

ارزیابی مشخصه‌های روزنه‌ای درختان بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) و ممرز (*Carpinus betulus* L.) تحت تأثیر آلودگی گرد و غبار کارخانه سیمان مازندران

جمشید اسلام‌دوست^۱، سیدمحسن حسینی*^۲ و فاطمه کاردل^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (j.eslamdoust@modares.ac.ir)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. (f.kardel@umz.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

چکیده

ذرات گرد و غبار می‌توانند با عبور از روزنه‌ها موجب اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی و کاهش رشد گیاه شوند. این پژوهش به بررسی تأثیر گرد و غبار سیمان بر ویژگی‌های روزنه برگ‌ها در دو گونه درختی مهم جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران می‌پردازد. بدین منظور برگ‌های گونه‌های بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) و ممرز (*Carpinus betulus* L.) در دو منطقه آلوده و شاهد در اطراف کارخانه سیمان مازندران نمونه‌برداری شد. مشخصه‌های روزنه برگ و سلول‌های نگهبان شامل تراکم، عرض، طول، محیط و مساحت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین تراکم روزنه برای هر گونه بلوط و ممرز در منطقه آلوده (به ترتیب ۳۶/۱ و ۶/۶ روزنه در میلی‌مترمربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد (به ترتیب ۲۴/۳ و ۵/۲ روزنه در میلی‌مترمربع) بود. براساس نتایج، مشخصه‌های عرض و طول روزنه و همچنین عرض و طول سلول نگهبان در گونه بلوط تفاوت معنی‌داری را بین دو منطقه آلوده و شاهد نشان نداد. در گونه ممرز، میانگین عرض و طول روزنه در منطقه آلوده (به ترتیب ۴۰/۵ و ۷۵/۲ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری از منطقه شاهد (به ترتیب ۶۶/۸ و ۹۰/۴ میکرومتر) کمتر بود. همچنین در گونه بلوط نسبت طول به عرض روزنه در منطقه آلوده (۳/۵) به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد (۳/۱) بود، اما تفاوت معنی‌داری در گونه ممرز مشاهده نشد. در نهایت گونه بلوط با افزایش تراکم روزنه‌ها، بدون تغییر معنی‌داری در مشخصه‌های طول و عرض روزنه و سلول نگهبان، مقاومت بهتری را نسبت به گونه ممرز نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تراکم روزنه، جنگل‌های هیرکانی، سلول نگهبان روزنه، آلاینده

مقدمه

دهد (Ling et al., 2011)، برگ‌ها به علت داشتن روزنه فراوان، مستعدترین قسمت گیاه نسبت به آسیب‌های آلاینده‌ها هستند (Heath et al., 2009). بنابراین بررسی مشخصه‌های روزنه‌ها و برگ در شناسایی اثرات آلاینده‌ها مؤثر است. تعداد، اندازه، تراکم و فراوانی روزنه نشان‌دهنده مقاومت برگ‌ها به آلودگی است (Gostin, 2009). پژوهش‌های متعدد نشان داده است که بعضی از گونه‌ها مانند چنار، دارای سطح برگ موم-دار در لایه اپیدرمی برگ تحتانی هستند که می‌تواند گرد و غبار و دیگر آلاینده‌ها را برای کاهش آلودگی هوا جمع‌آوری کند (Muneer et al., 2014). غلظت به-نسبت بالای آلاینده‌ها از طریق روزنه‌ها جذب می‌شود که مسیر اولیه ورود آن‌ها به سلول‌های مزوفیل است. تنش آلودگی هوا، اندازه و ساختار برگ را تغییر می‌دهد و با تغییر در اندازه سلول‌های برگ در راستای کنترل جذب آلاینده‌های گیاهی رفتار می‌کند (Meerabai et al., 2012). گونه‌های گیاهی با مشخصه‌های مختلف سطحی برگ مانند روزنه‌ها و کرک‌ها، به‌طور متفاوتی نسبت به آلاینده‌ها واکنش نشان می‌دهند (Siqueira-Silva et al., 2016). بر همین اساس بررسی حاضر به بررسی پاسخ مشخصه‌های روزنه‌ای برگ دو گونه مهم جنگل‌های هیرکانی به آلودگی گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های کارخانه سیمان مازندران می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی بخشی از طرح جنگلداری نکا-ظالمروود (سری ۲ حوزه آبخیز ۷۷) در مجاورت کارخانه سیمان مازندران است که در مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). میانگین ارتفاع منطقه، ۴۵ متر و میانگین سالانه بارندگی در این منطقه

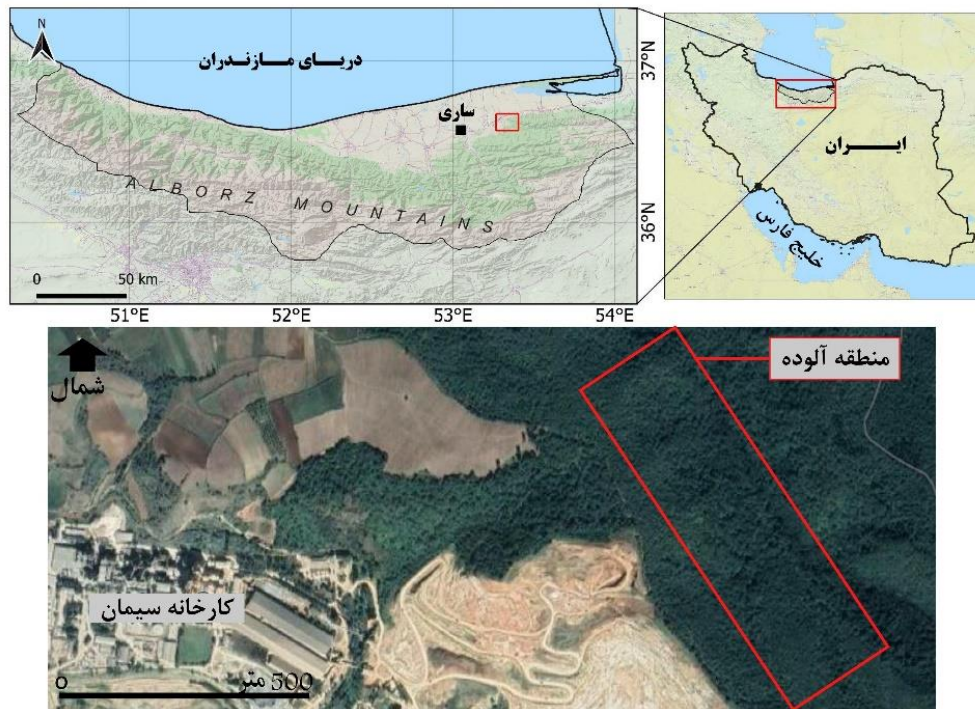
آلودگی هوا به دلیل تأثیر آن در مقیاس جهانی یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی است. در کشورهای درحال توسعه با رشد سریع جمعیت که منجر به توسعه شهرها شده است، سبب افزایش تقاضا برای فعالیت‌های کشاورزی، توسعه صنعتی و حمل‌ونقل می‌شود (Sarkheil et al., 2018). آلودگی هوا اغلب از فعالیت‌های مختلفی که بر سلامت انسان و محیط‌زیست تأثیر منفی می‌گذارد، ایجاد می‌شود (Al faifi and El-Shabasy, 2021). کارخانه سیمان یکی از آلاینده‌ترین صنایع است که بر تعادل زیست‌محیطی تأثیر منفی می‌گذارد و انواع آلاینده‌ها را تولید می‌کند (Gallo et al., 2014).

به‌طور کلی گرد و غبار مجموعه‌ای از ذرات جامد با مبدأ طبیعی یا صنعتی است که اغلب از طریق فرآیندهای فروپاشی تشکیل می‌شوند (Drack and Vazquez, 2018) و به‌عنوان یکی از عمده‌ترین عوامل آلودگی‌های هوا محسوب می‌شود. گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های کارخانجات سیمان حاوی عناصر سنگینی مانند آهن، منگنز، بور، روی، مس و غیره است که رسوب آن (به‌عنوان عامل اولیه) روی شاخ و برگ گیاهان سبب تغییراتی در ساختار فیزیکی و شیمیایی برگ خواهد شد و در نتیجه شرایط را برای طغیان آفات، بیماری‌های گیاهی و فعالیت قارچ‌های بیماری‌زا فراهم می‌کند (Siqueira-Silva et al., 2016). با این حال ترکیب شیمیایی، اندازه ذرات و میزان رسوب آن، تعیین‌کننده مقدار اثرات آن بر گیاهان است (Al faifi and El-Shabasy, 2021).

برگ در مقایسه با دیگر قسمت‌های گیاهان نسبت به عوامل خارجی، مانند آلاینده‌های هوا، حساس‌تر است. برگ با داشتن سطح وسیع، سبب جذب و تجمع آلاینده‌ها می‌شود تا سطح آلاینده‌ها را در محیط کاهش

۷۰۰ میلی‌متر است. جهت جریان عمومی باد در منطقه ممرز، افرا و آزاد نیز یافت می‌شود. اغلب به سمت شمال شرقی است. تیپ عرصه جنگلی

منطقه مورد بررسی بلوط-انجیلی است که گونه‌های



شکل ۱- منطقه مورد بررسی (کادر قرمز) در استان مازندران - ایران
Figure 1. Study area (red frame) in Mazandaran province, Iran

نمونه برداری

برای انجام این پژوهش، نخست با انجام بررسی‌های میدانی، یک منطقه در جهت شرقی منبع آلودگی و یک قطعه شاهد انتخاب شد. منطقه آلوده در فاصله ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری از کارخانه سیمان و منطقه شاهد در جنگل طبیعی (دارای گونه‌های مورد بررسی) با حداقل پنج کیلومتر فاصله در جهت غربی از کارخانه سیمان قرار داشت (Ivanov et al., 2018). در هر یک از مناطق مذکور، دو گونه درختی بلوط (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) و ممرز (*Carpinus betulus* L.) با تکرار پنج پایه و به طوری که در شرایط همسان تاج پوشش باشند، انتخاب شدند و سپس سه نمونه برگ از قسمت‌های مختلف تاج برداشت شد. نمونه برداری از برگ درختان، حداقل ۱۵ روز پس از بارندگی انجام

شد. کلیه نمونه‌های برگ در تابستان و زمانی که میزان آلودگی و تجمع گرد و غبار در بالاترین حد ممکن است، جمع‌آوری شد.

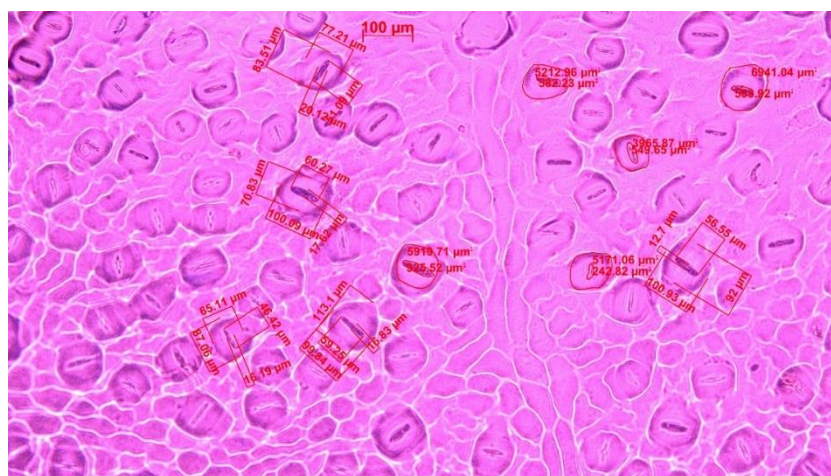
برای تعیین مجموع گرد و غبار در هر منطقه، ابتدا ۱۰ فیلتر کاغذی (نوع واتمن شماره ۴۲) وزن شدند و سپس روی درختان در هر منطقه برای مدت دو هفته نصب شدند. پس از جمع‌آوری، تفاوت بین وزن کاغذهای صافی قبل و بعد از تثبیت روی درختان برای محاسبه کل گرد و غبار رسوب شده، استفاده شد (Yin et al., 2023).

اندازه‌گیری مشخصه‌های روزنه

ابتدا گرد و غبار برگ‌ها با پنبه خیس پاک شد. سپس یک لایه از لاک بی‌رنگ و شفاف به طور یکنواخت به پشت برگ زده شد (بررسی اولیه، عدم وجود روزنه در

برگ و سلول‌های نگهبان شامل تراکم، عرض، طول، محیط و مساحت روزنه‌ها و سلول‌های نگهبان با استفاده از AxiVision LE ver. 4.8.2.0 (نرم‌افزار جامع میکروسکوپی) اندازه‌گیری شدند (شکل ۲). همچنین نسبت طول به عرض روزنه‌ها محاسبه شد. در مجموع ۱۲۶ روزنه اندازه‌گیری شد (دو منطقه \times دو گونه \times پنج پایه درخت \times عکس از سه ناحیه \times دو یا سه روزنه بسته به کیفیت اسلاید).

سطح رویی برگ گونه‌ها را نشان داد. پس از خشک شدن کامل لاک ناخن، لایه‌ای نازک از سطح برگ با چسب شفاف جداسازی و یک اسلاید موقت ایجاد شد (Zhu et al., 2018). از هر اسلاید به صورت تصادفی سه ناحیه (در مواردی یک یا دو ناحیه با توجه کیفیت اسلایدها) با استفاده از یک میکروسکوپ بیولوژیکی (HP320، ایالات متحده آمریکا) انتخاب شد. سپس از ناحیه انتخاب شده در هر اسلاید مشخصه‌های روزنه



شکل ۲- نمونه تصویر روزنه‌های سطح برگ در میکروسکوپ با استفاده از نرم‌افزار AxiVision

Figure 2. Example of an image of leaf stomata by microscope using AxiVision software

بیشتر از منطقه شاهد با 0.032 میلی‌گرم بر سانتی-مترمربع است (جدول ۱).

میانگین تراکم روزنه برای هر گونه بلوط در منطقه آلوده ($36/1$ روزنه در میلی‌مترمربع) به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد ($24/3$ روزنه در میلی‌مترمربع) بود (شکل ۳ آ). همچنین در گونه ممرز، میانگین تراکم روزنه در منطقه آلوده ($6/6$ روزنه در میلی‌مترمربع) به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد ($5/2$ روزنه در میلی‌مترمربع) بود (شکل ۳ ب).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. به منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین مجموع گرد و غبار و همچنین مشخصه‌های روزنه‌ای بین مناطق آلوده و شاهد از آزمون t غیرجفتی استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج

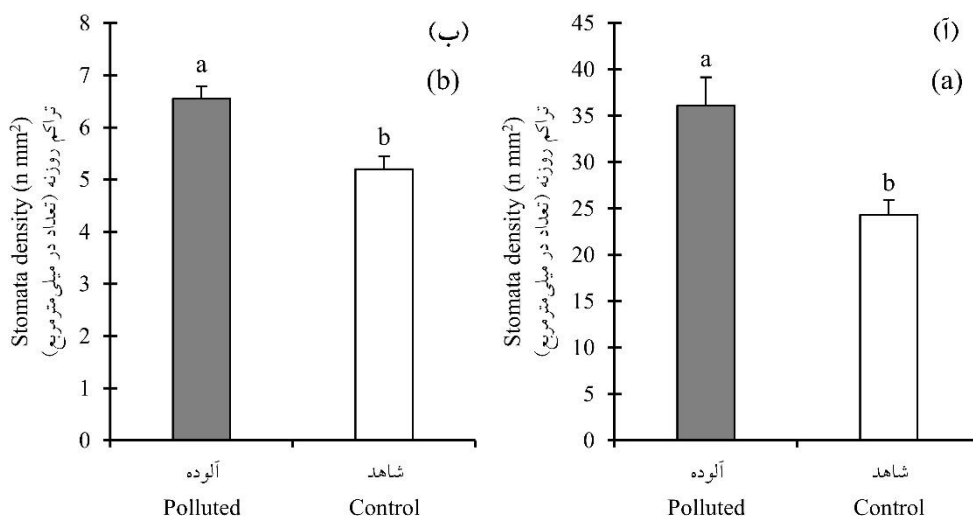
نتایج نشان داد که مجموع گرد و غبار در منطقه آلوده با 0.649 میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع به طور معنی‌دار

جدول ۱- میانگین (\pm اشتباه معیار) مجموع گرد و غبار (میلی گرم بر سانتی مترمربع) در مناطق آلوده و شاهد

Table 1. Mean (\pm SE) deposited dust (mg cm^{-2}) in polluted and control sites

منطقه	آلوده	شاهد	آماره P
Site	Polluted	Control	P-value
مجموع گرد و غبار (میلی گرم بر سانتی مترمربع)	0.649 (\pm 0.152) ^a	0.032 (\pm 0.007) ^b	0.000

Deposited dust (mg cm^{-2})

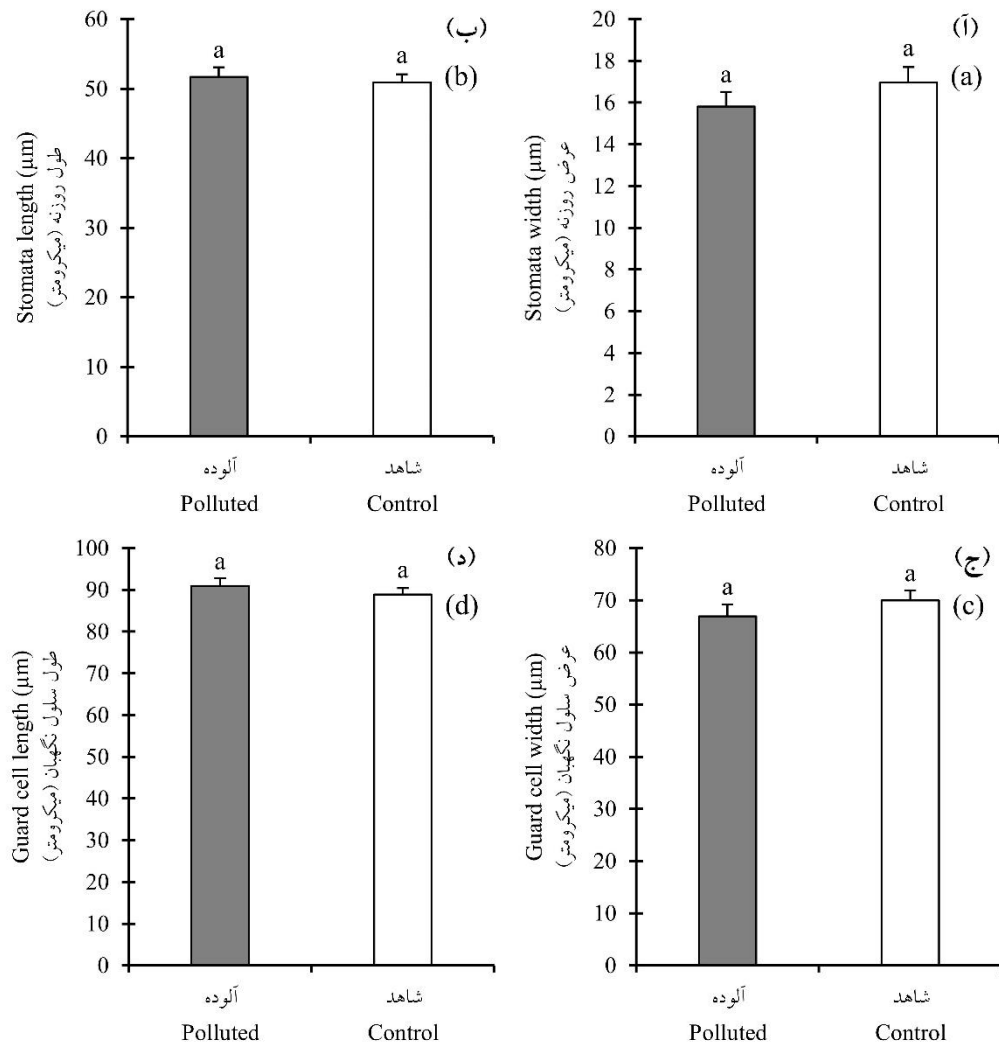


شکل ۳- میانگین تراکم روزنه (تعداد در میلی مترمربع) در گونه بلوط (آ) و ممرز (ب) به تفکیک منطقه آلوده و شاهد (حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح معنی داری ۰/۰۵ است)

Figure 3. Mean stomatal density (number per mm^2) of *Q. castaneifolia* (a) and *C. betulus* (b) in polluted and control sites (different letters indicate significant differences at the P -value ≤ 0.05)

۵۱/۷ و ۵۰/۹ میکرومتر بود (شکل ۴ ب). همچنین میانگین عرض سلول نگهبان در مناطق آلوده و شاهد به ترتیب ۶۶/۹ و ۷۰/۰ میکرومتر بود (شکل ۴ ج). میانگین طول سلول نگهبان نیز در مناطق آلوده و شاهد به ترتیب ۹۱/۱ و ۸۸/۹ میکرومتر بود (شکل ۴ د).

براساس نتایج، مشخصه‌های عرض و طول روزنه و همچنین عرض و طول سلول نگهبان روزنه در گونه بلوط تفاوت معنی داری را بین دو منطقه آلوده و شاهد نشان نداد. میانگین عرض روزنه در مناطق آلوده و شاهد به ترتیب ۱۵/۹ و ۱۶/۸ میکرومتر بود (شکل ۴ آ). میانگین طول روزنه نیز در مناطق آلوده و شاهد به ترتیب

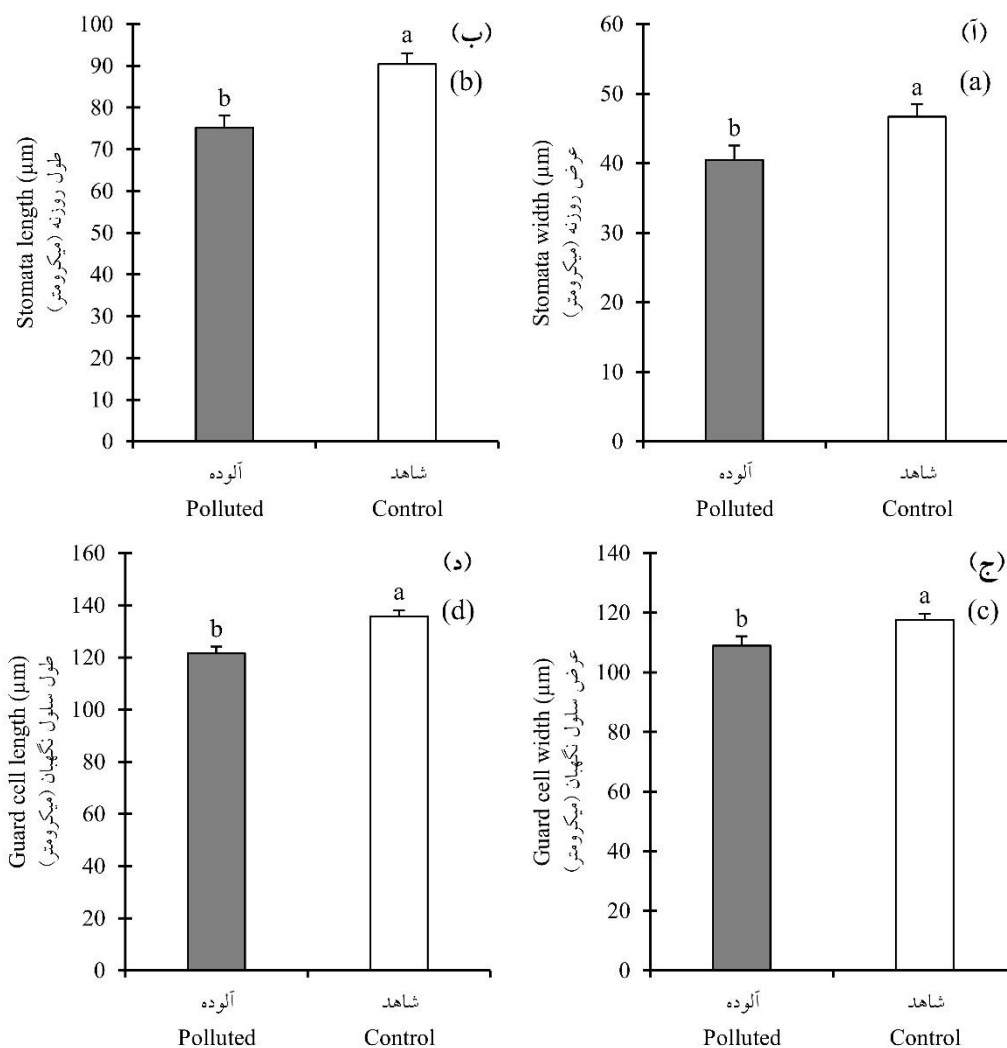


شکل ۴- میانگین عرض روزنه (آ)، طول روزنه (ب)، عرض سلول نگهبان (ج) و طول سلول نگهبان (د) در گونه بلوط به تفکیک منطقه آلوده و شاهد (حروف یکسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 4. Mean stomatal width (a), stomatal length (b), guard cell width (c) and guard cell length (d) in *Q. castaneifolia* in polluted and control sites (same letters indicate no significant differences)

سلول نگهبان در منطقه آلوده (۱۰۹/۰ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری از منطقه شاهد (۱۱۸/۶ میکرومتر) کمتر بود (شکل ۵ ج). میانگین طول سلول نگهبان نیز در منطقه آلوده (۱۲۱/۶ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری از منطقه شاهد (۱۳۵/۸ میکرومتر) کمتر بود (شکل ۵ د).

نتایج نشان داد که در گونه ممرز، میانگین عرض روزنه در منطقه آلوده (۴۰/۵ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری از منطقه شاهد (۴۶/۸ میکرومتر) کمتر بود (شکل ۵ آ). میانگین طول روزنه نیز در منطقه آلوده با ۷۵/۲ میکرومتر به‌طور معنی‌داری کمتر از منطقه شاهد (۹۰/۴ میکرومتر) بود (شکل ۵ ب). همچنین میانگین عرض

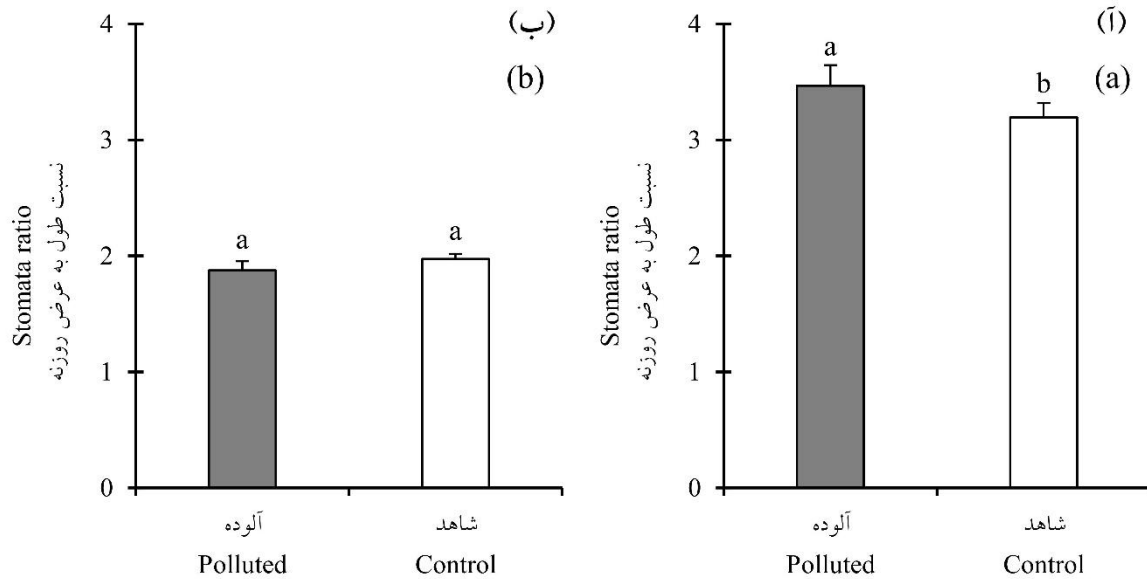


شکل ۵- میانگین عرض روزنه (آ)، طول روزنه (ب)، عرض سلول نگهبان (ج) و طول سلول نگهبان (د) در گونه ممرز به-تفکیک منطقه آلوده و شاهد (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

Figure 5. Mean stomatal width (a), stomatal length (b), guard cell width (c) and guard cell length (d) in *C. betulus* in polluted and control sites (different letters indicate significant differences at the P -value ≤ 0.05)

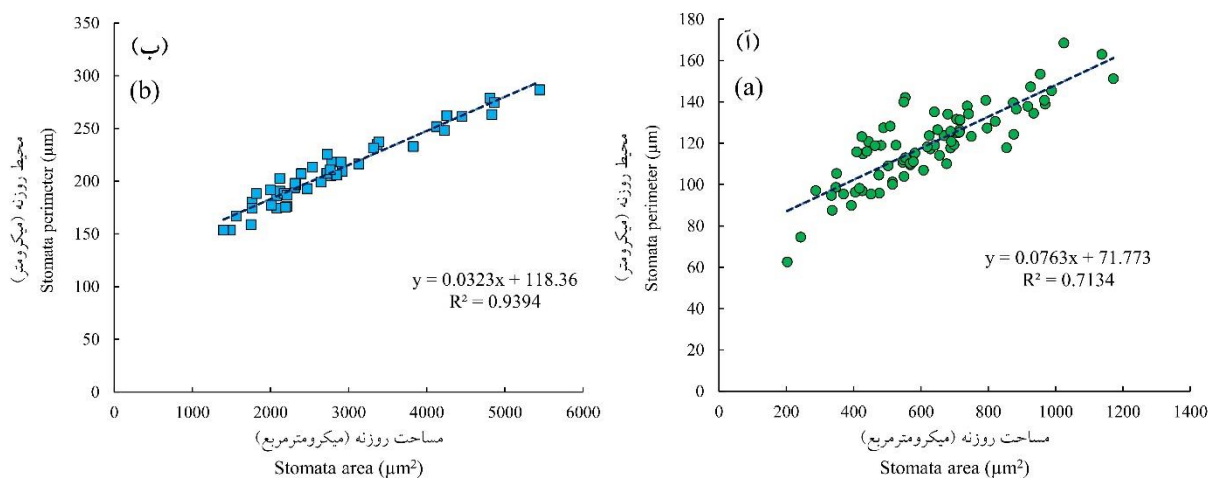
روزنه بین دو منطقه آلوده (۱/۹) و شاهد (۲/۰) مشاهده نشد (شکل ۶ ب). روند نسبت محیط به مساحت روزنه ضریب تبیین بالایی را در هر دو گونه بلوط (۰/۷۱) و ممرز (۰/۹۴) نشان داد (شکل ۷ آ - ب).

براساس نتایج، در گونه بلوط نسبت طول به عرض روزنه در منطقه آلوده (۳/۵) به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد (۳/۱) بود (شکل ۶ آ). با این حال، در گونه ممرز تفاوت معنی‌داری از نظر نسبت طول به عرض



شکل ۶- میانگین نسبت طول به عرض روزنه در گونه بلوط (آ) و ممرز (ب) به تفکیک منطقه آلوده و شاهد (حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

Figure 6. Mean stomata ratio of *Q. castaneifolia* (a) and *C. belutus* (b) in polluted and control sites (different letters indicate significant differences at the P -value ≤ 0.05)



شکل ۷- روند نسبت محیط به مساحت روزنه به تفکیک گونه بلوط (آ) و گونه ممرز (ب)

Figure 7. The trend of the stomata area to stomata perimeter ratio in *Q. castaneifolia* (a) and *C. belutus* (b)

سبب ایجاد برخی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود (Joshi and Swami, 2009; Hasnvand et al., 2018). با بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌توان مقاومت گیاهان را در برابر آلاینده‌ها تخمین زد (Ghafari et al., 2021). برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی ضروری مانند

بحث

گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های مختلف سبب کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌ها می‌شوند و با ایجاد تغییرات در کارایی فتوسنتزی بر رشد و بهره‌وری گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد (Seyyednejad et al., 2011). سطوح بالای آلودگی هوا بر فرآیند فتوسنتز تأثیر می‌گذارد که

فتوستتوز، تنفس، تخصیص کربن و عملکرد روزنه تحت تأثیر آلودگی هوا قرار دارند. بسیاری از انواع پژوهش‌ها نشان می‌دهند که یون‌های عناصر سنگین موجود در گرد و غبار می‌توانند به غشاها آسیب بزنند و رشد گیاهان را تحت تأثیر دهند (Sharma et al., 2020).

نتایج این بررسی نشان داد که تراکم روزنه‌های هر دو گونه بلوط و ممرز در منطقه آلوده (نزدیک به کارخانه سیمان افزایش معنی‌داری داشت که با نتایج گزارش‌شده توسط Kardel et al. (2010) در ارتباط با افزایش تراکم روزنه‌های برگ در مناطق آلوده، مطابقت دارد. در بین دو گونه مورد بررسی، تراکم روزنه‌ها در گونه بلوط با افزایش آلودگی ۴۸/۶ درصد افزایش نشان داد، در حالی که در گونه ممرز ۲۶/۹ درصد بود که می‌تواند بیانگر کارایی بهتر گونه بلوط در مواجهه با آلودگی‌های گرد و غبار باشد. به‌طور کلی، تغییر تراکم و اندازه روزنه‌ها یک راه حیاتی برای کنترل جذب آلاینده‌ها در واکنش به تنش‌های محیطی است (Tiwari et al., 2014). با این حال (Baruah et al., 2014). با این حال (2006) کاهش اندازه سطح برگ‌ها و تراکم روزنه‌ها را در شرایط تنش آلودگی گزارش کردند، که با نتایج حاضر هم‌خوانی ندارد و علت آن را می‌توان به تفاوت‌های بین نوع گونه‌ها نسبت داد. همچنین ترکیب شیمیایی آلودگی‌ها اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های روزنه‌ای برگ و در نتیجه کارایی رشد گیاه دارند (Kardel et al., 2010). بنابراین در زمانی که گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های مختلف سطح برگ‌ها را می‌پوشاند، افزایش تراکم روزنه‌ها قابل انتظار است.

نتایج این بررسی نشان داد که تراکم روزنه‌های هر دو گونه بلوط و ممرز در منطقه آلوده (نزدیک به کارخانه سیمان افزایش معنی‌داری داشت که با نتایج گزارش‌شده توسط Kardel et al. (2010) در ارتباط با افزایش تراکم روزنه‌های برگ در مناطق آلوده، مطابقت دارد. در بین دو گونه مورد بررسی، تراکم روزنه‌ها در گونه بلوط با افزایش آلودگی ۴۸/۶ درصد افزایش نشان داد، در حالی که در گونه ممرز ۲۶/۹ درصد بود که می‌تواند بیانگر کارایی بهتر گونه بلوط در مواجهه با آلودگی‌های گرد و غبار باشد. به‌طور کلی، تغییر تراکم و اندازه روزنه‌ها یک راه حیاتی برای کنترل جذب آلاینده‌ها در واکنش به تنش‌های محیطی است (Tiwari et al., 2014). با این حال (Baruah et al., 2014). با این حال (2006) کاهش اندازه سطح برگ‌ها و تراکم روزنه‌ها را در شرایط تنش آلودگی گزارش کردند، که با نتایج حاضر هم‌خوانی ندارد و علت آن را می‌توان به تفاوت‌های بین نوع گونه‌ها نسبت داد. همچنین ترکیب شیمیایی آلودگی‌ها اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های روزنه‌ای برگ و در نتیجه کارایی رشد گیاه دارند (Kardel et al., 2010). بنابراین در زمانی که گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های مختلف سطح برگ‌ها را می‌پوشاند، افزایش تراکم روزنه‌ها قابل انتظار است.

مشخصه‌های روزنه‌ای در گونه بلوط تفاوت معنی‌داری را بین دو منطقه آلوده و شاهد نشان نداد. اگرچه پژوهش‌های مختلف نشان دادند که آلودگی موجب کاهش مشخصه‌های روزنه برگ می‌شود (Drack and Vázquez, 2018; Al faifi and El-)

Woo (2010) بیان می‌کند که تغییرات در اندازه روزنه‌ها بسته به نوع گونه متفاوت است. در همین رابطه Yin et al. (2023) در پژوهش خود بیان می‌کند که آلودگی گرد و غبار موجب آسیب-دیدگی و تغییر شکل (Deformation) روزنه‌ها شده و مقاومت گیاه را کاهش می‌دهد. بنابراین افزایش تراکم روزنه‌ها در گونه بلوط از یکسو و عدم کاهش معنی‌دار در مشخصه‌های طول و عرض روزنه‌ها و سلول‌های نگهبان بیانگر مقاومت بهتر گونه بلوط نسبت به آلودگی گرد و غبار در منطقه مورد بررسی است.

در این پژوهش مشخصه‌های طول و عرض روزنه و سلول نگهبان گونه ممرز کاهش معنی‌داری را در منطقه آلوده نسبت به منطقه شاهد نشان دادند. بر همین اساس پژوهش‌های قبلی کاهش قابل‌توجهی را در متغیرهای مختلف برگ در مناطق آلوده در مقایسه با مناطق غیرآلوده گزارش کردند (Van Heerden et al., 2007; Kardel et al., 2010; Ivanov et al., 2018). به‌طور کلی گیاهان در مقابله با گرد و غبار تغییرات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و ژنتیکی بروز می‌دهند (Seyyednejad et al., 2011). شدت اثرگذاری این نوع تنش روی رشد و عملکرد گیاهان با توجه به عواملی همچون ترکیب شیمیایی (از نظر مواد آلی و معدنی) و اندازه ذرات، مدت زمان و میزان رسوب گرد و غبار، مرحله رشد و نوع گونه گیاهی متفاوت است (Gunawardana et al., 2012). Rai and (2006) نشان دادند که ناحیه روزنه گونه‌های *Terminalia cristina*, *Quisquali indica* و *Nyctanthus trbicortisis* با افزایش آلودگی افزایش یافت. در نتیجه تنظیم فراوانی و اندازه روزنه به‌عنوان پاسخی به استرس محیطی اغلب مربوط به نوع گونه است و بین گونه‌ها تفاوت بیشتری دیده می‌شود (Karmakar and Padhy, 2019).

به‌طور کلی پژوهش‌ها نشان داده است که کاهش اندازه روزنه‌ها موجب کاهش کارایی شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Abu-Romman and Alzubi, 2015; Omidi et al., 2015; Mortazavi et al., 2019). بنابراین براساس نتایج این پژوهش، عدم تغییر در مشخصه‌های روزنه‌ای در گونه بلوط با وجود افزایش معنی‌دار تراکم روزنه‌ها نشان‌دهنده مقاومت بهتر این گونه به گرد و غبار نسبت به گونه ممرز است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، فواصل مختلف از کارخانه سیمان مورد بررسی یا دیگر منابع آلودگی در نظر گرفته تا بتوان حد آستانه تأثیرگذاری (تا چه فاصله- ای تأثیر معنی‌دار مشاهده می‌شود) را بر مشخصه‌های مختلف درختان به‌دست آورد و با به‌کارگیری آن، بازسازی جنگل‌هایی که در مجاورت منابع آلوده‌کننده قرار دارند را مورد توجه قرار داد.

References

Abu-Romman, S.; Alzubi, J., Effects of Cement Dust on the Physiological Activities of *Arabidopsis thaliana*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* **2015**, *10* (4), 157-164.

Al faifi, T.; El-Shabasy, A., Effect of heavy metals in the cement dust pollution on morphological and anatomical characteristics of *Cenchrus ciliaris* L. *Saudi Journal of Biological Sciences* **2021**, *28* (1), 1069-1079.

Baruah, P.; Saikia, R. R.; Baruah, P. P.; Deka, S., Effect of crude oil contamination on the chlorophyll content and morpho-anatomy of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. *Environmental Science and Pollution Research* **2014**, *21*, 12530-12538.

Drack, J. M. E.; Vázquez, D. P., Morphological response of a cactus to cement dust pollution. *Ecotoxicology and environmental safety* **2018**, *148*, 571-577.

Gallo, L.; Corapi, A.; Loppi, S.; Lucadamo, L., Element concentrations in the lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf transplanted around a cement factory (S

براساس نتایج، نسبت طول به عرض روزنه در گونه بلوط نسبت به گونه ممرز بیشتر بود که نشان می‌دهد روزنه‌ها در گونه بلوط ساختار کشیده‌تری نسبت به روزنه‌ها در گونه ممرز دارند. ساختار بیضی شکل و کشیده‌تر روزنه‌ها شرایط بهتری را در مواجهه با آلودگی به‌منظور بستن روزنه فراهم می‌کند (Ram et al., 2015). همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین محیط و مساحت روزنه در گونه بلوط کمتر بود و این موضوع بیانگر تنوع بیشتر در ساختار روزنه‌ها است که شرایط بهتری را برای این گونه در مواجهه با آلودگی مهیا می‌کند. با این حال در گونه ممرز همبستگی بین محیط و مساحت روزنه بسیار قوی بود و تنوع کمتر و هم‌شکل بودن روزنه‌ها در این گونه است که با نتایج Van Heerden et al. (2007) مطابقت دارد.

در نهایت این بررسی اثرات گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های کارخانه سیمان را بر مشخصه‌های روزنه‌ای در دو گونه مهم جنگل‌های هیرکانی برجسته می‌کند. *Italy*). *Ecological indicators* **2014**, *46*, 566-574.

Ghafari, S.; Kaviani, B.; Sedaghatoor, S.; Allahyari, M. S., Assessment of air pollution tolerance index (APTI) for some ornamental woody species in green space of humid temperate region (Rasht, Iran). *Environment, Development and Sustainability* **2021**, *23*, 1579-1600.

Gostin, I. N., Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **2009**, *37* (2), 57-63.

Gunawardana, C.; Goonetilleke, A.; Egodawatta, P.; Dawes, L.; Kokot, S., Source characterisation of road dust based on chemical and mineralogical composition. *Chemosphere* **2012**, *87* (2), 163-170.

Hasanvand, H.; Ghasemi Aghbash, F.; Solgi, E.; Pazhohan, I., The distance from road effects on heavy metals accumulation in soil and leaves of Persian oak trees (*Quercus brantii*) in Aleshtar-Khorramabad highway. *Forest Research and Development* **2018**, *4* (1), 29-41. (In Persian)

- Heath, R. L.; Lefohn, A. S.; Musselman, R. C., Temporal processes that contribute to nonlinearity in vegetation responses to ozone exposure and dose. *Atmospheric Environment* **2009**, *43* (18), 2919-2928.
- Ivanov, Y. V.; Kartashov, A. V.; Ivanova, A. I.; Ivanov, V. P.; Marchenko, S. I.; Nartov, D. I.; Kuznetsov, V. V., Long-term impact of cement plant emissions on the elemental composition of both soils and pine stands and on the formation of Scots pine seeds. *Environmental Pollution* **2018**, *243*, 1383-1393.
- Joshi, P.; Swami, A., Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *Journal of Environmental Biology* **2009**, *30* (2), 295-298.
- Kardel, F.; Wuyts, K.; Babanezhad, M.; Vitharana, U.V.A.; Wuytack, T.; Potters, G.; Samson, R., Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of *Plantago lanceolata* L. *Environmental Pollution* **2010**, *158* (3), 788-794.
- Karmakar, D.; Padhy, P. K., Air pollution tolerance, anticipated performance, and metal accumulation indices of plant species for greenbelt development in urban industrial area. *Chemosphere* **2019**, *237*, 124522.
- Ling, T.; Jun, R.; Fangke, Y., Effect of cadmium supply levels to cadmium accumulation by *Salix*. *International Journal of Environmental Science & Technology* **2011**, *8*, 493-500.
- Meerabai, G.; Venkata-Ramana, C.; Rasheed, M., Effect of air pollutants on leaves of pigeon pea, a pulse crop of Fabaceae growing in the vicinity of a silicon industry. *World Rural Observations* **2012**, *4* (2), 19-21.
- Mortazavi, S.; Ghasemi Aghbash, F.; Naderi Motiy, R., The feasibility of biomonitoring of heavy metals by wooden species of urban areas. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (1), 55-71.
- Muneer, S.; Kim, T. H.; Choi, B. C.; Lee, B. S.; Lee, J. H., Effect of CO, NO_x and SO₂ on ROS production, photosynthesis and ascorbate-glutathione pathway to induce *Fragaria× annasa* as a hyperaccumulator. *Redox Biology* **2014**, *2*, 91-98.
- Omidi, N.; Seyed, N.; Banj Shafiei, A.; Abaspour, N., Content of carbohydrates and proline of Oriental plane (*Platanus orientalis* L.) leaf in air pollution stress, case study: Urmia city. *Forest Research and Development* **2015**, *1* (2), 109-122. (In Persian)
- Rai, A.; Kulshreshtha, K., Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *Journal of Food Agriculture and Environment* **2006**, *4* (1), 253-259.
- Ram, S.; Majumder, S.; Chaudhuri, P.; Chanda, S.; Santra, S.; Chakraborty, A.; Sudarshan, M., A review on air pollution monitoring and management using plants with special reference to foliar dust adsorption and physiological stress responses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **2015**, *45* (23), 2489-2522.
- Sarkheil, H.; Azimi, Y.; Rahbari, S., Modeling environmental air quality assessment using fuzzy logic in the Pars Special Economic Energy Zone (Case study: Assaluyeh, Bidkhon and Shirino regions). *Journal of Environmental Science and Technology* **2018**, *20* (4), 1-16. (In Persian)
- Seyyednejad, S.; Niknejad, M.; Koochak, H., A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Sciences* **2011**, *5* (4), 302-309.
- Sharma, A.; Kumar, V.; Shahzad, B.; Ramakrishnan, M.; Singh Sidhu, G. P.; Bali, A. S.; Handa, N.; Kapoor, D.; Yadav, P.; Khanna, K.; Bakshi, P.; Rehman, A.; Kohli, S.K.; Khan, E.A.; Parihar, R.D.; Yuan, H.; Thukral, A.K.; Bhardwaj, R.; Zheng B., Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation* **2020**, *39*, 509-531.
- Siqueira-Silva, A. I.; Pereira, E. G.; Modolo, L. V.; Lemos-Filho, J. P.; Paiva, E. A. S., Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere* **2016**, *158*, 56-65.
- Tiwari, S.; Agrawal, M.; Marshall, F., Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. *Environmental monitoring and assessment* **2006**, *119*, 15-30.
- Van Heerden, P.; Krüger, G.; Louw, M. K., Dynamic responses of photosystem II in the Namib Desert shrub, *Zygophyllum prismatocarpum*, during and after foliar deposition of limestone dust. *Environmental Pollution* **2007**, *146* (1), 34-45.
- Woo, S. Y., Epidermal leaf characteristics and seasonal changes of net photosynthesis of

- five Populus. *African Journal of Biotechnology* **2010**, 9 (10), 1455-1458.
- Yin, D.; Luo, W.; Yang, Z.; Qi, S.; Chen, K.; Gou, A., Morphological and biochemical studies of *Salvia guaranitica* St. Hil. under simulated deposition with different amounts of dust. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2023**, 249, 114404.
- Zhu, J.; Yu, Q.; Xu, C.; Li, J.; Qin, G., Rapid estimation of stomatal density and stomatal area of plant leaves based on object-oriented classification and its ecological trade-off strategy analysis. *Forests* **2018**, 9 (10), 616.

Evaluation of the stomatal characteristics of *Quercus castaneifolia* C.A.M. and *Carpinus betulus* L. under the dust pollution of Mazandaran cement factory

J. Eslamdoust¹, S. M. Hosseini^{*2} and F. Kardel³

1- PhD. Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural resources, University of Tarbiat Modares, Noor, I. R. Iran. (j.eslamdoust@modares.ac.ir)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural resources, University of Tarbiat Modares, Noor, I. R. Iran. (hosseini@modares.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, I. R. Iran. (f.kardel@umz.ac.ir)

Received: 12.02.2023 Accepted: 18.04.2023

Abstract

Dust particles can cause disturbance in photosynthetic activities by passing through the openings and thus reduce plant growth. The present study examines the effect of cement dust pollution on the characteristics of leaf stomata in two important tree species of Hyrcanian forests in northern Iran. For this purpose, the leaves of oak (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) and common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) were sampled in two polluted and control sites around the Mazandaran cement factory. The characteristics of density, width, length, perimeter, and area of stomata and guard cells were measured. The results showed that the average stomatal density for oak and common hornbeam in the polluted site (36.1 and 6.6 stomata per mm², respectively) is significantly higher than the control site (24.3 and 2.5 stomata per mm², respectively). Based on the results, the characteristics of stomatal width and length as well as guard cell width and length in oak did not show any significant difference between the two polluted and control sites. In common hornbeam species, the average width and length of the stomata in the polluted site (40.5 and 75.2 μm, respectively) were significantly lower than the control site (46.8 and 90.4 μm, respectively). Also, in the oak species, the ratio of stomatal length to width in the polluted site (3.5) was significantly higher than in the control area (3.1), but no significant difference was observed in the common hornbeam species. Finally, the oak species showed better resistance than the common hornbeam species by increasing the stomata density without a significant change in the characteristics of the length and width of the stomata and the guard cell.

Keywords: Stomatal density, Hyrcanian forests, Stomatal guard cell, Pollutant.

* Corresponding author

Tel: +989111213898