

## مطالعه آناتومیکی تاثیر آلودگی هوا بر برگ گیاهان افاقیا و عرعر در محدوده کارخانه آلومینیوم ایران (ایراکو)

فریبا امینی<sup>۱\*</sup> Ph.D.، نفیسه فتاح راوندی<sup>۲</sup> M.Sc.، مهری عسکری<sup>۱</sup> Ph.D.

۱- دانشگاه اراک، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی، اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه اراک، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی، اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: f-amini@araku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

## چکیده

**هدف:** بررسی تاثیر آلودگی هوای منطقه صنعتی کارخانه آلومینیوم اراک بر تغییرات آناتومیکی برگ گیاهان افاقیا و عرعر هدف این تحقیق می باشد.

**مواد و روش ها:** با استفاده از اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست استان مرکزی، پارک آلومینیم به عنوان منطقه آلوده و منطقه هفتاد قله در فاصله ۳۵ کیلومتری اراک به عنوان منطقه پاک انتخاب شد. نمونه برگ های افاقیا و عرعر در شهریورماه ۱۳۹۲ به طور هم زمان از دو منطقه برداشت شد. تراکم و طول کرک، تراکم و گشودگی دهانه روزنه، طول پارانشیم نردبانی و قطر پارانشیم اسفنجی برگ اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS16 و Excel، مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون T انجام شد.

**نتایج:** تحت تاثیر آلودگی هوا تراکم کرک سطح زیرین و طول کرک هر دو سطح برگ افاقیا افزایش معنی داری یافت همچنین تراکم کرک سطح زیرین برگ عرعر کاهش و طول کرک افزایش معنی داری نشان داد. تراکم روزنه سطح زیرین برگ افاقیا و عرعر در معرض آلودگی هوا به ترتیب کاهش و افزایش یافت. گشودگی روزنه برگ افاقیا و عرعر تغییر معنی داری نشان نداد. طول پارانشیم نردبانی برگ افاقیا منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک کاهش و در عرعر افزایش معنی داری نشان داد، قطر پارانشیم اسفنجی برگ افاقیا تغییر معنی داری نداشت ولی در عرعر کاهش نشان داد.

**نتیجه گیری:** نتایج حاصل از یافته ها تغییرات آناتومی را در هر دو گیاه برای سازش بیشتر با آلودگی هوای منطقه نشان می دهد.

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوا، کرک، روزنه، پارانشیم نردبانی و اسفنجی

## مقدمه

جذب و دفع آلاینده‌ها با توجه به سطح برگی آن‌ها متفاوت است (۹). در تحقیق حاضر آناتومی برگ گیاهان افاقیا و عرعر که به‌صورت گیاهان غالب در منطقه شهری صنعتی (محدوده کارخانه آلومینیم ایران) (ایرالکو) در شهر اراک مشاهده می‌شود بررسی گردید تا میزان تغییرات در ساختار برگ در برابر آلودگی هوای محیط در این منطقه بررسی شده و مکانیسم مقاومت این گیاهان شناسایی گردد.

## مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** طبق اطلاعات موجود در سازمان حفاظت محیط زیست استان مرکزی، محدوده کارخانه آلومینیم ایران (ایرالکو) در شمال شرق اراک، به‌عنوان منطقه آلوده و منطقه حفاظت شده هفتاد قله واقع در ۳۵ کیلومتری شرق اراک به‌عنوان منطقه پاک در نظر گرفته شد. ایرالکو اولین تولیدکننده شمش‌های آلومینیم در ایران، در ۳۴ درجه و ۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی در زمینی به مساحت ۲۳۲ هکتار با ارتفاع ۱۸۰۳ متر، بارندگی سالانه ۴۳۵ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۴۴/۳، حداکثر دما ۳۹/۰۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما ۲۳/۰۶- درجه سانتی‌گراد در حاشیه اراک واقع شده است (۱۰). منطقه هفتاد قله دارای اقلیم خشک بیابانی معتدل و نیمه خشک سرد است و در موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و دارای بارندگی متوسط سالانه ۳۴۰ میلی‌متر و حداقل دمای سالانه ۲۵- درجه سانتی‌گراد و حداکثر دمای سالانه ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (۱۱).

**نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌های گیاهی:** نمونه‌های برگ دو گونه درختی افاقیا و عرعر مناطق پاک و آلوده که از نظر سنی و مرحله رویشی تقریباً در شرایط مشابهی بودند هم‌زمان در شهریورماه ۱۳۹۲ برداشت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه منتقل گردیدند. برگ‌ها با آب معمولی و سپس با آب مقطر شستشو داده شده و رطوبت سطح آن‌ها گرفته شد. مقداری از برگ‌های نمونه شاهد و آلوده برای تهیه اپی‌درم در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد و تعدادی نیز در محلول فیکساتور (فرمالین، اتانول، اسید استیک و آب) به نسبت حجم به حجم (۲۲: ۵: ۶۹: ۴) (۶) برای برش‌گیری نگه‌داری شدند.

از آناتومی گیاهان، علاوه بر استفاده در سیستماتیک، در بیان حضور آلودگی‌های هوا استفاده می‌شود. تغییرات آناتومی گیاه به‌عنوان یک تکنیک آگاه‌کننده و نشانگر آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد (۱). برگ گیاهان نسبت به عوامل خارجی، از جمله آلاینده‌های هوا، از سایر قسمت‌های گیاه حساس‌تر است. برگ با داشتن سطح وسیع، باعث جذب و تجمع آلاینده‌ها می‌شود تا سطح آلاینده‌ها را در محیط کاهش دهد (۲). برگ‌ها به‌علت داشتن روزنه فراوان، مستعدترین قسمت گیاه برای آسیب‌حادث هستند که اجازه نفوذ آلاینده‌های هوا را به بافت‌های حساس می‌دهند. مقاومت لایه سطحی برگ اولین مانع آلاینده‌های گازی هوا برای ورود به برگ است که نسبت به سرعت و میزان باد و شکل و جهت برگ‌ها متغیر است (۳). در سرعت‌های بالاتر باد، کاهش مقاومت لایه سطحی اجازه ورود بیشتر آلاینده‌ها را به برگ می‌دهد. سلول‌هایی که بیشتر در معرض آلاینده‌های هوا هستند سلول‌های اپی‌درمی می‌باشند. اما موم کوتیکول یک مانع بالقوه برای بیشتر گازهای آلاینده است. به‌هر حال گازهای اسیدی می‌توانند با موم‌های کوتیکول واکنش داده و آن را جدا کنند و از طریق نفوذ به کوتیکول آسیب دیده وارد برگ شوند. میزان آسیب‌هایی که آلاینده‌های هوا در گیاهان ایجاد می‌کنند به ورود آلاینده‌ها به برگ و میزان واکنش‌پذیری محصولات آلاینده‌ها با ترکیبات اصلی سلول بستگی دارد (۴). بنابراین بررسی آناتومی و مورفولوژی برگ در شناسایی اثرات آلاینده‌ها موثر است (۵). جذب آلودگی، به ساختار برگ‌ها وابسته است. موم کوتیکول و کرک‌های برگ، مناطقی اصلی برای اثر گذاری هستند. روزنه‌ها مکان‌هایی برای جذب آلودگی هستند. تعداد، اندازه، تراکم و فراوانی روزنه نشان‌دهنده مقاومت برگ‌ها به آلودگی می‌باشند (۶). تعداد کرک، خصوصیت بسیار مهمی در اصطلاح جنبه‌های محیطی مثل گیاه‌پالایی است. مطالعات متعدد نشان داده است که بعضی از گونه‌ها مانند چنار، دارای سطح برگی موم‌دار در اپی‌درم تحتانی هستند که می‌تواند گرد و غبار و دیگر آلاینده‌ها را برای کاهش آلودگی هوا جمع‌آوری کند (۷). غلظت نسبتاً بالای آلاینده‌ها از طریق روزنه‌ها جذب می‌شود که مسیر اولیه ورود آن‌ها به سلول‌های مزوفیل می‌باشد. تنش آلودگی هوا، اندازه و ساختار برگ را تغییر می‌دهد و در حقیقت با تغییر در اندازه سلول‌های برگ در جهت کنترل جذب آلاینده‌های گیاهی رفتار می‌کند (۸). توانایی گونه‌های گیاهی در

جهت خشک شدن کامل قرار گرفتند. سپس با عکس برداری از نمونه‌های رنگ آمیزی شده طول سلول نردبانی و قطر سلول‌های اسفنجی ناحیه مزوفیل برگ، توسط نرم افزار موتیک (MOTIC IMAGES ADVANCED3.2 SOFTWARE) اندازه‌گیری شد.

### آنالیز آماری

آزمایش‌های انجام شده برای هر گیاه در سه تکرار و به صورت طرح کاملا تصادفی انجام شد. جهت آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS16 و برای مقایسه میانگین‌ها از روش T تست برای نمونه‌های مستقل استفاده شد. در تمام حالات  $p < 0.05$  به عنوان مرز معنی‌داری در نظر گرفته شد.

### نتایج

#### تأثیر آلودگی هوا بر آناتومی برگ افاقیا و عرعر

#### اثر آلودگی هوا بر تراکم و طول کرک، تراکم روزنه و گشودگی روزنه

با توجه به آنالیز داده‌ها، آلودگی هوا بر تراکم کرک سطح فوقانی برگ افاقیا تأثیر معنی‌داری نشان نداد ولی بر تراکم کرک سطح تحتانی برگ اثر معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) داشت، (جدول ۱). میانگین تراکم کرک سطح تحتانی برگ افاقیا مناطق آلوده و پاک به ترتیب ۲۶۹/۲۳، ۱۱۵/۳۸ کرک در واحد میلی‌متر مربع برگ محاسبه شد (جدول ۲) آنالیز داده‌ها بر اساس t-test نشان داد، تراکم کرک سطح تحتانی برگ منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک افزایشی ۲/۳۳ برابر داشت که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. (شکل ۱a-b).

مطالعه اثر آلودگی هوا بر تراکم کرک سطح فوقانی برگ عرعر تغییر معنی‌داری (سطح ۰/۰۵) را نشان نداد، اما بر تراکم کرک سطح تحتانی برگ عرعر اثر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ داشت. (جدول ۱). میانگین تراکم کرک سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده و منطقه پاک به ترتیب ۴۵/۳۳ و ۱۳۱/۶۱ کرک در یک میلی‌متر مربع محاسبه شد (جدول ۶). تراکم کرک سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده در مقایسه با گیاه مشابه از منطقه پاک کاهش معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) نشان داد. تراکم کرک سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک ۶۵/۵۶٪ کاهش یافت (شکل ۱c-d).

**تهیه اپی‌درم:** اپی‌درم‌های سطح فوقانی (adaxial) و تحتانی (abaxial) برگ افاقیا و عرعر به صورت دستی تهیه و روی لام قرار گرفته و به مدت ۱ دقیقه با سافرانین ۱۰ درصد رنگ آمیزی شدند، سپس یک قطره گلیسرین ۱۰ درصد روی آن‌ها ریخته و اسلاید تهیه شد و به وسیله میکروسکوپ دوربین‌دار مطالعه و از آن‌ها عکس تهیه گردید. تراکم کرک و روزنه‌ها در دو سطح بالایی و زیرین اپی‌درم برگ تمامی نمونه‌های آلوده و شاهد در مساحت ۰/۱۳ میلی‌متر مربع شمارش شد و بر حسب میلی‌متر مربع محاسبه شد. همچنین اندازه کرک و دهانه روزنه بر حسب میکرومتر به وسیله گراتی کیول اندازه‌گیری شد (۱۲).

#### برش‌گیری برگ با میکروتوم و مراحل رنگ آمیزی

**فرآیند پاساژ بافتی:** برای برش‌گیری برگ با میکروتوم از نمونه‌های موجود در محلول فیکساتیو استفاده شد. نمونه‌های تثبیت شده از محلول فیکساتیو خارج شده و فرآیند پاساژ بافتی به وسیله دستگاه پاساژ بافتی (مدل Leica، ساخت آلمان) و طی مراحل زیر انجام گرفت (۱۳). ابتدا آب‌گیری بافت توسط الکل با درجات صعودی انجام شد. شفاف‌سازی نمونه‌ها از الکل با جایگزینی آن توسط زایلن (ماده‌ای که قابلیت حل پارافین را در خود دارد) و سپس آغشته‌سازی با پارافین انجام شد.

**فرآیند بلوک‌گیری:** برای برش‌گیری میکروسکوپی بافت برگ، نمونه‌ها در پارافین بلوک‌گیری شدند. بلوک‌ها تا زمان برش‌گیری توسط میکروتوم در یخچال نگه‌داری شدند تا کاملا سفت شوند.

**تهیه مقاطع بافتی توسط میکروتوم:** بلوک پارافینی در محل مخصوص بلوک در میکروتوم (مدل Leitz 1512 ساخت آلمان) نصب و سپس برش‌های ۷ تا ۱۰ میکرونی از بافت برگ تهیه شد. مقطع بافتی روی حمام آب گرم با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد برای رفع چروکیدگی و باز شدن کامل شناور گردید. سپس بافت روی لام مستقر و مشخصات آن ثبت شد. برای خشک شدن آب روی لام، لام مدتی در معرض هوا در آزمایشگاه قرار گرفت تا خشک شد.

**رنگ آمیزی هماتوکسیلین-ائوزین:** محلول‌های رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین و ائوزین به روش Lilli (۱۴) ساخته شدند و همراه با مواد لازم برای رنگ آمیزی در ظروف مخصوص ریخته شدند.

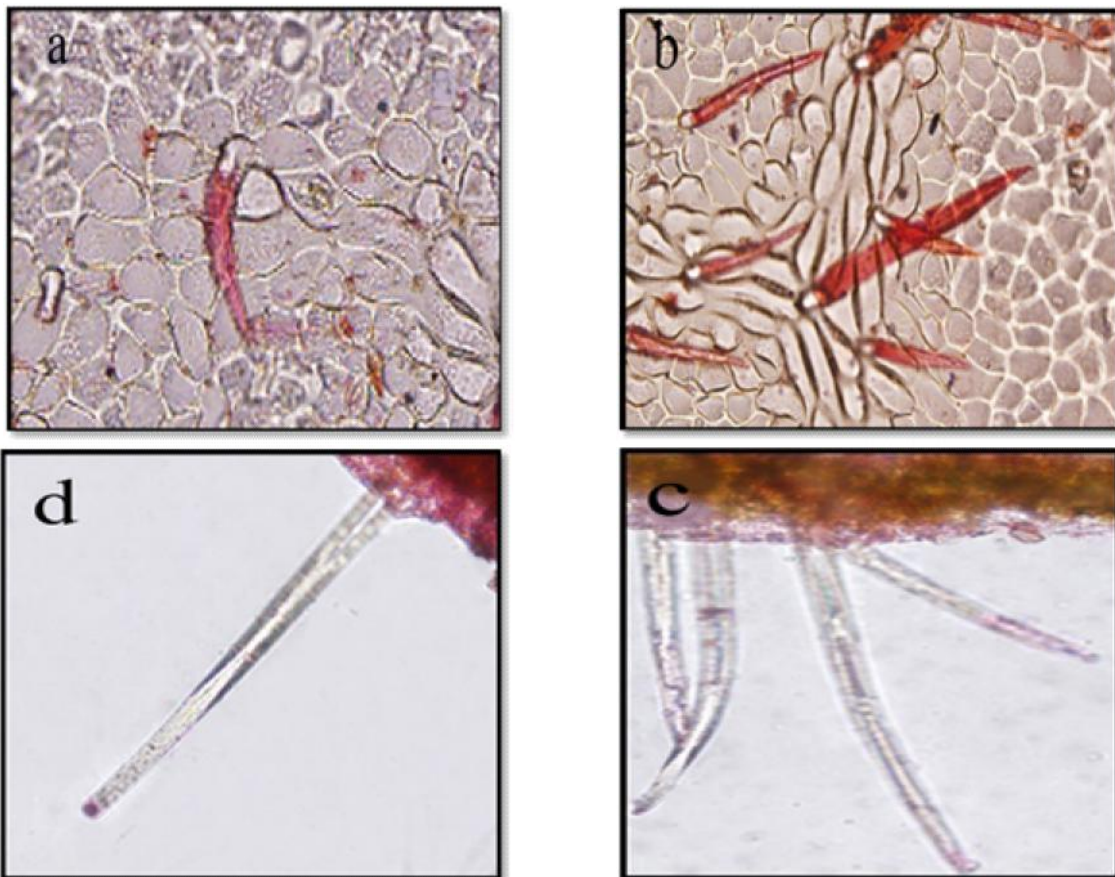
سپس نمونه‌ها توسط چسب انتلان (Entellan) بر روی لام‌ها چسبانده شد. لام‌ها به مدت ۱۲ ساعت در معرض هوای محیط

بررسی داده‌های مربوط به طول کرک سطح فوقانی و تحتانی برگ افاقیا تحت تاثیر آلودگی هوا اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱: آنالیز واریانس اثر آلودگی هوا بر تراکم و طول کرک، تراکم روزنه و گشودگی روزنه، طول پارانشیم نردبانی و قطر پارانشیم اسفنجی در برگ افاقیا و عرعر با استفاده از آزمون T.

شاخص	افاقیا	عرعر
تراکم کرک سطح فوقانی	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۴۵ <sup>ns</sup>
تراکم کرک سطح تحتانی	۰/۴۷ <sup>**</sup>	۱/۵۷ <sup>ns</sup>
طول کرک سطح فوقانی	۰/۵۶ <sup>**</sup>	۰/۳۲ <sup>ns</sup>
طول کرک سطح تحتانی	۲/۰۵ <sup>**</sup>	۰/۰۲ <sup>**</sup>
گشودگی روزنه فوقانی	۴/۳۳ <sup>ns</sup>	روزنه مشاهده نشد
گشودگی روزنه تحتانی	۰/۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>ns</sup>
تراکم روزنه سطح فوقانی	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	روزنه مشاهده نشد
تراکم روزنه سطح تحتانی	۷/۱۵ <sup>*</sup>	۰/۳۶ <sup>*</sup>
طول پارانشیم نردبانی	۱/۱۵ <sup>*</sup>	۱/۷۷ <sup>**</sup>
قطر پارانشیم اسفنجی	۱/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>**</sup>

<sup>ns</sup>: معنی‌دار نیست.      <sup>\*</sup>: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵      <sup>\*\*</sup>: معنی‌دار در سطح ۰/۰۱



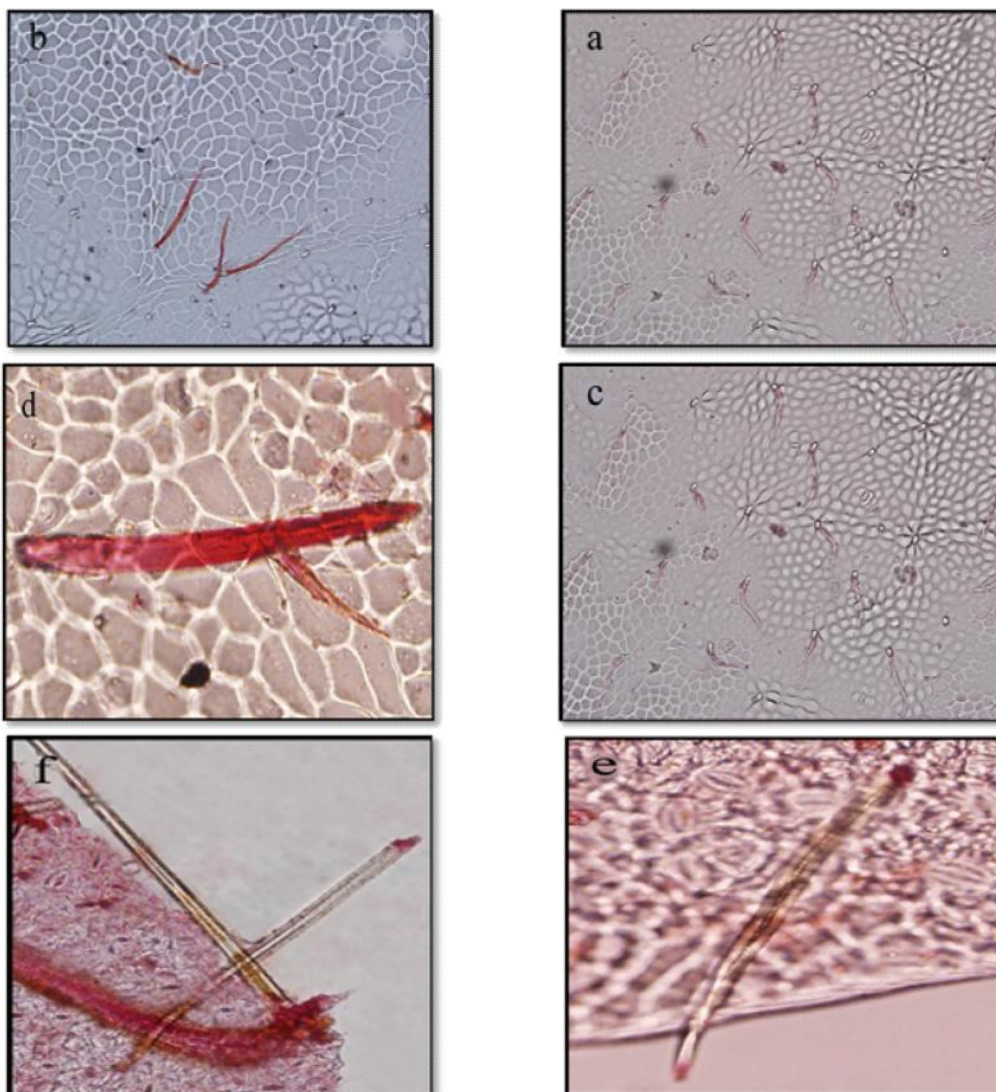
شکل ۱: مقایسه تراکم کرک سطح تحتانی در برگ افاقیا در منطقه پاک (a)، در منطقه آلوده (b) و در برگ عرعر در منطقه پاک (c)، در منطقه آلوده (d) با بزرگنمایی (x40)

تحتانی را در سطح ۰/۰۱ نشان داد (شکل ۲a-d). طول کرک سطح فوقانی و تحتانی برگ ااقیای منطقه آلوده در مقایسه با گیاه مشابه منطقه پاک به ترتیب ۲/۰۶ و ۱/۹۰ برابر افزایش نشان داد.

میانگین طول کرک سطح فوقانی و تحتانی برگ ااقیا در منطقه آلوده به ترتیب ۵۰۶/۹۶، ۳۹۶/۵۹ میکرومتر و در منطقه پاک به ترتیب ۲۰۷/۷۷، ۲۴۵/۲۱ میکرومتر محاسبه شد (جدول ۲). آنالیز داده‌ها بر اساس t-test افزایش طول کرک سطح فوقانی و

جدول ۲: مقایسه میانگین تراکم کرک و روزنه بر حسب میلی مترمربع ( $mm^2$ )، طول کرک و طول پارانشیم نردبانی بر حسب میکرون ( $\mu$ ) در سطح فوقانی و تحتانی برگ ااقیا در دو منطقه پاک و آلوده، داده‌ها میانگین ۳ تکرار  $\pm$  خطای استاندارد ( $SE$ ) و حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن بر اساس t-test است.

منطقه پاک	منطقه آلوده	شاخص
۱۱۵/۳۸ <sup>b</sup> $\pm$ ۱۳/۳۲	۲۶۹/۲۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۲۲/۲۰	تراکم کرک سطح تحتانی ( $mm^2$ )
۲۴۵/۲۱ <sup>b</sup> $\pm$ ۵/۴۹	۵۰۶/۹۶ <sup>a</sup> $\pm$ ۸/۴۷۳	طول کرک سطح فوقانی ( $\mu$ )
۲۰۷/۷۷ <sup>b</sup> $\pm$ ۵/۴۲	۳۹۶/۵۹ <sup>a</sup> $\pm$ ۳/۰۹	طول کرک سطح تحتانی ( $\mu$ )
۲۱/۳۹ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۷	۱۲/۱۴ <sup>b</sup> $\pm$ ۰/۶۷	تراکم روزنه سطح تحتانی ( $mm^2$ )
۱۴۴/۶۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۲/۳۸	۱۳۴/۷۳ <sup>a</sup> $\pm$ ۱/۴۲	طول پارانشیم نردبانی ( $\mu$ )



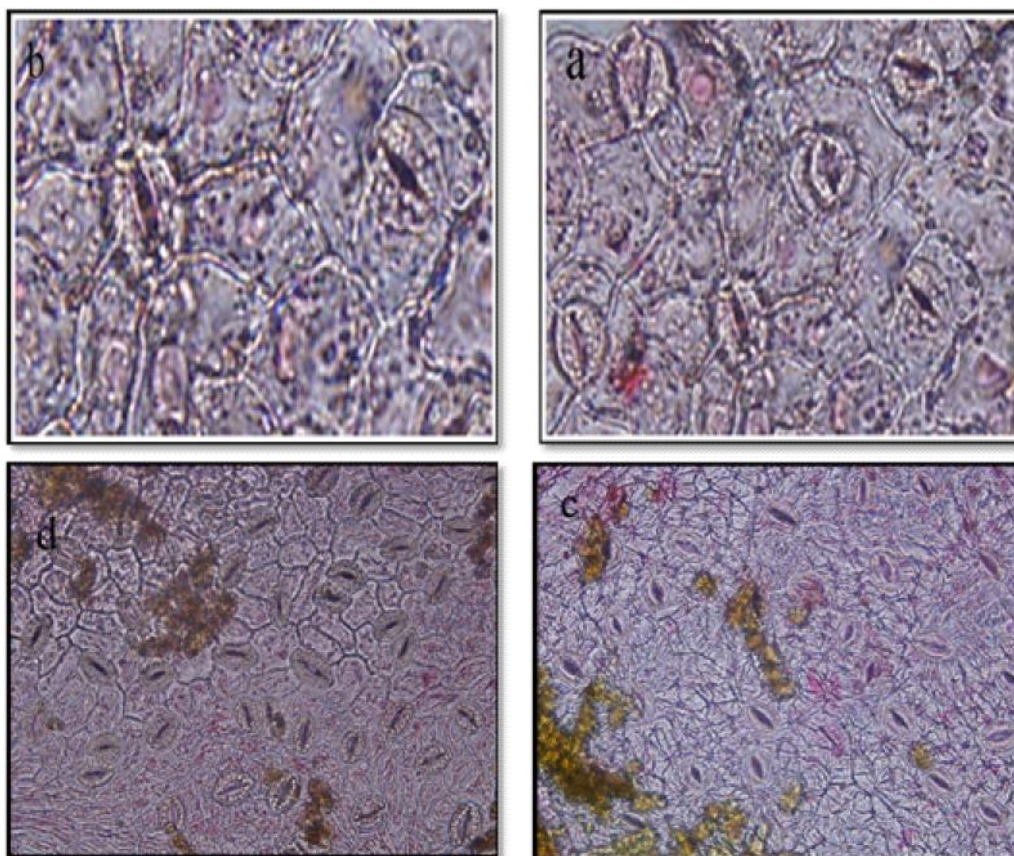
شکل ۲: مقایسه طول کرک سطح فوقانی (a-b) و تحتانی (c-d) برگ ااقیا در منطقه پاک (a) و آلوده (b) و مقایسه طول کرک سطح تحتانی عرعر منطقه پاک (e) و منطقه آلوده (f) با بزرگنمایی (۲۰×).

(جدول ۱). میانگین طول کرک سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده و منطقه پاک به ترتیب ۲۳۴/۸۶ و ۱۹۲/۰۷ میکرون محاسبه شد (جدول ۳). طول کرک سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده در مقایسه با گیاه مشابه منطقه پاک افزایش معنی‌دار ۲۲/۲۹ درصد نشان داد (شکل f-۲e).

آنالیز داده‌های مربوط به طول کرک سطح فوقانی و تحتانی برگ عرعر نشان داد، آلودگی هوا بر طول کرک سطح فوقانی برگ عرعر منطقه آلوده نسبت به گیاه مشابه از منطقه پاک اثر معنی‌داری (سطح ۰/۰۵) نداشته است اما طول کرک سطح تحتانی برگ عرعر اثر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ داشت

جدول ۳: مقایسه میانگین تراکم کرک (میلی‌متر مربع  $mm^2$ )، طول کرک (میکرون  $\mu$ )، تراکم روزنه بر حسب میلی‌متر مربع ( $mm^2$ ) و گشودگی روزنه (میکرون  $\mu$ ) سطح زیرین برگ و طول پارانشیم نردبانی و قطر پارانشیم اسفنجی برگ عرعر در دو منطقه پاک و آلوده، داده‌ها میانگین ۳ تکرار  $\pm$  خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱ با روش  $t$ -test است.

منطقه پاک	منطقه آلوده	شاخص
$131/61^a \pm 6/30$	$45/33^b \pm 1/97$	تراکم کرک سطح زیرین
$192/07^b \pm 5/12$	$234/86^a \pm 4/83$	اندازه کرک سطح زیرین
$185/87^b \pm 6/87$	$242/83^a \pm 9/86$	تراکم روزنه سطح زیرین
$257/70^b \pm 4/92$	$291/67^a \pm 1/45$	طول پارانشیم نردبانی
$45/31^a \pm 0/64$	$33/13^b \pm 0/69$	قطر پارانشیم اسفنجی



شکل ۳: مقایسه تراکم روزنه در سطح تحتانی برگ اقلایا در منطقه پاک (a) و منطقه آلوده (b) و عرعر در منطقه پاک (c) و (d) با بزرگنمایی (۴۰×).

اقلایا اختلاف معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) را نشان داد (جدول ۱). میانگین داده‌ها نشان داد تراکم روزنه سطح تحتانی برگ اقلایای منطقه آلوده و منطقه پاک به ترتیب ۱۲/۱۴، ۲۱/۳۹ روزنه در هر

با بررسی داده‌های حاصل از اثر آلودگی هوا بر تراکم روزنه برگ اقلایا، در تراکم روزنه سطح فوقانی برگ تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مشاهده نشد، اما تراکم روزنه سطح تحتانی برگ

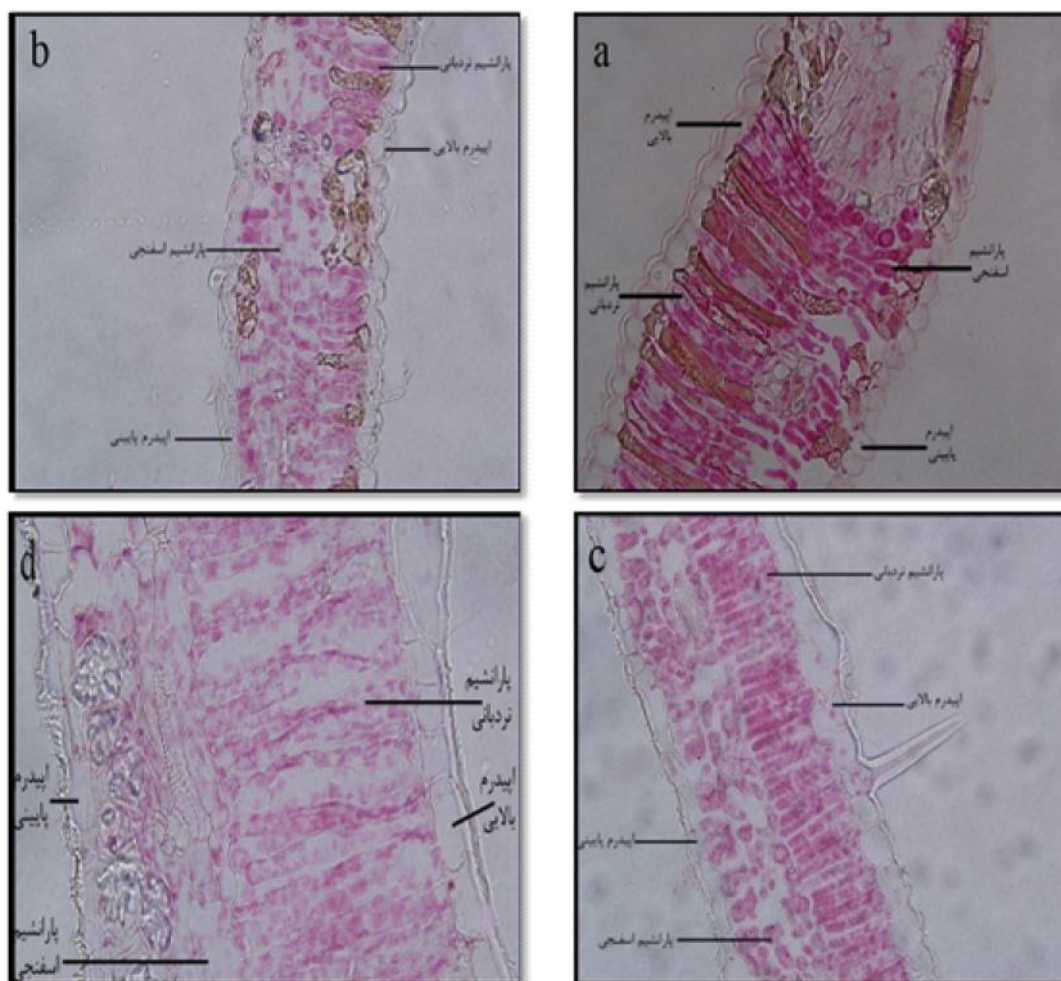
هوای منطقه اثر معنی‌داری (سطح ۰/۰۵) بر میزان گشودگی روزنه در سطح تحتانی برگ عرعر نیز نشان نداد (جدول ۱).

#### اثر آلودگی هوا بر طول پارانشیم نردبانی و قطر پارانشیم اسفنجی برگ افاقیا و عرعر

نتایج حاصل از بررسی تأثیر آلودگی هوا بر پارانشیم نردبانی افاقیا منطقه آلوده اختلاف معنی‌داری (سطح ۰/۰۵) را نشان داد (جدول ۱). میانگین طول پارانشیم نردبانی برگ افاقیا منطقه آلوده و منطقه پاک به ترتیب ۱۳۴/۷۳ و ۱۴۴/۶۳ میکرون محاسبه شد (جدول ۲). بررسی داده‌ها با روش T کاهش معنی‌دار طول پارانشیم نردبانی منطقه آلوده را نسبت به منطقه پاک نشان داد که میزان کاهش ۶/۸۵ درصد بود (شکل ۴a-b). بررسی داده‌ها نشان داد آلودگی هوا بر قطر پارانشیم اسفنجی برگ افاقیا اثر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نداشته است (جدول ۱).

میلی‌متر مربع محاسبه شد (جدول ۲). آنالیز داده‌ها بر اساس روش T کاهش معنی‌دار تراکم روزنه سطح تحتانی برگ افاقیای منطقه آلوده در مقایسه با گیاه مشابه از منطقه پاک را نشان داد که مقدار این کاهش برابر با ۴۳/۲۴ درصد بود (شکل ۳a-b). اثر آلودگی هوا بر تراکم روزنه سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده تغییر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ را نشان داد (جدول ۱). میانگین تراکم روزنه سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده و پاک به ترتیب ۲۴۲/۸۳، ۱۸۵/۸۷ در یک میلی‌متر مربع محاسبه شد (جدول ۳). افزایش معنی‌دار تراکم روزنه در سطح تحتانی برگ عرعر منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک ۳۰/۶۵ درصد محاسبه شد (شکل ۳c-d). در سطح فوقانی پهنک برگ عرعر نمونه‌های مورد بررسی در هر دو منطقه روزنه مشاهده نشد.

بر اساس آنالیز داده‌ها، میزان گشودگی روزنه سطح فوقانی و تحتانی برگ افاقیا تحت تأثیر آلودگی هوا معنی‌دار نبود. آلودگی



شکل ۴: مقایسه طول پارانشیم نردبانی و پارانشیم اسفنجی برگ افاقیا منطقه پاک (a) و آلوده (b) و عرعر منطقه پاک (a) و آلوده (b) با بزرگنمایی (×۴۰).

دهنده به شرایط محیطی است (۲۱). در گیاه *Tithonia diversifolia* مناطق آلوده، طول کرک بیشتر و تراکم کرک کمتر را نسبت به گیاهان قرار گرفته در مناطق غیر آلوده داشتند (۲۲) که مشابه نتایج حاصل در برگ عرعر می‌باشد. کرک‌های بلند ممکن است به‌عنوان یک فیلتر و محافظ عمل کنند و ذرات و مولکول‌های آلودگی را از دهانه روزنه دور نگه دارند (۲۳).

تحت تأثیر آلودگی هوا، تراکم روزنه سطح زیرین برگ افاقیا کاهش نشان داد. تراکم روزنه سطح فوقانی برگ افاقیا تغییر معنی‌داری نداشت طبق تحقیقات دیگری نیز، تعداد روزنه‌های سطح تحتانی برگ افاقیا تحت تأثیر آلودگی هوا کاهش یافته و تغییر تعداد کریپت (روزنه‌های فرو رفته) سطح تحتانی برگ خرزهره در منطقه آلوده معنی‌دار نبود (۱۶). هنگامی که سلول‌های گیاهی در تنش اکسیداتیو قرار می‌گیرند در فاز  $G_1$  چرخه زندگی سلول متوقف می‌مانند و به این‌صورت از آسیب رسیدن به DNA جلوگیری می‌کنند (۲۴) که می‌تواند یکی از دلایل کاهش تراکم روزنه باشد. گونه‌های گیاهی مختلف با صفات سطحی برگ مانند روزنه و کرک‌ها توانایی‌های متفاوتی در کاهش آلاینده‌ها نشان می‌دهند (۱۶ و ۲۵). در تحقیقات حاضر تراکم روزنه سطح تحتانی برگ عرعر افزایش معنی‌داری نشان داد ولی در سطح فوقانی برگ عرعر مناطق پاک و آلوده، روزنه مشاهده نشد. نتایج بررسی Rai و همکاران (۲۵) نیز نشان داد، روزنه در گیاهان *Quisquali indica*، *Nyctanthus arbortristis*، *Terminalia arjuna* مناطق آلوده افزایش یافت پس به‌نظر می‌رسد تعدادی از گیاهان در برابر آلاینده‌های هوا با افزایش روزنه با آلودگی هوا مقابله می‌کنند. تغییر تراکم روزنه به‌عنوان یک واکنش به تنش‌های محیطی و یک شیوه مهم برای کنترل جذب آلاینده‌هاست (۲۶). تعدیل در فراوانی و اندازه روزنه به‌عنوان یک پاسخ به تنش محیطی و یک رفتار مهم برای کنترل جذب آلودگی توسط گیاهان می‌باشد (۶ و ۸). در برگ افاقیا کاهش تراکم روزنه راهی برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به برگ است. همچنین افزایش طول و تراکم کرک نیز ساز و کاری برای تماس و ورود کمتر آلاینده‌ها از سطح برگ و روزنه می‌باشد. در برگ عرعر نیز با وجود کاهش تراکم کرک، افزایش طول کرک عاملی برای تماس کمتر آلاینده‌ها با سطح برگ است و از آنجایی‌که روزنه در سطح فوقانی برگ مشاهده نشد نشان می‌دهد گیاه عرعر با نبود روزنه در سطح فوقانی با وجود افزایش آن در سطح تحتانی، هم از ورود آلاینده‌ها از سطح فوقانی جلوگیری کرده هم مانع تبادل گازهای فتوسنتزی در سطح

بررسی نتایج حاصل از اثر آلودگی هوا بر پارانشیم نردبانی و اسفنجی برگ گیاه عرعر تأثیر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ نشان داد (جدول ۱). میانگین داده‌های حاصل از اثر آلودگی هوا در منطقه آلوده بر سلول‌های پارانشیم نردبانی و اسفنجی به‌ترتیب ۲۹۱/۶۷ ، ۳۳/۱۳ میکرومتر و در منطقه پاک به‌ترتیب ۲۵۷/۴۷ و ۴۵/۳۱ میکرومتر محاسبه شد (جدول ۳). آنالیز داده‌ها بر اساس t-test افزایش طول سلول‌های پارانشیم نردبانی و کاهش قطر سلول‌های پارانشیم اسفنجی را تحت تأثیر آلودگی هوا نشان داد که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بودند. میزان تغییر طول سلول‌های پارانشیم نردبانی و اسفنجی در منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک به‌ترتیب ۱۳/۸۲ و ۲۶/۸۸ درصد محاسبه شد (شکل ۴c-d).

## بحث

### اثر آلودگی هوا بر کرک و روزنه برگ

در تحقیق حاضر تراکم کرک سطح فوقانی برگ افاقیا و عرعر تحت تأثیر آلودگی هوا تغییر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ نشان نداد ولی تراکم کرک سطح زیرین برگ افاقیا افزایش و در عرعر کاهش معنی‌داری نشان داد. همچنین آلودگی هوا باعث افزایش طول کرک سطح فوقانی و تحتانی برگ افاقیا و سطح تحتانی برگ عرعر به‌طور معنی‌داری شد. مطالعات مختلف در این زمینه، نتایج مختلفی را بیان می‌کند. بررسی اثرات آلودگی هوا بر گیاهان *Trifolium repense* و *Acer saccharum* افزایش طول کرک و تراکم کرک را در هر دو سطح برگ نشان داد (۱۵). در تحقیقی مشابه دیگری نیز تعداد کرک تحت تأثیر آلودگی هوای شهر تهران در برگ افاقیا و خرزهره افزایش معنی‌داری داشت (۱۶) که شبیه نتایج حاصل از تراکم کرک برگ افاقیا در تحقیق حاضر می‌باشد. در معرض گاز CO<sub>2</sub>، افزایش تراکم کرک در گیاهان تحت تنش تا ۵۷ درصد گزارش شد (۱۷). افزایش اندازه و تعداد کرک‌ها در گیاهان آفتابگردان تحت تنش خشکی نیز مشاهده شده که به‌خصوص در برگ‌ها می‌تواند برای جلوگیری از تعرق بیشتر باشد. کرک‌ها ممکن است بافت‌های زیری را در برابر پرتوهای فرابنفش حفاظت کنند (۱۸)، همچنین کرک‌ها ممکن است با استفاده مناسب از نور یا تغلیظ شیره سلولی موجب افزایش جذب آب در برگ‌ها شوند (۱۹). افزایش تعداد کرک برگ‌های زیتون تحت شرایط خشکی نیز گزارش شده است (۲۰). بنابراین افزایش کرک‌ها در پاسخ گیاه به تنش برای تحمل بهتر این شرایط است و برگ یکی از اندام‌های پاسخ



نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نداشت. در گیاه *Lotus repense* قطر سلول‌های اسفنجی نسبت به گیاهان آلوده کاهش معنی‌داری نشان داد. در گیاه *Plantago lanceolata* تحت تأثیر آلودگی هوا قطر سلول‌های اسفنجی در برگ‌های آلوده افزایش پیدا کرد ولی طول سلول‌های نردبانی نسبت به گیاه شاهد کاهش پیدا کرد (۶). در گیاه *Quercus ilex* تحت تیمار با گاز دی‌اکسید کربن قطر سلول‌های اسفنجی تغییر معنی‌داری نکرد (۳۰) که مشابه نتایج برگ اقاویا است. نتایج دیگری از تحقیقات رشیدی و همکاران (۳۱) نشان داد که بین افزایش ضخامت پارانشیم نردبانی برگ گیاه زبان گنجشک (*Fraxinus rotundifolia* Mill) و افزایش آلودگی هوا رابطه مثبت و قوی وجود دارد و تعدادی از شاخص‌های آناتومی برگ درخت زبان گنجشک مانند مزوفیل، ضخامت برگ و طول پارانشیم نردبانی با افزایش آلودگی هوا افزایش می‌یابد و این ممکن است باعث تغییر در عملکرد گیاه مانند افزایش شدت فعالیت فتوسنتزی شود. بین طول پارانشیم نردبانی با افزایش آلودگی هوا، رابطه مثبت و قوی وجود دارد و نتایج تحقیقات Reig-Arminana و همکاران (۳۲) موید این موضوع است. این محققان به مسطح شدن پارانشیم اسفنجی در مقابل افزایش بافت نردبانی اشاره دارند. به نظر می‌رسد که تغییر در ساختار پهنک برگ و افزایش ضخامت پارانشیم نردبانی، پاسخ به آلودگی هوا باشد. ساختار پهنک برگ مهم‌ترین قسمت در تعیین واکنش درخت به آلودگی هواست. هوای آلوده از میان بازشدگی‌های طبیعی که به‌صورت معمول روزنه‌ها هستند، وارد گیاه می‌شوند. بعد از گذر از روزنه‌های اپی‌درم تحتانی، گازهای سمی به مزوفیل اسفنجی برخورد می‌کنند. مزوفیل اسفنجی به‌دلیل اندازه بزرگتر سلول‌های اسفنجی در مقایسه با لایه‌های مزوفیل نردبانی، مقاومت کمتری به تبادلات گازی دارد. این نشان می‌دهد که تنش به سلول‌های اسفنجی آسیب زده باعث کوچک شدن سلول‌های اسفنجی یا تخریب سلول‌های اسفنجی و کاهش تعداد آن‌ها شده در واقع سلول‌های اسفنجی نسبت به آلودگی هوا حساس‌ترند (۳۱) که این نتایج مشابه نتایج برگ عرع‌رع می‌باشد. افزایش ضخامت برگ در مناطق آلوده باعث توانایی بیشتر مزوفیل در سم‌زدایی می‌شود (۳۳). از طرف دیگر برگ‌های ضخیم، پتانسیل فتوسنتزی زیادی دارند که ممکن است بیانگر ارتباط مثبت بین ضخیم شدن برگ و آلودگی هوا به‌منظور جبران کاهش فتوسنتز در اثر آلودگی باشد (۳۱). با توجه به نتایج این تحقیق، افزایش طول سلول‌های پارانشیم نردبانی در

تحتانی نشده که با نتایج حاصل از سلول‌های برگ که افزایش طول پارانشیم نردبانی را نشان می‌دهد از کاهش فتوسنتز جلوگیری کرده است. در واقع ساختار برگ عرع‌رع طوری سازماندهی شده که با وجود سطح وسیع آن، عدم وجود روزنه در سطح فوقانی هم از تبخیر آب و هم از ورود آلاینده‌ها و آسیب به پارانشیم‌های نردبانی جلوگیری کرده است و با افزایش روزنه در سطح تحتانی از کاهش فتوسنتز جلوگیری نموده است می‌توان گفت برگ این گیاه سازگاری با مناطق خشک هم دارد خانواده عرع‌رع بومی ایران نیست و تنها گونه‌ای از آن که نسبت به شرایط اقلیمی حساسیت ندارد و به‌ویژه با خشکی سازگار است و سرمای زمستان را تحمل می‌کند گونه "ایلاتوس آلتیسیما" به‌نام عرع‌رع است (۲۷).

نتایج حاصل از این مطالعه تغییر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ در گشودگی دهانه روزنه نشان نداد. طی آلودگی هوای سنگین، ذرات گرد و غبار روی کوتیکول برگ رسوب و به‌دنبال آن به موم نفوذ می‌کنند و شدت آسیب را کاهش می‌دهند. در شرایط نور ناکافی میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد که اگر روند ادامه یابد منجر به تجمع دی‌اکسید کربن در حفره‌های زیر روزنه‌ای می‌شود و از این‌رو بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان حساس صورت می‌پذیرد (۲۸). بنابراین عدم تغییر معنی‌دار دهانه روزنه در گیاهان مورد مطالعه نشان‌دهنده حساسیت کم این دو گیاه به آلاینده‌های هوای این منطقه است. هنگامی که گیاهان در معرض شرایط تنش قرار می‌گیرند، شیوه‌های متفاوتی را انتخاب می‌کنند که هدف از آن ایجاد شرایطی است که گیاه بتواند تنش را تحمل کند و به حیات خود ادامه دهد (۲۹). بنابراین افزایش طول و تراکم کرک و تغییر تراکم روزنه در سطوح برگ راهی برای کاهش تماس و ورود آلاینده‌های هوا از سطح برگ یا روزنه به درون برگ می‌باشد.

#### اثر آلودگی هوا بر پارانشیم نردبانی و پارانشیم اسفنجی

در مطالعه حاضر طول پارانشیم نردبانی برگ اقاویا منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک کاهش معنی‌داری نشان داد ولی قطر پارانشیم اسفنجی تغییر معنی‌داری نداشت در حالی که در برگ عرع‌رع طول سلول نردبانی افزایش و قطر سلول اسفنجی کاهش یافت. در مطالعات مشابهی در گیاهان *Trifolium repense*, *T. pretense*, *T. montanum* تحت تأثیر آلودگی هوا طول سلول‌های نردبانی کاهش پیدا کرد ولی قطر سلول‌های اسفنجی در همه گیاهان به‌جز *Lotus repense*

5. Heath RL. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Ann. Rev. Plant Physio.* 1980; 31: 395-431.
6. Gostin IN. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabacea species. *Not. Bot. Horti. Agro.* 2009; 37(2): 57-63
7. Muneer S, Kim TH, Choi BC, Lee BS, et al. Effect of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> on ROS production, photosynthesis and ascorbate–glutathione pathway to induce *Fragaria annasa* as a hyper accumulator. *Redox Biol.* 2013; 2: 91–98.
8. 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 Observ.* 2012; 4(2): 19-21.
9. Woo SY. Epidermal leaf characteristics and seasonal changes of net photosynthesis of five *Populus*. *Afr. Biotech.* 2010; 9(10): 1455-1458.
10. Jafari M, Noori M, Eshghi-Malayeri B. [Studies of fluorides on vegetation of Iranian aluminium company area and their accumulation in *Medicago sativa*]. *Findings Sci.* 2011; 7(4): 1-9. Persian.
11. Darvish-Sefat AA. [Atlas of Protected Areas of Iran]. Tehran, Iran: Tehran University Press, 2006. Persian.
12. Noori M. Characterization of the Iranian species of *Shophorea* and *Ammodendron* (Leguminosea: Sphorea). Ph.D thesis, University of London and Royal Botanic Garden, Kew, UK. 2002.
13. Kiernan J.A. Histological and histochemical methods: theory and practice. 3thEd. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 1999.
14. Lillie RD. Histopathologic technic and practical histochemistry. 3thEd. New York: the Blakiston company, 1965.
15. Garg KK, Varshney CK. Effect of air pollution on the epidermis at the sub microscopic level. *Cell. Mol. Life Sci.* 1980; 36(12): 1364-1366.
16. Ghorbanli M, Bakhshi-khaniki G, Bakand Z. [Air pollution effects on fresh and dry weight, amount of prolin, number of stomata, trichome and epidermal cell in *Nerium oleander* and *Robinia pseudoacacia* in Tehran city]. *J. Pajouhesh and Sazandegi* No. 2007; 77:28-34. Persian.
17. Karowe DN, Grubb Ch. Elevated CO<sub>2</sub> increases constitutive phenolics and Ttrichomes, but decreases inducibility of phenolics in *Brassica rapa* (Brassicaceae). *J. Chem. Ecol.* 2011; 37(12):1332–1340.
18. Karabourniotis G, Bornman J. Penetration of UV-A , UV-B and blue light through the leaf

تعادل فتوسنتز و مقابله با آلودگی هوا در برگ عرعر می‌تواند موثر باشد.

### نتیجه گیری

پاسخ گیاهان به آلاینده‌های هوا ممکن است بسیار متفاوت و گسترده باشد و اختلاف این پاسخ‌ها می‌تواند به‌وسیله فاکتورهایی از قبیل اختلاف در غلظت آلاینده‌ها و توزیع زمانی آن‌ها، منشا ژنتیکی و فعالیت فیزیولوژیکی گیاهان، عوامل هواشناسی، وضعیت تغذیه گیاه و اثرات دیگر فاکتورهای محیطی ایجاد شود (۳۴). وجود گیاهان افاقیا و عرعر در پارک‌ها، حاشیه خیابان‌ها، بزرگراه‌ها و جاده‌های شهر اراک و ماندگاری آن‌ها در این محیط تا حدودی موید مقاومت احتمالی این گیاهان در برابر آلاینده‌های این شهر صنعتی است. عدم تغییر قطر پارانشیم‌های اسفنجی برگ افاقیا، افزایش طول پارانشیم نردبانی برگ عرعر، افزایش طول کرک و عدم تغییر گشودگی روزنه، انواعی از ساز و کار را در گیاهان افاقیا و عرعر، نسبت به آلودگی هوای منطقه نشان می‌دهد که نشان‌دهنده مقاومت نسبی این گیاهان می‌باشد. در حقیقت عرعر از طرفی با افزایش طول کرک و تعداد روزنه نوعی سیستم دفاعی ایجاد کرده تا هم مانع کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی شود هم مانع آسیب به روزنه‌ها گردد.

### تشکر و قدردانی

از حوزه معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه اراک که حمایت مالی این تحقیق را به‌عهده داشتند و همچنین از قطب تنش های گیاهی دانشگاه اصفهان تشکر و قدردانی می‌شود.

### منابع

1. Omosun G, Markson AA A, Mbanasor O. Growth and anatomy of *Amaranthus hybridus* as affected by different crude oil concentrations. *Am.-Eurasian J Sci. Res.* 2008; 3(1): 70-74.
2. Ling T, Jun R, Fangke Y. Effect of cadmium supply levels to cadmium accumulation by *Salix*. *Int. J. Environ. Sci. Te.* 2011; 8 (3): 493-500.
3. Heath RL, Lefohn AS, Musselman RC. Temporal processes that contribute to non linearity in vegetation responses to ozone exposure and dose. *Atmos. Environ.* 2009; 43: 2919-2928.
4. Rai R, Rajput M, Agrawal M. Gaseous air pollutants: a review on current and future trends of emission and impact on agriculture. *J. sci. res.* 2011; 55: 77-102.

trichome layers of two xeromorphic plants, olive and oak, measured by optical fiber microprobes. *Plant Physiol.* 1999; 105(4): 655-661.

19. Save R, Biel C, Herralde F. Leaf pubescence Water relations and chlorophyll fluorescence in two subspecies of *Lotus Creticus* L. *Plant Biol.* 2000; 43:239-244.

20. Guerfel M, Baccouri O, Boujnah D, Chaib W, et al. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europea* L.) cultivars. *Sci. Hort.* 2009; 119: 257-263.

21. Nevo E, Bolshakova MA, Martyn GI, Musatenko LI, et al. Drought and light anatomical adaptive leaf strategies in three woody species caused by microclimatic selection at Evolution canyon. *Isr. J. Plant Sci.* 2000; 48:33-46.

22. Duldulao MCG, Gomez RA. Effects of vehicular emission on morphological characteristics of young and mature leaves of sunflower (*Tithonia diversifolia*) and napier grass (*Pennisetum purpureum*). *BSU grad. School res. J.* 2008; 85: 142-151.

23. Sharma GK. Cuticular features as indicators of environmental pollution. *Water Air Soil poll.* 1977; 8(1): 15-19.

24. Eshdat Y. Plant glutathione peroxidases. *Physiol. Plantarum.* 1997; 100: 234-240.

25. Rai A, Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *J. Food Agric. Environ.* 2004; 4(1): 253-259.

26. Verma RB, Mahmooduzzafar TO, Siddiqi M, Iqbal. Foliar Response of *Ipomea pestigridis* L. to Coal-Smoke Pollution. *Turk. J. Bot.* 2006; 30(5):413-417.

27. Ghahreman, A. *Plant Systematics: Chormophytes of Iran.* 2<sup>th</sup>Ed. Tehran, Iran: Markaze Nashre publications; 1993; Persian.

28. Suganthi P, Ganeshkumar RS, Govindaraju M, Selvaraj M. Estimation of biochemical characters of plants in response to vehicular air pollution stress in tiruchirappalli city corporation, tamil nadu, India. *Int. J. Recent Sci. Res.* 2013;4(8): 1282- 1289.

29. Majd A, Jonoubi P, Zeinipour M. [Research on the effects of water stress on anatomical structure of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)]. *Quarterly J. Dev. Biol.* 2009; 1(4):11-24. Persian.

30. Paoletti E, Manes F. Effects of elevated carbon dioxide and acidic rain on the growth of holm oak. In: Karnosky DF, Percy KE, Chappelka AH, Simpson G, et al., (eds). *Air pollution, global change*

and forests in the New Millennium. Italy: Elsevier Science; 2003; 375-389.

31. Rashidi F, Jalili A, Kafaki SB, Sageb-Talebi K, et al. Anatomical response of leaves of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) to urban pollutant gases and climatic factors. *Trees.* 2011; 26(2): 363-375.

32. Reig -Armiñana J, Calatayud V, Cervero J, Garcia-Breijo FJ, et al. Effects of ozone on the foliar histology of the mastic plant (*Pistacia lentiscus* L.). *Environ. Pollut.* 2004; 132: 321-331.

33. Geros G, Marzuolib R, Bussottic F, Pancrazic M, et al. Ozone Sensitivity of *Fagus sylvatica* and *Fraxinus excelsior* young trees in relation to leaf structure and foliar ozone uptake. *Environ. Pollut.* 2003; 125(1): 91-98.

34. Assadi A, Ghasemi- pirpalouti A, Malekpoor F, Teimori N, et al. Impact of air pollution on physiological and morphological characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* Den. *J. food agric. environ.* 2011; 9(2): 676-679.

## Anatomical Study of the Air Pollution Effect on *Robinia pseudoacacia* and *Ailanthus altissima* Leaves Near to Iran Aluminum Co. (IRALCO)

Amini F, Ph.D<sup>1\*</sup>, Fattah Ravandi, N., M.Sc. Student<sup>2</sup>, Askary Mehrabadi, M., Ph.D<sup>1</sup>

1. Department of Biology, Faculty of Science, Arak University, Arak 38156-8-8349, Iran

2. M.Sc. of Plant Physiology, Department of Biology, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

\* Email corresponding author: f-amini@araku.ac.ir

Received: 7 Mar. 2015

Accepted: 15 Aug. 2015

---

### Abstract

**Aim:** The goal of the present research was evaluation of the effects of industrial area air pollution of Arak Aluminum Company on *Robinia pseudoacacia* (acacia) and tree-of-heaven anatomical changes.

**Material and methods:** Information from the Environmental Protection Agency of Markazi province, Aluminum park as the infected area and Haftad-Ghole in 35 kilometers of Arak as the area clean were used. Leaf samples of *Robinia* and *Alianthus* were harvested in August 2013 simultaneously. Density and length of trichomes, stomatal density and opening, length of the palisade cells and diameter of the spongy cells of leaf were measured. Data analysis were performed by SPSS 16 and Excel software and means comparison by T-Test.

**Results:** Under air pollution, trichome density in abaxial epidermis and trichome length in both surfaces of epidermis of acacia leaf increased significantly. Also in tree-of-heaven leaf, trichome density decreased and trichome length increased on abaxial epidermis significantly. Stomatal density on abaxial epidermis of *acasia* and tree-of-heaven leaves exposed to air pollution decreased and increased, respectively. Stomatal opening of *Robinia* and *Ailanthus* leaves had no significant effect. Length of the palisade cells of leaf in infected area decreased in *acacia* and increased in tree-of-heaven as compared with clean area, diameter of the spongy cells had no significant change in *acacia* leaf but decreased in tree-of-heaven leaf.

**Conclusion:** Results showed the anatomical changes in both plants for further compromise with regional air pollution.

**Keywords:** Air pollution, Palisade and spongy cells, Stomata, Trichome