

Research Paper

Effects of growth-promoting bacteria and humic acid on some morphological traits of Persian oak (*Quercus brantii* L.) under drought conditions

Seyedeh Fatemeh Miri Seftejani¹, Ziaedin Badehian^{*2}, Naser Norouzi Harooni³ and Zahra Azimnejad⁴

1- Master's Student of Forest Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (fa.miriseftejani@gmail.com)

2,*- (Corresponding author) Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management (Nature Engineering), Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, I. R. Iran. (zd-badehian@fasau.ac.ir)

3- PhD in Forest Science and Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (norouzinaser88@yahoo.com)

4- PhD in Forest Science and Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (azimnejadzahra@yahoo.com)

Received: 26 May 2023

Accepted: 08 June 2024

Extended Abstract

Background and Objective: This study aims to explore the effects of humic acid and the growth-promoting bacterium *Pseudomonas putida* on specific morphological characteristics of Iranian oak (*Quercus brantii*) seedlings under drought stress. Oak trees are vital for maintaining biodiversity, stabilizing soils, and providing ecological resources. By offering shade and retaining moisture, they help sustain plant and animal diversity. Drought stress is a major limiting factor for the growth and development of these trees, leading to adverse consequences. In drought conditions, plants experience a reduced ability to absorb water and nutrients, resulting in stunted growth and decreased productivity. Therefore, it is crucial to adopt innovative and effective approaches to improve the drought resilience of oak seedlings. Humic acid, an organic substance known for its soil-enhancing properties, and growth-promoting bacteria such as *Pseudomonas putida*, can significantly mitigate the detrimental effects of drought by enhancing nutrient absorption and plant growth. Humic acid improves soil structure and boosts its water retention capacity, thus alleviating the negative impacts of drought. Additionally, *Pseudomonas putida* enhances plant stress resistance by producing growth hormones and boosting enzymatic activities within the plant.

Material and Methods: This study was conducted as a factorial experiment within a completely randomized block design, featuring three replications and four treatments, under greenhouse conditions. The treatments consisted of two levels of humic acid (0 and 2.5 grams per kilogram of soil) and two levels of *Pseudomonas putida* (with and without inoculation). Humic acid, an organic substance known for its soil-enhancing properties, was incorporated into the soil, while *Pseudomonas putida* was applied to the seedling roots as an inoculant. Drought stress was induced by implementing three irrigation regimes (control, irrigation every four days, and irrigation every eight days). After a three-month vegetative growth period, various morphological traits, including seedling height, root length, leaf count, and dry weight of both aerial parts and roots, were measured and recorded. Data analysis was conducted using

statistical software, with analysis of variance (ANOVA) to examine the independent and interactive effects of each treatment on the measured traits.

Results: The findings of this study revealed that drought stress had a significant negative impact on all evaluated traits. As drought severity increased, seedling height, root length, leaf count, and the dry weight of both aerial and root parts declined. This decline resulted from reduced water and nutrient uptake under drought conditions, ultimately restricting plant growth. Conversely, the application of humic acid and *Pseudomonas putida* bacteria markedly enhanced seedling morphology. Seedlings treated with *Pseudomonas putida* and humic acid exhibited the greatest improvements in height, root length, and leaf number compared to the control group. Those treated with humic acid also showed a substantial increase in the dry weight of aerial and root biomass, indicating enhanced growth and improved drought tolerance. Furthermore, inoculation with *Pseudomonas putida* alone significantly improved all measured traits. These beneficial effects were attributed to increased nutrient uptake, enhanced enzymatic activity, and a more robust root system. The combination of humic acid and *Pseudomonas putida* produced the most favorable outcomes, with treated seedlings displaying the highest level of drought resilience. Humic acid supports plant growth by enhancing water retention and improving the soil's physical and chemical properties. This organic compound contributes to better soil structure and stimulates microbial activity, ultimately facilitating nutrient absorption and strengthening plant resistance.

Conclusion: The results of this study revealed that the application of humic acid and *Pseudomonas putida* significantly improved the morphological traits of Iranian oak seedlings under drought stress. These beneficial effects were attributed to enhanced nutrient absorption, increased enzymatic activity, and strengthened root systems. The combination of humic acid and *Pseudomonas putida* produced the most favorable outcomes, effectively boosting the drought resistance of oak seedlings. Future studies are recommended to explore the long-term impacts of these compounds on the physiological and biochemical processes of oak seedlings. Additionally, evaluating their effects under field conditions would provide more comprehensive insights into the practical efficacy of these treatments. Further research on the influence of these treatments on other aspects of seedling growth and development could enhance forest management strategies and yield more practical applications.

Keywords: Bacteria, Drought stress, Humic acid, Persian oak.

How to Cite This Article: Miri Seftejani, S. F., Badehian, Z., Norouzi Harooni, N., and Azimnejad, Z. (2025). Effects of growth-promoting bacteria and humic acid on some morphological traits of Persian oak (*Quercus brantii* L.) under drought conditions. Forest Research and Development, 10(4), 559-572. DOI: [10.30466/jfrd.2024.54870.1691](https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.54870.1691)



Copyright ©2024 Miri Seftejani et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

اثرهای باکتری محرک رشد و اسیدهیومیک بر برخی صفات مورفولوژیکی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L.) تحت خشکی

سیده فاطمه میری سفتجانی^۱، ضیاالدین بادهیان^{۲*}، ناصر نوروزی هارونی^۳ و زهرا عظیم‌نژاد^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (fa.miriseftejani@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری (مهندسی طبیعت)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران. (zd-badehian@fasau.ac.ir)

۳- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (norouzinaser88@yahoo.com)

۴- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (azimnejadzahra@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

چکیده

مقدمه و هدف: تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده رشد و توسعه درختان جنگلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که اثرهای مخربی بر آنها دارد. در شرایط خشکی، گیاهان با کاهش جذب آب و مواد مغذی مواجه می‌شوند که منجر به کاهش رشد و تولید می‌شود. استفاده از روش‌های جدید و مؤثر برای افزایش مقاومت این درختان در برابر تنش خشکی ضرورت دارد. در این شرایط استفاده از باکتری محرک رشد و اسید هیومیک می‌تواند نقش مؤثری در کاهش اثرهای منفی خشکی ایفا کند. از سوی دیگر، با تولید هورمون‌های رشد و بهبود فعالیت‌های آنزیمی در گیاه، می‌توان مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی افزایش داد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثرهای اسید هیومیک و باکتری محرک رشد پوتیدا بر برخی صفات مورفولوژیکی نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارها شامل دو سطح اسید هیومیک (۰ و ۲/۵ گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح باکتری پوتیدا (با و بدون تلقیح) بودند. اسید هیومیک به‌عنوان یک ماده آلی با خواص بهبود دهنده خاک، به خاک افزوده شد و باکتری پوتیدا نیز به‌صورت تلقیح به ریشه نهال‌ها اعمال شد. برای اعمال تنش خشکی، نهال‌ها در سه سطح آبیاری مختلف (شاهد، آبیاری هر چهار روز و آبیاری هر هشت روز) مورد بررسی قرار گرفتند. پس از یک دوره رشد رویشی، داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع نهال، طول ریشه، تعداد برگ‌ها و وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه‌ای اندازه‌گیری و ثبت شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و آزمون‌های تجزیه واریانس انجام شد. این روش‌ها بررسی و تحلیل اثرهای مستقل و متقابل هر یک از تیمارها را بر صفات موردبررسی امکان‌پذیر می‌کنند.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد تنش خشکی به‌طور معنی‌داری تمامی صفات مورد بررسی را کاهش داد. افزایش شدت تنش موجب کاهش ارتفاع نهال‌ها، طول ریشه‌ها، تعداد برگ‌ها و وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه‌ای شد. این کاهش به‌دلیل کاهش جذب آب و مواد مغذی در شرایط خشکی است که رشد گیاه را محدود می‌کند. از سوی دیگر، استفاده از اسید هیومیک و باکتری پوتیدا به‌طور معنی‌داری صفات مورفولوژیکی نهال‌ها را بهبود بخشید. نهال‌های تلقیح‌شده با باکتری پوتیدا و اسید هیومیک بیشترین افزایش ارتفاع، طول ریشه و تعداد برگ‌ها را نسبت به شاهد داشتند. نهال‌های تیمارشده با اسید هیومیک افزایش زیادی در وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه‌ای نشان دادند که بیانگر رشد بهتر و مقاومت بیشتر در برابر خشکی است. همچنین تلقیح با باکتری پوتیدا به‌طور مستقل تمامی صفات موردبررسی را بهبود بخشید. این اثرات مثبت به افزایش جذب مواد مغذی، بهبود فعالیت‌های آنزیمی و تقویت سیستم ریشه‌ای مرتبط است. ترکیب اسید هیومیک و باکتری پوتیدا بهترین نتایج را داشت و نهال‌های تیمارشده با این ترکیب بیشترین مقاومت به خشکی را نشان دادند. اسید هیومیک با افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به رشد گیاه کمک می‌کند. این ماده آلی ساختار خاک را بهبود داده و فعالیت میکروبی را افزایش می‌دهد که منجر به جذب بهتر مواد مغذی و مقاومت بیشتر گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از اسید هیومیک و باکتری پوتیدا می‌تواند بهبود زیادی در صفات مورفولوژیکی نهال‌های بلوط ایرانی تحت تنش خشکی ایجاد کند. این اثرهای مثبت ناشی از بهبود جذب مواد مغذی، افزایش فعالیت‌های آنزیمی و تقویت سیستم ریشه‌ای نهال‌ها است. ترکیب استفاده از اسید هیومیک و باکتری پوتیدا بهترین نتایج را در افزایش مقاومت نهال‌های بلوط در برابر تنش خشکی به همراه داشت. پیشنهاد می‌شود بررسی‌های بیشتری در زمینه تأثیرات طولانی‌مدت این ترکیبات بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های بلوط انجام شود و اثرهای آنها در شرایط میدانی نیز بررسی شود تا اطلاعات جامع‌تری در مورد کارایی این روش‌ها به‌دست آید. علاوه بر این، ارزیابی تأثیر این تیمارها بر دیگر جنبه‌های رشد و توسعه نهال‌ها، می‌تواند به بهبود راهکارهای مدیریت جنگل‌ها کمک کند و نتایج کاربردی‌تری را ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، باکتری، بلوط ایرانی، تنش خشکی.

راهِکار گیاهان برای مقابله با تنش و شرایط استرس‌زا، تکیه بر مکانیسم‌های ژنتیکی قابل تغییر مانند تحمل و اجتناب از خشکی است. سازگاری‌های مورفولوژیکی در برگ، ساقه و ریشه نشان‌دهنده تحمل به خشکی است (Peguero-Pina et al., 2009). کودهای زیستی، یکی از مهم‌ترین منابع غیرشیمیایی تأمین‌کننده عناصر غذایی هستند (Abbaszadeh et al., 2015). کودهای زیستی به مواد حاصلخیزکننده‌ای گفته می‌شود که شامل عوامل میکروبی فعال‌اند و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و رشد آنها را تحریک می‌کنند (Riaz et al., 2020). کودهای زیستی، براساس نوع تأثیر و عملکردشان روی گیاهان تقسیم‌بندی می‌شوند: ۱- ریزوباکتری محرک رشد (PGPR)، ۲- قارچ‌های آریبسکولار و ۳- تثبیت‌کننده‌های نیتروژن (PGPR) یا محرک‌های رشد، بخش اصلی کودهای زیستی هستند و یک جایگزین مناسب و تضمینی برای تولید پایدار به‌شمار می‌روند. آنها نه تنها به‌عنوان عوامل کنترل زیستی، بلکه به‌عنوان محرک‌های گیاهی در افزایش مقاومت گیاهان با تغییرات عملکرد آنها نقش مهمی دارند. PGPRها سبب گسترش سیستم ریشه میزبان، تنظیم اسمزی، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، فعالسازی سیستم‌های پاسخ دفاعی آنتی‌اکسیدانی برای مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، تنظیم هورمون‌های گیاهی، تولید هورمون‌های گیاهی اکسین، افزایش زیست‌توده ریشه، افزایش رشد طولی و انشعابات فرعی ریشه و در نهایت موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند (Yusefpour et al., 2018). طبق بررسی انجام‌شده استفاده از کودهای زیستی و باکتری محرک رشد موجب افزایش ویژگی‌های رشدی (ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد برگ و شاخه‌های فرعی) و نیز افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی شد (Khalediyan et al.,

جنگل‌های زاگرس یکی از وسیع‌ترین رویشگاه‌های گیاهی کشور شناخته می‌شوند. مساحت کل این جنگل‌ها در منابع مختلف، چهار میلیون، ۴/۵ تا پنج میلیون، ۵/۵۲ میلیون و ۵/۶ میلیون هکتار اعلام شده است (Jazirehi and Ebrahimi-Rostaghi, 2003). زاگرس به دو بخش مجزا شامل زاگرس شمالی و زاگرس جنوبی تفکیک می‌شود. زاگرس شمالی رویشگاه ویژه گونه مازودار (*Quercus infectoria*)، برودار (*Q. brantii*) و ویول (*Q. libani*) است. زاگرس جنوبی نیز رویشگاه ویژه گونه برودار است (Jazirehi and Ebrahimi Rostaghi, 2003). این جنگل‌ها از نظر وسعت، مسائل زیست‌محیطی و حفظ منابع آب و خاک از اهمیت ویژه‌ی برخوردار هستند. با این حال در طی دهه‌های گذشته به دلایل اقتصادی، اجتماعی و عدم مدیریت جامع، توان تولیدی خود را از دست داده‌اند و این واقعیت آینده جنگل‌های منطقه را به خطر انداخته است (Ghazanfari et al., 2004). از طرفی تنش‌های حاصل از تشدید عوامل محیطی و انسانی موجب بروز خشکیدگی و زوال هرچه بیشتر جنگل‌های زاگرس و مرگ این بوم‌سازگان جنگلی شده است (Pourhashmi, 2003). زوال در اثر یک تنش غیرزنده زیستی یا یک استرس محیطی به‌وجود می‌آید. یکی از دلایل اصلی انتشار زوال در منطقه زاگرس، کمبود آب، خشکی، افزایش دمای محیط و کاهش مقدار بارندگی ناشی از تغییر اقلیم است (Leininger, 1998). اثرهای منفی تغییر اقلیم مانند افزایش دما و کاهش بارندگی سبب از بین رفتن گیاهان و درختان جنگلی زیادی در جنگل‌های زاگرس واقع در استان‌های غربی ایران مانند لرستان و ایلام شده و حتی درختان مقاوم را نسبت به عوامل بیماری‌زا آسیب‌پذیر ساخته است (Jafarnia et

پژوهش خود بیان کردند اثر هم‌افزایی اسید هیومیک و کودهای زیستی بر نهال‌های پسته موجب بهبود برخی صفات رویشی و فیزیولوژیکی شد. Afshari et al. (2015) نیز استفاده از اسید هیومیک را عامل مهمی در افزایش عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی نهال پسته عنوان کردند.

به‌طور کلی، با توجه به اهمیت جنگل‌های زاگرس، تغییرات اقلیمی، افزایش درجه حرارت، وقوع خشکیدگی و زوال بلوط، این پژوهش برای بررسی اثر اسید هیومیک و باکتری‌های محرک رشد (*Pseudomonas putida*) به‌صورت جداگانه و اثر متقابل آن‌ها بر برخی عوامل مورفولوژیکی نهال یک-ساله گونه بلوط ایرانی در مواجهه با تنش خشکی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان واقع در شهر خرم‌آباد به‌صورت اسپلینت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارها شامل دو سطح اسید هیومیک (صفر و ۲/۵ گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح باکتری پوتیدا (با و بدون تلقیح) بودند. برای اعمال تنش خشکی، نهال‌ها در سه سطح آبیاری مختلف (شاهد آبیاری هر روز، آبیاری هر چهار روز و آبیاری هر هشت روز) مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). بدین منظور نهال‌های یک ساله گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* L) از نهالستان بام لرستان - خرم‌آباد تهیه شد. گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر انتخاب و با مقدار مناسبی از خاک مزرعه که مخلوطی از ماسه و خاک بود، پر شدند. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک مقداری از خاک گلدان‌ها به آزمایشگاه منتقل شد

گزارش (Sarcheshmepour et al. (2014). نشان داد که مایه‌زنی با باکتری محرک رشد بر نهال پسته تحت تنش خشکی، سبب بهبود روند رشدی، کاهش اثرهای منفی خشکی و بهبود وضعیت غذایی نهال‌ها شد. همچنین، در پژوهشی که Brunetti et al. (2021) انجام دادند مشخص شد که تلقیح باکتری محرک رشد تحت تنش خشکی، سبب بالارفتن بازده آبی، افزایش عملکرد و بالا رفتن مقاومت گیاه لوبیا شده است. در بررسی دیگر استفاده از باکتری محرک رشد به‌همراه قارچ، تحت تنش خشکی، موجب کاهش اثرهای منفی تنش و افزایش رشد، عملکرد و زنده‌مانی نهال‌های مورد (*Myrtus communis* L.) و نیز افزایش مقدار بیوماس ریشه، ساقه و همچنین رشد ارتفاعی آن شد (Azizi et al., 2020). در پژوهش انجام‌شده توسط Teimuri et al. (2020) مشخص شد که باکتری محرک رشد باسیلوس و سودمونس موجب افزایش وزن خشک ریشه، ساقه و برگ دو گونه بلوط برودار و ویول شد و همچنین مقدار عناصر غذایی، فسفر، منیزیم و آهن را در ریشه و ساقه افزایش داد.

اسید هیومیک نوع دیگری از ترکیباتی است که در گیاهان و گونه‌های مختلف، سبب کاهش اثرهای منفی تنش خشکی می‌شود. اسید هیومیک با دارا بودن ساختار پلیمری بخشی از مواد آلی است که بیشتر در خاک‌ها و آب روان در اثر تجزیه گیاهان و بقایای جانوری به‌دست می‌آید و برای افزایش محصول بکار گرفته می‌شود (Fan et al., 2014). از طرفی استفاده از هم‌افزایی کود-های زیستی مانند اسید هیومیک و باکتری محرک رشد، راه حل مؤثرتری برای مواجهه با تنش‌های محیطی است. (Bettoni et al. (2014) نشان دادند که اثر هم‌افزایی اسید هیومیک و PGPR، موجب رشد بهتر و افزایش مقدار عوامل مرتبط با صفات بیوشیمیایی مانند مقدار پروتئین در گیاه پیاز شد. (Razavi Nasab et al. (2017)

با استفاده از دوره آبیاری، تنش خشکی در سه سطح (شاهد، چهار و هشت روز) و برای هر تیمار سه تکرار و برای هر تکرار دو گلدان و در نظر گرفته شد. بعد از گذشت ۱۲۰ روز از اعمال تیمار و تنش خشکی، در اواخر آبان ماه صفات مورفولوژیکی نهالهای بلوط مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در پایان دوره تنش خشکی، ارتفاع نهال و طول ریشه به وسیله خط‌کش (با دقت سانتی‌متر) و قطر یقه نهال‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. تعداد برگ نیز از روش شمارش دقیق تعیین شد.

و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۲). بعد از پر کردن گلدان‌ها، ۲/۵ گرم اسیدهیومیک و ۲۰ سی‌سی محلول سوسپانسیون باکتری سودمونس پوتیدا با خاک گلدان مخلوط شد (به غیر از گلدان‌های شاهد). بلافاصله در همان روز نهال‌ها بازکاشت شدند. تمام گلدان‌ها در شرایط یکسان از نظر نور، رطوبت و دما قرار گرفتند، رطوبت نسبی در گلخانه‌های ذکر شده ۶۰ تا ۷۰ درصد و دمای روزانه و شبانه آنها به ترتیب ۲۰ تا ۲۸ و ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. پس از به دست آوردن ظرفیت زارعی مرجع خاک (Field Capacity)

جدول ۱- ترکیب و تعداد تکرار و گلدان مورد استفاده

Table 1. The combination of treatments and the number of repetitions and pots used

مجموع Total	گلدان Flower pot	تکرار Repetition	<i>P. putida</i>	اسید هیومیک (گرم بر کیلوگرم) Humic acid (A. H75)* (gr/kg)	سطوح آبیاری Irrigation levels
6	2	3	عدم استفاده Non-use	0	شاهد Control
6	2	3	استفاده Use		
6	2	3	عدم استفاده Non-use	0	هر چهار روز Every four days
6	2	3	استفاده Use		
6	2	3	عدم استفاده Non-use	2.5	
6	2	3	استفاده Use		
6	2	3	عدم استفاده Non-use	0	هر هشت روز Every eight days
6	2	3	استفاده Use		
6	2	3	عدم استفاده Non-use	2.5	

* A. H75: FERTI ONE AH75

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Some physicochemical properties of soil used in the experiment

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسیزیمنس بر متر) EC (dSm ⁻¹)	کربن آلی (درصد) OC (%)	مواد آلی (درصد) OM (%)	رس (درصد) Clay (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	بافت Texture
8.18	4.10	74.1	27.71	31.27	37.44	31.29	لوم رسی شنی Sandy clay loam
پتاسیم K (μg/g)	منگنز Mn (μg/g)	سدیم Na (μg/g)	کلسیم Ca (μg/g)	آهن Fe (μg/g)	روی Zn (μg/g)	منیزیم Mg (μg/g)	نیترژن (درصد) N (%)
220.96	4.82	184.17	20370.94	2.282	0.5422	452.078	83.00

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش در محیط نرم‌افزار SPSS Ver. 21 انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگن بودن واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شدند. سپس داده‌ها با استفاده از آزمون دو طرفه (Two-Way ANOVA) تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چن دامنه دانکن در سطح اطمینان پنج درصد استفاده شد.

نتایج

ارتفاع نهال

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع نهال بلوط به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، اثر ساده اسید هیومیک ($P \leq$

0.01) و اثر متقابل بین تنش خشکی×اسید هیومیک×باکتری ($P \leq 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش، ارتفاع نهال کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین ارتفاع نهال بلوط (۵۲/۷۴ سانتی‌متر) در تیمار تنش خشکی چهار روز با کاربرد اسید هیومیک و بدون استفاده از باکتری و کمترین (۱۴/۴۱ سانتی‌متر) در تیمار تنش خشکی هشت روز، بدون اسید هیومیک و کاربرد باکتری پوتیدا مشاهده شد (جدول ۴). از طرفی کاربرد همزمان اسید هیومیک و باکتری موجب عدم اختلاف معنی‌دار تنش خشکی هشت روز با تیمار چهار روز بدون باکتری و هیومیک اسید و همچنین تیمار شاهد شد (شکل ۱).

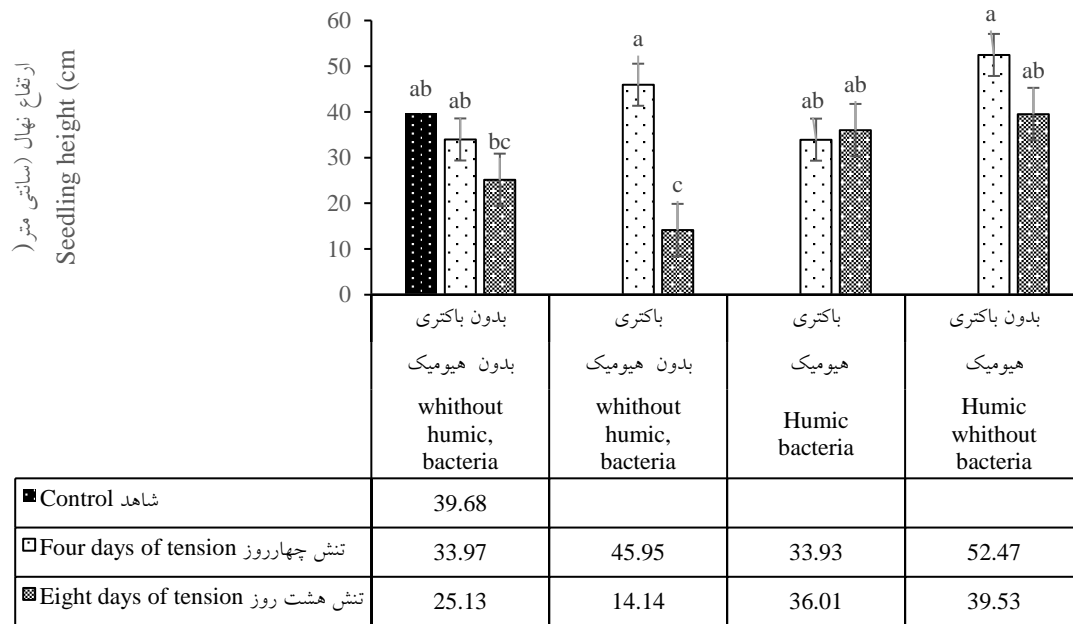
جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورفولوژی نهال‌های گونه بلوط کاشته شده تحت تنش خشکی

Table 4. Variance analysis for morphological traits of oak seedlings planted under drought stress

میانگین مربعات Mean squares							df	منابع تغییرات Sources of variations
قطریقه -سانتی - (متر) Droplet (cm)	طول ریشه (سانتی متر) Root length (cm)	تعداد برگ Number of leaves	وزن خشک برگ (گرم) Leaf dry weight (gr)	وزن تر برگ (گرم) Leaf weight (gr)	ارتفاع (سانتی متر) Height (cm)			
2.503 ^{ns}	0.2930 ^{ns}	709.37 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.085*	27.39 ^{ns}	2	تکرار Repetition	
1.077 ^{ns}	106.912*	1868.08 ^{ns}	0.070 ^{ns}	0.07*	599.91**	2	تنش خشکی Drought stress	
0.794 ^{ns}	9.3339 ^{ns}	550.64 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.02 ^{ns}	250.54**	4	تکرار×تنش خشکی Drought Stress× Repetition	
0.0028 ^{ns}	4.4926 ^{ns}	1462.81 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.03 ^{ns}	166.58 ^{ns}	1	باکتری Bacteria	
0.984 ^{ns}	32.9562**	21.00 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.04 ^{ns}	685.54*	1	هیومیک اسید Humic acid	
0.285 ^{ns}	39.5878**	61.53 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.00 ^{ns}	208.80 ^{ns}	1	باکتری×هیومیک اسید Bacteria×Humic acid	
0.0042 ^{ns}	1.4035 ^{ns}	195.79 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.00 ^{ns}	20.59 ^{ns}	1	باکتری×تنش Bacteria×Drought Stress	
0.4159 ^{ns}	37.9919*	1076.42 ^{ns}	0.0240 ^{ns}	0.01 ^{ns}	320.83 ^{ns}	1	هیومیک اسید×تنش Humic acid × Drought Stress	
0.0522 ^{ns}	127.6225*	4455.102*	0.062 ^{ns}	0.12**	541.59*	1	تنش×باکتری×هیومیک اسید Drought Stress×Bacteria×Humic acid	
16.17	10.56	27.8	0.017	0.01	27.19		ضریب تغییرات CV	
84.686	10.7394	6161.36	29.72	22.27	1131.61	12	خطا Error	

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at the 95% probability level and significant at the 99% probability level, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، اسید هیومیک و باکتری پوتیدا بر ارتفاع نهال‌های بلوط
Figure 1. Comparison of the average interaction effect of drought stress, humic acid and Putida bacteria on the height of oak seedlings

طول ریشه شد، به طوری که در شرایط تنش چهار روز استفاده از باکتری و هیومیک اسید تفاوت معنی دار نسبت به عدم استفاده از آنها داشت (شکل ۲). همچنین در تنش هشت روز نیز اسید هیومیک به تنهایی اثرهای مثبت و معنی داری نسبت به عدم استفاده از آن را نشان داد.

تعداد برگ

نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی × هیومیک اسید × باکتری ($P \leq 0.05$) بر تعداد برگ نهال بلوط اثر معنی داری دارد. اما دیگر اثرهای مستقل و متقابل معنی دار نشد (جدول ۴). استفاده‌ی همزمان از باکتری و اسید هیومیک در تنش چهار روز و هشت روز نسبت به استفاده مجزا از باکتری و هیومیک اسید، تفاوت معنی داری نشان داد. به طوری که استفاده همزمان از باکتری و هیومیک اسید در تنش چهار روز تعداد برگ بیشتری نسبت به استفاده از باکتری داشت. این در حالی است که در تنش هشت روز استفاده از باکتری نسبت به استفاده

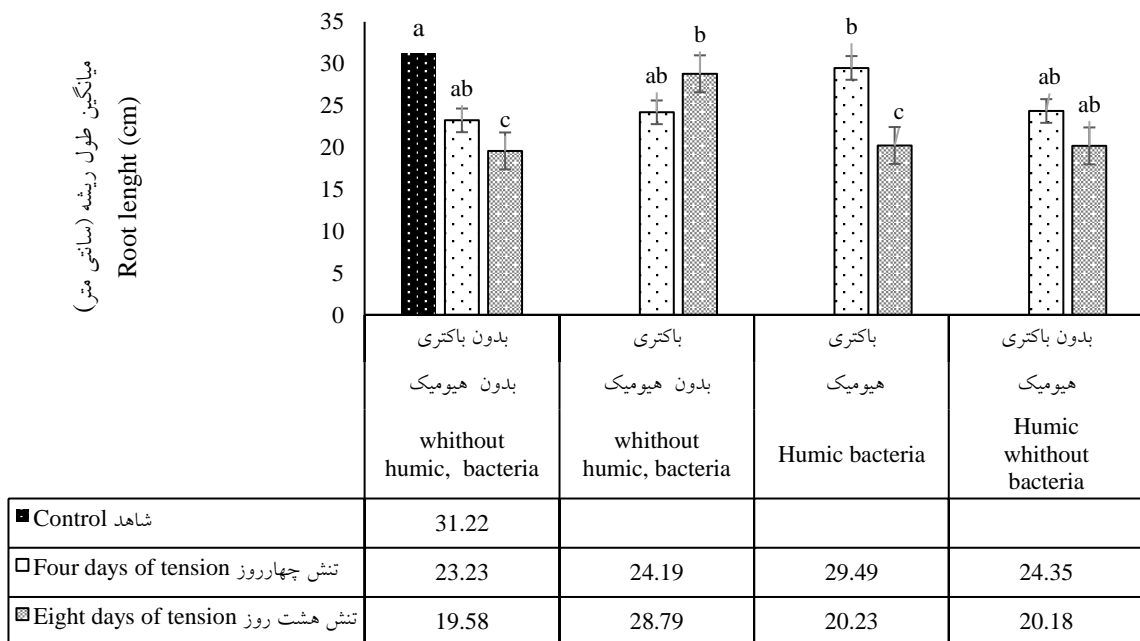
قطر یقه نهال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده عدم معنی داری اثرهای مستقل تیمارهای تنش خشکی، هیومیک اسید و باکتری و همچنین اثرهای متقابل آن‌ها بر صفت قطر نهال بود (جدول ۴).

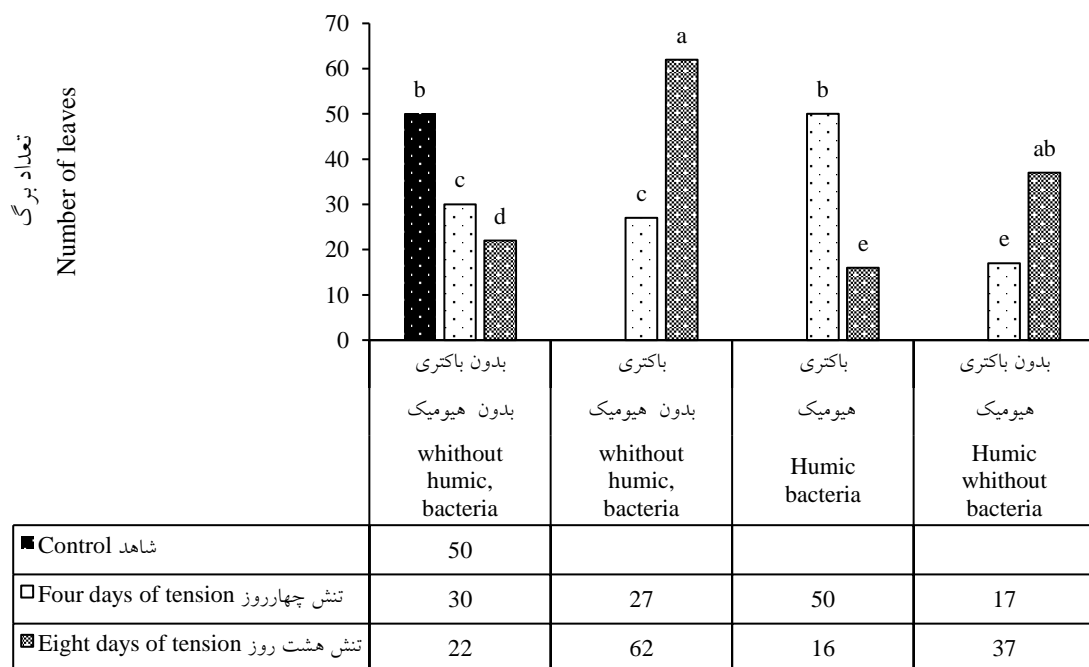
طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده معنی داری اثر ساده تنش خشکی ($P \leq 0.01$)، اثر ساده باکتری پوتیدا ($P \leq 0.05$)، اثر متقابل هیومیک اسید و باکتری پوتیدا ($P \leq 0.05$) و همچنین اثر متقابل تنش خشکی، هیومیک اسید و باکتری ($P \leq 0.05$) بر صفت طول ریشه نهال بلوط بود (جدول ۴). با افزایش شدت تنش از مقدار طول ریشه کاسته شد به طوری که در تیمار تنش هشت روز به کمترین مقدار خود (۱۹/۸ سانتی‌متر) رسید. مقایسه میانگین اثرهای متقابل بین عوامل نیز نشان داد که استفاده از باکتری محرک رشد و اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش

همزمان از باکتری و هیومیک اسید بیشترین تعداد برگ را داشت. در تنش هشت روز استفاده از هیومیک اسید موجب افزایش تعداد برگ بیشتری نشان داد (شکل ۳). نسبت به استفاده همزمان از باکتری و هیومیک اسید



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، اسید هیومیک و باکتری پوتیدا بر طول ریشه نهال‌های بلوط
Figure 2. Comparison of the average interaction effect of drought stress, humic acid and Putida bacteria on the root length of oak seedlings



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، اسید هیومیک و باکتری پوتیدا بر تعداد برگ نهال‌های بلوط
Figure 3. Comparison of the average interaction effect of drought stress, humic acid and Putida bacteria on the leaves number of oak seedlings

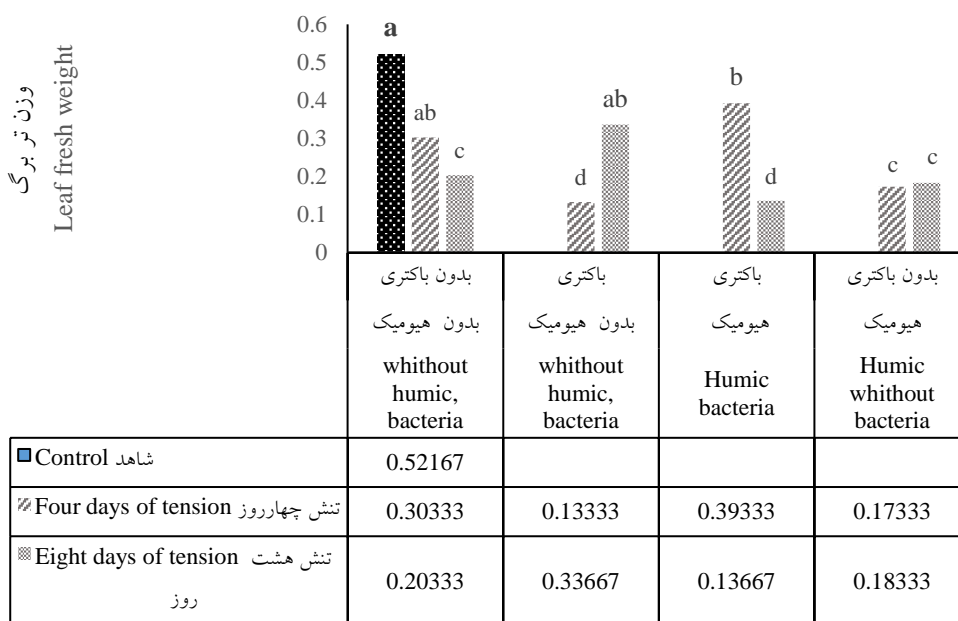
وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اثرهای مستقل تیمارهای تنش خشکی، هیومیک اسید و باکتری و همچنین اثرهای متقابل آنها بر صفت وزن خشک برگ نهال بود (جدول ۴).

وزن تر برگ

از بین آثار متقابل عوامل، اثر متقابل تنش خشکی × هیومیک اسید × باکتری ($P \leq 0.01$) بر وزن تر برگ

معنی‌دار بود درحالی‌که دیگر اثرهای مستقل و متقابل معنی‌دار نشد (جدول ۴). وزن تر برگ در استفاده همزمان از باکتری و اسید هیومیک در تنش چهار روز نسبت به هشت روز، نسبت به استفاده مجزا از باکتری و هیومیک اسید بیشتر اندازه‌گیری شد. این درحالی‌ست که در تنش هشت روز استفاده از باکتری نسبت به استفاده همزمان از باکتری و هیومیک اسید بیشترین وزن تر برگ را داشت (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، هیومیک اسید و باکتری پوتیدا بر وزن تر برگ نهال‌های بلوط

Figure 4. Comparison of the average interaction effect of drought stress, humic acid and Putida bacteria on the leaf weight of oak seedlings

بحث

در چند دهه اخیر، درختان بلوط جنگل‌های زاگرس دچار زوال و خشکیدگی شده‌اند. بسیاری از پژوهشگران، خشکسالی و گرم شدن هوا و به عبارتی تغییر اقلیم را عامل بسیار مهم و زمینه‌ای وقوع این پدیده دانسته‌اند (Linares et al., 2009; Ainsworth & Long, 2005; Suarez et al., 2004). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش

اندازه صفات مورفولوژیکی گونه بلوط شد. نتیجه حاضر با پژوهش Azim Nejad et al. (2021) بر نهال بلوط ایرانی همخوانی دارد. آنها نشان دادند که کاهش مقدار رطوبت خاک، موجب کاهش رشد قطری و ارتفاعی گونه *Quercus brantii* شد. Zolfaghari et al. (2018) در بررسی اثر تنش خشکی بر دو گونه بلوط ایرانی و ویول بیان کردند تنش خشکی موجب کاهش صفات رویشی و فیزیولوژیکی شد، اما در بین گونه‌ها

قطر، ارتفاع و سطح برگ کاهش می‌یابد. این روند نزولی در تنش‌های شدید افزایش می‌یابد. با افزایش سطح خشکی، وزن تر و خشک برگ نهال بلوط کاهش یافت. در شرایط تنش خشکی مقدار فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در نتیجه تعداد، سطح برگ کم می‌شود و در نهایت موجب کاهش زی‌توده برگ می‌شود (Sisakht Nejad et al., 2015). به‌طور کلی تنش خشکی موجب کاهش وزن تر و خشک برگ می‌شود که این امر به علت کاهش سطح برگ است. استفاده از هیومیک‌اسید و باکتری محرک رشد در تنش ملایم موجب افزایش وزن تر برگ نسبت به تنش هشت روز شد. این درحالی است که نسبت به کنترل تغییر معنی‌داری نداشت. این نتایج با یافته‌های (Azizi et al., 2020) و (Zamani Kabarabadi et al., 2022) همخوانی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از اسیدهیومیک موجب افزایش طول ریشه و ارتفاع نهال شد. این نتایج با نتایج پژوهش (Ali pour et al., 2022) بر نهال پسته مطابقت دارد. کودهای آلی مانند اسید هیومیک با بهینه کردن دسترسی گیاهان به مواد غذایی سبب افزایش عملکرد گیاهان نسبت به شرایط محیطی می‌شوند، بنابراین با به‌کارگیری کودهای آلی می‌توان تا حدودی از بروز اثرهای منفی تنش بر صفات رشدی به‌ویژه ریشه جلوگیری کرد (Mozafari et al., 2017). اسید هیومیک می‌تواند با اثربخشی بر فیزیولوژی گیاهان و درختان سبب توسعه سیستم ریشه‌ای شود (Cordeiro et al., 2018). (Afrousheh et al., 2020) در آزمایشی که بر نهال پسته انجام دادند اعلام کردند که اسید هیومیک در شرایط تنش، موجب افزایش طول ریشه و حجم آن شد. همچنین تعداد برگ نهال پسته نسبت به نهال‌های بدون استفاده تغییری نکرد که با نتایج این پژوهش مطابقت

گونه بلوط ایرانی نسبت به گونه دیگر مقاومت بیشتری نشان داد. (Leininger (1998) برای ارزیابی اثرهای تنش خشکی و گرما بر چهار گونه بلوط (*Quercus phellos Linnae*, *Q. falcata Michx*, *Q. nuttall*, *Q. cocclnea Linnae*) گزارش کرد که با افزایش شدت تنش مقدار صفات رویشی کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. ارتفاع نهال‌ها به مقدار زیادی تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد؛ زیرا تقسیم سلولی در زمان تنش کاهش می‌یابد و همین امر موجب کوتاه شدن ارتفاع گیاهان تحت شرایط تنش می‌شود (Sisakht Nejad et al., 2015). پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند در صورت کم‌آبی با کاهش فشار تورژسانس سلول‌های گیاه و نیز تاثیر بر طول سلول‌ها و تقسیم سلولی، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (Motamedi et al., 2020; Sisakht Nejad et al., 2015). (Rashidi (2018) طی آزمایشی که بر نهال پسته در شرایط تنش خشکی انجام داد مشاهده کرد که تمام صفات رویشی کاهش یافت که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. با افزایش شدت تنش ریزش برگ نیز افزایش یافت. برگ به‌عنوان بستر سنتز محصولات فتوسنتزی و قسمت اصلی برای گیاه محسوب می‌شود که تعداد و سطح آن در مواجهه با تنش خشکی کاهش می‌یابد. (Jahanbazi et al., 2020) در پژوهشی که بر نهال بلوط انجام دادند، اعلام کردند که برخی از صفات رویشی نهال مانند ارتفاع، تعداد برگ، طول ریشه و حجم بلوط تحت تنش خشکی کاهش یافت. به‌دلیل کاهش مقدار هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز، مقدار اتلین در گیاه تجمع کرده و سبب ریزش برگ می‌شود. تنش خشکی بر رشد و تکامل و پویش و بهره‌وری گیاهی در محیط زیست جنگلی اثرهای گسترده‌ای دارد. نتیجه تنش خشکی بسته‌شدن روزنه‌های برگ بوده و در نهایت با کاهش اندازه فتوسنتز، صفات رویشی مانند

باسیلوس سبب طول ساقه، تعداد برگ و نیز طول ریشه نهال کاج شده است. همچنین Bahmani et al. (2016) در پژوهشی روی نهال استبرق، نشان داد که تلقیح باکتری پوتیدا سبب افزایش رشد ارتفاعی نهال استبرق می‌شود. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اثر مطلوب باکتری محرک رشد سودوموناس پوتیدا و مصرف هیومیک اسید بر صفات ارتفاع نهال، طول ریشه و تعداد برگ بود که با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها مطابقت دارد (Mozafari et al., 2017; Garcia et al., 2004). استفاده از باکتری محرک رشد موجب جذب بهتر مواد مغذی اطراف ریش شده و رشد و عملکرد گیاه تحت تنش را بهبود می‌بخشد (Hadi Rad et al., 2016). در پژوهشی در شرایط تنش خشکی، هم‌افزایی همزمان دو باکتری سبب افزایش طول ریشه و وزن ریشه نهال پسته شد. باکتری محرک رشد با تولید اسیدآمین و استفاده از نیتروژن موجب کاهش مقدار اتیلن و به دنبال آن موجب افزایش رشد ریشه شد (Sarcheshmehpour et al., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج بررسی حاضر، کاربرد باکتری محرک رشد پوتیدا و اسیدهیومیک سبب کنترل اثرهای منفی تنش خشکی بر صفات رویشی نهال بلوط می‌شود. از این رو با توجه به تغییرات اقلیمی و بالا رفتن دمای محیط که کم‌آبی را به دنبال دارد، استفاده از کودهای آلی و باکتری‌های محرک رشد که با ایجاد ساز و کارهایی موجب بالابردن مقاومت نهال‌ها و همچنین سبب کاهش و کنترل اثرهای منفی تنش‌های محیطی می‌شوند، در جنگلکاری‌ها و نهالستان‌ها برای تولید نهال‌های مقاوم توصیه می‌شود.

دارد. همچنین در پژوهشی گزارش شد تلقیح با باکتری محرک رشد بر دو گونه بلوط برودار و ویول موجب افزایش صفات رویشی (ارتفاع، قطر، وزن خشک ریشه و ساقه) شد (Teimuri et al., 2020). این پژوهش اثبات کرد که کاربرد باکتری محرک رشد و اسید هیومیک اثرهای منفی تنش خشکی را کاهش دادند و موجب عدم کاهش رشد ریشه در تنش چهار روزه شدند. استفاده همزمان از اسید هیومیک و باکتری محرک رشد سبب تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌شوند و بنابراین موجب افزایش صفات رویشی مانند قطر، ارتفاع، سیستم ریشه‌ای گیاه و نیز افزایش ریشه‌جانبی می‌شوند (Toghani et al., 2017). افزایش صفات رویشی به دلیل وجود باکتری محرک رشد را می‌توان به نیتروژن حاصل از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت داد که با مصرف کربوهیدرات‌ها در سلول‌های رویشی سبب افزایش صفاتی همچون قطر و ارتفاع می‌شوند (Shamshiripour, 2008). سودوموناس‌ها قادرند با کاهش پاتوژن‌ها و تنش‌های موجود در دوره رشد گیاه سبب افزایش عملکرد گیاه و تحمل آن در برابر خشکی شوند (Celik et al., 2012). ریزوباکتری‌های محرک رشد با افزایش تولید هورمون‌های گیاهی و جذب توسط ریشه و با تولید مقدار زیادی اکسین سبب افزایش رشد طولی، قطری و افزایش تعداد برگ می‌شوند (Cook, 1998). Kamalpour Asl et al. (2021) در پژوهشی که بر نهال بلوط انجام دادند نشان دادند که نهال‌های تلقیح شده با باکتری محرک رشد بهتر و نسبت به نهال‌های تلقیح نشده در شرایط تنش مقاوم‌تر بودند. همچنین مقدار صفات رویشی در نهال تلقیح شده نسبت به عدم تلقیح مقدار بیشتری داشت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Probanz (2002) چنین گزارش کرد که باکتری محرک رشد

References

- Abbaszadeh, B.; Zakarian, F., The absorption of elements in lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under the influence of two types of arbuscular fungi, mycorrhizal fungi, and vermicompost. *Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research* **2015**, *32* (1), 47-59. (In Persian)
- Afrousheh, M.; Javanshah, A., The effect of humic acid on the growth and physiological indices of pistachio seedling (*Pistacia vera*) under drought stress. *Journal of Nuts* **2020**, *11* (1), 1-12.
- Afshari, H.; Pour Ali, M.; Sajdi, S.; Hakemabadi, S., Investigating the effect of different types of humic acid on quantitative and qualitative characteristics of Abbas Ali pistachio variety. *Plant Environmental Physiology* **2015**, *10* (37), 72-83. (In Persian)
- Ainsworth, E. A.; Long, S. P., What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-and analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties, and plant production to rising CO₂. *New Phytologist* **2005**, *165*, 351-372.
- Ali pour, H.; Razavinasab, A.; Hosseinfard, S. J., The effect of humic acid application on growth characteristics and product quality and yield of pistachio. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* **2022**, *12* (4), 117-133. (In Persian)
- Alkaloid, 2009. *HowStuffWorks.com*. <http://science.howstuffworks.com/alkaloid-info.htm> (accessed June 14, 2010).
- Azim Nejad, Z.; Bادهیان, Z.; Rezaei Nejad, A.; Bazot, S., Do soil properties and ecophysiological responses of oak (*Quercus brantii* Lindl.) correlate with the rate of dieback? *Trees* **2021**, *35* (5), 1639-1650.
- Azizi, S.; Tabari Kochsaraei, M.; Fallah Nusrat Abad, A. R.; Modarres Sanavy, S. A. M., The effect of inoculation of two mycorrhizal fungi and two growth-promoting bacteria on improving the traits of seedlings under drought stress (*Myrtus communis* L.). *Journal of Forest and Wood Products* **2020**, *73* (3), 271-281. (In Persian)
- Bahmani, M.; Jalali, G. A.; Asgharzadeh, A.; Tabari, M., Inoculation efficiency of *Pseudomonas putida* 169 on the improvement of some vegetative traits of *Calotropis procera* Ait. under drought stress. *Journal of Biology Soil* **2016**, *3* (2), 107-116. (In Persian)
- Bettoni, M. M.; Mogor, A. F.; Pauletti, V.; Goicoechea, N., Growth and metabolism of onion seedlings as affected by the application of humic substances, mycorrhizal inoculation, and elevated CO₂. *Science of Horticulture* **2014**, *180*, 227-235.
- Brunetti, C.; Saleem, A. R.; Della Rocca, G.; Emiliani, G.; De Carlo, A.; Balestrini, R.; Centritto, M., Effects of plant growth-promoting rhizobacteria strains producing ACC deaminase on photosynthesis, isoprene emission, ethylene formation, and growth of *Mucuna pruriens* (L.) DC. in response to water deficit. *Journal of Biotechnology* **2021**, *331*, 53-62.
- Celik, O.; Cimen, A., The effect of salt stress on proline content of two Turkish tobacco varieties. *Turkish Journal of Biology* **2012**, *36*, 339-356.
- Cook, A.; Kceling, A.; Bloxham, P., Effect of green waste compost on yield parameters in spring barley (*Hordeum vulgare*). *Acta Horticulture* **1998**, *467*, 283-287.
- Cordeiro, F. C.; Catarina, C. S.; Silveira, V.; De Souza, S. R., Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*Zea mays*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* **2018**, *75* (1), 70-74.
- Fan, H. M.; Wang, X. W.; Sun, X.; Li, Y. Y.; Sun, X. Z.; Zheng, C. S., Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis, and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* **2014**, *177*, 118-123.
- Garcia, J. A., *Estudio de la interacción planta-suelo-microorganismo y su aplicación en la mejora de la producción primaria de Lupinus sp.* Doctoral Thesis, Universidad San Pablo CEU, Madrid, España, 2004.
- Ghazanfari, H.; Namiranian, M.; Sobhani, H.; Mohajer, M. R., Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the Northern Zagros Mountains of Kurdistan Province, Iran. *Scandinavian Journal of Forest Research* **2004**, *19*, 65-71.
- Jazirehi, M. H.; Ebrahimi Rostagi, M., *Forestry of Zagros*; University of Tehran Publishing and Printing Institute: Tehran, 2003; p 560. (In Persian)

KamalPour Asl, S.; Fayaz, P.; Zolfaghari, R.,
The physiological reactions of *Quercus
brantii* trees to inductions of some chemical
solutions, plant extracts, and growth
stimulants. *The 5th International Conference
on Modern Researches in Agriculture
Engineering, Environment and Natural
Resources*, Tehran, 2021; 8p. (In Persian)

Zeng, Y. Pentachlorophenol Family Pathway
Map, 2008. *University of Minnesota
Biocatalysis/Biodegradation Database*.
[http://umbbd.msi.umn.edu/pcp/pcp_map.ht
ml](http://umbbd.msi.umn.edu/pcp/pcp_map.html) (accessed May 3, 2009).