها و سبزی‌ها هستند (Hatami Manesh et al., 2023). گیاهانی که به‌طور دائم در معرض آلاینده‌های محیطی هستند، این آلاینده‌ها را جذب می‌کنند و در سلول‌هایشان تجمع می‌دهند و چون آلاینده‌ها مواد سمی هستند که می‌توانند روی آنزیم‌ها اثر مخرب داشته باشند، وقتی آلاینده‌ها به‌وسیله برگ‌ها جذب می‌شوند، ممکن است باعث کاهش یا افزایش غلظت رنگیزه‌ها شود. آنتوسیانین‌ها در پاسخ به تنش‌های محیطی مختلف از جمله فلزات سنگین موجود در آلودگی‌های محیطی، در گیاهان افزایش می‌یابد. علت افزایش میزان رنگیزه آنتوسیانین تحت تنش آلاینده‌ها آن است که این ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود، اثرات تخریبی رادیکال‌های آزاد اکسیژن را در گیاهان کاهش می‌دهد (Zupka et al., 2020). در پژوهشی، اثر آلودگی هوای تهران بر گیاه اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.) نشان داد که اقاچیا با سازوکارهای فیزیولوژیکی خود مانند افزایش آنتوسیانین و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌تواند پاسخ مناسبی به تنش آلودگی هوا بدهد (Maddah et al., 2015). همچنین در پژوهشی دیگر مشاهده شد که میانگین غلظت آنتوسیانین در مناطق آلوده بیشتر از مناطق پاک بوده است و این میزان در منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک به‌ترتیب در درختان شاه توت (*M. nigra*)، چنار و عرعر (*A. altissima*) برابر ۱۹/۶۴، ۸۸/۸ و ۸۰/۰۵ درصد می‌باشد (Hatami Manesh et al., 2023). نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین در مناطق آلوده با نتایج مائو و همکاران (Mao et al., 2022) در گیاه خزه، هاله و همکاران (Hale et al., 2002) در گیاهان کلم راپا (*Brassica rapa*)، خردل هندی (*Brassica juncea*) و گل کلم (*Brassica oleracea* var. botrytis) و زوپکا و همکاران (Zupka et al., 2020) در درختان جنگلی وحشی مطابقت دارد. علاوه بر آن سیتار و همکاران (Syta et al., 2021) گزارش نمودند که در گیاه آرابیدوپسیس (*Arabidopsis*) غلظت بالای فلزات سنگین هوا سبب افزایش محتوای آنتوسیانین در گیاه شده است که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد.

علاوه بر آن، اختلاف ارتفاع از سطح دریا بین مناطق مورد بررسی در لقاء کیفیت مختلف نور و میزان درجه حرارت مؤثر بوده و سبب تراکم بیشتر آنتوسیانین در برگ گیاه چنار شده است. خیاط و همکاران (Khayyat et al., 2020) در بررسی نمونه‌های زرشک (*Berberis vulgaris* L.) حاصل از ارتفاعات مختلف بیان کردند که برای افزایش رنگ میوه زرشک به آفتاب مستقیم نیاز است، بالین حال درجه حرارت پایین به‌خصوص شب‌های خنک برای رشد رنگ و تجمع آنتوسیانین میوه زرشک مهم است. همچنین در بررسی خو و

همکاران (Khoo et al., 2017) اشاره شده است که با افزایش ارتفاع، میزان اشعه UV-B افزایش یافته که سبب بیان بیش از حد ژن‌های اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه می‌شود تا محتویات آنتوسیانین برای جبران اثرات زیان‌بار اشعه ماوراءبنفش تجمع بیشتری داشته باشد.

فنل

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فنل در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به ترتیب با میزان $54/64$ و $45/70$ میلی گرم بر گرم مشاهده و کمترین میزان آن در منطقه ۱ با میزان $35/69$ میلی گرم بر گرم حاصل شد (جدول ۴). ترکیب‌های فنلی موجود در گیاهان قدرت احیاکنندگی بالایی داشته و قادرند که رادیکال‌های آزاد را به فرم خنثی تبدیل کنند و می‌توان گفت که تقریباً در همه اندام‌های گیاهان یافت شده و فقط کمیت و کیفیت آن‌ها در اندام‌های مختلف متفاوت است. از میان سیستم‌های غیرآنزیمی دفاعی، ترکیب‌های فنلی در گیاهانی که در معرض غلظت‌های زیاد آلانیده‌ها هستند، بسیار فعال بوده و باعث حفظ گیاه در مقابل سمیت می‌شوند (Sheng & Zhu, 2019). عوامل محیطی و شرایط اقلیمی منطقه نیز بر میزان تجمع این ترکیبات مؤثر بوده و عامل ارتفاع یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر رشد و صفات بیوشیمیایی گیاهان است. به‌طور کلی، در مناطق مرتفع، میزان تابش و کیفیت نور خورشید و اختلاف دمای شب و روز افزایش یافته که در نتیجه با افزایش میزان فتوسنتز و کاهش شدت تنفس در شب همراه خواهد شد (Figuerola et al., 2016) و افزایش فتوسنتز، میزان ذخیره کربوهیدرات را بالا برده که در شرایط سردتر عامل حفاظتی در مقابل تنش سرمایی است، از سوی دیگر، افزایش فتوسنتز و تجمع کربوهیدرات‌ها نقش بسزایی در تأمین اسکلت کربنی مورد نیاز به‌عنوان سوبسترا برای شروع مسیر بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه ایفا خواهد کرد (Cirak et al., 2017).

همچنین عوامل مختلفی بر عصاره گیاهان اثر می‌گذارد. گیاه در مقابل ارتفاع‌های مختلف واکنش‌های مختلفی را از خود نشان می‌دهند. یکی از آن‌ها، افزایش تولید رادیکال آزاد است. تولید رادیکال آزاد هم نوعی واکنش منفی تلقی می‌شود و هم واکنش مثبت. رادیکال‌های آزاد ترکیبات بیولوژیکی هستند که حاوی یک یا چند الکترون جفت نشده‌اند و برای جبران کمبود الکترون باعث تخریب DNA، پروتئین‌ها و غیره می‌شوند. چون در اوربیتال آخر رادیکال آزاد یک الکترون کم دارد و برای جبران الکترون خود به پروتئین‌ها و ... می‌چسبد و آن‌ها را تخریب می‌کند بنابراین نقش منفی دارند

(Alkadi, 2020). از طرفی، وقتی گیاه تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، بعضی از قسمت‌ها نباید فعال شوند، بنابراین بعضی از پروتئین‌ها که در مسیر فعال می‌شوند باید از کار بیفتند که این کار را رادیکال آزاد انجام می‌دهد، بنابراین نقش مثبت خواهند داشت، همچنین گیاه برای جلوگیری از آسیب پروتئین‌های خودش از دو طریق آنزیمی و غیرآنزیمی فعالیت‌هایی را تنظیم می‌کند تا رادیکال‌های آزاد را مهار کند (Aguilar-Silva et al., 2016). روش غیرآنزیمی با تولید آنتی-اکسیدان‌هایی مثل فنول‌ها و فلاونوئیدها کمبود الکترون رادیکال‌های آزاد را جبران می‌کنند. فنل‌ها و فلاونوئیدها ترکیباتی هستند که منشأ مشترک داشته و افزایش هرکدام از آن‌ها باعث افزایش دیگری می‌شود و در اکثر موارد افزایش فنل‌ها و فلاونوئیدها باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز خواهد شد (Arvin & Firouzeh, 2024). نتایج پژوهش طاهری اطاقسرا و همکاران (Taheri Otaghsara et al., 2020) مبنی بر مقایسه پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه افرا پلت (*Acer Velutinum* Bioss.) تحت تأثیر آلانیده‌های هوا در مازندران و سه منطقه از تهران نشان داد که محتوای فنل در نمونه‌های جمع‌آوری شده تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد که با نتایج حاصل از این پژوهش مغایرت دارد، این امر ممکن است به دلیل تفاوت در میزان آلودگی هوا در مناطق مورد بررسی باشد.

آنتی‌اکسیدانت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال پنج درصد بر میزان آنتی‌اکسیدانت در درخت چنار بود (جدول ۳). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان فنل در مناطق ۶ و ۱۱ به ترتیب با میزان $36/56$ و $40/87$ میکروگرم بر گرم مشاهده و کمترین میزان آن در منطقه ۳ با میزان $32/16$ میکروگرم بر گرم حاصل شد (جدول ۴). بین برخی از تیمارها در سطح پنج درصد آزمون دانکن تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). سازوکار افزایش آنتی‌اکسیدانت می‌تواند از طریق بیان ژن آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی یا بیوسنتز آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی باشد. افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در اثر سمیت آلانیده‌های محیطی می‌باشد که به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن گزارش شده است. این رادیکال‌های آزاد، آسیب‌های اکسیداتیو و کاهش رشد را به دنبال دارند (Padash et al., 2016). آنتی‌اکسیدانت‌ها در پاسخ به تنش‌ها نقش مهمی ایفا می‌نمایند و در نتیجه اکثر مواقع مقدار آن‌ها با توجه به شدت و مدت تنش افزایش می‌یابد. مقایسه یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج سایر محققان در این زمینه، گویای این مطلب است که میزان ظرفیت و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی یک گونه گیاهی

آزاد سنجیده و به‌عنوان ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی شناخته می‌شود (Alkadi, 2020).

نتایج حاصل از این پژوهش مبنی بر افزایش آنتی‌اکسیدانت در درختان چنار در مناطق آلوده ۳ و ۱۱ با نتایج پژوهش محسن‌زاده و اکبری (Mohsenzadeh & Akbari, 2017) روی درختان چنار، افرا و نارون در شیراز مطابقت دارد. در این پژوهش نشان داده شد که آنتی‌اکسیدانت اندازه‌گیری‌شده در مناطق آلوده شیراز در هر سه درخت چنار، افرا و نارون بیش از مقادیر در مناطق پاک بوده است.

کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین میزان در منطقه ۱۱ با میزان ۰/۰۱۸ آب اکسیژنه غیرفعال‌شده در یک دقیقه در گرم برگ حاصل و بین سایر مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

می‌تواند متفاوت باشد و این امر ممکن است ناشی از تفاوت نوع اندام‌های گیاهی مورد استفاده و یا شرایط اقلیمی محل رویش گیاه باشد که می‌تواند محتوای مواد مؤثره گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Martínez et al., 2022).

شرایط محیطی از جمله ارتفاع رویشگاه بر عصاره گیاهان اثر می‌گذارد. گیاه در مقابل ارتفاع‌های مختلف، واکنش‌های مختلفی از خود نشان می‌دهد، یکی از آن‌ها افزایش تولید رادیکال‌های آزاد است. گیاه اختلاف ارتفاع را به‌عنوان تنش محاسبه کرده و برای مقابله با آن سازوکار دفاعی خود را فعال می‌کند و در نتیجه میزان رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد (Alkadi, 2020). ر چنین شرایطی گیاه برای جلوگیری از این آسیب‌ها از دو طریق آنزیمی و غیرآنزیمی فعالیت‌هایی را تنظیم می‌کند تا رادیکال‌های آزاد را مهار کند (Mukherjee et al., 2019). روش‌های غیرآنزیمی با تولید آنتی‌اکسیدانت‌هایی مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها، کمبود الکترون رادیکال‌های آزاد را جبران کرده و باعث مهار آن‌ها می‌گردد که با DPPH یا درصد مهار رادیکال

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر منطقه شهر تهران بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی درخت چنار

Table 5- ANOVA for the effect of region in Tehran city on the activity of antioxidant enzymes of plantain tree

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase
منطقه Area	3	0.0001**	0.099**	0.00004**	0.014**
خطا Error	8	0.000004	0.0024	0.000004	0.0004
ضریب تغییرات CV (%)		16.53	10.92	25.36	10.89

** : معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک درصد.

** : significant at the 1% of probability level.

جدول ۶- اثر منطقه شهر تهران بر برخی خصوصیات فیتوشیمیایی درخت چنار

Table 6- The effect of area of Tehran city on some phytochemical characteristics of plantain tree

منطقه Area	کاتالاز Catalase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	پراکسیداز Peroxidase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (Inactivated hydrogen peroxide per minute per gram of leaf)
1	0.013 ^{b*}	0.۴8 ^c	0.01 ^b	0.12 ^c
3	0.014 ^b	0.57 ^b	0.00 ^b	0.15 ^c
6	0.015 ^b	0.73 ^a	0.01 ^b	0.22 ^b
11	0.018 ^a	0.57 ^b	0.02 ^a	0.34 ^a

* در هر ستون میانگین‌ها با حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت آماری معنی‌داری ندارند.

* In each column, the averages with the common letters do not have a statistically significant difference at the 5% level of the Duncan's multiple range test.

سوپراکسید دیسموتاز

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در درخت چنار معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین مناطق ۱ و ۳ تفاوت آماری معنی‌داری حاصل نشد و بیشترین سوپر اکسید دیسموتاز در مناطق ۶ و ۱۱ با میزان ۰/۲۲ و ۰/۳۴ نشان داده شد. (جدول ۶). تنش‌های زنده و غیرزنده سبب افزایش میزان رادیکال‌های آزاد از جمله اکسیژن‌های واکنشگر فعال می‌شوند که تمامی رادیکال‌های آزاد، اثرات مخرب روی مولکول‌های آلی دارند و عوارض خطرناکی را ایجاد می‌کنند. گیاهان در برابر این رادیکال‌های آزاد دارای سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی هستند. آلودگی هوا علاوه بر لیپیدهای غشاء سلولی بر پروتئین‌های غشاء و آنزیم‌ها نیز اثر سوء دارد. برای مثال، تیمار آزون روی گیاهان باعث تغییر و تخریب در ساختمان دوم و سوم پروتئین‌ها می‌شود (Montesinos-Pereira *et al.*, 2016). نحوه پاسخ سیستم‌های دفاع آنزیمی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به آلایندگی محیطی بحث برانگیز باقی‌مانده است و می‌تواند از گونه‌ای به گونه دیگر یا از بافتی به بافت دیگر بسیار متنوع باشد. بسیاری از تحقیقات، افزایش فعالیت در سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز را وابسته به افزایش غلظت آلایندگی گزارش کرده‌اند و برعکس گزارش‌های دیگر، حکایت از محدود شدن فعالیت این سه آنزیم و کاهش آن‌ها در معرض آلایندگی محیطی مازاد دارند (Mehmood *et al.*, 2024).

افزایش غلظت آلایندگی محیطی درون سلول باعث تولید رادیکال هیدروکسیل و H_2O_2 از طریق واکنش تسریع شده با فلز به نام هابر-ویس می‌گردد. سازوکارهای حمایتی در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن به‌وجودآمده به‌علت غلظت‌های بالای آلایندگی، می‌تواند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز باشد (Uka *et al.*, 2019). انهدام مؤثر سوپراکسید و هیدروژن پراکسید نیاز به فعالیت مؤثر تعداد زیادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارد. سوپراکسید به‌سرعت با فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به H_2O_2 تبدیل می‌شود. آنزیم کاتالاز مهم‌ترین آنزیم برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از آلایندگی‌ها می‌باشد و برای پاکسازی رادیکال‌های آزاد در گیاه کاربرد دارد. کاتالازها H_2O_2 را در پراکسی‌زوم‌ها به آب و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌نمایند. روش دیگر از بین رفتن H_2O_2 توسط پراکسیدازها است. این آنزیم‌ها که سراسر سلولی یافت می‌شوند، میل ترکیبی بیشتری با H_2O_2 نسبت به کاتالاز دارند. پراکسیداز و کاتالاز دو نمونه از آنزیم‌هایی هستند که تغییر فعالیت آن‌ها در تنش‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده است (Marques *et al.*, 2017). با توجه به نتایج فوق،

تنش‌های محیطی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب وارد می‌کنند و سلول‌های گیاهی جهت کاهش اثرات منفی اکسیژن فعال تولیدشده در سلول از سازوکار تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر کاتالاز بهره می‌گیرند که یک فرآیند سازگاری است که با کاهش میزان هیدروژن پراکسید از آسیب به بافت جلوگیری می‌کند. افزایش این آنزیم موجب مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (Gill & Tuteja, 2010).

پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین میزان در روز در منطقه ۱ با میزان ۰/۴۸ آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم برگ حاصل و بالاترین میزان در منطقه ۶ با میزان ۰/۷۳ آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم برگ به دست آمد (جدول ۶).

آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر منطقه در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در درخت چنار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین مناطق ۱، ۳ و ۶ تفاوت آماری معنی‌داری حاصل نشد و بیشترین آسکوربات پراکسیداز در منطقه ۱۱ با میزان ۰/۰۲ نشان داده شد. (جدول ۶). آسکوربات پراکسیداز نقش حیاتی در سازوکارهای دفاعی گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو دارد. این آنزیم، هیدروژن پراکسید را در کلروپلاست، سیتوسول، میتوکندری و پراکسیزوم سلول‌های گیاهی از بین می‌برد (Sairam *et al.*, 2002). لذا این آنزیم نقش مهمی در حذف پراکسید هیدروژن ایفا می‌نماید. از طرفی، چرخه گلووتاتیون-آسکوربات نقش مهمی در ایجاد سیستم دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو دارد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آن باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو می‌شود، به‌طوری‌که امروزه بسیاری از محققان بر این باورند که این چرخه اصلی‌ترین نقش را در جمع‌آوری هیدروژن پراکسید ایفا می‌کند، لذا فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان آنزیم نهایی این چرخه، از اهمیت بالایی برخوردار بوده و کاهش فعالیت آن می‌تواند سبب تجمع اکسیدان‌ها گردد (Khanna-Chopra & Selote, 2007).

چندین درخت و درختچه در آنتالیای ترکیه پرداختند. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در هر دو منطقه آلوده شهری و صنعتی در مقایسه با منطقه پاک مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی، کمیت و کیفیت آن‌ها در درختان چنار موجود در خیابان ولیعصر تهران مشاهده شد. عوامل محیطی محل رشد از طریق تأثیر بر مقدار کل مواد مؤثر، عناصر تشکیل‌دهنده ترکیبات مؤثر و تولید وزن خشک در کمیت و کیفیت مشخصه‌های فیتوشیمیایی گیاهان نقش دارند. ارتفاع از سطح یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که بر ترکیب فیتوشیمیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد. سایر عوامل محیطی که آب‌وهوای یک منطقه را تشکیل می‌دهند نیز در تجمع ترکیبات فیزیولوژیکی در گیاهان نقش دارند.

در مطالعه حاضر، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای فیتوشیمیایی، کمی و کیفی در گیاهان چنار رشدیافته در مناطق مورد مطالعه مشاهده شد. همچنین بسیاری از محققان در گزارش‌های متعددی، وجود رابطه بین محل رویش و تأثیر آن بر کیفیت و کمیت ترکیبات فیتوشیمیایی گیاهان را بیان کرده‌اند. عوامل محیطی محل رشد با تأثیر بر مقدار کل مواد فعال، عناصر تشکیل‌دهنده ترکیبات فعال و تولید وزن خشک در کمیت و کیفیت مشخصه‌های فیتوشیمیایی گیاهان نقش دارند.

به نظر می‌رسد که در این گیاه، سیستم دفاع غیرآنزیمی به‌خصوص ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها به‌طور توأم با سیستم دفاع آنزیمی همکاری می‌نمایند تا بتوانند اثر مخرب تنش را خنثی نمایند. هنگام ایجاد هر گونه تثبیت، تضعیف یا افت در سیستم دفاع غیرآنزیمی، سیستم دفاع آنزیمی وظیفه پاکسازی رادیکال‌های آزاد را بر عهده می‌گیرد (Yeshe et al., 2022). البته توانایی گیاهان جهت افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با اثرهای تنش، محدود به نظر می‌رسد. تأثیر طولانی‌مدت آلاینده‌ها ابتدا سبب القاء و افزایش فعالیت آنزیم‌ها به‌خصوص پراکسیدازها و بعد از آن سبب کاهش فعالیت می‌گردد (Santisree et al., 2020).

همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارتفاعات بالا باعث محافظت از گیاه در برابر آسیب‌های گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. نتایج این پژوهش در موافقت با گزارش‌های قبلی بوده که نشان دادند، این آنزیم‌ها دارای نقش‌های مهمی در ارتباط با سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی هستند، به‌طوری‌که با افزایش سطح ارتفاع، میزان این آنزیم‌ها افزایش یافته و به‌عنوان یک راهکار جهت سازگاری گیاه با تغییرات محیطی است (Ma et al., 2015). همچنین مداح و همکاران (Maddah et al., 2015) در پژوهش خود در رابطه با پاسخ فیزیولوژیک درخت افاقیا تحت تأثیر آلودگی شهر تهران مشاهده نمودند که فعالیت آنزیم پراکسیداز در مناطق آلوده افزایش یافت که در راستای نتایج حاصل از این پژوهش است. دوگانلار و آتماکا (Doganlar & Atmaca, 2011) به مطالعه اثرات آلودگی هوا در مناطق شهری و صنعتی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در برگ

References

- Aguiar-Silva, C., Brandão, S.E., Domingos, M., & Bulbovas, P. (2016). Antioxidant responses of atlantic forest native tree species as indicators of increasing tolerance to oxidative stress when they are exposed to air pollutants and seasonal tropical climate. *Ecological Indicators*, 63, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.060>
- Alkadi, H.A. (2020). Review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders Drug Targets*, 18, 16-26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
- Amini, F., Fattah Ravandi, N., & Askari, M. (2015). Effects of air pollutants on the physiology and anatomy of *Fraxinus excelsior* leaves within the Iran's Aluminum plant in Arak city. *Journal of Plant Process and Function*, 17, 83-95. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1395.5.17.13.0>
- Anil, M.D., Pandey, K., Krishna, V., & Kumar, M. (2022). Air pollution tolerance index (APT) and expected performance index (EPI) of selected plants at RGSC, (BHU), Mirzapur, India. *Pollution*, 8, 479-487. <https://doi.org/10.22059/poll.2021.330458.1180>
- Arvin, P., & Firouzeh R. (2024). Phytochemical study and antioxidant activity of roots, leaves and fruits of caper (*Capparis spinosa* L.) in two habitats of North Khorasan province. *Journal of Plant Research is the Iranian Journal of Biology*, 4, 389-404. (in Persian with English abstract).
- Askari Mehrabadi, M., Amini, F., & Faraji, G. (2016). Some of physiological and biochemical responses of *Prunus amygdalus* to air pollution of the Shazand industrial area. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8, 63-78. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2016.20701>
- Bala, N., Pakade, Y.B., & Katnoria, J.K. (2022). Assessment of air pollution tolerance index and anticipated performance index of a few local plant species available at the roadside for mitigation of air pollution and green belt development. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 15, 2269-2281. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01251-7>

8. Barrs, H.D., & Weaterley, P.E. (1962). A re-examination of the relative turgidity techniques for the estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.
9. Bui, H.T., Odsuren, U., Jeong, M., Seo, J.W., Kim, S.Y., & Park, B.J. (2022). Evaluation of the air pollution tolerance index of 12 plant species growing in environments with different air pollution levels. *Journal of People Plants Environment*, 25, 23–31. <https://doi.org/10.11628/ksppe.2022.25.1.23>
10. Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Food and Drug Analysis*, 10, 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
11. Chauhan, S., Manisha, B.B., Kandpal, K.C., & Kumar, A. (2022). Analyzing preferred indoor ornamental potted plants for their air pollution tolerance ability. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31, 2019–2027. <https://doi.org/10.15244/pjoes/140291>
12. Cirak, C., Radusiene, J., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Seyisd, F., & Yayla, F. (2017). Altitudinal changes in secondary metabolite contents of *Hypercom androsaemum* and *Hypericum polyphyllum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 70, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.11.006>
13. Correa de Souza, T., Cesar Magalhaes, P., Mauro de Castro, E., Portilho Carneiro, N., Andrade Padilha, F., Cesar, C., & Junior, G. (2014). ABA application to maize hybrids contrasting for drought tolerance: Changes in water parameters and in antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 73, 205–217. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9881-9>
14. Courtney, A.J., Xu, J., & Xu, Y. (2016). Responses of growth, antioxidants and gene expression in smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) to various levels of salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.12.016>
15. Danika, D., Adroit, B., Velitzelos, D., & Denk, T. (2024). On the origin of the oriental plane tree (*Platanus orientalis* L.). *Papers in Palaeontology*, e1576, 1-29. <https://doi.org/10.1002/spp2.1576>
16. Doganlar, Z.B., & Atmaca, M. (2011). Influence of airborne pollution on Cd, Zn, Pb, Cu, and Al accumulation and physiological parameters of plant leaves in Antakya (Turkey). *Water, Air, & Soil Pollution*, 214, 509–523. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0442-9>
17. Fan, X. (2005). Antioxidant capacity of fresh-cut vegetables exposed to ionizing radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 995-1000. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2057>
18. Figueroa, F., Marhuenda, J., Zafrilla, P., Martínez-Cachá, A., Mulero, J., & Cerdá, B. (2016). Total phenolics content, bioavailability and antioxidant capacity of 10 different genotypes of walnut (*Juglans regia* L.). *Journal of Food and Nutrition Research*, 55, 229–236.
19. García-Sánchez, I.E., Barradas, V.L., de León Hill, C.A.P., Esperón-Rodríguez, M., Pérez, I.R., & Ballinas, M. (2019). Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO₂ and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 42, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.05.002>
20. Ghorbanzadeh, A., Ghasemnezhad, A., Khoshhal Sarmast, M., & Nezhad Ebrahimi, S. (2019). Phytochemical evaluation and comparison of essential oil and antioxidant activity of *Juniperus sabina* L. branches in different habitats of Mazandaran and Golestan provinces. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 4, 15-32. (in Persian with English abstract). <https://sanad.iaui.ir/en/Article/985298>
21. Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
22. Gindaba, J., Rozanov, A., & Negash, L. (2005). Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two *Eucalyptus* and three indigenous tree species of *Ethiopia* under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205, 127 -138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.056>
23. Hale, K.L., Tufan, H.A., & Pickering, I.J. (2002). Anthocyanins facilitate tungsten accumulation in *Brassica*. *Physiologia Plantarum*, 116(34), 351-8. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160310.x>
24. Hatami manesh, M., Mortazavi, S., Silgi, E., & Mohtadi, A. (2023). Assessment the response of urban tree species to air pollution using biophysical and biochemical leaf biomarkers. *Journal of Environmental Health Engineering*, 1, 116–129. (in Persian with English abstract)
25. Kalaipriya, P., Vignesh, P., Chakraborty, S., & Govindaraju, M. (2023). Assessment of biochemical characters and development of anticipated performance index for air pollution stress plants in Tiruchirappalli city. *Advances in Bioresearch*, 14, 59–65.
26. Khanna-Chopra, R., & Selote, D.S., (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than -susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 276–283.
27. Khayyat, M., Barati, Z., Aminifard, M.H., & Samadzadeh, A. (2020). Anthocyanin accumulation and color development in seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits: The role of altitude and sun light - the preliminary

- results. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S955–S968. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1774466>
28. Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61, 1-21. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
 29. Kovalikova, Z., Lnenicka, J., & Andrys, R. (2021). The influence of locality on phenolic profile and antioxidant capacity of bud extracts. *Foods*, 10, 1608. <https://doi.org/10.3390/foods10071608>
 30. Ma, L., Sun, X., Kong, X., Galvan, J.V., Li, X., Yang, S., & Hu, X. (2015). Physiological, biochemical and proteomics analysis reveals the adaptation strategies of the alpine plant *Potentilla saundersiana* at altitude gradient of the Northwestern Tibetan Plateau. *Journal of Proteomics*, 112, 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.08.009>
 31. Maddah, S.M., Moraghebi, F., Kashani, Q., Farhangiyan, S., & Afdideh, F. (2015). Physical, physiological responses and resistance of acacia tree (*Robinia pseudoacacia* L.) under the influence of air pollution in Tehran. *Environmental Plant Physiology Journal*, 38, 56-48.
 32. Mahaveerchand, H., & Abdul Salam, A.A. (2024). Environmental, industrial, and health benefits of *Moringa oleifera*. *Phytochemistry Reviews*, 23, 1497–1556. <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09927-x>
 33. Mao, H.T., Wang, X.M., Wu, N., Chen, L.X., Yuan, M., Hu, J.C., & Chen, Y.E. (2022). Temporal and spatial biomonitoring of atmospheric heavy metal pollution using moss bags in Xichang. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239(33), 113688. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113688>
 34. Marques, M.C., Nascimento, C.W.A., da Silva, A.J., & da Silva Gouveia-Neto, A. (2017). Tolerance of an energy crop (*Jatropha curcas* L.) to zinc and lead assessed by chlorophyll fluorescence and enzyme activity. *South African Journal of Botany*, 112, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.009>
 35. Martínez, S., Fuentes, C., & Carballo, J. (2022). Antioxidant activity, total phenolic content and total flavonoid content in sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivars grown in northwest Spain under different environmental conditions. *Foods*, 11(21), 3519. <https://doi.org/10.3390/foods11213519>
 36. Mataji, A., Abdi, F., Etemad, V., & Kiadaliry, H. (2016). Effect of seed origin on morphology of seeds, viability and growth of Iranian oak seedlings *Quercus brantii* Lindl. *Iranian Journal of Forestry, Iranian Forestry Association*, 1, 11-22. (in Persian with English abstract)
 37. Meerabai, G., Venkata, R.C., & Rasheed, M. (2012). Effect of industrial pollutants on physiology of *Cajanus cajan* (L.)-Fabaceae. *International Journal of Environmental Sciences*, 2, 1889-94. <https://doi.org/10.6088/ijes.00202030072>
 38. Mehmood, Z., Yang, H.H., Awan, M.U.F., Ahmed, U., Hasnain, A., Luqman, M., Muhammad, S., Sardar, A.A., Chan, T.Y., & Sharjeel, A. (2024). Effects of air pollution on morphological, biochemical, DNA, and tolerance ability of roadside plant species. *Sustainability*, 16(8), 3427. <https://doi.org/10.3390/su16083427>
 39. Meng, X.Y., Zhang, M., & Adhikari, B. (2012). Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 71, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.006>
 40. Mohsenzadeh, S., & Akbari, Y. (2017). Effect of air pollution on some physiological indexes of *Ulmus*, *Acer* and *Platanus* plants in Shiraz city. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 2, 387-396. (in Persian with English abstract)
 41. Montesinos-Pereira, D., Barrameda-Medina, Y., Baenas, N., Moreno, D.A., Sanchez-Rodriguez, E., Blasco, B., & Ruiz, J.M. (2016). Evaluation of hydrogen sulfide supply to biostimulate the nutritive and phytochemical quality and the antioxidant capacity of cabbage (*Brassica oleracea* L. 'Bronco'). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 290–298. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.038>
 42. Mukherjee, S., Chakraborty, A., Mondal, S., Saha, S., Haque, A., & Paul, S. (2019). Assessment of common plant parameters as biomarkers of air pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 400. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7540-y>
 43. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Journal of Plant Cell Physiology*, 22, 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
 44. Padash, A., Ghanbari, A., & Asgharipour, M.R. (2016) Effect of salicylic acid on concentration of nutrients, protein and antioxidant enzymes of basil under lead stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8, 17-32. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2016.20691>
 45. Parvizi, A., Hatamnia, A.A., Mohammadkhani, N., & Naji, H.R. (2022). Effect of altitude on photosynthesis rate and some physiological indices from three species of *Quercus brantii*, *Pistacia atlantica*, *Crataegus pontica* in Ilam province forests. *Journal of Plant Process and function*, 45, 57-70. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1512-fa.html>

46. Patel, A., & Hina, K. (2011). Assessment of relative water content, leaf extract pH, ascorbic acid and total chlorophyll of some plant species growing in Shivamogga. *Plant Archives*, 11(44), 935-9.
47. Qaderi, M.M., Martel, A.B., & Strugnelli, C.A. (2023). Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 1-27. <https://doi.org/10.3390/plants12030447>
48. Roupioz, L., Jia, L., Nerry, F., & Menenti, M. (2016). Estimation of daily solar radiation budget at kilometer resolution over the Tibetan Plateau by integrating MODIS data products and a DEM. *Remote Sensing*, 8(6), 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs8060504>
49. Sánchés Moreno, C., Larrauri, A., & Saura Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antioxidant efficiency of polyphenols. In *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 270-276. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9)
50. Santisree, P., Sanivarapu, H., Gundavarapu, S., Sharma, K.K., & Bhatnagar-Mathur, P. (2020). Nitric oxide as a signal in inducing secondary metabolites during plant stress. In J. M. Merillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Co-Evolution of Secondary Metabolites*, pp. 593-621. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_61
51. Sairam, R.K., Veerabhadra Rao, K., & Srivastava, G.C., (2002). Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9)
52. Sawarkar, R., Shakeel, A., Kumar, T., Ansari, S.A., Agashe, A., & Singh, L. (2023). Evaluation of plant species for air pollution tolerance and phytoremediation potential in proximity to a coal thermal power station: Implications for smart green cities. *Environmental Geochemistry and Health*, 45, 7303-7322. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01667-9>
53. Sekhar, P., & Sekhar, P. (2019). Evaluation of selected plant species as bio-indicators of particulate automobile pollution using air pollution tolerance index (APTII) approach. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(7), 57-67. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.7011>
54. Sheng, Q., & Zhu, Z. (2019). Effects of nitrogen dioxide on biochemical responses in 41 garden plants. *Plants*, 8, 45. <https://doi.org/10.3390/plants8020045>
55. Suyal, R., Rawat, S., Rawal, R.S., & Bhatt, I.D. (2019). Variability in morphology, phytochemicals, and antioxidants in *Polygonatum verticillatum* (L.) All. populations under different altitudes and habitat conditions in Western Himalaya, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 783-801. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7687-6>
56. Sytar, O., Ghosh, S., & Malinska, H. (2021). Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. *Physiologia Plantarum*, 173(1), 148-166. <http://doi.org/10.1111/ppl.13285>
57. Taheri Otaghsara, S.H., Aghajanzadeh, T.A., & Jafari, N. (2020). Comparison of physiological responses of *Acer velutinum* Bioss. to air pollutants in Mazandaran and three areas of Tehran. *Journal of Plant Research*, 4, 845-861. (in Persian with English abstract).
58. Timilsina, S., Shakya, S., Chaudhary, S., Magar, G.T., & Narayan Munankarmi, N. (2022). Evaluation of air pollution tolerance index (APTII) of plants growing alongside inner ring road of Kathmandu, Nepal. *International Journal of Environmental Science*, 79, 698-713. <https://doi.org/10.1080/00207233.2021.1946346>
59. Torkaman, J., Ghodskhah Daryaei, M., & Sahranavard, Sh. (2023). Effects of climatic parameters and air pollutants of Tehran city on the growth of *Pinus eldarica* in Chitgar forest park during time series (1975-2015). *Iranian Journal of Health and Environment*, 16, 357-66. (in Persian with English abstract) <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6737-en.html>
60. Uka, U.N., Belford, E.J., & Hogarh, J.N. (2019). Roadside air pollution in a tropical city: Physiological and biochemical response from trees. *Bulletin of the National Research Centre*, 43, 90. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0117-7>
61. Yanyan, Q., Holden, N., Qi, F., & Meng, Z. (2017). Influence of slope aspect on plant community composition and its implications for restoration of a Chinese mountain range. *Polish Journal of Environmental Studies*, 1, 375-383. <https://doi.org/10.15244/pjoes/64458>
62. Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejeriyè, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses have potential application in pharmaceutical product development. *Molecules*, 27, 1-31. <https://doi.org/10.3390/molecules27010313>
63. You, H.N., Kwak, M.J., Je, S.M., Lee, J.K., Lim, Y.J., Kim, H., Park, S., Jeong, S.G., Choi, Y.S., & Woo, S.Y. (2021). Morpho-physio-biochemical attributes of roadside trees as potential tools for biomonitoring of air quality and environmental health in urban areas. *Land*, 10(3), 1-15. <https://doi.org/10.3390/land10030236>
64. Zahid, A., Ali, S., Anwar, W., Fatima, A., Chattha, M.B., Ayub, A., & Siddique, M. (2023). Assessing the air pollution tolerance index (APTII) of trees in residential and roadside sites of Lahore, Pakistan. *SN Applied Sciences*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05470-0>

65. Zhang, Q.P., Wang, J., Gu, H.L., Zhang, Z.G., & Wang, Q. (2018). Effects of continuous slope gradient on the dominance characteristics of plant functional groups and plant diversity in alpine meadows. *Sustainability*, 10(12), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su10124805>
66. Zupka, S., Vollmannová, A., Harangozo, L., & Medvecký, M. (2020). Relationship between mercury as well as cadmium and anthocyanin contents in wild forest fruits from environmentally burden region of the Slovakia. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2020, 192-197. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.special3.192-197>