

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران  
 شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2021.356258.2023  
 جلد ۲۹ شماره ۳، صفحه ۲۸۴-۲۷۳، (۱۴۰۰)  
 شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1400.29.3.6.3

## توان گونه‌های جنگلی بلوط (*Quercus spp.*) و پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) در جذب ذرات ریزگرد

ایوب مرادی<sup>۱\*</sup>، کامبیز طاهری آبکنار<sup>۲</sup>، نقی شعبانیان<sup>۳</sup> و منصور افشار محمدیان<sup>۴</sup>

\*- نویسنده مسئول، پژوهشگر پسادکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

پست الکترونیک: auiobmoradi60@gmail.com

۱- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۴- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

### چکیده

طوفان‌های گردوغبار، منبع عمده ذرات جامد در جهان هستند که تأثیر قابل‌توجهی بر آلودگی هوا، سلامت انسان و محیط‌زیست دارند. برگ‌های گیاهان نه تنها با جذب ذرات معلق موجود در هوا، کیفیت آن را بهبود می‌دهند، بلکه تحت تأثیر انباشت ذرات ریزگرد روی خود نیز هستند. هدف از پژوهش پیش‌رو، ارزیابی مقدار جذب ریزگردها توسط برگ گونه‌های غالب درختی شامل بلوط ایرانی (*Quercus Brantii* Lindl.)، وی‌ول (*Q. libani* Oliv.)، مازودار (*Q. infectoria* Oliv.) و پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) در جنگل‌های زاگرس شمالی بود. به این منظور با استفاده از یک شبکه آماربرداری منظم تصادفی در جنگل‌های شهرستان مریوان در استان کردستان از خاک منطقه، برگ درختان و ریزگرد رسوب‌یافته روی آن‌ها نمونه‌برداری شد. فراساختار برگ گونه‌های مذکور توسط میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. عناصر موجود در خاک منطقه و ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ درختان به تفکیک گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از سیستم EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) و دستگاه جذب اتمی ارزیابی شدند. در نهایت، توان هر هکتار جنگل در جذب ریزگرد برآورد شد. نتایج نشان داد که ساختار ریخت‌شناختی برگ‌های هر سه گونه بلوط و نیز پسته وحشی به‌طور کامل با یکدیگر متفاوت هستند. این تفاوت‌ها، نقش متمایزی در رسوب ریزگرد روی برگ درختان ایفا می‌کنند. بیشترین مقدار جذب ریزگرد توسط برگ در بلوط ایرانی (۰/۰۱۲ گرم در هر برگ) و سپس، در مازودار (۰/۰۰۶ گرم در هر برگ) و وی‌ول (۰/۰۰۵ گرم در هر برگ) مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار این متغیر مربوط به پسته وحشی (۰/۰۰۱۵ گرم در هر برگ) بود. مقدار ریزگرد رسوبی در یک هکتار از جنگل‌های مورد مطالعه با موجودی خوب (۴۰۰ اصله در هکتار) ۸۷/۷ کیلوگرم برآورد شد. نتایج آزمایش EDS نشان داد که عناصر رادیواکتیو، سنگین، سمی و خطرناک در نمونه‌های خاک وجود نداشتند. یافته‌های این پژوهش بیانگر نقش خوب درختان جنگلی در پالایش هوای آلوده از ریزگرد و نیز توان متفاوت گونه‌های مورد مطالعه برای جذب آن هستند.

واژه‌های کلیدی: جذب ذرات، جنگل‌های زاگرس، درختان جنگلی، طوفان ریزگرد.

### مقدمه

بوم‌شناختی هستند که برای حیات گونه‌های گیاهی، جانوری و از جمله انسان بسیار خطرناک هستند. به طوری که پس از دو

ریزگردها به‌عنوان یکی از آلاینده‌های هوا بیانگر آشفتنگی

نقش بسیار مهم این بوم‌سازگان‌های ارزشمند در تصفیه هوا و جذب گردوغبار، تاکنون پژوهش‌های اندکی در زمینه ارزیابی مقدار جذب ریزگردها توسط گونه‌های مختلف جنگلی و اثرات مضر آن‌ها در این مناطق انجام شده‌اند. با این حال، بررسی ترکیبات شیمیایی و فیزیکی ریزگردها به منظور منشأیابی و تعیین عناصر مضر، مقدار جذب ریزگردها توسط گونه‌های مختلف جنگلی، نحوه و مقدار تأثیر آن‌ها بر درختان و نیز اثر وجود جنگل بر ریزگردها، بسیار ضروری است. با توجه به چالش‌های مذکور و ضرورت‌های پژوهشی در منطقه رویشی زاگرس، پژوهش پیش‌رو با هدف ارزیابی عناصر موجود در ریزگردها، فراساختار برگ گونه‌های درختی غالب (بلوط و بنه) در جنگل‌های زاگرس و مقدار جذب ریزگردها توسط گونه‌های مذکور انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

پژوهش پیش‌رو در بخشی از جنگل‌های حوضه چناره شهرستان مریوان (مسیر مریوان به سقز) در استان کردستان به مساحت ۱۷۰۵ هکتار انجام شد که به طور مستقیم در معرض ریزگردها بودند. این منطقه در طول جغرافیایی ۶۱۶۸۶۲ تا ۶۲۱۹۴۰ شرقی و عرض ۳۹۴۰۷۰۵ تا ۳۹۴۷۱۰۰ شمالی واقع در زون ۳۸ در سیستم مختصات UTM قرار دارد. کمینه و بیشینه ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱۴۵۰ و ۲۱۰۰ متر هستند. اطلاعات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مریوان (طول جغرافیایی ۶۰۴۴۴۹ شرقی و عرض ۳۹۲۸۷۳۷ شمالی واقع در زون ۳۸) برای دوره آماری ۳۵ ساله (سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۵ هجری شمسی) نشان داد که بارش و متوسط دمای سالانه در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۹۳۲/۷ میلی‌متر و ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد هستند. پوشش غالب درختی در این منطقه شامل سه گونه بلوط ایرانی (*Quercus Brantii* Lindl.)، وی‌ول (*Q. libani* Oliv.) و مازودار (*Q. infectoria* Oliv.) هستند. پژوهش پیش‌رو در مورد این گونه‌ها و پسته وحشی (*Pistacia atlantica* Desf.) به عنوان یکی دیگر از گونه‌های غالب درختی در جنگل‌های چناره انجام شد.

چالش عمده تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، ریزگردها را می‌توان به عنوان سومین چالش عمده جهانی به‌شمار آورد (Khoran & Rahimi, 2013). گردوغبار به دلیل کوچک بودن ذرات آن می‌تواند تا ارتفاعات بالای جو انتقال یابد و مسافت زیادی را در سطح زمین طی کند (Taherzadeh Mousavian & Taheri Abkenar, 2013). بنابراین اثرات آن فقط محدود به محل وقوع طوفان‌ها نمی‌شود، بلکه پیامدهای گردوغبار را می‌توان کیلومترها دورتر از محل وقوعشان مشاهده کرد. همین امر سبب اهمیت جهانی این نوع حوادث و رویدادها شده است (Taherzadeh Mousavian & Taheri Abkenar, 2013). به طور معمول، گردوغبار شامل ترکیبات پیچیده‌ای از عناصر شیمیایی مانند سیلیس، کربن، کلسیم، پتاسیم و برخی مواد آلی خطرناک است که پیامدهای منفی بسیاری بر آب‌وهوا، محیط‌زیست، پوشش گیاهی، انسان، جانوران دیگر و نیز اقتصاد مناطق درگیر می‌گذارد (Khoran & Rahimi, 2013). این پدیده طی سال‌های اخیر، غرب و جنوب غربی ایران را تحت تأثیر قرار داده است. بیشتر گردوغبارهای این مناطق، منشأ خارجی دارند (Azizi et al., 2012; Zarasvandi et al., 2012) و اغلب، آن را به عراق نسبت می‌دهند. این کشور برای سال‌های زیادی درگیر جنگ بود و استفاده از اورانیم ضعیف‌شده در جنگ‌های آن گزارش شده است (Yousefi & Najafi, 2013). همان‌طور که ذکر شد، گردوغبار به دلیل اندازه کوچک ذرات آن می‌تواند مسافت زیادی را طی کند، بنابراین احتمال دارد که این عناصر آلاینده و سمی در گردوغبارهای برخاسته از کشور عراق وجود داشته باشند.

جنگل‌ها و فضای سبز به‌عنوان یک صافی (Filter) در مقابل گردوغبار عمل می‌کنند و بخش زیادی از آن را از هوا جذب می‌کنند، بنابراین بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌نوعی سبب تصفیه هوا می‌شوند. جنگل‌های زاگرس در مناطق غرب و جنوب غرب ایران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صافی‌های طبیعی یا همان ریه‌های ایران در مقابل این پدیده هستند، اما متأسفانه بخش‌های قابل‌توجهی از آن‌ها طی سال‌های گذشته تخریب شده‌اند. علی‌رغم هجوم ریزگردها به جنگل‌های زاگرس و

## روش پژوهش

نمونه‌برداری از برگ درختان

یک شبکه آماربرداری با فاصله‌های منظم (۷۰۰ × ۹۰۰ متر مربع) و براساس تعداد درختان مورد نیاز برای نمونه‌برداری (۴۰ تکرار) طراحی شد و با رعایت اصول تصادفی در منطقه مورد مطالعه پیاده شد. مراکز تقاطع ضلع‌های شبکه به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. به‌منظور شناخت عناصر موجود در ریزگردها و مقدار جذب آن‌ها توسط گونه‌های مورد مطالعه، نزدیک‌ترین درخت از هر گونه به هرکدام از نقاط نمونه‌برداری انتخاب شدند. از هر درخت نمونه، ۲۰ برگ به‌صورت تصادفی در چهارجهت اصلی جغرافیایی از تاج درخت جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌برداری از برگ درختان در نیمه دوم شهریورماه با پایان یافتن ریزگردها انجام شد.

## نمونه‌برداری از خاک

برای بررسی کامل عناصر موجود در ریزگردها و نیز مقایسه ریزگردهای روی برگ درختان با ریزگردهای موجود در خاک پای درختان جنگلی، منطقه مورد مطالعه به سه دامنه ارتفاعی ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰، ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ و ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متر از سطح دریا تقسیم شد. در هر دامنه، سه نمونه با پراکنش یکسان در محدوده لایه سطحی خاک به عمق پنج سانتی‌متر برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

## آنالیز عناصر موجود در ریزگرد

برای شناسایی عناصر موجود در ریزگردهای رسوب‌یافته روی برگ درختان و نیز عناصر موجود در نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده از سیستم EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) استفاده شد. همچنین، برای بررسی دقیق‌تر عناصر موجود در ریزگردها از جمله عناصر فلزی سمی و سنگین و مواد رادیواکتیو، نمونه‌های خاک جمع‌آوری‌شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometry) بررسی شدند.

## اندازه‌گیری سطح برگ

برای اندازه‌گیری سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه، ۳۰ عدد از برگ‌های جمع‌آوری‌شده برای هر گونه به‌طور تصادفی انتخاب شدند. سپس به‌وسیله دستگاه مساحت‌سنج برگ (Leaf Area Measurement System) مدل T و با استفاده از نرم‌افزار WinDias 2.0، میانگین سطح برگ در هر گونه مشخص شد.

## بررسی فراساختار برگ

به‌منظور ارزیابی ساختارهای ریخت‌شناختی (Morphological) و کالبدشناختی (Anatomical) برگ گونه‌ها و تأثیر آن‌ها بر مقدار نشست ریزگرد روی برگ درختان، برخی از این صفات در هر دو سطح زیرین و زبرین برگ توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) نگاره مدل LEO 1430VP بررسی شد.

برآورد مقدار ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ در آزمایشگاه برای تعیین دقیق مقدار ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ گونه‌های مورد مطالعه، ۲۰ برگ نمونه از هر گونه به‌تفکیک با آب مقطر شسته شدند. سپس، محلول گردوغبار به‌دست‌آمده در دستگاه سانتریفیوژ (به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه) قرار داده شد تا بخش رسوبی آن تفکیک شود. بخش رسوبی (ذرات ریزگرد) به‌دست‌آمده به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شود. سپس، ذرات ریزگرد برای هر گونه به‌طور جداگانه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند. با استفاده از میانگین سطح برگ‌های جمع‌آوری‌شده، وزن مقدار ریزگرد رسوب‌یافته در میانگین سطح برگ برای هر یک از گونه‌ها برآورد شد.

برآورد مقدار ریزگرد رسوبی در یک هکتار جنگل در چهار مرحله به شرح زیر، مقدار ریزگرد رسوبی در یک هکتار از جنگل‌های مورد مطالعه برآورد شد.

گونه‌های مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد داشتند. بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین سطح برگ به ترتیب متعلق به بلوط ایرانی (۳۹/۷۳ سانتی‌متر مربع) و پسته وحشی (۱۸/۴۵ سانتی‌متر مربع) بودند. براساس نتایج آزمون دانکن، میانگین سطح برگ گونه‌های مذکور، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشتند، درحالی‌که تفاوت بین میانگین سطح برگ‌های مازودار (۲۳/۲۱ سانتی‌متر مربع) و وی‌ول (۲۳/۲۷ سانتی‌متر مربع) معنی‌دار نبود.

#### فرا ساختار برگ گونه‌های مورد مطالعه

##### کرک برگ

در تصاویر SEM مربوط به برگ هر سه گونه بلوط مورد مطالعه، چهار نوع کرک و در پسته وحشی، دو نوع کرک مشاهده شد. در سه گونه بلوط بررسی‌شده، کرک ستاره‌ای (Stellate) هم در روی برگ و هم در زیر برگ وجود داشت. کرک منشعب (Multiradiate) فقط در برگ‌های بلوط ایرانی مشاهده شد. کرک منفرد و بلند (Solitary) در هر دو روی برگ‌های وی‌ول، مازودار و پسته وحشی وجود داشت. کرک دسته‌ای (Fasciculate) نیز در برگ‌های وی‌ول و مازودار دیده شد. همچنین، کرک غده‌ای (Glandular) فقط در برگ پسته وحشی (در هر دو سطح زیرین و زبرین برگ) وجود داشت. در هر سه گونه بلوط، تراکم کرک در سطح زیرین برگ بیشتر از سطح رویی آن بود. به طوری‌که میانگین تعداد کرک در هر میلی‌متر مربع از سطح رویی و زیرین برگ گونه‌های بلوط ایرانی، وی‌ول و مازودار به ترتیب ۱۸ به ۵۴، نه به ۱۸، هفت به چهارده عدد به دست آمد. در بین گونه‌های مذکور، بیشترین تراکم کرک در واحد سطح برگ معلق به بلوط ایرانی بود (شکل ۱). کرک‌ها در برگ پسته وحشی از دو نوع منفرد بلند و غده‌ای بودند. کرک‌های منفرد سوزنی‌شکل بلند اغلب در امتداد و روی رگ‌برگ‌ها مشاهده شدند، درحالی‌که این کرک‌ها در حاشیه برگ، کوتاه‌تر بودند. کرک‌های غده‌ای تک‌سلولی در همه سطح زیرین و رویی برگ پسته وحشی با تراکم کمی وجود داشتند (شکل ۱).

۱- مقدار ریزگرد در واحد سطح برگ به تفکیک چهار گونه مورد مطالعه به دست شد. ۲- تعداد برگ در هر اصله درخت از گونه‌های مورد مطالعه براساس معادله‌های پیشنهادشده توسط Adl (۲۰۰۷) و Abasi (۲۰۱۴) محاسبه شد. ۳- تعداد پایه در هکتار و درصد اختلاط گونه‌ها در منطقه مورد مطالعه با کاربرد نتایج گزارش‌شده توسط Binandeh (۲۰۱۸) برآورد شد. ۴- با استفاده از داده‌های مرحله‌های پیشین، میانگین مقدار ریزگرد رسوبی در یک هکتار جنگل از منطقه مورد مطالعه برآورد شد.

#### تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی تأثیر نوع گونه درختی بر مقدار رسوب ریزگرد روی برگ آن‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری شده با آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی شد. سپس، داده‌ها در قالب یک طرح کامل تصادفی با چهار تیمار (بلوط ایرانی، مازودار، وی‌ول و بنه) و ۲۰ تکرار، تجزیه واریانس شدند. با توجه به همگنی واریانس میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن به منظور مقایسه میانگین‌های به دست آمده و انتخاب بهترین تیمار استفاده شد.

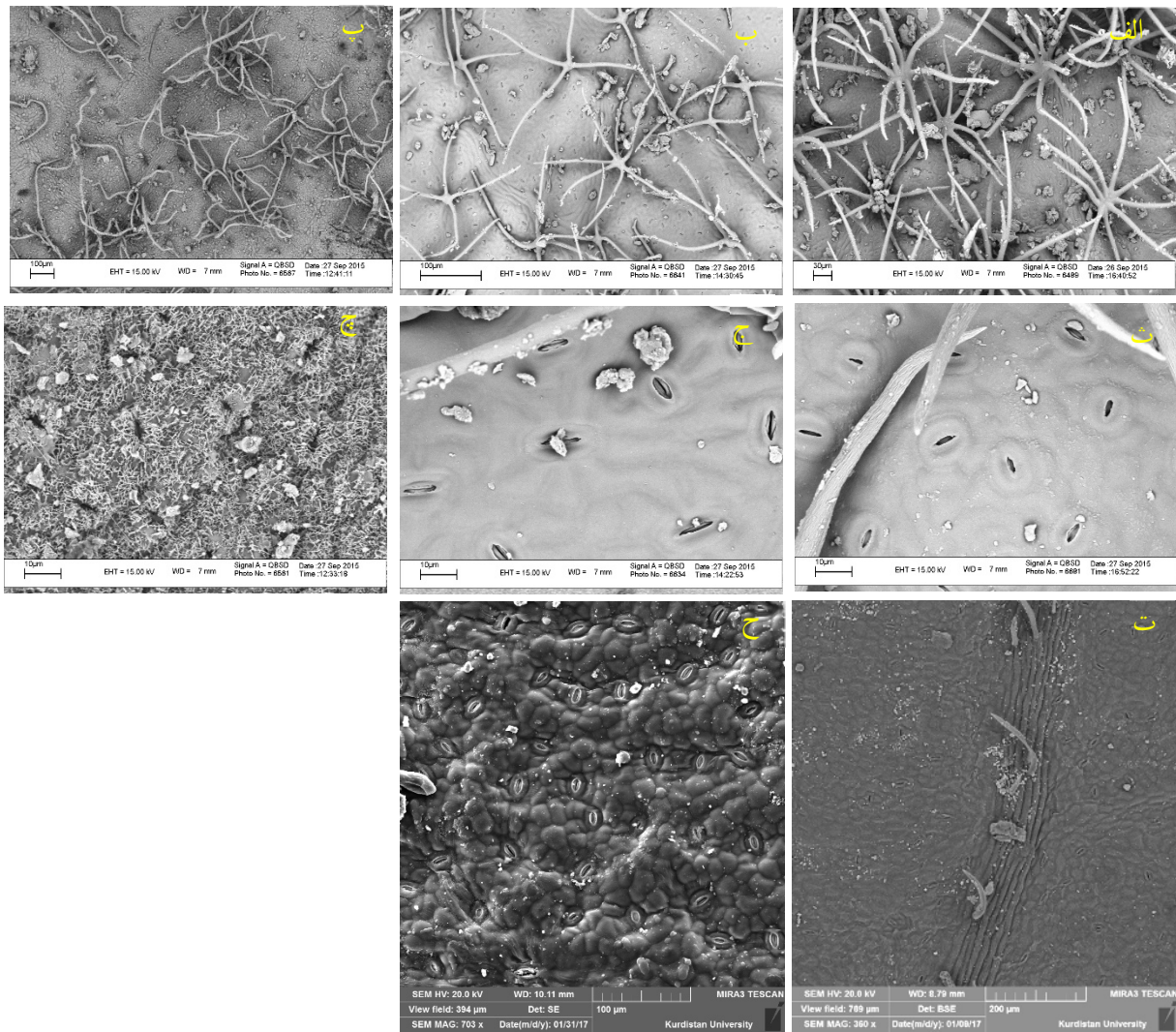
#### نتایج

##### عناصر خاک و ریزگرد روی برگ درختان

نتایج آزمایش EDS خاک نشان داد که در هر سه طبقه ارتفاع از سطح دریا، تفاوتی از نظر عناصر موجود در نمونه‌های خاک وجود ندارد. براساس نتایج سیستم EDS و دستگاه جذب اتمی، در هیچ‌کدام از نمونه‌های خاک، عناصر رادیواکتیو، سنگین و سمی مشاهده نشد. همچنین، درصد حضور عناصر رادیواکتیو و خطرناک در برگ‌های نمونه، بسیار ناچیز بود. به نحوی‌که از کل ۴۰ نمونه برگ فقط در یک یا دو نمونه، شش عنصر خطرناک رادیواکتیو با درصد کمی یافت شدند.

##### سطح برگ

براساس نتایج آنالیز واریانس، سطح برگ درختان بین



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار برگ گونه‌های مورد مطالعه

کرک سطح برگ: الف- بلوط ایرانی، ب- وی‌ول، پ- مازودار و ت- پسته وحشی. روزنه و موم سطح برگ: ث- بلوط ایرانی، ج- وی‌ول، چ- مازودار و ح- پسته وحشی.

روزنه برگ

روزنه‌ها در هر سه گونه بلوط از نوع آنموسیتیک (Anomocytic) بودند که فقط در سطح زیرین برگ وجود داشتند، درحالی‌که روزنه‌های برگ پسته وحشی در هر دو سطح برگ مشاهده شدند. در سطح زیرین برگ این گونه، روزنه‌ها به صورت تصادفی پخش شده بودند، اما آن‌ها در سطح رویی برگ، بیشتر نزدیک به رگ‌برگ میانی قرار گرفتند. روزنه‌های برگ پسته وحشی اغلب از دو نوع

پوشش مومی (Wax) روی اپیدرم برگ

موم سطح برگ (Epicuticular wax) در بلوط ایرانی و وی‌ول از نوع لایه‌ای نرم (Smooth layers) بود که همه سطح برگ را می‌پوشاند. این لایه در مازودار از نوع موم پلاکتی نامنظم (Irregular platelets) و در پسته وحشی به صورت لایه‌های نازک (Thin layers) یا ورقه‌ای (Flakes) بود. در این گونه اغلب کریستال‌های مومی روی سطح برگ و یا نزدیک به روزنه‌ها مشاهده شدند (شکل ۱).

مقدار ریزگرد رسوب‌یافته در واحد سطح برگ، درخت و جنگل

براساس نتایج پژوهش Binandeh (۲۰۱۸)، تراکم درختان در منطقه مورد مطالعه حدود ۴۰۰ اصله در هکتار است. بلوط ایرانی، وی‌ول، مازودار و گونه‌های دیگر به ترتیب ۱۵۸، ۱۶۰، ۲۷ و ۵۵ اصله در هکتار از آن را تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه گونه بنه یکی از گونه‌ها در ردیف سایر گونه‌ها می‌باشد و با در نظر گرفتن اینکه سایر گونه‌ها نیز می‌توانند حداقل به اندازه گونه بنه ریزگرد جذب نمایند، میزان ریزگرد نشسته روی هر درخت و در هر هکتار از جنگل به شرح جدول ۱ می‌باشد. مقدار ریزگرد رسوب‌یافته در هر هکتار از جنگل مورد مطالعه حدود ۸۷/۶۷ کیلوگرم برآورد شد (جدول ۱).

آنموستیک و آکتنوستیک (Actinocytic) بودند (شکل ۱). همچنین، سطح زیرین برگ این گونه، روزنه‌های بیشتری نسبت به سطح رویی آن داشت.

مقدار ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف گونه‌های مورد مطالعه از نظر مقدار ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. همچنین، نتایج آزمون دانکن نشان داد که بیشترین مقدار جذب ریزگرد توسط برگ در بلوط ایرانی (۰/۲۳۸ گرم در ۲۰ برگ) و پس‌از آن در مازودار (۰/۱۱۵ گرم در ۲۰ برگ) و وی‌ول (۰/۱۱ گرم در ۲۰ برگ) مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار این متغیر مربوط به پسته وحشی (۰/۰۳ گرم در ۲۰ برگ) بود.

جدول ۱- مقدار ریزگرد رسوب‌یافته در واحد سطح برگ، درخت و جنگل

گونه	تعداد برگ در یک اصله درخت	مقدار ریزگرد (گرم)	
		در یک برگ	در یک اصله درخت
بلوط ایرانی	۲۸۱۷۶	۰/۰۱۱۹	۳۳۵/۲۹
وی‌ول	۳۲۰۰۸	۰/۰۰۵	۱۶۰/۰۴
مازودار	۳۰۲۰۲	۰/۰۰۵۷۵	۱۷۳/۶۶
پسته وحشی	۵۳۳۰۸	۰/۰۰۱۵	۷۹/۹۶
کل	-	-	-
			۸۷۶۶۸/۸۴

## بحث

عناصر موجود در ریزگرد

مس، روی و کروم در برگ همه یا تعدادی از گونه‌های مورد مطالعه در محدوده سمی قرار داشت، اما در همه نمونه‌های خاک پژوهش پیش‌رو، عناصر نیکل، مس، روی، آهن و منگنز کمتر از حد استاندارد بودند. آرسنیک، کادمیم و سرب نیز در این نمونه‌ها یافت نشد.

در مقایسه با گروه‌بندی Pant و Harrison (۲۰۱۳)، نتایج پژوهش پیش‌رو نشان دادند که منشأ عناصر موجود در گردوغبار بررسی‌شده، خاک هستند. Azizi و همکاران (۲۰۱۲) با ردیابی گردوغبار در نیمه غربی ایران دریافتند که منطقه مرزی بین سوریه و عراق و مسیر شمال غربی - جنوب

در نمونه‌های ارزیابی‌شده از ریزگرد رسوب‌یافته روی برگ درختان در پژوهش پیش‌رو، فقط در یک یا دو نمونه، شش عنصر خطرناک رادیواکتیو با درصد کمی یافت شدند. Yousefi و Najafi نیز (۲۰۱۳) با ارزیابی اورانیم ضعیف‌شده در خاک و هوای جنوب غربی ایران، عدم حضور این مواد را تأیید کردند. Zarasvandi و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تأثیر گردوغبار بر جذب فلزات سنگین در سه گونه درختی و خاک آن‌ها در شهر اهواز گزارش کردند که غلظت نیکل، سرب،

به ترتیب ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱۵ گرم در هر برگ برآورد شد. گفتنی است که تفاوت مقدار جذب ریزگرد فقط بین بلوط ایرانی با گونه‌های دیگر و نیز بین پسته وحشی با سه گونه دیگر معنی‌دار بود. علت این تفاوت‌ها به ساختار متفاوت ریزریخت‌شناختی برگ گونه‌های مورد مطالعه برمی‌گردد. نوع و تراکم کرک، نوع موم و روزنه در برگ‌های هر چهار گونه مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت بودند. به طوری که برگ‌های با کرک‌های مترکم و انشعاب‌های بازویی زیاد می‌توانند ریزگرد بیشتری را به خود جذب می‌کند. این نتایج در راستای یافته‌های پژوهش‌های پیشین مبنی بر تأثیر ساختار ویژه کرک‌های زیرین و زیرین برگ بر جذب ریزگرد هستند (Burkhardt, 2010; Dzierzanowski *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012). کرک، عاملی برای زبری سطح برگ است. در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است که هرچه سطح برگ زبرتر باشد، مقدار ذرات بیشتری بر روی آن رسوب می‌کنند (Beckett *et al.*, 2000; Sæbø *et al.*, 2012). همچنین، زبری و پستی‌وبلندی‌های سطح برگ، تسهیل‌کننده جذب ریزگرد در برگ هستند. این عامل به‌همراه تراکم کرک در هر دو سطح زیرین و زیرین برگ، ظرفیت نگهداری گردوغبار در گونه‌ها را تعیین می‌کنند (Younis *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2013). تراکم کرک در سطح زیرین برگ بلوط ایرانی بیشتر از روی برگ آن است. همچنین، تراکم کرک‌های ستاره‌ای و منشعب روی برگ این گونه بسیار زیاد است. به طوری که این کرک‌ها به شکل لایه‌ای تورمانند درهم‌تنیده شده‌اند و نقش بسیار مهمی در به دام انداختن ذرات گردوغبار ایفا می‌کنند. همچنین، آن‌ها همانند یک چتر در بالای سطح روزنه‌های برگ قرار می‌گیرند که نقش بسیار مهمی در حفاظت از روزنه و جلوگیری از بسته شدن آن‌ها توسط ذرات گردوغبار دارند. نکته حائز اهمیت دیگر اینکه تصاویر SEM از کرک‌های سطح برگ نشان داد که در بلوط ایرانی و وی‌ول، نقطه اتصال کرک‌ها به سطح اپیدرم برگ به صورت چاله‌ای است که سبب تجمع زیادتر ریزگرد در این ناحیه می‌شود. براساس دانش نگارندگان تاکنون به این نکته در پژوهش‌های پیشین اشاره نشده است.

شرقی به ترتیب منشأ و مسیر اصلی ورود گردوغبار برای نیمه غربی ایران هستند. آن‌ها همچنین عوامل انسانی مانند احداث سدهای عظیم روی رودهای منتهی به حوضه آبریز بین‌النهرین (عراق) توسط کشورهای همسایه را از عوامل تأثیرگذار دیگر بر این پدیده ذکر کردند. با توجه به این مطالب می‌توان نتیجه گرفت که ریزگردهای موجود در منطقه مورد مطالعه پژوهش پیش‌رو، حاصل فرسایش کانون‌های گردوغبار ذکرشده به خصوص فرسایش زمین‌های کشاورزی و باتلاق‌های خشک‌شده منطقه بین‌النهرین هستند. شایان ذکر است که این کانون جدید در شمال غرب عراق، ده‌ها برابر کانون‌های دیگر، گردوخاک ایجاد می‌کند. به طوری که کانون‌های دیگر از نظر شدت، مدت و فراوانی فعالیت با این کانون قابل مقایسه نیستند.

#### ساختارهای ریخت‌شناختی و کالبدشناختی برگ

برخی از ویژگی‌های برگ شامل پوشش مومی، کرک‌ها و نوع، تعداد و محل استقرار روزنه‌ها در ساختار برگ گونه‌های مختلف می‌توانند نقش مهمی در مقدار جذب و عملکرد ریزگردها، تبادلات گازی برگ، فتوسنتز، تعرق و جلوگیری از نفوذ قارچ‌ها و عوامل آلاینده از مسیر روزنه‌ها ایفا کنند (Prusty *et al.*, 2005; Wang, 2011; Liu *et al.*, 2012; Song *et al.*, 2015)، بنابراین در پژوهش پیش‌رو، برخی صفات ریزریخت‌شناختی مؤثر با استفاده از SEM بررسی شد. نتایج به دست آمده علاوه بر تشریح فراساختاری برگ، بیانگر تفاوت در ساختارهای ریخت‌شناختی و کالبدشناختی برگ بین گونه‌های مورد مطالعه بود. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط Ait Said و همکاران (۲۰۱۱)، Panahi و همکاران (۲۰۱۲) و نیز Mehrnia و Assadi (۲۰۱۵) همخوانی دارند.

#### مقدار ریزگرد رسوب یافته روی برگ

براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، مقدار ریزگرد رسوب یافته روی برگ درختان، اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های مورد مطالعه داشتند ( $p \leq 0/01$ ). مقدار جذب ریزگرد توسط برگ‌های بلوط ایرانی، مازودار، وی‌ول و پسته وحشی

نداشتند. موم برگ پسته وحشی نیز توانایی اندکی در جذب ریزگرد دارد. همچنین، سطح برگ در این گونه تقریباً صاف و صیقلی و تراکم کرک و روزنه روی آن بسیار کم است، بنابراین ریزگردها، توان ماندگاری روی سطح برگ پسته وحشی را ندارند و به آسانی توسط عواملی مانند باد و باران از روی برگ می‌افتند. براساس تصاویر SEM، شکل شیاردار و ناهموار اپیدرم سطح برگ در پسته وحشی تاحدودی به نگهداری ریزگرد روی سطح آن کمک می‌کند. Chen و همکاران (۲۰۱۷) نیز ذکر کردند که زبری زیاد ناشی از تراکم کرک، غده، شیارها و رگ‌برگ‌های سطح برگ باعث افزایش انباشت ذرات روی برگ درختان می‌شود.

روزنه‌ها، نقش مهمی در انباشت و جمع‌آوری ذرات ایفا می‌کنند. Yang و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی برگ‌های نه گونه گیاهی در شهر پکن چین دریافتند که برگ‌های با تراکم زیاد روزنه (بیشتر از ۱۸۹ روزنه در میلی‌متر مربع)، توانایی قابل توجهی در جمع‌آوری ذرات PM<sub>2.5</sub> دارند، درحالی‌که این رابطه برای برگ گونه‌هایی با تراکم کم روزنه مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که تراکم زیاد روزنه‌ها سبب رسوب بیشتر ذرات روی سطح برگ می‌شود (Yang *et al.*, 2015). در پژوهش پیش‌رو با توجه به تراکم اندک روزنه‌ها در برگ پسته وحشی و تراکم زیاد آن‌ها در برگ‌های گونه‌های بلوط می‌توان نتیجه گرفت که روزنه‌ها نیز با افزایش زبری برگ بلوط در به دام انداختن ریزگرد نقش دارند. در مورد برگ بلوط ایرانی، تفاوت‌هایی وجود دارد. در این گونه، نقش کرک‌ها در به دام انداختن ذرات ریزگرد از یک طرف و نقش حفاظتی آن‌ها در برابر اثرات منفی ذرات گردوغبار (جلوگیری از مسدود شدن روزنه‌ها و اختلال در عمل جذب دی‌اکسیدکربن) از طرف دیگر، بسیار مهم هستند.

برگ بلوط ایرانی، بیشترین مقدار وزن ریزگرد را جذب کرده بود، اما بیشترین تعداد ریزگرد در واحد سطح برگ در مازودار مشاهده شد. زیرا موم پلاکتی نامنظم و نحوه قرارگیری فلس‌های آن در گونه مذکور مثل یک توری عمل می‌کند و ذرات ریز بیشتری را به خود جذب می‌کند، اما اندازه این ذرات کوچک‌تر هستند. در برگ گونه‌های دیگر مورد

همچنین، بازوهای کرک‌ها، محل نشست ریزگردهایی با ذرات کوچک هستند که در بلوط ایرانی و وی‌ول به دلیل نوع کرک (ستاره‌ای و منشعب) باعث جذب مقدار بیشتر ریزگرد شدند. در برگ مازودار کرک‌ها به دلیل تراکم پایین، نقش کمتری در جذب ریزگرد نسبت به دو گونه دیگر بلوط مورد مطالعه دارند. به دلیل اینکه کرک‌ها اغلب در امتداد رگ‌برگ میانی برگ پسته وحشی قرار دارند، نقش ناچیزی در جذب ریزگرد داشتند.

در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است که لایه‌های مومی سطح برگ با ضخامت و شکل‌های مختلف بر رسوب گردوغبار در برگ گونه‌های مختلف گیاهان تأثیر می‌گذارد (Prusty *et al.*, 2005; Dzierzanowski *et al.*, 2011; ) (Popek *et al.*, 2013). Sæbø و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی تفاوت بین گونه‌های مختلف درختی و درختچه‌ای از نظر مقدار تجمع ریزگرد روی برگ آن‌ها در نروژ و لهستان گزارش کردند که رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقدار موم و تراکم کرک برگ با مقدار جذب ذرات وجود دارد. با این حال، Dzierzanowski و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی رسوب ریزگرد روی برگ گونه‌های درختی و درختچه‌ای در جنگل‌های شهری لهستان گزارش کردند که هیچ رابطه معنی‌داری بین ذرات جمع‌شده روی برگ‌ها با مقدار موم برگ وجود ندارد. توانایی موم برگ در به دام انداختن ذرات گردوغبار ممکن است با ترکیب شیمیایی و ساختار و شکل موم به عنوان یکی از ویژگی‌های خاص بعضی از گونه‌ها مرتبط باشد (Jouraeva *et al.*, 2002; Burkhardt, 2010). تصاویر SEM در پژوهش پیش‌رو نشان داد که نوع موم، عملکرد متفاوتی در مقدار رسوب و ماندگاری ریزگردها روی سطح برگ دارد. موم پلاکتی نامنظم در برگ‌های مازودار به دلیل نحوه قرارگیری فلس‌های آن که در واقع ساختار موم را نشان می‌دهد، مانند یک توری عمل می‌کند. این نوع موم علاوه بر به دام انداختن ریزگردها سبب ماندگاری بیشتر ریزگرد نیز در بین فلس‌ها و سطح برگ خواهد شد. موم برگ‌های بلوط ایرانی و وی‌ول از نوع لایه‌ای نرم است که به نسبت مازودار، نقش زیادی در جذب و ماندگاری ریزگرد



Paoletti و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثرات پارک شهری بر کیفیت هوا در شهر فلورانس ایتالیا گزارش کردند که بین گونه‌های درختی مورد مطالعه از نظر توانایی جذب آلودگی شهری، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای وجود دارد.

در پژوهش پیش‌رو، مقدار ریزگرد رسوب یافته توسط یک هکتار جنگل با موجودی خوب (۴۰۰ اصله در هکتار) ۸۷/۶۶ کیلوگرم برآورد شد. در پژوهش‌های مختلفی، نقش جنگل‌ها در جذب ریزگردها و تصفیه آلودگی هوا گزارش شده است. به عنوان مثال، McDonald و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر کاشت درختان شهری بر رسوب  $PM_{10}$  در شهرستان میدلندز غربی و شهر گلاسگو در انگلستان دریافتند که درختان سالانه به ترتیب چهار و سه درصد از  $PM_{10}$  اولیه در هوای مناطق مذکور را حذف می‌کنند. براساس نتایج Yang و همکاران (۲۰۰۵) درختان در بخش مرکزی شهر پکن چین ۱۲۶۱/۴ تن از آلاینده‌های هوا را در سال ۲۰۰۲ جذب کردند. درختان و درختچه‌های شهری در آمریکا سالانه حدود ۲۱۵ هزار تن  $PM_{10}$  را به خود جذب می‌کنند (Nowak *et al.*, 2006). با توجه به موارد مذکور می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت در جذب ریزگرد توسط گونه‌های مختلف حاصل تعامل پیچیده بین خصوصیات گیاه، آب‌وهوا و عامل‌های محیطی دیگر است (Paoletti *et al.*, 2011, Sæbø *et al.*, 2012). براساس نتایج پژوهش پیش‌رو و کنش متقابل بین درختان و آلاینده‌های هوا، توجه به خصوصیات ریخت‌شناختی و کالبدشناختی گونه‌ها برای انتخاب گونه‌های مقاوم و مناسب برای تصفیه هوا در جنگل‌کاری‌ها و فضاهای سبز شهری و نیز حفظ ذخایر ژنی حساس در مقابل طوفان‌های ریزگرد و یا هر نوع آلاینده دیگر هوا، بسیار لازم و ضروری است.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه کردستان برای انجام این پژوهش قدردانی می‌کنند.

مطالعه، ذرات با اندازه‌های مختلف حضور داشتند. کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین قطر ریزگرد اندازه‌گیری شده روی سطح برگ‌های نمونه در همه گونه‌ها به ترتیب برابر با ۱۲۵ نانومتر و ۱۶/۵۴ میکرومتر بودند. این دامنه، هر سه دسته از ذرات  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $PM_{0.2}$  را شامل می‌شد که در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده‌اند (Sæbø *et al.*, 2012; Weerakkody *et al.*, 2017). گفتنی است که وقتی ریزگردها به صورت جمعی و توده‌ای روی برگ قرار دارند، شمارش تعداد آن‌ها به طور دقیق امکان‌پذیر نیست. از طرف دیگر، اگر مقدار جریان ریزگرد در یک مکان و یا در مقطعی از زمان بیشتر باشد، ریزگردهای بیشتری روی برگ‌ها رسوب می‌کنند. با توجه به اینکه آب‌وهوا، مهم‌ترین عامل در پویایی رسوب گردوغبار است (Sæbø *et al.*, 2012)، بنابراین مقدار رسوب آن روی برگ‌های گیاهان در سال‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

مقدار ریزگرد رسوب یافته در واحد سطح برگ، درخت و جنگل

ساختار پیچیده برگ به دلیل ایجاد تلاطم هوا در بین تاج درختان بر جذب ذرات گردوغبار اثر می‌گذارند (Beckett *et al.*, 2013; Popek *et al.*, 2000; Flagg *et al.*, 2013) و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که جوامع درختی و درختچه‌ای متشکل از گونه‌های متفاوت (آمیخته) تأثیر بیشتری بر کاهش آلودگی هوا دارند. در این خصوص برای مقایسه توان گونه‌های مختلف درختی در جذب ریزگرد و اثر درختان یک توده جنگلی بر تصفیه هوا باید مقدار رسوب ریزگرد در واحد سطح برگ، در واحد درخت و نیز در یک هکتار جنگل بیان شود. در پژوهش پیش‌رو، مقدار ریزگرد رسوبی در یک اصله درخت از گونه‌های بلوط ایرانی، مازودار، وی‌ول و پسته وحشی به ترتیب ۳۳۵/۲۹، ۱۷۳/۶۶، ۱۶۰/۰۴ و ۷۹/۹۶ گرم برآورد شد. این اختلاف‌ها بیانگر توانایی متفاوت گونه‌ها در جذب ریزگرد است که به شکل و اندازه تاج پوشش، خصوصیات سطح برگ و تراکم شاخ‌وبرگ بستگی دارد (Prusty *et al.*, 2005; Rai *et al.*, 2010; Wang, 2011).

- effects (Case study: West of Iran). Proceedings of First National Conference on Environmental Protection and Planning. Hamedan, 21 Feb. 2013: 19p (In Persian).
- Liu, L., Guan, D. and Peart, M.R., 2012. The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 3440-3449.
  - McDonald, A.G., Bealey, W.J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R.I., ... and Nemitz, E., 2007. Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*, 41(38): 8455-8467.
  - Mehrnia, M. and Assadi, M., 2015. Study of libani group of oaks in Zagros mountains and an introduction to new records of this flora of Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(5): 964-977 (In Persian).
  - Nowak, D.J., Crane, D.E. and Stevens, J.C., 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4(3-4): 115-123.
  - Panahi, P., Jamzad, Z., Pormajidian, M.R., Fallah, A. and Pourhashemi, M., 2012. Foliar epidermis morphology in *Quercus* (subgenus *Quercus*, section *Quercus*) in Iran. *Acta Botanica Croatica*, 71(1): 95-113.
  - Pant, P. and Harrison, R.M., 2013. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, 77: 78-97.
  - Paoletti, E., Bardelli, T., Giovannini, G. and Pecchioli, L., 2011. Air quality impact of an urban park over time. *Procedia Environmental Sciences*, 4: 10-16.
  - Popek, R., Gawrońska, H., Wrochna, M., Gawroński, S.W. and Saebø, A., 2013. Particulate matter on foliage of 13 woody species: deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes – a 3-year study. *International Journal of Phytoremediation*, 15(3): 245-256.
  - Prusty, B.A.K., Mishra, P.C. and Azeez, P.A., 2005. Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(2): 228-235.
  - Rai, A., Kulshreshtha, K., Srivastava, P.K. and Mohanty, C.S., 2010. Leaf surface structure alterations due to particulate pollution in some common plants. *Environmentalist*, 30: 18-23.
  - Saebø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H. and Gawronski, S.W., 2012. Plant
- منابع مورد استفاده**
- Abasi, L., 2014. Estimation of leaf area index of Lebanon-Gal oak stands (*Quercu Libani*, *Quercus infectoria*) in untouched and pruned forests in Baneh County. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, 84p (In Persian).
  - Adl, H.R., 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(4): 417-426 (In Persian).
  - Ait Said, S., Fernandez, C., Greff, S., Derridj, A., Gauquelin, T. and Mevy, J.P., 2011. Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns of *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* growing along an aridity gradient in Algeria. *Flora*, 206: 397-405.
  - Azizi, Gh., Miri, M. and Nabavi, O.S., 2012. Detection of dust in the western half of Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 2(7): 103-118 (In Persian).
  - Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G., 2000. Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*, 6(8): 995-1003.
  - Binandeh, O., 2018. Potential and effects of charcoal production on the structure of the forest (Case Study: Veshkalan Forest, Marivan). M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, 100p (In Persian).
  - Burkhardt, J., 2010. Hygroscopic particles on leaves: nutrients or desiccants? *Ecological Monograph*, 80(3): 369-399.
  - Chen, L., Liu, C., Zhang, L., Zou, R. and Zhang, Z., 2017. Variation in tree species ability to capture and retain airborne fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>). *Scientific Reports*, 7: 3206.
  - Dzierzanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Saebø, A. and Gawroński, S.W., 2011. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10): 1037-1046.
  - Flagg, C.B., Neff, J.C., Reynolds, R.L. and Belnap, J., 2014. Spatial and temporal patterns of dust emissions (2004–2012) in semi-arid landscapes, southeastern Utah, USA. *Aeolian Research*, 15: 31-43.
  - Jouraeva, V.A., Johnson, D.L., Hassett, J.P. and Nowak, D.J., 2002. Differences in accumulation of PAHs and metals on the leaves of *Tilia×euchlora* and *Pyrus calleryana*. *Environmental Pollution*, 120(2): 331-338.
  - Khoran, M. and Rahimi, M., 2013. Investigation of the origin and distribution of dust and its environmental

- Yang, J., McBride, J., Zhou, J. and Sun, Z., 2005. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban forestry and Urban Greening*, 3(2): 65-78.
- Yang, J., Wang, H.X., Xie, B.Z., Shi, H. and Wang, Y.H., 2015. Accumulation of particulate matter on leaves of nine urban greening plant species with different micromorphological structures in Beijing. *Research of Environmental Sciences*, 28(3): 384-392.
- Younis, U., Bokhari, T.Z., Malik, S.A., Ahmad, S. and Raja, R., 2013. Variations in leaf dust accumulation, foliage and pigment attributes in fruiting plant species exposed to particulate pollution from Multan. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3(3): 1-12.
- Yousefi, H. and Najafi, A., 2013. Assessment of depleted uranium in South-Western Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124: 160-162.
- Zarasvandi, A., Rastmanesh, F., Pourkaseb, H. and Azarmi, Z., 2012. Impacts of flying dust phenomenon on heavy metal concentration in soils and absorption by selected plant species in Ahvaz city. *Advanced Applied Geology*, 1(2): 101-112 (In Persian).
- species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427-428: 347-354.
- Song, Y., Maher, B.A., Li, F., Wang, X., Sun, X. and Zhang, H., 2015. Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution. *Atmospheric Environment*, 105: 53-60.
- Taherzadeh Mousavian, S.M. and Taheri Abkenar, K., 2013. Effect of sediment of Cement Plant dust pollution on the plant species of surrounding areas of plant. *Proceedings of 1st International Conference on Cement Industry, Energy and Environment (CIEE)*. Tehran, 11-13 Feb. 2013, 10p (In Persian).
- Wang, Y.C., 2011. Carbon sequestration and foliar dust retention by woody plants in the greenbelts along two major Taiwan highways. *Annals of Applied Biology*, 159(2): 244-251.
- Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P. and Reiling, K., 2017. Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. *Urban Forestry and Urban Greening*, 27: 173-186.

## The potential of oak (*Quercus* sp.) and wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) forest species to deposit microdust particles

A. Moradi <sup>1\*</sup>, K. Taheri Abkenar <sup>2</sup>, N. Shabanian <sup>3</sup> and M. Afshar Mohammadian <sup>4</sup>

1\* - Corresponding author, Postdoctoral Researcher, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: aiubmoradi60@gmail.com

2- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Rasht, Iran

3- Associate Prof., Department of Forestry, The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4- Associate Prof., Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 10.10.2021

Accepted: 19.11.2021

### Abstract

Dust storms are a major source of solid particles in the world that significantly impact air pollution and human and environmental health. Generally, trees and plants not only improve air quality by absorbing airborne particles on the surface of their leaves, but also they are affected by the accumulation of fine particles on their leaf surfaces. In this study, the uptake of fine dust by some dominant forest species of the Zagros region (*Quercus Brantii* Lindl., *Q. libani* Oliv., *Q. infectoria* Oliv. and *Pistacia atlantica* Desf.) was evaluated in the North Zagros Forests of Iran. For this purpose, soil, leaves and microdust on tree leaves were sampled by using a random systematic sampling network in the forests of Marivan County, Kurdistan province. The leaf ultrastructure of these species was examined by electron microscopy (SEM). Elements in the soil of the area and microdust deposited on the leaves of the trees were evaluated using the EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) system and atomic absorption spectrometry. Finally, the ability of each hectare of forest to absorb fine dust was derived. Results showed that the leaves of all three oak species as well as wild pistachio are structurally different, which plays a distinct role in the deposition of microdust on tree leaves. The highest amount of microdust uptake by leaves was observed for *Q. Brantii* (0.012 g per leaf), followed by *Q. infectoria* (0.006 g per leaf) and *Q. libani* (0.005 g per leaf). In contrast, the lowest amount was observed for *P. atlantica* (0.0015 g per leaf). Based on the results, the amount of deposited dust in one hectare of forest in the study area with appropriate coverage (400 units per hectare) was estimated at 87.7 kg. The results of EDS test showed that the tested soil samples did not contain radioactive elements as well as heavy, toxic and dangerous elements. The results of the current study indicate the notable role of forest trees in the purification of air polluted by microdust as well as the the difference between species in their ability to absorb microdust.

Keywords: Dust storm, forest trees, particle absorption, Zagros Forests.