Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Morphological responses to simultaneous drought and dust stress in two-year-old seedlings of *Pistacia atlantica* (Desf.)

Fatemeh Pourfallahi[1], Babak Pilehvar[*2], Zahra Mirazadi[3], Seyed Vahid Sayedena[4]

1. Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: f.pourfalahi@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: babakpilehvar@yahoo.com
3. Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: mirazadi.z@lu.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: sayedena.v@lu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 06.10.2024
Revised: 12.18.2024
Accepted: 12.19.2024

Keywords:
Atlas mastic,
Drought stress,
Dust,
Leaf area,
Zagros

ABSTRACT

Background and Objectives: *Pistacia atlantica* Desf. is an important tree species native to the non-northern forests of Iran, forming a green belt across diverse vegetation regions such as Arasbaran, Zagros, Irano-Turanian, and the slopes of the Persian Gulf and Oman Sea. Among these, the Zagros forests are particularly significant due to their ecological roles in protection and support. However, these forests face escalating threats from severe dust storms and prolonged droughts. Environmental stressors like dust and drought can synergistically contribute to the degradation of *Pistacia atlantica* populations. This study aimed to evaluate the combined effects of drought and dust stress on the growth characteristics of *Pistacia atlantica* seedlings, with the goal of enhancing our understanding of their responses and informing effective management strategies under changing climatic conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted from March to December 2023 in the greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources at Lorestan University. A split-plot experimental design was employed using a completely randomized approach, with 384 *Pistacia atlantica* seedlings. Three levels of drought stress were applied: 100% field capacity (no stress), 75% field capacity, and 50% field capacity. Additionally, four levels of dust exposure were tested: 0, 350, 750, and 1500 µg/m³. Growth chambers constructed with plastic covers (1.8 × 2.5 × 6 meters) were utilized within the greenhouse to house the pots. To simulate nursery soil conditions, a uniform mixture of agricultural soil, sand, and manure was used across all treatments. At the conclusion of the experiment, key morphological traits of the roots, stems, and leaves were measured.

Results: The findings revealed that both drought and dust stress significantly impacted the morphological traits of *Pistacia atlantica* seedlings. Severe reductions in growth characteristics were observed under 50% field capacity combined with 1500 µg/m³ dust exposure. The highest values for leaf area (81.8 cm²), number of leaves (156.75 per seedling), stem length (87.25 cm), number of branches (39.5 per seedling), collar diameter (9.40 mm), and stem diameter (8.75 mm) were recorded under optimal conditions (100% field capacity with no dust). Drought stress alone

significantly reduced stem diameter, with the highest value (9.53 mm) observed at 100% field capacity. Fresh and dry weights of leaves, branches, and roots also decreased under drought and dust stress. The greatest fresh branch weight (16.62 g), dry branch weight (10.14 g), fresh root weight (11.65 g), dry root weight (8.55 g), fresh leaf weight (8.204 g), dry leaf weight (5.339 g), and total dry weight (24.033 g) were recorded in the control treatment (100% field capacity with no dust). Interestingly, root volume increased under stress conditions, with the highest root volume (17.8 cm^3) observed at 50% field capacity combined with 1500 $\mu g/m^3$ dust exposure.

Conclusion: This study highlights that dust stress exacerbates the detrimental effects of drought on *Pistacia atlantica* seedlings. Morphological traits were most severely impacted under 50% field capacity drought stress, with these effects becoming more pronounced at higher dust concentrations (1500 $\mu g/m^3$). These results underscore the critical role that the simultaneous occurrence of drought and dust plays in the decline of *Pistacia atlantica* populations in the Zagros forests. The findings provide valuable insights into sustainable forest management practices and emphasize the urgency of developing strategies to enhance the resilience of *Pistacia atlantica* trees against environmental stressors.

Cite this article: Pourfallahi, Fatemeh, Pilehvar, Babak, Mirazadi, Zahra, Sayedena, Seyed Vahid. 2024. Morphological responses to simultaneous drought and dust stress in two-year-old seedlings of *Pistacia atlantica* (Desf.). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (3), 53-69.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22506.2064
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸٦

پاسخ‌های مورفولوژیک نهال‌های دو ساله بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) به تنش هم‌زمان خشکی و گردوغبار

فاطمه پورفلاحی[۱]، بابک پیله‌ور*[۲]، زهرا میرآزادی[۳]، سید وحید سیدنا[٤]

۱. دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: f.pourfalahi@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: babakpilehvar@yahoo.com
۳. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: mirazadi.z@lu.ac.ir
٤. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: sayedena.v@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۳/۲۱
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۹/۲۹

واژه‌های کلیدی:
بنه،
تنش خشکی،
ریزگرد،
زاگرس،
سطح برگ

چکیده

سابقه و هدف: بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های خارج از شمال است که علاوه بر حضور گسترده در مناطق رویشی ارسباران، زاگرس، ایرانو-تورانی و دامنه‌های خلیج‌فارس و عمانی، مانند کمربندی اطراف ایران را احاطه کرده است. جنگل‌های زاگرس به دلیل داشتن نقش حمایتی و حفاظتی از مهم‌ترین و حساس‌ترین بوم‌سازگان‌ها در ایران هستند که با وقوع طوفان‌های گردوغبار و خشکسالی‌های شدید در معرض تهدید قرار دارند. عوامل محیطی از جمله گردوغبار و خشکی به‌صورت توأم می‌تواند موجب زوال درختان بنه گردد. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر هم‌زمان خشکی و گردوغبار روی خصوصیات رویشی نهال‌های بنه، به‌منظور شناخت واکنش نهال به آن، جهت مدیریت بهتر تنش خشکی و ریز گرد در شرایط تغییر اقلیم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر از اسفندماه ۱٤۰۱ تا آذرماه ۱٤۰۲ در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد و ۳۸٤ نهال بنه تحت عامل خشکی در سه سطح شامل: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و عامل گردوغبار در چهار سطح شامل: صفر، ۳۵۰، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب قرار گرفتند. می‌توان گفت آزمایش شامل ۱۲ تیمار بود که هر تیمار دارای ٤ تکرار و هر تکرار شامل ۸ اصله نهال بود. اتاقک‌های رشد با پوشش پلاستیکی در ابعاد ۱/۸×۲/۵×٦ مترمکعب در داخل گلخانه احداث شد و گلدان‌ها داخل اتاقک قرار داده شدند. به‌منظور شبیه‌سازی خاک گلدان با خاک نهالستان جنگلی، از خاک زراعی، ماسه و کود دامی به نسبت مساوی برای تمام گلدان‌های بنه استفاده گردید. در پایان آزمایش، صفات مورفولوژیک ریشه، ساقه و برگ نهال‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش خشکی و گردوغبار سبب تغییرات ویژگی‌های مورفولوژیک در برگ نهال‌های بنه شد، به‌طوری‌که این ویژگی‌ها در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار به‌شدت کاهش یافت. بیش‌ترین سطح برگ (۸۱/۸ سانتی‌مترمربع)، تعداد برگ (۱۵٦/۷۵ برگ در هر نهال)، طول ساقه (۸۷/۲۵ سانتی‌متر)، تعداد شاخه (۳۹/۵ شاخه در هر نهال) و قطر یقه (۹/٤۰ میلی‌متر)، به تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بدون تیمار گردوغبار اختصاص داشت. اثر ساده تنش خشکی برای قطر ساقه نشان داد که بیش‌ترین قطر ساقه (۹/۵۳ میلی‌متر) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد مشاهده گردید. وزن تر و خشک برگ، شاخه و ریشه در نهال‌های بنه نیز تحت‌تأثیر تنش خشکی و گردوغبار کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن تر ساقه (۱٦/٦۲ گرم)، وزن خشک ساقه (۱۰/۱٤ گرم)، وزن تر ریشه (۱۱/٦۵ گرم)، وزن خشک ریشه (۸/۵۵ گرم)، وزن تر برگ (۸/۲۰٤ گرم)، وزن خشک برگ (۵/۳۳۹ گرم) و وزن خشک کل (۲٤/۰۳۳ گرم) در تیمار شاهد در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد مشاهده شد. تنش موجب افزایش حجم ریشه گردید و بیش‌ترین حجم ریشه (۱۷/۸ سانتی‌مترمکعب) در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد به دست آمد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش مشخص شد که گردوغبار موجب تشدید اثرات منفی تنش خشکی بر ویژگی‌های مورد بررسی شد. ویژگی‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه، در سطح تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌شدت کاهش نشان داد و این روند، به‌خصوص در غلظت‌های بالاتر گردوغبار (۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب) نمایان شد. بنابراین می‌توان گفت یکی از عوامل زوال بنه در زاگرس پدیده گردوغبار و خشکی می‌باشد؛ بنابراین می‌توان اظهارنظر کرد در شرایط بدون تنش آبی و گردوغبار کم‌تر از ۷۵۰ میکروگرم در مترمکعب، درختان بنه مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهند. این نتایج به درک بیش‌تر ما در مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس کمک می‌کند.

استناد: پورفلاحی، فاطمه، پیله‌ور، بابک، میرآزادی، زهرا، سیدنا، سید وحید (۱۴۰۳). پاسخ‌های مورفولوژیک نهال‌های دو ساله بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) به تنش هم‌زمان خشکی و گردوغبار. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۱ (۳)، ۶۹-۵۳.

DOI: 10.22069/JWFST.2024.22506.2064

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر، پدیده خشکیدگی و زوال جنگل‌های زاگرس، منجر به نابودی بسیاری از این درختان شده است (۱). در این جنگل‌ها، گردوغبار، در کنار تنش خشکی از عوامل شناخته‌شده زوال گیاهان است، مطرح می‌شود (۲). بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) از خانواده گیاهی Anacardiaceae و یکی از مهم‌ترین گونه‌های بومی جنگل‌های زاگرس می‌باشد که سطحی معادل ۲/٤ میلیون هکتار از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است (۳) و مانند کمربندی اطراف کویرهای ایران را احاطه کرده است (٤ و ٥). این‌گونه کم‌نیاز و مقام به گرما و سرما است و حضور آن در مناطق سنگلاخی و صخره‌ها بیانگر پذیرش شرایط سخت محیطی، در طول سال‌ها می‌باشد (۳). می‌توان گفت حضور بنه در جنگل‌های زاگرس، با توجه به نقش حمایتی و حفاظتی این جنگل‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. گردوغبار یا ریزگرد به ذراتی بسیار کوچک و سبک سیلتی و رسی یا ماسه‌ای اتلاق می‌شود که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی جابجا و انتقال می‌یابند (٦) که در سال‌های اخیر شدت یافته و عمدتاً در کشور عراق و در مناطق غربی ایران بروز نموده و موجب خسارت می‌شود (۷). در ایران حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی در خطر بیابان‌زایی قرار دارند که از این مقدار ۷۵ میلیون هکتار در معرض فرسایش آبی، ۲۰ میلیون هکتار در معرض فرسایش بادی و ۵ میلیون هکتار در معرض سایر عوامل تخریب سرزمین مانند شوری و آلودگی هستند (۸). فرسایش خاک سبب تولید طوفان و انتشار این ریزگردها می‌شود و تأثیر به‌سزایی در تغییرات آب‌وهوا و ایجاد مشکل در محدوده جهانی دارد (۹ و ۱۰). ذرات گردوغبار می‌توانند به‌طور مستقیم بر تابش خورشید تأثیر بگذارند (۱۱، ۱۲ و ۱۳). ریزگردها عامل ایجاد اثرات منفی بر فیزیولوژی گیاه هستند (١٤) که با ایجاد شرایطی شبیه تنش آبی در گیاه، سبب کاهش فعالیت فتوسنتزی، مسدودکردن روزنه‌ها، ریزش برگ‌ها و تغییر رنگدانه برگ‌ها، تغییر در محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل برگ و هم‌چنین کاهش دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی می‌شود (۱۵، ١٦ و ۱۷). از طرفی تجمع گردوغبار روی سطح برگ می‌تواند اثر سایر تنش‌های محیطی مانند خشکی را تشدید کند (۱۸). طی چندین گزارش طی ۵۰ سال آینده خشکسالی سبب مشکلات جدی‌تر شده و تهدیدی جدی در برابر پایداری جوامع طبیعی و حیات‌وحش محسوب می‌شود (۱۹). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده حیات گیاهان در نواحی با اقلیم مدیترانه‌ای است. این تنش زمانی به وجود می‌آید که میزان هدررفت آب از گیاه بیش‌تر از جذب آن از ریشه‌ها باشد (۲۰). تنش خشکی در فصل رشد اثرات منفی بیش‌تری بر درختان و گیاهان می‌گذارد به این صورت که مواد معدنی کم‌تری جذب ریشه‌ها شده و به میزان قابل‌توجهی سبب کاهش زنده‌مانی، رشد، ارتفاعی، قطری و سطح برگ نهال‌ها می‌شود (۲۱، ۲۲). در این راستا، تأثیر تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای بر برخی از مشخصه‌های رویشی نهال‌های بنه (*Pistacia atlantica*) نشان داد که تنش خشکی به میزان قابل‌توجهی سبب کاهش زنده‌مانی، رویش ارتفاعی، قطر ساقه و سطح برگ و فعالیت فتوسنتز و تبادلات گازی می‌شود (۲۳). در پژوهشی مشابه اثر تنش خشکی و دی‌اکسیدکربن روی بر پارامترهای مورفولوژی نهال‌های یکساله بنه در شرایط گلخانه‌ای انجام شد، نتایج بیانگر تأثیر منفی تنش خشکی بر سطح برگ، قطر یقه، میزان زی‌توده، طول و حجم ریشه بود (٢٤).

جنگل‌های زاگرس در مناطق غرب و جنوب غرب ایران نقش مهمی در تصفیه هوا و جذب

گردوغبار دارند، اما متاسفانه بخش قابل‌توجهی از آن‌ها در سال‌های گذشته تخریب شده است. علی‌رغم نقش بسیار ارزنده جنگل‌های بنه در تثبیت خاک، جلوگیری از فرسایش، حفظ پوشش گیاهی مناطق جنگلی و نیز تولید و برداشت یکی از مرغوب‌ترین محصولات فرعی (سقز) که در ردیف مهم‌ترین منابع اقتصادی کشور قرار می‌گیرند (۲۵)، تاکنون پژوهش‌های اندکی در زمینه تأثیر توأمان گردوغبار و تنش خشکی بر روی این‌گونه بنه انجام شده است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر همزمان تنش خشکی و گردوغبار روی خصوصیات رویشی نهال‌های بنه، جهت ارائه راهکارهای مدیریتی این تنش‌ها و انجام شد.

مواد و روش‌ها

در اواخر اسفندماه سال ۱۴۰۱ تعداد ۳۸۴ اصله نهال گلدانی دوساله بنه یکنواخت از نهالستان منابع طبیعی شهر خرم‌آباد تهیه شد. نهال‌ها قبل از آغاز رویش و به گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان (با رطوبت نسبی ٦٤ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند (شکل ۱) و در گلدان‌های پلاستیکی به‌قطر ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر با بافت خاک لومی، شنی رسی به نسبت مساوی بازکاشت شدند، بعد از توزین گلدان‌ها تیمارهای خشکی در سه سطح شامل: ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار گردوغبار در چهار سطح شامل: صفر، ۳۵۰، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب اعمال شدند (۲). گردوغبار از کانون اصلی تولید گردوغبار از تالاب هورالعظیم (استان خوزستان) تهیه و استفاده شدند (٢٤). نمونه‌های خاک پس از کوبیدن و خشک شدن در هوای آزاد از چهار الک با مش ۳۵، ٦۰، ۲۰۰ و ٤۰۰ عبور داده شدند (تا ذرات گردوغبار به‌اندازه ۳۸ میکرون جمع‌آوری شوند). سپس سه اتاقک رشد با پوشش پلاستیکی در ابعاد ۱/۸×۲/۵×٦ مترمکعب جهت اعمال گردوغبار به میزان ۳۵۰، ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب، طراحی و ساخته شد. آلودگی گردوغبار در سطوح ذکر شده با استفاده از دستگاه فن هر ده روز، یک‌مرتبه به مدت یک ساعت و نیم و ۲۰ مرتبه در طول کل آزمایش بر روی نهال‌ها اعمال شد و اندازه‌گیری غلظت آن در هر یک از محفظه‌ها با دستگاه غبارسنج مدل Dust TrackMODEL8520 اندازه‌گیری و کنترل شد (۲ و ٢٤). جهت اعمال تیمار خشکی ظرفیت زراعی خاک اندازه‌گیری شد، به این صورت که از همان ترکیب خاک که جهت بازکاشت گلدان‌ها استفاده شد و جهت تبخیر رطوبت احتمالی ٤٨ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه قرار داده شد. پس از شماره‌گذاری نهال هر کدام از آن‌ها داخل تشت حاوی آب قرار داده شد تا خاک داخل گلدان، از طریق سوراخ زهکشی آب را جذب نموده و کامل اشباع شود؛ و پس از وزن کردن گلدان، جهت جلوگیری از تبخیر رطوبت خاک، درب آن با کمک پلاستیک ضخیم مشکی‌رنگ و چسب نواری، پوشانده شد و در هوای آزاد در سایه قرار داده شد. به مدت هفت روز هر شش ساعت یک‌بار وزن مربوط به هر کدام از نهال‌ها اندازه‌گیری و یادداشت شد و زمانی که وزن گلدان تقریباً ثابت شد، اندازه‌گیری‌ها ادامه داشت. تفاوت وزن پایانی گلدان و وزن آن در حالت اشباع، میزان ۷۲۰ گرم بود که به‌عنوان ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. برای آبیاری و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری به ترتیب ۳٦۰ و ٥٤۰ و ۷۲۰ گرم در نظر گرفته شد (۲۵). در ضمن دما، رطوبت و نور گلخانه نیز با توجه به مرحله رشد، به‌طور متناسب تنظیم و کنترل گردید (شکل ۱).

شکل ۱- اعمال گردوغبار به نهال‌های داخل اتاقک و اندازه‌گیری میزان غلظت آن با دستگاه گردوغبارسنج.

Figure 1. Applying of dust on seedlings inside the chamber and the measurement of its concentration by a.

در آذرماه ۱۴۰۲ پس از پایان تیمارها، از هر تیمار تعداد ۵ نهال به‌صورت تصادفی جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و مجموعاً ٦٠ نهال، انتخاب شد. پس از خارج نمودن نهال از گلدان، ریشه جهت جدا کردن خاک اطراف آن به‌آرامی شستشو داده شد و سپس نهال‌ها جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک به آزمایشگاه منتقل شدند. ویژگی‌های مورفولوژیک مورد بررسی شامل وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع نهال، تعداد و سطح برگ، قطر یقه و تعداد شاخه بودند که اندازه‌گیری شدند. تعداد برگ و تعداد شاخه‌ها با استفاده از شمارش برگ‌ها و شاخه‌ها ثبت شد. اندازه‌گیری قطر یقه با استفاده کولیس دیجیتالی (Extra strong Model) برحسب میلی‌متر انجام شد اندازه‌گیری ارتفاع نهال با استفاده از خط‌کش برحسب سانتی‌متر تعیین شد (٢٤). به‌منظور اندازه‌گیری وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه ابتدا وزن‌تر این اندام‌ها اندازه‌گیری شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار گرفتند (٢٦) و سپس با ترازوی دیجیتالی (AND- GR200 Model) با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. سطح برگ نهال‌ها نیز از دستگاه Leaf area meter مدل (CI-203 Handheld) و حجم ریشه، از طریق استوانه مدرج آب تعیین شدند (شکل ۲). به‌این صورت که پس از غوطه‌ور نمودن ریشه در استوانه، اختلاف حجم آب به‌عنوان حجم ریشه در نظر گرفته شد (۲۷).

شکل ۲- اندازه‌گیری سطح برگ نهال و قطر یقه نهال‌های بنه.

Figure 2. Measurement of leaf area and collar diameter of pistachio seedling.

آنالیز آماری: برای تحلیل آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولوموگروف- اسمیرونوف بررسی شد و سپس از طریق آنالیز واریانس دوطرفه و مدل آزمایش اسپلیت داده‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه چندگانه نیز از آزمون توکی در محیط نرم‌افزار SPSS (27.0.1 IF026) استفاده شد. در این آزمایش تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی و گردوغبار به‌عنوان عامل فرعی انتخاب گردید.

نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی تنش خشکی و گردوغبار و اثر متقابل بین آن‌ها بر طول ساقه، تعداد برگ، تعداد شاخه، قطر یقه، حجم ریشه، سطح برگ، وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل در سطح احتمال یک درصد و برای وزن تر ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. قطر ساقه و یقه، وزن‌تر کل تحت‌تأثیر معنی‌دار اثر اصلی تنش خشکی و گردوغبار در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند، اما اثر متقابل تیمارها برای قطر ساقه برخلاف یقه، معنی‌دار نشد (جدول‌های ۱ و ۲).

ویژگی‌های برگ: بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که تنش خشکی و گردوغبار موجب کاهش ویژگی‌های مورد بررسی در برگ نهال‌های بنه شد، به‌طوری‌که سطح برگ، تعداد برگ و وزن خشک کل در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در هر چهار تیمار گردوغبار اختلاف معنی‌داری از خود نشان داد و در تیمار گردوغبار ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب به‌شدت کاهش یافت. وزن‌تر برگ در سطح آبیاری ۵۰ درصد بدون گردوغبار، اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح آلودگی داشت. در همین سطح آبیاری، وزن خشک برگ در سطح آلودگی صفر و ۳۵۰ اختلاف معنی‌داری نداشت اما با نتایج حاصل از آلودگی ۷۵۰ و ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمربع معنی‌دار شناخته شد. ویژگی تعداد برگ در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برخلاف آبیاری ۷۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای گردوغبار نشان نداد. سطح برگ، وزن‌تر و خشک برگ در تیمار آبیاری ۷۵ درصد بین تمام سطوح گردوغبار اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. سطح برگ در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، نهال‌هایی که در معرض گردوغبار ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب قرار گرفتند تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای گردوغبار از خود نشان دادند. هم‌چنین تنش متقابل خشکی و گردوغبار روی مشخصه‌های مورد اندازه‌گیری برگ، سبب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد شد (جدول‌های ۳ و ٤).

ویژگی‌های ساقه: بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ویژگی‌های ساقه از جمله طول ساقه، تعداد شاخه و وزن‌تر و خشک شاخه در نهال‌های بنه، در شرایط تنش خشکی و افزایش غلظت گردوغبار، روند کاهشی در ویژگی‌های فوق مشاهده شد. در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ویژگی تعداد شاخه، در تمام سطوح گردوغبار، اختلاف معنی‌داری نشان نداد ولی در آبیاری ۷۵ درصد این اختلاف معنی‌دار بود. در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، این ویژگی همانند طول شاخه اختلاف معنی‌داری، بین شرایط بدون گردوغبار و سه تیمار گردوغبار از خود نشان داد (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و گردوغبار برای قطر ساقه نشان داد که سطوح تنش خشکی سبب اختلاف معنی‌داری شد و همچنین در گردوغبار ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب، قطر ساقه تفاوت معنی‌داری با گردوغبار ۷۵۰، ۳۵۰ و صفر از خود نشان داد. تنش متقابل خشکی و گردوغبار در طول ساقه، تعداد شاخه، وزن‌تر و خشک ساقه ارتباط معنی‌داری از خود نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲). شکل ۳، مقایسه رشد نهال در آبیاری شاهد، ۷۵ و ۵۰ درصد در غلظت گردوغبار ۳۵۰ میکروگرم را نشان می‌دهد.

شاهد (الف) آبیاری ۷۵ درصد (ب) آبیاری ۵۰ درصد (ج)

شکل ۳- مقایسه رشد نهال در آبیاری شاهد، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (به ترتیب الف، ب و ج) در غلظت گردوغبار ۳۵۰ میکروگرم در مترمکعب.

Figure 3. Comparison of seedling growth under irrigation at control, 75%, and 50% field capacity (labeled A, B, and C, respectively) at a dust concentration of 350 micrograms per cubic meter.

جدول ۱- تجزیه واریانس و میانگین مربعات اثر تنش خشکی و گردوغبار بر برخی مشخصه‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه.

Table 1. Variance analysis and mean square of the effect of drought stress and dust on some morphological characteristics of pistachio seedlings.

سطح برگ Leaf area	حجم ریشه Root volume	قطر یقه Collar diameter	تعداد شاخه Shoot number	تعداد برگ Leaf number	طول ساقه Stem length	درجه آزادی D.F.	منبع تغییرات S.O.V
4449.94**	47.89**	92.02**	1235.81**	60197.1**	9256.15*	2	تنش خشکی Drought stress
2.97	2.53	0.21	1.39	1.12	2.72	6	خطای اصلی Main error
2477.34**	204.33**	12.62**	156.17**	1178.7**	602.09**	3	گردوغبار Dust
297.77**	18.48**	5.30**	26.06**	151.3**	60.98**	6	تنش خشکی×گردوغبار Drought stress × Dust
2.54	1.22	0.79	8.02	22.5	4.09	27	خطای فرعی Sub-error
3.14	9.67	12.62	10.25	5.85	4.17	-	ضریب تغییرات C.V.

* و ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری تیمارها در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست

*, ** indicate the significance of treatments at 5% and 1% levels, respectively, and ns indicates the nonsignificant differences between treatments

جدول ۲- تجزیه واریانس و میانگین مربعات اثر تنش خشکی و گردوغبار بر برخی مشخصه‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه.

Table 2. Variance analysis and mean square of the effect of drought stress and dust on some morphological of characteristics pistachio seedlings.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	وزن تر برگ Leaf FW	وزن تر ساقه Stem FW	وزن تر ریشه Root FW	وزن تر کل Total FW	وزن خشک برگ Leaf DW	وزن خشک ساقه Shoot DW	وزن خشک ریشه Root DW	وزن خشک کل Total DW
تنش خشکی Drought stress	2	16.81**	52.69**	24.41**	261.74**	8.40**	14.27**	13.69**	102.81**
خطای اصلی Main error	6	0.42	2.03	0.33	0.52	22.5	8.02	2.91	0.79
گردوغبار Dust	3	48.17**	313.30**	185.16**	14.60.10**	11.67**	186.07**	85**	688.07**
تنش خشکی×گردوغبار Drought stress × Dust	6	2.03**	2.42*	2.25**	3.52 ns	2.97**	2.17**	0.90**	11.03**
خطای فرعی Sub-error	27	0.42	0.96	0.42	2.03	0.33	0.52	0.18	1.25
ضریب تغییرات C.V.	-	16.49	10.14	8.7	6.76	13.56	14.41	9.12	9.73

* و ** به ترتیب بیانگر معنی‌داری تیمارها در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهاست

*, ** indicate the significance of treatments at 5% and 1% levels, respectively, and ns indicates the nonsignificant differences between treatments

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و گردوغبار بر برخی مشخصه‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه.

Table 3. Mean comparison of the effect of drought stress and dust on some morphological characteristics of pistachio seedlings.

تیمارها Treatments		ویژگی‌ها Traits						
تنش خشکی Drought Stress	گردوغبار Dust ($\mu gr/m^3$)	طول ساقه Stem length (Cm)	تعداد برگ Leaf number (per plant)	تعداد شاخه Shoot number (per plant)	قطر یقه Collar diameter (mm)	حجم ریشه Root volume (Cm^3)	سطح برگ Leaf area (Cm^2)
100% FC	0	87.25^{a}	156.75^{a}	39.5^{a}	9.40^{a}	7.2^{ef}	81.8^{a}
	350	77.5^{b}	151.75^{a}	38.5^{a}	9.3^{a}	9.6^{de}	80.8^{a}
	750	74.1^{b}	150.25^{a}	36.5^{a}	9.27^{a}	15.9^{ab}	77.65^{a}
	1500	61.37^{c}	148.25^{a}	35.75^{a}	8.66^{ab}	15.95^{ab}	70.42^{b}
75% FC	0	47.92^{d}	62^{b}	32.75^{a}	7.82^{ab}	10.25^{d}	79.46^{a}
	350	45.62^{d}	51.75^{bc}	22.5^{bc}	7.93^{ab}	12.17^{cd}	67.1^{b}
	750	40.42^{e}	43.5^{cd}	21.5^{bc}	6.76^{bc}	13.27^{bc}	46.1^{d}
	1500	34.55^{f}	38.25^{de}	21^{bc}	5.04^{cd}	16.6^{a}	36.72^{e}
50% FC	0	36.57^{ef}	63.5^{b}	25.25^{b}	7.33^{ab}	5.02^{f}	66.2^{b}
	350	26.02^{g}	45^{cd}	23.75^{b}	3.48^{d}	6.13^{f}	54.80^{c}
	750	25.8^{g}	33.75^{de}	17.25^{c}	3.11^{d}	9.95^{d}	31.27^{f}
	1500	24.57^{g}	27.5^{e}	17.25^{c}	3.61^{d}	17.8^{a}	26.13^{g}

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و گردوغبار بر برخی مشخصه‌های مورفولوژیک نهال‌های بنه.

Table 4. Mean comparison of the effect of drought stress and dust on some morphological characteristics of the *Pistacia atlantica* Desf.

تیمارها Treatments		ویژگی‌ها Traits						
تنش خشکی Drought Stress	گردوغبار Dust ($\mu gr/m^3$)	وزن تر برگ Leaf FW (gr)	وزن تر ساقه Stem FW (gr)	وزن تر ریشه Root FW (gr)	وزن خشک برگ Leaf DW (gr)	وزن خشک ساقه Shoot DW (gr)	وزن خشک ریشه Root DW (gr)	وزن خشک کل Total DW (gr)
100% FC	0	8.2^{a}	16.62^{a}	11.65^{a}	5.33^{a}	10.14^{a}	8.55^{a}	24.03^{a}
	350	5.79^{b}	14.31^{ab}	10.90^{ab}	2.35^{b}	9.63^{a}	8.13^{a}	20.13^{b}
	750	4.78^{bc}	12.08^{bc}	10.84^{ab}	1.86^{bc}	7.57^{b}	6.02^{b}	15.35^{c}
	1500	3.60^{ce}	12.16^{bc}	9.80^{bc}	1.37^{bc}	7.46^{b}	5.43^{bc}	14.39^{c}
75% FC	0	4.98^{bc}	11.79^{c}	9.74^{bc}	2.17^{bc}	5.89^{bc}	5.52^{bc}	13.59^{cd}
	350	4.41^{bd}	11.25^{c}	8.89^{c}	1.97^{bc}	4.82^{c}	4.53^{cd}	11.18^{de}
	750	3.80^{ce}	10.05^{cd}	6.45^{d}	1.82^{bc}	4.39^{c}	4.31^{d}	10.68^{e}
	1500	3.03^{df}	7.76^{de}	5.10^{df}	0.88^{c}	2.11^{d}	3.57^{de}	6.56^{fg}
50% FC	0	2.94^{df}	8.15^{de}	5.50^{de}	1.46^{bc}	2.48^{d}	3.57^{de}	7.52^{f}
	350	2.76^{eg}	5.97^{e}	4.72^{ef}	1.13^{bc}	2.10^{d}	2.79^{ef}	5.88^{fh}
	750	1.51^{fg}	3.23^{f}	3.59^{fg}	0.744^{c}	1.95^{d}	1.88^{fg}	4.73^{gh}
	1500	1.30^{g}	2.62^{f}	2.21^{g}	0.80^{c}	1.41^{d}	1.49^{g}	3.71^{h}

ویژگی‌های ریشه: طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و گردوغبار، ویژگی‌های ریشه نیز تحت‌تأثیر هردو تیمار قرار گرفت و ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد از خود نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲)، به‌طوری‌که قطر یقه، وزن‌تر ریشه و وزن خشک در غلظت‌های بالاتر گردوغبار و سطح تنش خشکی شدید، به‌شدت کاهش و حجم ریشه افزایش یافت. به‌طورکلی، بیش‌ترین (۹/٤۰ میلی‌متر) و کم‌ترین (۳/۱۱ میلی‌متر) قطر یقه متعلق به دو تیمار شاهد در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و غلظت ۷۵۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بود (جدول ۳). بیش‌ترین وزن‌تر ریشه (۱۱/٦۵ گرم) و وزن خشک ریشه (۸/۵۵ گرم) در تیمار شاهد در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد به‌دست آمد (جدول ٤). غلظت گردوغبار ۱۵۰۰ گرم در مترمکعب نیز کم‌ترین وزن‌تر ریشه (۲/۲۱ گرم) و وزن خشک ریشه (۱/٤۹ گرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). حجم ریشه در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد افزایش و در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، مجدداً کاهش یافت، اما با افزایش غلظت گردوغبار، روند افزایشی حجم ریشه در هر سه سطح آبیاری مشاهده شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین حجم ریشه (۱۷/۸ سانتی‌مترمکعب) در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کم‌ترین حجم ریشه (۵/۰۲۵ سانتی‌مترمکعب) در تیمار شاهد در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد به دست آمد (جدول ۳).

قطر یقه: تنش خشکی، گردوغبار و ارتباط متقابل این دو تنش سبب اختلاف معنی‌داری در قطر یقه شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار تنش خشکی نشان داد که با کاهش ظرفیت زراعی، قطر یقه نیز کاهش یافت و کم‌ترین میزان قطر یقه (۸/۳٤ میلی‌متر) متعلق به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بود و بیش‌ترین قطر یقه (۸/۷۵ میلی‌متر) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد مشاهده شد (شکل ۳). بر اساس مقایسه میانگین اثر اصلی گردوغبار بر قطر یقه، اگرچه در غلظت‌های ۳۵۰ و ۷۵۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار قطر یقه کاهش یافت، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان ندادند و کم‌ترین قطر یقه (٦/۷٤ میلی‌متر) در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب ثبت شد.

وزن تر و خشک کل نهال: مقایسه میانگین اثر ساده تنش خشکی و گردوغبار برای وزن تر کل نهال نشان داد که در هردو تیمار، وزن تر کل کاهش یافت و در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان (۳٦/٤۸ گرم) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و کم‌ترین وزن‌تر در غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب (۲۵/۵۷ گرم) و ظرفیت زراعی ۵۰ درصد (۱٤/٤۲ گرم) مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نیز نشان داد که وزن خشک کل تحت‌تأثیر دو تیمار روندی کاهشی نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین (۲٤/۰۳۳ گرم) و کم‌ترین (۳/۷۱ گرم) میزان وزن خشک به ترتیب در تیمارهای شاهد در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد و غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم در مترمکعب گردوغبار در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد مشاهده شد.

بحث

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند تنش‌های خشکی و گردوغبار تأثیرات منفی بیش‌تری بر رشد و توسعه گیاهان، از جمله نهال‌های بنه (*Pistacia atlantica*) دارند (۲۸). این عوامل با ایجاد شرایط نامطلوب برای رشد گیاه، فرآیندهای مورفو- فیزیولوژیک را مختل می‌کنند. خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی، باعث کاهش بهره‌وری محصولات و محدودیت در رشد و نمو گیاهان می‌شود. این مطلب به‌ویژه در گیاهان حساس به خشکی نمود بیش‌تری دارد، زیرا اولین شاخص‌های تأثیر خشکی بر گیاهان معمولاً شامل کاهش در سرعت تقسیم سلولی، کاهش طویل شدن سلول‌ها و تغییر در روابط آبی و تغذیه‌ای است که همه این‌ها درنهایت به کاهش ارتفاع و سطح برگ منجر می‌شود (۲۹، ۱۵، ۳۰). ویژگی‌های مورفولوژیکی اولین شاخص‌هایی هستند که برای ارزیابی تأثیرات عوامل مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۱). در پژوهشی مشابه تأثیر تنش خشکی و دی‌اکسیدکربن روی نهال‌های یک‌ساله بنه در اتاقک رشد بررسی شد، نتایج مطالعات بر روی گونه بنه نشان داد تنش خشکی تأثیر منفی بر پارامترهای فیزیولوژی و مورفولوژی دارد که با یافته‌های ما مطابقت دارد (۲٤). تنش خشکی روی تشکیل سلول‌های اولیه برگ و تمایز آن‌ها تأثیر گذاشته و سبب کاهش تعداد برگ می‌شود. کاهش تعداد و سطح برگ در اثر افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب، تعرق و متعاقب آن افزایش مقاومت گیاهان در برابر خشکی می‌شود (۳۱). مقدار تولید ماده تر و خشک گیاهی ارتباط مستقیمی با میزان سطح برگ و نور جذب‌شده توسط کانوپی دارد که کاهش هر یک از این شاخص‌ها می‌تواند باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه شود، هم‌چنین ممانعت از تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها، یکی دیگر از دلایل کاهش وزن خشک در گیاه است (۳۲ و ۳۳). هم‌چنین در شرایط تنش کم‌آبیاری، برای جذب آب، انرژی زیادی صرف

می‌کند، درحالی‌که فتوسنتز، ساخت و انتقال مواد در شرایط تنش کاهش یافته که منجر به کاهش رشد گیاه منتهی می‌گردد (۳٤). خشکی هم‌چنین اثرات مهمی بر ساختار ریشه و ساقه دارد. در شرایط تنش خشکی، گیاهان تمایل دارند تا منابع فتوسنتزی خود را به ریشه‌ها اختصاص دهند. این امر باعث افزایش رشد ریشه و درنتیجه بهبود توانایی گیاه در جذب آب از خاک می‌شود. در پژوهش‌های انجام شده روی گونه‌های علفی نیز حجم ریشه در نهال‌های تحت تنش خشکی افزایش یافت که نشان‌دهنده سازگاری گیاه با شرایط تنش است (۳۵ و ۳٦).

از طرف دیگر، گردوغبار نیز با ایجاد سایه و کاهش دسترسی به نور، فتوسنتز را تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که حتی پوشش نازکی از گردوغبار روی برگ‌ها می‌تواند فرآیند فتوسنتز را تا ۹۰ درصد کاهش داده و دمای برگ را به میزان ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد (۲٤). این امر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تبادل گازها و نوسانات در تعرق و فتوسنتز منجر می‌شود که درنهایت باعث کاهش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (۳۷ و ۳۸).

ریزگردها از طریق ایجاد حالت تنش سبب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تعرق و تبادل گرمایی، کاهش تبادل کربن دی‌اکسید، افزایش دمای برگ و کاهش سرعت فرآیندهای فتوسنتزی درنهایت باعث کاهش رشد و ارتفاع در گیاه می‌شوند (۳۹ و ٤۰). پوشش یک میلی‌متری غبار روی سطح برگ فرایند فتوسنتز را تا ۹۰ درصد کاهش می‌دهد و دمای برگ را ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد (٤۱). این تأثیر به‌واسطه اثر تنش ریزگرد و کاهش ظرفیت کوئینون A است، چراکه انتقال الکترون به فتوسیستم I کاهش می‌یابد و باعث اتلاف انرژی نورانی جذب‌شده به شکل فلورسانس می‌شود و بنابراین عملکرد کوانتومی فتوسنتز، کاهش و دمای برگ به سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش می‌یابد و تلفات انرژی به شکل نور و گرما، افزایش پیدا کرده و رشد کاهش می‌یابد (٤۲). ریزگردها از طریق ایجاد حالت سایه بر گیاه و ایجاد حالت تنش در گیاه منجر به بسته شدن روزنه‌ها و اختلال در تبادل حرارتی و گازی شده که این امر منجر به افزایش دمای برگ و کاهش غلظت کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ای، کاهش فتوسنتز و رشد می‌گردد (٤۳ و ٤٤). در گیاهان سازگار با شرایط تنش، مقدار کاهش در اندام زیرزمینی به‌مراتب کم‌تر از اندام هوایی گیاه باید باشد تا بتواند با ایجاد تعادل در نسبت ساقه به ریشه، شرایط تنش را بهتر تحمل کند؛ طوری که اثرات نامطلوب تنش خشکی بر رشد گیاهان با توسعه ریشه جبران شده و این فرآیند با عمیق شدن ریشه‌ها، تغییر توزیع سیستم ریشه‌ای و یا تغییر اندازه در آوندهای ریشه صورت می‌گیرد (۳۳) که در پژوهش حاضر نیز، افزایش حجم ریشه در نهال‌های تحت تنش خشکی مشهود بود. در این مواقع، گیاه در برابر خشکی ترجیح می‌دهد بیش‌تر تولید فتوسنتزی خود را به سمت ریشه هدایت کند و با این کار توانایی خود برای جذب مقدار بیش‌تری از آب موجود در خاک را حفظ کند (۳۲). ریزگردها باعث کاهش اجزای عملکرد در گیاه می‌شوند اما این کاهش در مورد ریشه کم‌تر بوده است که این امر به‌احتمال‌زیاد به دلیل آن است که قبل از اعمال ریزگردها سطح برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی در شرایط عادی می‌باشد و فعالیت‌های فتوسنتزی پاسخگوی رشد در برگ‌ها بوده است، اما با اعمال ریزگردها سطح برگ کاهش یافته و مواد فتوسنتزی از قبل تولید شده بیش‌تر به سمت ریشه می‌رود و منجر به رشد بیش‌تر ریشه در مقایسه با سایر قسمت‌ها می‌شوند (۲۰). می‌توان بیان نمود گردوغبار در هر غلظتی باشد اثرات مخرب روی نهال

دارد، علاوه بر این تنش متقابل ریزگرد و خشکی به‌عنوان به عامل سینرژیک عمل نموده و به‌شدت به نهال‌ها آسیب می‌رساند، به‌این‌ترتیب، وقتی این دو تنش هم‌زمان اعمال می‌شوند، گیاه با کاهش شدید رویشی و زوال تدریجی مواجه می‌شود. در پژوهشی مشابه که تأثیر همزمان گردوغبار و تنش خشکی بر روی نهال‌های بلوط (*Quercus brantii*) صورت گرفت، نتایج نشان داد هر دو تنش سبب کاهش سطح برگ، کاهش رشد ارتفاعی و وزن خشک شد که با نتایج یافته‌های ما مطابقت دارد (٤٥).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش نشان داد غلظت ۱۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب گردوغبار به‌ویژه در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، موجب کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک در نهال‌های بنه شد. این نتایج به درک بیش‌تر ما در مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس کمک می‌کند. شناخت و توسعه راهبردهای مناسب جهت مدیریت پایدار جنگل، جهت بالا بردن بردباری درختان بنه در حال زوال در این جنگل‌ها ضروری است. یافته‌های ما نشان داد تنش‌های آبی تنش‌های ناشی از گردوغبار را تشدید می‌کند و خطر جدی برای جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شود.

ازاین‌رو، با توجه به نقش بسیار مهم جنگل‌های بنه در تثبیت خاک، جلوگیری از فرسایش و حفظ پوشش گیاهی مناطق جنگلی، نتایج این مطالعه و شناخت عوامل مؤثر بر کارایی نهال بنه اطلاعات ارزشمندی را ارائه می‌کند که می‌توان در استراتژی‌های اصلاحی نهال بنه در مواجه با خشکسالی، گردوغبار و سایر بلایای طبیعی از آن بهره گرفت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در شرایط بدون تنش آبی و گردوغبار کم‌تر از ۷۵۰ میکروگرم در مترمکعب، درختان بنه مقاومت بیش‌تری از خود نشان می‌دهند. پیشنهاد می‌شود صفات مورفولوژیکی در یک دوره آزمایشی طولانی‌تر و تحت شرایط محیطی کنترل‌شده در فصول مختلف مقایسه شود تا نتایج بهتری حاصل گردد.

منابع

1. Hossieni, A., & Hossieni, M. (2016). The role of topographic and edaphic factors in mortality of trees in middle Zagros Persian Oak (*Quercus brantii*) forests. *Zagros Forests Research*. 3 (1), 47-58.
2. Darvishi Boloorani, A., Ranjbareslamloo, S., Mirzaie, S., Bahrami, H. A., Mirzapour, F., & Abbaszadeh Tehrani, N. (2020). Spectral behavior of Persian oak under compound stress of water deficit and dust storm. *International J. of Appl. Earth Obs Geoinformation.* 88, 102082. **doi: https://doi.org/10.1016/ j.jag. 2020. 102082.**
3. Asgarpour, E., Azadfar, D., & Saeedi, Z. (2017). Evaluation of *Acer cappadocicum* Gled. Seedlings to drought stress. *J. of Plant Researches*. 30 (10), 1-11. [In Persian]
4. Mirzaei, J., & Karamshahi, A. A. (2014). The effect of drought stress on the growth and some physiological characteristics of pistil seedlings (*Pistacia atlantica* Desf). *Wood and Forest Science and Technology Research J.* 22 (1). [In Persian]
5. Sadeghzadeh Halaj, M. H., Azadfar, D., & Mirzaei Nadushan, H. (2018). The effect of shade on the morphological traits of seedling leaves under drought stress. *Iranian Forest J.* 11 (1), 95-104. [In Persian]
6. Wali, A., Khamishi, S., Mousavi, S. H., Panahi, F., & Temski, A. (2014). Climatic analysis and tracking of dust plumes in the south and center of Iran. *J. of Environmental Science*. 40, 961-972. [In Persian]

7. Arami, S. A., Onag, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M., & Zarasondi, A. (2017). Analysis of dust hazard studies in southwest Iran in a 22-year period (1996-2017). *J. of Spatial Analysis of Environmental Hazards*. 15 (1), 39-66. [In Persian]
8. Jafarishalkoohy, A., Vafaeian, M., Rowshanzamir, M. A., & Mirmohammadsadeghi, M. (2015). Effective Factors in Fine-Grained Soil Stabilization to Prevent Dust Generation. *J. of Soil and Water Sciences*. 19 (73), 273-286. [In Persian]
9. Lin, J., Zhang, R., Hu, Y., Song, Y., Hanninen, H., & Wu, J. (2019). Interactive effects of drought and shading on Torreya grandis seedlings: Physiological and growth responses. *Trees*. 33 (3), 951-961.
10. Zhiyuan, H., Jianping, H., Chun, Z., Jiangrong, B., Qinjian, J., Yun, Q. L., Ruby, L., Taichen, F., Siyu, C., & Jianmin, M. (2019). Modeling the contributions of Northern Hemisphere dust sources to dust outflow from East Asia. *Atmospheric Environment*. 202, 234-243.
11. Cheng, H., Zhang, K., Liu, C., Zou, X., Kang, L., Chen, T., He, W., & Fang, Y. (2018). Wind tunnel study of airflow recovery on the lee side of single plants. *Agricultural and Forest Meteorology*. 263, 362-372.
12. Javanmard, Z., Tabari Kochsaraei, M., Bahrami, H., &Hosseini, S. M. (2018). The effect of dust on the morphophysiological responses of sparrow's tongue seedlings (*Fraxinus rotundifolia* Mill). *Iranian Forestry J., Iranian Forestry Association*. 11 (3), 323-309. [In Persian]
13. Rai, P. K., Panda, L. S., Chutia, B., & Singh, M. (2013). Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) in the industrial (Rourkela) and non-industrial area (Aizawl) of India: an eco-management approach. *African J. of Environmental Science and Technology*, 7 (10), 944-948.
14. Le, B., Laiye, Q., Keming, M., & Lin, L. (2016). Effects of road dust on the growth characteristics of *Sophora japonica* L. seedlings. *J. of Environmental Sciences*. 46, 147-155.
15. Chaturvedi, R. K., Prasad, Sh., Rana, S., Obaidullah, S. M., Pandey, V., & Singh, H. (2013). Effect of dust load on the leaf attributes of the tree species growing along the roadside. *Environmental Monitoring and Assessment.* 185, 383-391.
16. Uzma, U., Tasveer, Z. B., Saeed, A. M., Shakil, A., & Ramiz, R. (2013). Variations in leaf dust accumulation, foliage, and pigment attributes in fruiting plant species exposed to particulate pollution from Multan. *International J. of Agricultural Science*. 3, 1-12.
17. Wijayratne, U. C., Scoles-Sciulla., S., & Defalco, L. (2009). Dust deposition effects on growth and physiology of the endangered Astragalus Jaegerianus (Fabaceae). *Madrono*. 56, 81-88.
18. Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X., & Muller, J. (2015). Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in northwest China. *Water*. 7 (1), 116-131.
19. Yaghmaei, L., Jafari, R., Soltani, S., Eshghizadeh, H. R., & Jahanbazy, H. (2022). Interaction effects of dust and water deficit stress on growth and physiology of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.). *J. of Sustainable Forestry*. 41 (2), 134.158.
20. Arend, M., Kuster, T., Günthardt-Goerg, M. S., & Dobbertin, M. (2011). Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea,* and *Q. pubescens*). *Tree physiology*. 31 (3), 287-297.
21. Xiong, S., Wang, Y., Chen, Y., Gao, M., Zhao, Y., & Wu, L. (2022). Effects of drought stress and rehydration on physiological and biochemical of four oak species in China. *J. of plants*. 11, 679. **https://doi.org/10. 3390/ plants11050679.**
22. Arvin, A. A., Cheraghi, S., & Cheragh, Sh. (2013). Evaluation of ust effect on the quantitative and qualitative growth

of sugarcane varieties CP57-614. *Physiolocal Geog. Research*. 45 (3). [In Persian]

23. Yousefvand, P., Pilehvar, B., & Nasrolahi, A. H. (2022). Morphological, physiological, and biochemical responses of *Pistacia atlantica* seedlings to elevated CO_2 concentration and drought stress. *European J. of Forest Research*. **https:// doi.org/ 10.1007/s10342-023-01548-x.**
24. Shekarchian, A., Khodashanas, M., Kodori, M. R., Poursafari, B., Ghanchepour, M., & Fatahi, M. (2019). Investigating the quantitative and qualitative status of Atlas mastic forests in Kerman province and suggestions to improve their management. *Iran's nature*. 5, 1. [In Persian]
25. Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. *F1000 Research*. 5 (1554).
26. Javanmiripour, M., Mohammadkhani, N., & Valipour, J. (2022). Comparison of decline in Persian oak (*Quercus brantii*) and Wild pistachio *Pistacia atlantica* (In Zagros forests). (Research Paper). *J. of Arid Biome*. 12, 2.
27. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms, and management. *Agronomy for sustainable development*. 29, 185-212.
28. Hosseini, S. A., Rad, S. N., Ali, N., & Yvin, J. C. (2019). The Ameliorative Effect of Silicon on Maize Plants Grown in Mg-Deficient Conditions. *International J. of Molecular Science*. 20, 969. **https://doi.org/10.3390/ijms20040969.**
29. Keshavarznia, R., Propheti, S. A., & Bihemta, M. (2017). Effect of drought stress at the beginning of the season and re-irrigation on vegetative fluorescence indices and some physiological traits of wheat. *Iranian Agricultural Plant Sciences*. 48 (1), 39-45. [In Persian]
30. Kuki, K. N., Oliva, M. A., & Preira, E. G. (2008). Iron is industrial emissions as a potential ecological risk factor for tropical coastal vegetation. *Environment management*. 42, 111-121.
31. Haqqani, N., Amerian, M., & Khorrami Wafa, M. (2020). Effect of drought stress and selenium on some growth and physiological characteristics of Isfahan yellow mass onion. *Scientific J. of Ecophysiology of Agricultural Plants*. 1 (53), 63-68. [In Persian]
32. Soleimani, Z., Teymouri, P., Boloorani, A. D., Mesdaghinia, A., Middleton, N., & Griffin, D. W. (2020). An overview of bioaerosol load and health impacts associated with dust storms: A focus on the Middle East. *Atmospheric Environment*. 223, 117187.
33. Glaz, B., Dolen, R. M., & Samira, H. D. (2004). Sugarcane Photosynthesis, Transpiration, and stomatal conductance due to flooding and water table. *Crop Science*. 44, 1633-1641.
34. Goldani, M., Rezvani Mogahddam, P., & Nassiri Mahallati, M. (2011). Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may* L.) in response to different densities. *International J. of Plant Production*. 18 (1), 1-28.
35. Giovagnetti, C., Brunet, F., Conversano, F., Tramontano, I., Bernosterer, C. R., & Guieu, C. (2011). Assessing the role of dust deposition on phytoplankton ecophysiology and succession in a low-nutrient low-chlorophyll ecosystem: a mesocosm experiment in the Mediterranean Sea. *Biogeoscience*. 10, 2973-2991.
36. Nawaz, M. F., Rashid, M. H. U., Saeed-Ur-Rehman, M., Gul, S., Farooq, T. H., Sabir, M. A., Iftikhar, J., Abdelsalam, N. R., Dessoky, E. S., & Alotaibi, S. S. (2022). Effect of Dust Types on the Eco-Physiological Response of Three Tree Species Seedlings: *Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus,* and *Bombax ceiba*. *Atmosphere*. 13, 1010.
37. Bazgeer, S., Behrouzi, M., Nouri, H., Ali Nejatian, M., & Akhzari, D. (2022). Effect of dust on growth and reproductive characteristics of grapevine (*Vitis vinifera*). *International J. of Horticultural Science and Technology*. 9 (3), 301-313.

38. Ghahramany, L., Saeidizadeh, F., & Ghazanfari, H. (2016). Response of wild (Pistachio *Pistacia atlantica* Desf.) to resin exploitation. *J. of Wood & Forest Science and Technology*. 23 (2), 25-44. [In Persian]
39. Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepulveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2020). The Central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International J. of Climatology*. 40 (1), 421-439.
40. Hua, Y., & Yanju, L. (2011). Phytoremediation on air pollution. The impact of air pollution on health, economy, environment, and agricultural sources. *Beijing Center for Physical and Chemical Analysis, China*. ISBN: 978-953-307-528.
41. Karami, L., Ghaderi, N., & Javadi, T. (2017). Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*. 29 (2), 231-240.
42. Karimian, Z., Samiei, L., & Nabati, J. (2019). Alleviating the salt stress effects in *Salvia splendens* by humic acid application. *Acta Science Pol. Hortorum cultus*. 18 (5), 73-82.
43. Lin, W., Li, Y., Du, S., Zheng, F., Gao, J., & Sun, T. (2019). Effect of dust deposition on the spectrum-based estimation of leaf water content in the urban plant. *Ecological Indicators*. 104, 41-47.
44. Mohammadi, Z., Azadi, P., Ghanbari Jahormi, M., & Ghalibi, S. (2019). Evaluation of water deficit stress resistance in Verbascum Thapsus and introducing it as an ornamental plant in urban green space. *J. of Plant Production Research*. 26 (4), 227-243. [In Persian]
45. Tan, M., Li, X., & Xin, L. (2014). Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric Environment*. 7, 215-222.