

Inefficacy of zinc oxide nanoparticles in creating resistance to drought stress in one-year seedlings of saltbush (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.)

J. Sadeghzadeh ¹, D. Kartoolinejad ^{2*}, H. Younesi Kordkheili ³, A.A. Zolfaghari ⁴ and E. Nikouee ⁵

1- M.Sc. Graduate of Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
E-mail: kartooli58@semnan.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Semnan University, Semnan, Iran

4- Associate Prof., Department of Desertification, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

5- Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 22.07.2023

Accepted: 14.10.2023

Abstract

Background and objectives: Given the low precipitation and frequent occurrence of droughts in Iran, it is crucial to devise basic plans and identify new methods to mitigate the effects of drought on fodder production resources. Saltbush (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.), extensively cultivated in Iran for desert restoration, is one such plant.

Methodology: To investigate the effects of nano-zinc oxide and its efficacy in creating resistance to drought stress on the growth and physiological variables of one-year-old saltbush seedlings, an experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. The experimental treatments included seed nano priming using nano-zinc oxide at concentrations of 0, 30, 100, 300, and 1000 mg/liter, and drought stress at four levels of field capacity: 20%, 40%, 60%, and 80%.

Results: The results showed that as soil moisture decreased, the growth characteristics of seedlings, including the number of branches, leaves, collar diameter growth, fresh and dry weight of aerial parts, and fresh and dry weight of roots, decreased. The highest values of these characteristics were observed in the 80% treatment and the lowest in the 20% field capacity. With increasing drought stress, leaf physiological characteristics such as chlorophyll a, total chlorophyll, carotenoid, and proline increased. The investigation into the effect of nano-zinc oxide on the growth characteristics and physiology of saltbush seedlings revealed that this nanoparticle significantly affected only chlorophyll a, total chlorophyll, and proline. The highest amount was observed in the control seedlings, and the lowest was in the nano-zinc oxide treatment with a concentration of 1000 mg/liter.

Conclusion: In general, due to the very insignificant effects of zinc oxide nanoparticles observed in this research, their use to increase the resistance of saltbush to drought stress is not recommended.

Keywords: Environmental stress, field capacity, proline, seedling growth, total chlorophyll.

عدم کارایی نانواکسیدروی در ایجاد مقاومت به تنش خشکی در نهال‌های یک‌ساله آتریپلکس (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.)

جعفر صادق‌زاده^۱، داود کرتولی‌نژاد^{۲*}، حامد یونسی کردخیلی^۳، علی‌اصغر ذوالفقاری^۴ و الهه نیکوئی^۵

۱- دانش‌آموخته کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. پست الکترونیک: kartooli58@semnan.ac.ir

۳- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۴- دانشیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۵- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به مقدار اندک نزولات آسمانی و وقوع خشک‌سالی‌ها، انجام طرح‌های بنیادین و شناسایی شیوه‌های نوین با هدف کاهش اثرات خشکی بر منابع تولید علوفه در کشاوراهمیت ویژه‌ای دارند. ازمجمله گیاهانی که به‌طور گسترده برای احیا مناطق بیابانی و مرتع‌کاری در ایران از سال‌های گذشته استفاده شده است، آتریپلکس (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.) است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثرات نانواکسیدروی بر متغیرهای رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های یک‌ساله آتریپلکس و کارایی آن در ایجاد مقاومت به تنش خشکی در این گیاه، آزمایشی در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نانواکسیدروی با غلظت‌های صفر، ۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و آبیاری در چهار سطح ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود.

نتایج: نتایج نشان داد که با کاهش رطوبت خاک، صفات رویشی نهال‌ها شامل تعداد شاخه، تعداد برگ، رشد قطری، وزن‌های تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن‌های تر و خشک ریشه کاهش می‌یابند. به‌نحوی که بیشینه این مشخصه‌ها در تیمار آبیاری ۸۰ درصد و کمترین آن در ۲۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. با افزایش تنش خشکی، ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ مانند کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید و پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. نتایج بررسی اثر نانواکسیدروی بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های آتریپلکس نیز نشان داد که این نانوذره فقط بر کلروفیل a، کلروفیل کل و پرولین، اثر معنی‌دار داشت. به‌نحوی که بیشترین مقدار این صفات در نهال‌های شاهد و کمترین آن‌ها در تیمار نانواکسیدروی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی: در کل، به‌دلیل اثرات بسیار ناچیز نانواکسیدروی، استفاده از آن برای افزایش مقاومت به تنش خشکی آتریپلکس پیشنهاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش محیطی، رویش نهال، ظرفیت زراعی، کلروفیل کل.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی که گیاهان با آن مواجه هستند، تنش خشکی است (Golparyar *et al.*, 2006). این تنش نسبت به عوامل محیطی دیگر، تأثیر زیادی بر رویش گیاهان دارد و رشد آن‌ها را محدود می‌کند (Mousavi Kani *et al.*, 2022). تنش خشکی در گیاهان سبب کاهش در فتوسنتز، رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه و برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای می‌شود (Sepasi *et al.*, 2022). در صورت بروز تنش می‌توان با کامل کردن مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشید (Molaei *et al.*, 2023).

شرایط آب و هوایی ایران سبب شده است تا بخش‌های زیادی از آن به شکل مناطق بیابانی و کویری باشند. یکی از روش‌های زیستی احیای اراضی مناطق بیابانی و تثبیت شن‌های روان، کاشت گونه‌های مقاوم به شرایط خشکی در عرصه‌های عاری از پوشش گیاهی است (Mahdzadeh *et al.*, 2014). گونه مناسب برای نهال‌کاری در وهله اول باید سازگاری زیادی به این شرایط داشته باشد و بتواند به آسانی مستقر شد. به‌علاوه باید ویژگی‌های دیگری مانند تولید علوفه در فصل مورد نظر، مقاومت در مقابل چرای دام، قدرت ترمیم و رشد مجدد پس‌از آن و قدرت زادآوری طبیعی پس از استقرار اولیه را داشته باشد. از جمله این گیاهان می‌توان به گیاه بوته‌ای آتریپلکس (*Atriplex*) از تیره اسفناجیان (Chenopodiaceae) اشاره کرد. این جنس، گونه‌ها و واریته‌های متعدد یک‌ساله و چندساله دارد. ۱۸ گونه از ۲۲ گونه شناسایی شده از این جنس در سراسر ایران به صورت پراکنده حضور دارند (Jafari & Tavili, 2014). یکی از این گونه‌ها، آتریپلکس (*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.) است (Asadi, 2001). این گونه شورپسند، وارداتی است و بومی ایران محسوب نمی‌شود. این گیاه در مناطق غرب آمریکا به شکل گسترده و در مراتع نیمه‌خشک شمال آمریکا وجود دارد. به دلیل سازگاری زیاد با هوای خشک و ارزش‌های دیگر، این گونه در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران کشت می‌شود و بیشترین سطح را در میان گونه‌های

وارد شده از این جنس به خود اختصاص داده است. هرچند آتریپلکس در غرب، شمال غرب، مرکز، شمال شرق، شرق و جنوب شرق ایران پراکنده شده است، اما مناسب‌ترین اقلیم برای این گیاه، اقلیم ایران تورانی است (Jafari & Tavili, 2014). این گونه مقاوم به خشکی، فقط در سال اول رشد به آب نیاز دارد، اما در سال‌های بعد در مقابل کم‌آبی مقاوم است. در مراتع خشک و نیمه‌خشکی که مقدار بارندگی سالانه آن در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر باشد، به رشد خود ادامه می‌دهد، اما در بارندگی سالانه بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر نیز در صورت فراهم بودن شرایط خاک، رشد قابل توجهی دارد. در مناطقی که مقدار بارش سالانه آن از ۱۰۰ میلی‌متر کمتر باشد، می‌توان آن را در مصب رودخانه‌ها کشت کرد. این گیاه، در خاک‌های شور، آهکی و رسی سنگین با pH بین هفت تا ۸/۵ رشد خوبی دارد. مناسب‌ترین خاک برای رشد آن، خاک‌های متمایل به قلیایی و شنی رسی است. آتریپلکس، به غلظت زیاد سدیم، بسیار حساس است. در خاک‌های خنثی و یا کمی اسیدی نیز مستقر می‌شود. به‌طورکلی، این گیاه در خاک‌های عمیق و نیمه‌عمیق، شنی لومی و یا لومی رسی، شور و قلیا، تپه‌های شنی، دشت‌ها و آبرفت‌های مراتع ساحلی و جلگه‌ها در ارتفاع کمتر از سطح دریا تا ۲۴۴۰ متر از سطح دریا، توانایی استقرار دارد (Jafari & Tavili, 2014).

بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به منظور تعدیل اثرات تخریبی تنش خشکی در گیاهان می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. نانو مواد (ذرات در مقیاس نانو) به ذرات مولکولی یا اتمی گفته می‌شود که اندازه یک بعد آن‌ها حداقل بین یک تا ۱۰۰ نانومتر بوده و از نظر خواص شیمیایی و فیزیکی نسبت به مواد درشت‌دانه متفاوت باشند (Jiang *et al.*, 2017; Yousefi *et al.*, 2014). پژوهش‌های اولیه نشان داده‌اند که نانوذرات در بهبود رشد و تولید بذر در گیاه، افزایش مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و تشخیص باقی‌مانده علف‌کش‌ها، پتانسیل زیادی دارند (Khot *et al.*, 2016; Rahimi *et al.*, 2012). به‌عنوان مثال، بررسی صفات جوانه‌زنی بذر سیاه‌تاغ (*Haloxylon aphyllum*)

بیابان‌زدایی و احیای مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کاربرد دارند.

مواد و روش‌ها

پژوهش پیش‌رو در شرایط نهالستان انجام شد. ابتدا، ۱۸۰ نهال یک‌ساله آتریپلکس با ارتفاع اولیه ۲۵ سانتی‌متر از نهالستان موجود در قطعه چهار شهرستان ملارد تهیه و به نهالستان اداره منابع طبیعی و آبخیزداری این شهرستان منتقل شد. قابل‌ذکر است که در اندازه‌گیری پارامترهای رویشی، هر تکرار نتیجه میانگین‌گیری از سه نهال بوده است. به‌منظور ایجاد شرایط رشد مناسب‌تر، نهال‌ها به همراه خاک منطقه مزبور با بافت یکسان به گلدان‌های بزرگ‌تر انتقال داده شدند و به مدت دو ماه به منظور سازگاری با شرایط آب و هوایی منطقه، آبیاری و مراقبت شدند. پیش از شروع آزمایش، صفات اولیه رویشی شامل تعداد شاخه و برگ‌ها، ارتفاع گیاه و قطر یقه اندازه‌گیری و ثبت شدند. با هدف یکسان‌سازی شرایط پژوهش، همه گلدان‌ها به وزن مناسب و برابر ۲۳۰۰ گرم رسانده شدند. با در نظر گرفتن مقدار آبیاری در هر سطح تنش خشکی، نهال‌ها در دوره چهارروزه آبیاری شدند. به‌منظور تعیین دقیق آبیاری و تنش رطوبتی خاک از روش هیدرومتری بر پایه قانون استوکس استفاده شد. در این پژوهش، آب قابل استفاده برای افزایش رطوبت خاک در چهار سطح ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با توجه به رابطه (۱) به دست آمد:

$$AW = FC - PWP \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در آن، AW آب قابل استفاده، FC رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و PWP رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم است. بدین ترتیب که مقدار ۶۰۰ سی‌سی برای ظرفیت زراعی ۸۰ درصد، ۳۸۰ سی‌سی برای ظرفیت زراعی ۶۰ درصد، ۲۸۰ سی‌سی برای ظرفیت زراعی ۴۰ درصد و ۱۸۰ سی‌سی برای ظرفیت زراعی ۲۰ درصد برای هر نوبت آبیاری به ازای هر گلدان با در نظر گرفتن وزن هریک از گلدان‌ها

(Minkw.) تحت تنش خشکی نشان داد که استفاده از نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم، اثر مثبتی بر صفات جوانه‌زنی بذرهای گونه مذکور دارد (Mousavi Kani *et al.*, 2022). عناصر کم‌مصرف، عناصر غذایی ضروری برای گیاهان زراعی هستند. در خاک‌هایی همچون خاک‌های آهکی که با کمبود این عناصر مواجه هستند، رشد و عملکرد گیاهان کاهش می‌یابد (Imani *et al.*, 2022). عنصر روی از جمله عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است (Kartoolinejad *et al.*, 2008) که نقش‌های فیزیولوژیک متعددی از جمله متابولیسم رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، محافظت غشا، افزایش توان فتوسنتزی و اعمال متابولیسم سلول، سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، ایجاد سیستم دفاعی سلول در برابر گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان و تولید محصول دارد (Karami *et al.*, 2016). در شرایط کمبود عنصر روی، بروز خسارت‌های اکسایشی ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد مانند اکسیژن فعال با ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید، سبب خسارت به سلول می‌شود (Baybordi & Mamedov, 2010). زمانی که گیاه با تنش مواجه می‌شود، رادیکال‌های آزاد سنتز شده موجب سمیت در گیاه و مرگ سلول می‌شوند. روی به همراه آهن به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سبب افزایش این آنزیم‌ها می‌شوند. این عنصرها، نقش مهمی در تعدیل رادیکال‌های آزاد و اثرات تخریبی آن‌ها بر سیستم‌های غشایی دارند و نیز موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی می‌شوند (Narimani *et al.*, 2018). محلول‌پاشی روی در شرایط وقوع تنش می‌تواند انباشت کربوهیدرات‌ها و فرایندهای فتوسنتزی را بهبود و اثرهای منفی تنش را کاهش دهد (Raeesi Sadati *et al.*, 2020).

آتریپلکس در ایران، نقش بسزایی در احیای مراتع و بیابان‌زدایی دارد. هدف از اجرای پژوهش پیش‌رو، ارزیابی اثرات نانواکسیدروی بر صفات رویشی، مورفولوژیکی و زنده‌مانی نهال‌های گونه *A. canescens* و نیز بررسی بردباری این گونه گیاهی در برابر تنش‌های محیطی است. نتایج حاصل از این پژوهش در پروژه‌های اجرایی

آزمایش‌های تعیین مقدار پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰)، مقدار کلروفیل و کارتنوئید از روش Arnon (۱۹۶۷) صورت گرفت. در مرحله آخر نیز اندازه‌گیری نهایی متغیرهای رویشی تعیین شده در این پژوهش شامل ارتفاع گیاه، قطر یقه، تعداد برگ و تعداد شاخه انجام شد. از تفاضل آن‌ها در انتها و ابتدای دوره به ترتیب رویش ارتفاعی و رویش قطری و همچنین تفاضل تعداد شاخه و برگ به دست آمد. پس از پایان زمان آزمایش، از هر تیمار ۳ نهال برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک انتخاب شدند. وزن تر اندام‌های هوایی و ریشه پس از قطع از محل یقه نهال‌ها، با ترازوی دیجیتال ثبت شد. سپس نهال‌ها با درج برچسب به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه در آون خشک شدند و دوباره وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد (Mousavi Kani *et al.*, 2022).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. پس از اندازه‌گیری‌ها و برداشت داده‌ها به منظور سنجش پراکنش نرمال آن‌ها از آزمون کولموگروف-سمیرنوف و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لون استفاده شد. آنالیز واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین داده‌ها با کاربرد آزمون LSD در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

تعیین شد. همان‌طور که ذکر شد، در ابتدا آبیاری نهال‌ها هر چهار روز یک‌بار انجام می‌گرفت، اما با افزایش دمای هوا، نهال‌ها هر سه روز یک‌بار آبیاری شدند. نانوآکسیدروی نیز با غلظت‌های صفر، ۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین (Wang *et al.*, 2012) تهیه شد. سپس، براساس برنامه زمانی تعیین شده، محلول نانوآکسیدروی در دو نوبت با فاصله زمانی یک‌ماهه در پنجم تیرماه و چهارم مردادماه روی برگ‌های نهال‌ها اسپری شد. شکل ۳ مراحل و نحوه اعمال تیمارها را نشان می‌دهد.

مشخصات نانوآکسیدروی مورد استفاده

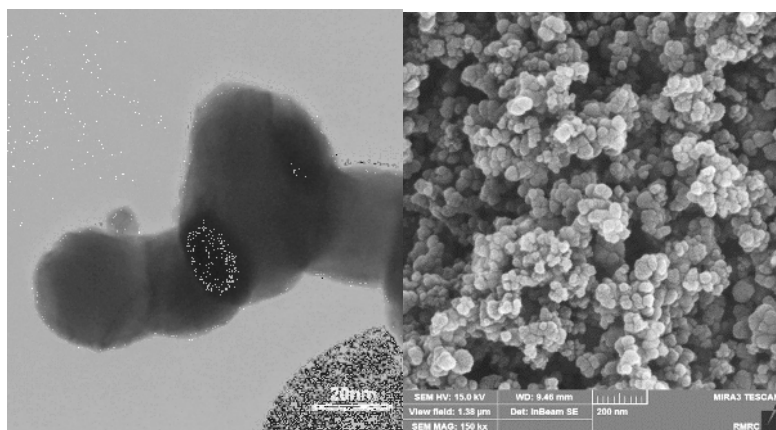
نانوآکسیدروی مورد استفاده در این پژوهش، محصول کشور آمریکا و از شرکت US Research Nanomaterials (Houston, USA) Inc بود که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. همچنین تصویر TEM و SEM نانوآکسیدروی مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است.

به‌منظور تهیه محلول نانوآکسیدروی ابتدا پودر آن در آب مقطر ریخته شد و با استفاده از دستگاه هموژنایزر التراسونیک هموژنایزر (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز) به مدت ۱۵ دقیقه، مخلوط یکنواخت نانوذرات با غلظت‌های تعیین شده (۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) ساخته شد (Amirjani *et al.*, 2014) (شکل ۲). پس از اتمام مراحل آزمایش که حدود شش ماه به طول انجامید، نهال‌ها به آزمایشگاه گیاهی انتقال داده شدند.

جدول ۱- مشخصات نانوآکسیدروی مورد استفاده در آزمایش

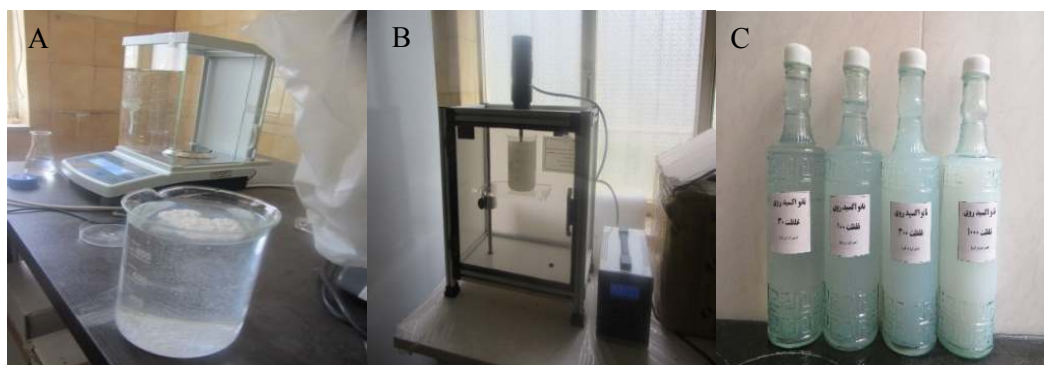
Table 1. Specifications of the zinc oxide nanoparticles used in the experiment

Monoisotopic mass	Boiling point	Melting point	Molecular weight	Sulphated assay	True density	Crystal morphology	Crystal phase	Color	Specific surface area	Average particle size	Purity percentage
79.924061 Da	2,360 °C (4,280 °F)	1,975 °C (3,587 °F)	81.37	≤ 0.1 %	5606 kg/m ³	Nearly spherical	Single	Milky white	20-60 m ² /g	10-30 nm	99.8 %



شکل ۱- تصویر TEM (چپ) و SEM (راست) از نانواکسیدروی استفاده شده

Figure 1. TEM (Left) and SEM (Right) image of used zinc oxide nanoparticles



شکل ۲- تهیه سوسپانسیون نانواکسیدروی در چهار غلظت. از چپ به راست: A) پودر نانواکسیدروی در آب مقطر پیش از تهیه

سوسپانسون، B) دستگاه هموژنایزر و C) سوسپانسیون آماده شده در غلظت‌های تعیین شده

Figure 2. Preparing the suspension of nano-zinc oxide in the four concentrations. Left to right: A) Nano-zinc oxide powder in distilled water before preparing suspension, B) homogenizer device and C) prepared suspension for each concentration

متغیرها معنی دار نبودند (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین تعداد برگ و شاخه در نهال‌های آبیاری شده با ظرفیت زراعی ۸۰ درصد و کمترین آن‌ها در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد مشاهده شد. همچنین، بیشترین و کمترین رشد طولی نهال‌های آتریپلکس به ترتیب متعلق به ظرفیت زراعی ۶۰ و ۲۰ درصد بود. بیشترین رشد قطری نهال نیز در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد مشاهده شد (شکل ۴).

نتایج

اثرات نانواکسیدروی و تنش خشکی بر ویژگی‌های کمی نهال‌های آتریپلکس بررسی نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که تنش خشکی، اثر معنی‌داری بر همه صفات رویشی نهال‌های آتریپلکس شامل تعداد شاخه، تعداد برگ، رشد طولی و قطری دارد، درحالی‌که هیچ‌کدام از این صفات به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نانواکسیدروی قرار نگرفتند. اثرات متقابل نانواکسیدروی و تنش خشکی نیز بر هیچ‌کدام از



شکل ۳- تصاویری از نهالستان محل تهیه نهال‌ها، انجام محلول‌پاشی نانو اکسیدروی بر نهال‌های آتریپلکس و اندازه‌گیری متغیرهای رویشی نهال‌ها

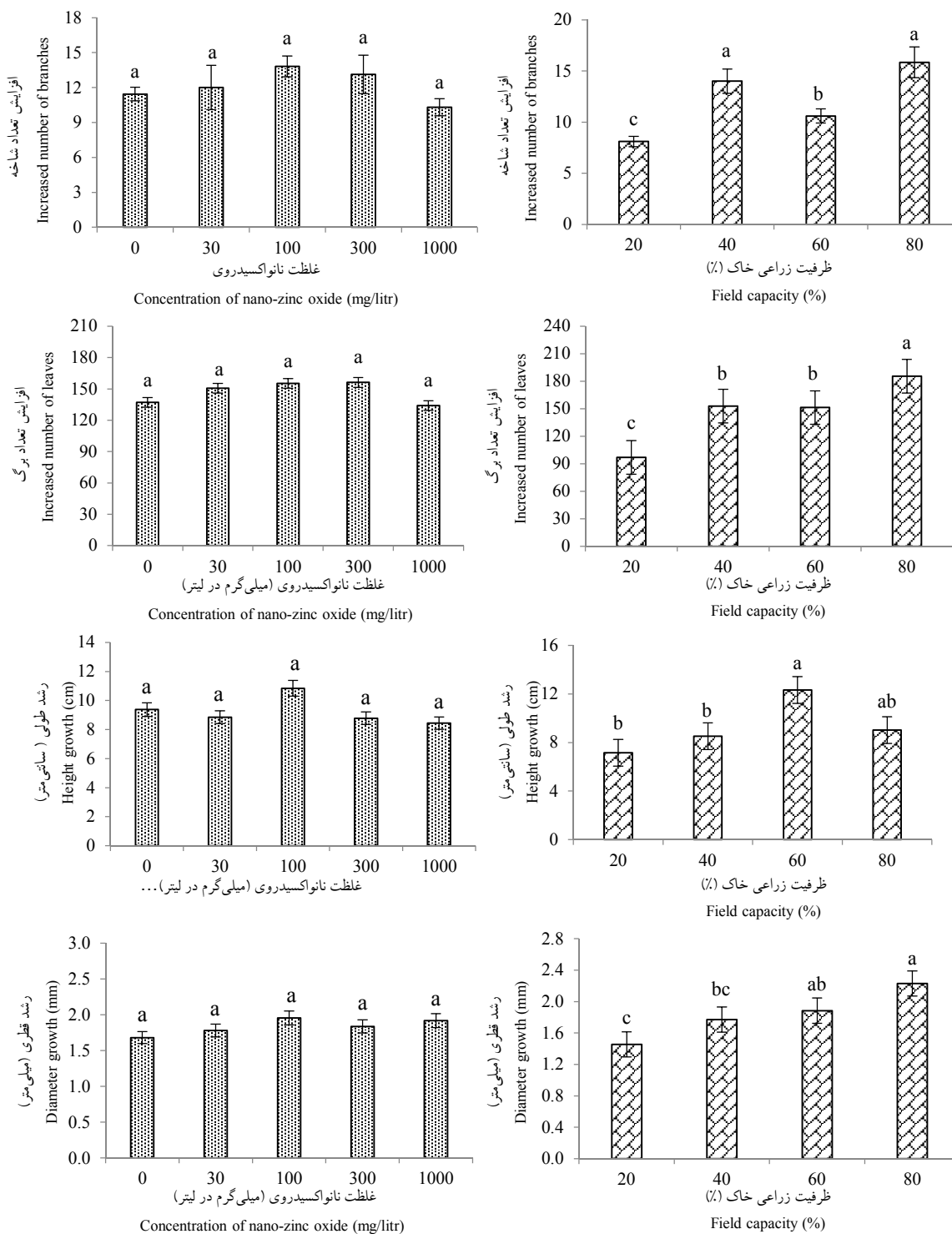
Figure 3. Photographs of the nursery where the seedlings were prepared, spraying nano-zinc oxide on the *Atriplex canescens* seedlings and measuring the growth variables of the seedlings

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های نهال‌های آتریپلکس

Table 2. The results of analysis of variance for the seedlings characteristics of *Atriplex canescens*

	Variable	df	MS	F
Drought stress	Number of branches	3	239.4	16.779**
	Number of leaves	3	26896.7	26.917**
	Collar diameter growth	3	2.048	5.453**
	Height growth	3	96.28	3.419*
Nano-zinc oxide	Number of branches	4	30.48	2.136 ^{ns}
	Number of leaves	4	1729.93	1.731 ^{ns}
	Collar diameter growth	4	0.193	0.514 ^{ns}
	Height growth	4	14.4	0.511 ^{ns}
Nano-zinc oxide × drought stress	Number of branches	12	14.9	1.045 ^{ns}
	Number of leaves	12	1036.5	1.037 ^{ns}
	Collar diameter growth	12	0.266	0.709 ^{ns}
	Height growth	12	51.84	1.841 ^{ns}
Error	Number of branches	60	14.271	
	Number of leaves	60	999.263	
	Collar diameter growth	60	0.376	
	Height growth	60	28.157	

** : Significant at $p < 0.01$; * : Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant



شکل ۴- اثرات تنش خشکی و نانواکسیدروی بر ویژگی‌های رویشی نهال‌های آتریپلکس

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 4. The effects of drought stress and nano-zinc oxide on the growth characteristics of *Atriplex canescens* seedlings

Different letters in each chart indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

اختلاف معنی داری مشاهده نشد. به طور کلی، سطوح ظرفیت زراعی ۸۰، ۴۰، ۶۰ و ۲۰ درصد به ترتیب از بیشترین به کمترین مقدار وزن های تر و خشک اندام های هوای را به خود اختصاص دادند. بیشترین و کمترین وزن های تر و خشک ریشه نیز به ترتیب در سطوح های ظرفیت زراعی ۸۰ و ۲۰ درصد مشاهده شد، بنابراین می توان بیان کرد که تنش خشکی، رابطه معکوس با رشد گیاه دارد. هرچه سطح تنش خشکی بیشتر باشد، رشد گیاه کندتر و به دنبال آن، وزن اندام های هوایی و ریشه نیز کمتر می شوند.

اثرات نانو اکسیدروی و تنش خشکی بر وزن اندام های هوایی و ریشه در نهال های آتریپلکس

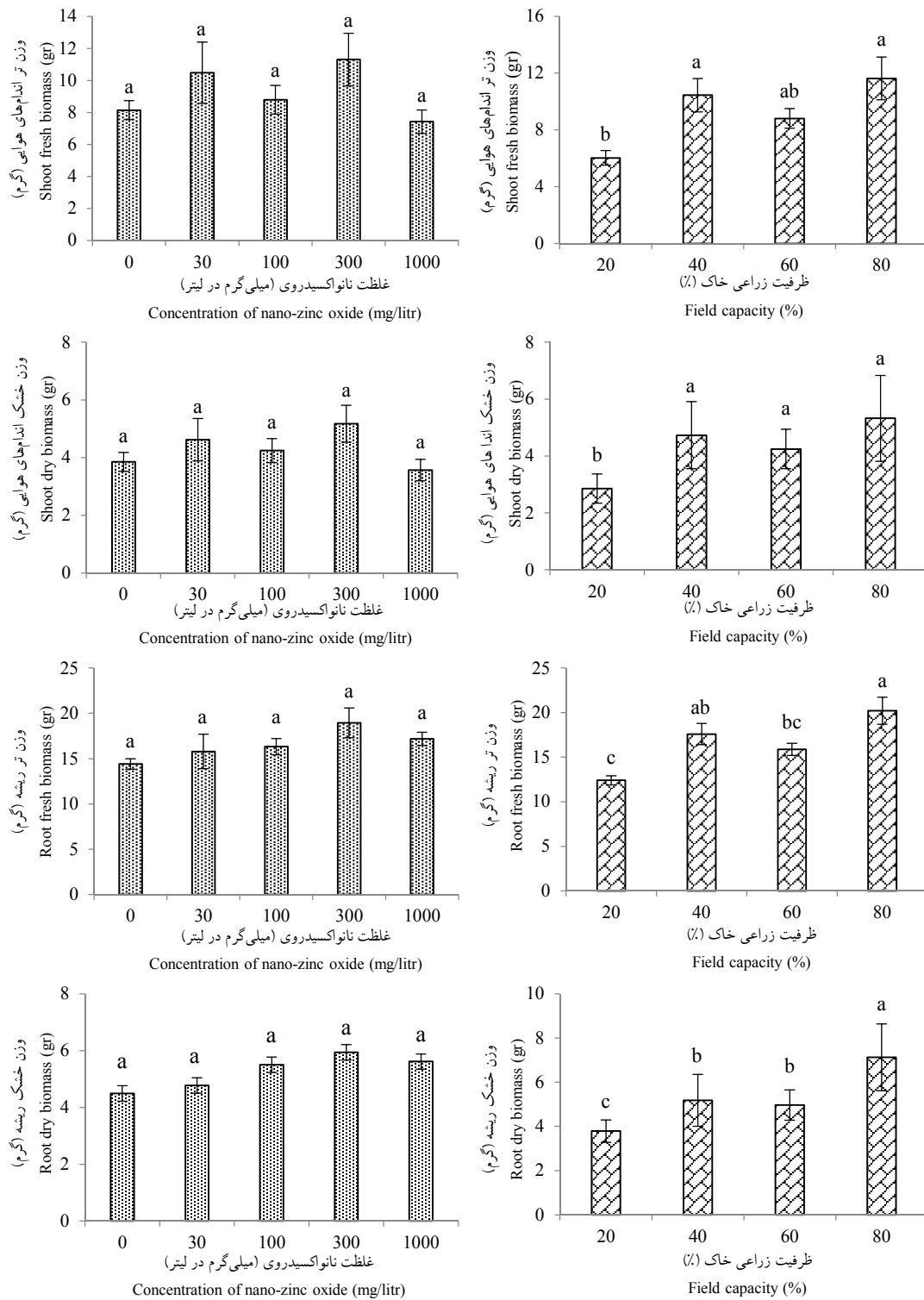
نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که تنش خشکی بر وزن های تر و خشک اندام های هوایی و ریشه، اثر معنی داری داشت، اما این صفات به طور معنی داری تحت تأثیر تیمارهای نانو اکسیدروی قرار نگرفتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ها در شکل ۵ نشان داد که بیشینه وزن های تر و خشک اندام های هوایی متعلق به نهال های آبیاری شده با ظرفیت زراعی ۸۰ درصد بود، در حالی که از این نظر بین ظرفیت های زراعی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد،

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس وزن های تر و خشک اندام های هوایی و ریشه در نهال های آتریپلکس

Table 3. The results of variance analysis of fresh and dry weights of aerial parts and roots of *Atriplex canescens* seedlings

	Variable	df	MS	F
Drought stress	Shoot fresh biomass	3	71.52	3.818*
	Shoot dry biomass	3	12.92	4.536**
	Root fresh biomass	3	127.7	4.683**
	Root dry biomass	3	25.51	9.672**
Nano-zinc oxide	Shoot fresh biomass	4	31.15	1.663 ^{ns}
	Shoot dry biomass	4	4.81	1.69 ^{ns}
	Root fresh biomass	4	33.78	1.238 ^{ns}
	Root dry biomass	4	4.33	1.64 ^{ns}
Nano-zinc oxide × drought stress	Shoot fresh biomass	12	6.76	0.361 ^{ns}
	Shoot dry biomass	12	1.82	0.639 ^{ns}
	Root fresh biomass	12	23.58	0.865 ^{ns}
	Root dry biomass	12	2.2	0.835 ^{ns}
Error	Shoot fresh biomass	38	18.733	
	Shoot dry biomass	38	2.848	
	Root fresh biomass	38	27.273	
	Root dry biomass	38	2.638	

** Significant at $p < 0.01$; * Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant



شکل ۵- اثرات تنش خشکی و نانواکسیدروی بر وزنهای تر و خشک اندامهای هوایی و ریشه در نهالهای آتریپلکس حرفهای متفاوت لاتین در هر نمودار نشاندهنده اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 5. The effects of drought stress and nano-zinc oxide on fresh and dry weights of aerial parts as well as roots of *Atriplex canescens* seedlings
 Different letters in each chart indicate a significant difference between means (P<0.05).

نیود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی به مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل افزوده می‌شود. به عبارتی دیگر، بیشترین مقدار این متغیرها در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد و کمترین آن‌ها در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد مشاهده شد. در خصوص تأثیر نانوآکسیدروی بر مقدار کلروفیل a و کل نیز مشخص شد که همه تیمارهای موجود، روند کاهشی نسبت به نهال‌های شاهد داشتند. به نحوی که بیشینه و کمینه آن‌ها به ترتیب متعلق به نهال‌های شاهد و تیمار نانوآکسیدروی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند (شکل ۶).

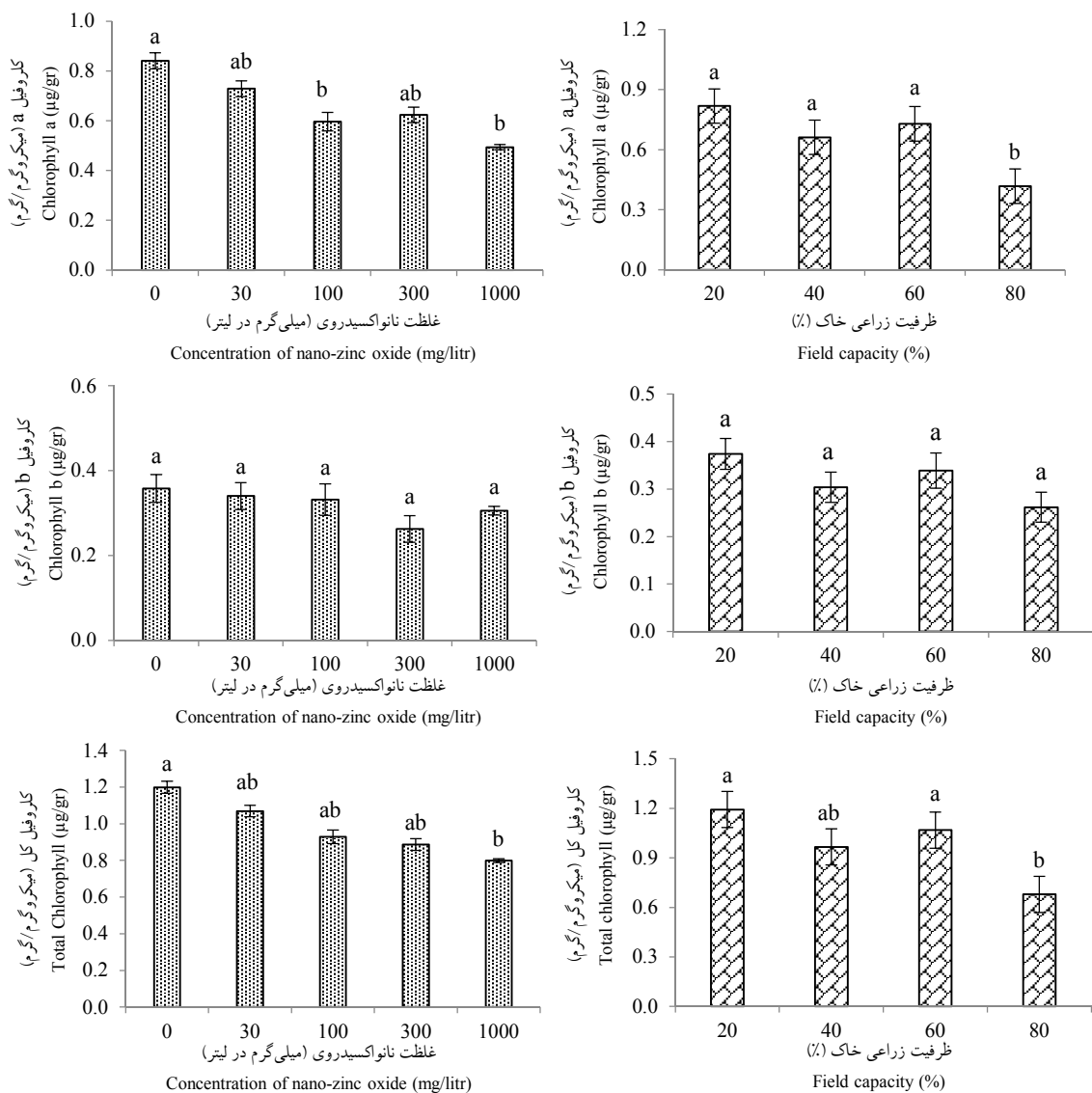
اثرات نانوآکسیدروی و تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژی نهال‌های آتریپلکس

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که تنش خشکی و نانوآکسیدروی، اثرات معنی‌داری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژی برگ در نهال‌های آتریپلکس دارند. به‌طوری‌که کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید و پرولین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. اثرات نانوآکسیدروی بر همین صفات به‌جز کارتنوئید نیز معنی‌دار بود. همچنین، اثرات متقابل نانوآکسیدروی و تنش خشکی فقط بر کلروفیل کل و پرولین، معنی‌دار به‌دست آمد، درحالی‌که اثرات جداگانه و متقابل نانوآکسیدروی و تنش خشکی بر کلروفیل b و محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژی برگ در نهال‌های آتریپلکس

	Variable	df	MS	F
Drought stress	Chlorophyll a	3	0.45	10.771**
	Chlorophyll b	3	0.03	0.962 ^{ns}
	Total Chlorophyll	3	0.73	8.697**
	Carotenoid	3	0.132	8.917**
	Proline	3	21.13	9.723**
	Relative water content	3	28.41	1.578 ^{ns}
Nano-zinc oxide	Chlorophyll a	4	0.2	4.743**
	Chlorophyll b	4	0.02	0.483 ^{ns}
	Total Chlorophyll	4	0.29	3.476*
	Carotenoid	4	0.02	0.969 ^{ns}
	Proline	4	7.6	3.497*
	Relative water content	4	12.22	0.679 ^{ns}
Nano-zinc oxide × drought stress	Chlorophyll a	12	0.08	1.895 ^{ns}
	Chlorophyll b	12	0.05	1.250 ^{ns}
	Total Chlorophyll	12	0.15	2.207*
	Carotenoid	12	0.01	0.544 ^{ns}
	Proline	12	5.1	2.346*
	Relative water content	12	30.9	1.716 ^{ns}
Error	Chlorophyll a	38	0.042	
	Chlorophyll b	38	0.036	
	Total Chlorophyll	38	0.084	
	Carotenoid	38	0.757	
	Proline	38	2.173	
	Relative water content	38	18.005	

** : Significant at $p < 0.01$; * : Significant at $p < 0.05$; ns : non-significant



شکل ۶- اثرات تنش خشکی و نانواکسیدروی بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ نهال‌های آتریپلکس

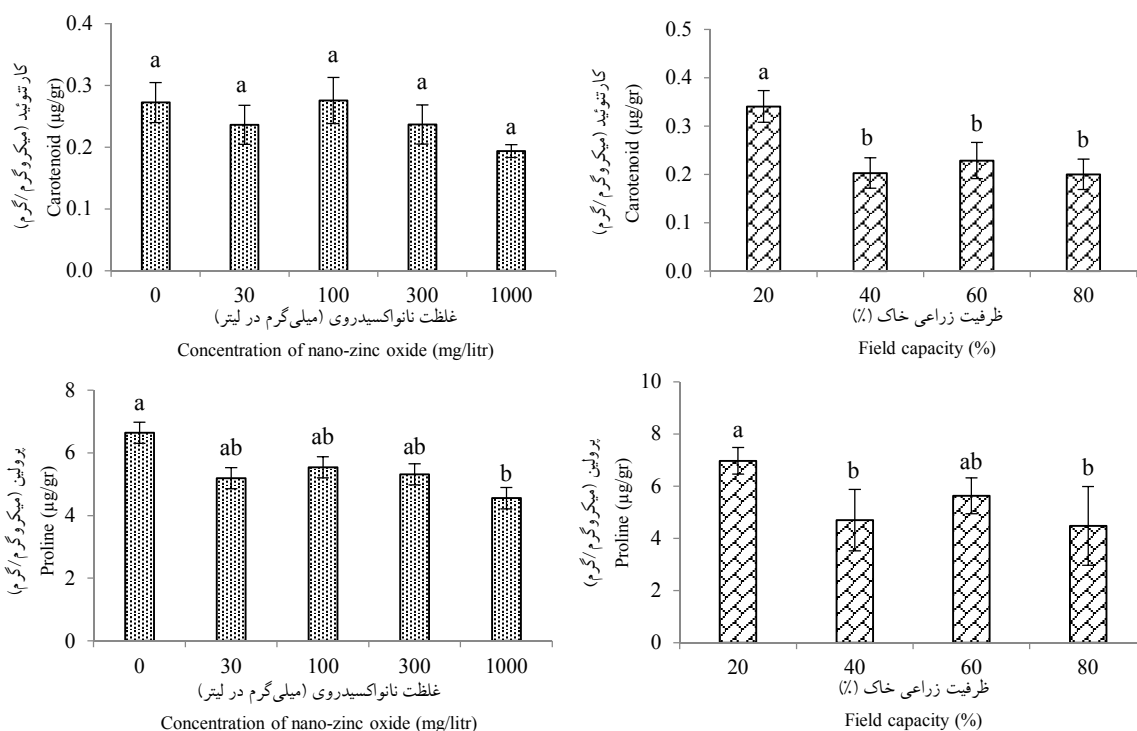
حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 6. Effects of drought stress and nano-zinc oxide on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll in seedling leaves of *Atriplex canescens*

Different letters in each chart indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد، بیشترین و در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، کمترین مقدار این متغیر مشاهده شد. با افزایش غلظت نانواکسیدروی نیز مقدار پرولین کاهش یافت. بر این اساس، کمینه و بیشینه آن به ترتیب در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسیدروی و نهال‌های شاهد مشاهده شد.

نتایج شکل ۷ نشان داد که بیشینه غلظت کارتنوئید برگ متعلق به ظرفیت زراعی ۲۰ درصد بود که به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای دیگر بیشتر بود. همچنین، غلظت‌های متفاوت نانواکسیدروی نسبت به شاهد، تأثیر معنی‌داری بر مقدار کارتنوئید برگ نداشتند. با افزایش تنش خشکی، مقدار اسیدآمینو پرولین در برگ نهال‌ها افزایش یافت. به نحوی که



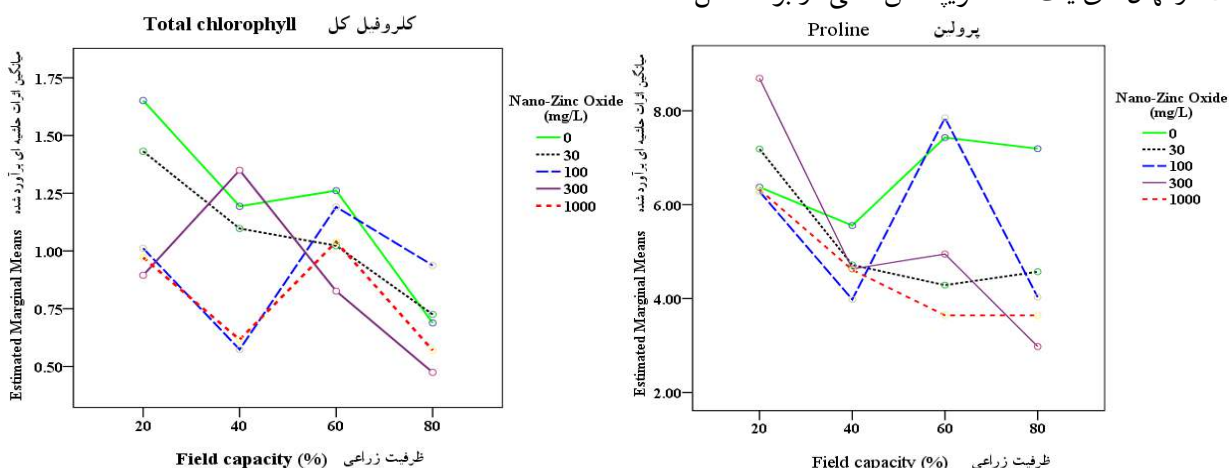
شکل ۷- اثرات تنش خشکی و نانو اکسیدروی بر کارتنوئید و پرولین برگ در نهال‌های آتریپلکس

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 7. The effects of drought stress and nano-zinc oxide on the carotenoids and proline in seedling leaves of *Atriplex canescens*
Different letters in each chart indicate a significant difference between means (P<0.05).

۸، نتایج بررسی اثرات متقابل دو تیمار اعمال‌شده را برای متغیرهای مذکور نشان می‌دهد.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، اثرات متقابل ظرفیت زراعی و نانو اکسیدروی فقط بر دو متغیر پرولین و کلروفیل کل برگ در نهال‌های یک‌ساله آتریپلکس معنی‌دار بود. شکل



شکل ۸- اثرات متقابل ظرفیت زراعی و نانو اکسیدروی بر پرولین و کلروفیل کل برگ در نهال‌های آتریپلکس

Figure 8. The interaction effects of field capacity and nano-zinc oxide on proline and total chlorophyll in seedling leaves of *Atriplex canescens*

بحث

های سرو زربین (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* (Mill.) G. Don) در اثر افزایش تنش خشکی را گزارش کردند.

آنالیز داده‌های پژوهش پیش‌رو نشان داد که نانواکسیدروی، اثر معنی‌داری بر خصوصیات رویشی نهال‌های مورد مطالعه شامل تعداد شاخه، تعداد برگ، رشد طولی و قطری نهال و وزن‌های تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه ندارد. در تناقض با این نتایج، بررسی شاخص‌های رشدی دو ژنوتیپ جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان داد که رشد این گیاه بر اثر افزایش غلظت نانواکسیدروی کاهش یافت (Amini & Haddad, 2013).

نتایج حاصل از استخراج رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان می‌دهد که از نظر مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل در بین تیمارهای مختلف تنش خشکی، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌نحوی که بیشترین و کمترین مقدار آن‌ها به ترتیب در ظرفیت زراعی ۲۰ و ۸۰ درصد مشاهده شد. Movahhedi و Dehnavi و همکاران (۲۰۰۴) نیز افزایش مقدار کلروفیل در اثر تنش خشکی در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) را تأیید کردند، در حالی که Azimi و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی رویش نهال‌های زیتون (*Olea europaea* L.) تحت تنش خشکی گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی از مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل کاسته می‌شود. رنگیزه‌های کلروپلاست در جذب و تبدیل نور در فرایند فتوسنتز نقش مهمی دارند. طی تنش به دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، مقدار کلروفیل ممکن است افزایش یابد (Guan et al., 2003). این احتمال وجود دارد که تنش خشکی با کاهش سطح برگ، سبب تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها و افزایش غلظت آن شده باشد.

در رابطه با تیمار نانواکسیدروی در پژوهش پیش‌رو، بیشترین مقدار کلروفیل a و کل در نهال‌های شاهد و کمترین مقدار آن‌ها در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. غلظت‌های زیاد روی در کاهش صفات رشد ریشه، جذب مواد غذایی و کلروفیل در گیاه مؤثر است که این امر به واسطه کاهش جذب مواد غذایی توسط ریشه‌ها و

تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر استقرار و زنده‌مانی گونه‌های گیاهی است. به‌نحوی که به مقدار زیادی، بقای آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ ریخت‌شناختی نهال به تنش کم‌آبی از جمله سازوکارهای سازگاری و مقابله با آن است که سبب کاهش رویش ارتفاعی، قطری و زی‌توده کل می‌شود (Saeidi Abueshaghi et al., 2021). براساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو مشخص شد که هرچه مقدار تنش خشکی بیشتر شود، تعداد شاخه، تعداد برگ، رشد طولی و قطری نهال و وزن‌های تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نهال‌های آتریپلکس به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابند. به‌نحوی که، کمینه همه این متغیرها در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد و بیشینه آن‌ها (به‌جز رشد طولی) در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد مشاهده بود. بیشترین مقدار رشد طولی نیز متعلق به تیمار آبیاری با ظرفیت زراعی ۶۰ درصد بود. روند کاهش وزن‌های تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه به ترتیب در ظرفیت‌های زراعی ۸۰، ۴۰، ۶۰ و ۲۰ درصد مشاهده شد. کاهش زی‌توده می‌تواند به دلیل افت محتوی آب گیاه و تأثیر آن بر فرایندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز رخ دهد. هم‌راستا با این نتایج، بررسی پاسخ رشد نهال‌های ارغوان معمولی (*Cercis siliquastrum* L.) به دوره‌های مختلف آبیاری (چهار، هشت، ۱۲ و ۱۶ روزه) نشان داد که بیشینه طول ساقه، قطر یقه، تعداد برگ، سطح برگ، زی‌توده ساقه و برگ، رویش ارتفاعی و قطری یقه و زنده‌مانی متعلق به نهال‌های با دور آبیاری چهارروزه بود (Nourozi Haroni et al., 2017). نتایج پژوهش Saeidi Abueshaghi و همکاران (۲۰۲۱) روی نهال‌های همین گونه نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، ویژگی‌های رویشی ارغوان مانند ارتفاع نهال کاهش می‌یابند. Imani و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی از تعداد و رشد طولی برگ، تعداد شاخه و رشد ارتفاعی و قطری در نهال‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) کاسته می‌شوند. همچنین، Naghipoor و همکاران (۲۰۱۹) کاهش تعداد برگ در نهال

آن از طریق آوند آبکش، تحریک سنتز آن از اسید گلواماتیک، تخریب و اختلال در فرایند سنتز پروتئین و جلوگیری از اکسیداسیون آن در طی تنش هستند (Amirjani *et al.*, 2014). بیشینه پرولین برگ در نهال‌های پژوهش پیش‌رو در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد و کمینه آن در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد مشاهده شد. هم‌راستا با این نتایج، Kordrostami و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، مقدار پرولین برگ در نهال‌های افاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) افزایش می‌یابد.

در مجموع، براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیش‌رو مشخص شد که تنش خشکی می‌تواند صفات رویشی و فیزیولوژی نهال‌های آتریپلکس را تحت تأثیر قرار دهد. به‌نحوی که با افزایش تنش خشکی، صفات رویشی گیاه شامل تعداد شاخه، تعداد برگ، رشد قطری، رشد طولی، وزن‌های تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن‌های تر و خشک ریشه کاهش می‌یابند. در رابطه با ویژگی‌های فیزیولوژی نهال نیز مشخص شد که با افزایش تنش خشکی بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل، کارتنوئید و پرولین افزوده می‌شوند. بررسی اثر نانوآکسیدروی بر خصوصیات کیفی و فیزیولوژی نهال آتریپلکس نیز نشان داد که این نانوذره فقط بر کلروفیل a، کلروفیل کل و پرولین، اثر معنی‌داری دارد. بر این اساس، بیشترین مقدار این متغیرها در نهال‌های شاهد و کمترین آن‌ها در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم نانوآکسیدروی بر لیتر مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که نهال‌های آتریپلکس می‌توانند در تنش خشکی شدید یا در غلظت زیاد نانوآکسیدروی به رشد خود ادامه دهند. به‌طوری‌که خشکیدگی نهال‌ها حتی در ظرفیت زراعی ۲۰ درصد یا تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم نانوآکسیدروی بر لیتر نیز مشاهده نشد. با این حال در تنش‌های خشکی شدیدتر، رشد کمتری داشتند. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که آتریپلکس، توانایی استقرار در بیشتر مناطق بیابانی و حتی شرایط اقلیمی به‌نسبت گرم را دارد. این گونه همان‌طور که در پژوهش‌های گذشته نیز گزارش شده است، به‌راحتی می‌تواند در این مناطق مستقر و سازگار شود، اما از آنجایی که نانوآکسیدروی، اثر چندانی بر

کاهش فتوسنتز گیاه می‌تواند رخ دهد (Lin & Xing, 2008). اثرات متقابل تیمارهای مختلف ظرفیت زراعی و نانوآکسیدروی نیز نشان دادند که در سطح ظرفیت زراعی ۲۰ درصد و اغلب غلظت‌های نانوآکسیدروی، تقریباً بیشترین میانگین‌های تخمینی کلروفیل کل و پرولین به چشم می‌خورد. در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد، عکس این قضیه حاکم است. گفتنی است که اثرات متقابل در غلظت‌های میانی نانوآکسیدروی و ظرفیت‌های زراعی با نوسان‌ها و استثناء‌هایی همراه بود.

کارتنوئیدها علاوه بر نقش ساختمانی و جذب نور می‌توانند رادیکال‌های فعال اکسیژن را کاهش دهند (Navabpour *et al.*, 2016). به‌این ترتیب، آن‌ها دستگاه فتوسنتزی را از شروع پراکسیداسیون لیپیدی محافظت می‌کنند (Amini & Haddad, 2013). همچنین، کارتنوئیدها در تعدیل تنش خشکی و حفظ و تداوم بقای ساختار پیچیده کلروفیل و دستگاه فتوسنتزی نقش دارند (Wang *et al.*, 2012). افزایش مقدار کارتنوئید در شرایط تنش در نهال‌های آتریپلکس در پژوهش پیش‌رو، با توجه به نقش آن‌ها در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای محافظت از رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل)، قابل انتظار بود. به‌طوری‌که بیشینه کارتنوئید برگ در تیمار ظرفیت زراعی ۲۰ درصد مشاهده شد که با سطوح ۴۰، ۸۰ و ۶۰ درصد، اختلاف معنی‌دار و قابل ملاحظه‌ای داشت.

در هنگام تنش خشکی، محلول‌هایی به‌منظور تنظیم اسمزی گیاه و برای مقابله با خشکی در گیاه تجمع می‌یابند که از جمله این مواد می‌توان به پرولین اشاره کرد (Ford, 1984). اگرچه پرولین در همه اندام‌های گیاه طی تنش خشکی تجمع می‌یابد، اما سریع‌ترین انباشت را در برگ‌ها دارد. علاوه بر تنظیم اسمزی، پرولین به‌عنوان یک محافظ در برابر تنش نیز عمل می‌کند. بدین ترتیب که به‌طور مستقیم با درشت‌مولکول‌ها، اثر متقابل دارد و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Martin *et al.*, 1993). چهار دلیل برای افزایش مقدار پرولین در حین تنش وجود دارد که شامل کاهش صادرات

- Jiang, Y., Hua, Z., Zhao, Y., Liu, Q., Wang, F. and Zhang, Q., 2014. The effect of carbon nanotubes on rice seed germination and root growth: 1207-1212. In: Zhang, T.C., Ouyang, P., Kaplan, S. and Skarnes, B. (Eds.). Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2012). Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 250. Springer, Berlin, Heidelberg, 1276p.
- Karami, S., Modarres Sanavy, S.A.M., Ghanehpour, S. and Keshavarz, H., 2016. Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Scientia Biologicae*, 8(2): 181-191.
- Kartoolinejad, D., Hosseini, S.M., Mimia, S.Kh. and Shayanmehr, F., 2008. The effect of mistletoe (*Viscum album* L.) on four nutrient elements Mg, Zn, Mn, Na and leaf area and weight of host trees in Hyrcanian forests. *Pajouhesh and Sazandegi*, 77: 47-52 (In Persian with English summary).
- Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R. and Schuster, E.W., 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Protection*, 35: 64-70.
- Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P. and Khoshnevis, M., 2017. Physiological responses of *Robinia pseudoacacia* seedlings to drought stress. *Forest and Wood products*, 70(3): 393-400 (In Persian with English summary).
- Lin, D. and Xing, B., 2008. Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 42 (15): 5580-5585.
- Mahdizadeh, M., Golkariyan, A. and Naseri, K.L., 2015. The effect of soil properties on the growth of *Atriplex canescens* (Case study: desertification designs of Omrani Gharbi of Gonabad city and Chah Goji of Mah'velat city). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(8): 67-76 (In Persian with English summary).
- Martin, M., Micell, F., Morgan, J.A., Scalet, M. and Zerbi, G., 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 171: 176-184.
- Molaei, S., Zolfaghari, R., Alizadeh, Z. and Fayyaz, P., 2023. Evaluation of drought resistance in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) seedlings from different seed provenances of southern Zagros, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(1): 27-40 (In Persian with English summary).
- Mousavi Kani, S.T., Kartoolinejad, D., Bahrami, Z., Zolfaghari, A.A. and Nikouee, E., 2022. The effect of mesoporous titanium dioxide nanoparticles on germination traits of black saxaul seeds (*Haloxylon aphyllum*) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(1): 43-57 (In Persian with English summary).
- Movahhedi Dehnavi, M., 2004. Effect of foliar application of micronutrients (zinc and manganese) on the quantitative and qualitative yield of different autumn safflower cultivars under drought stress in Isfahan. Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 211p (In Persian with English summary).
- Naghipoor, S., Ali-Arab, A.R. and Sadai, S.E., 2019. Effects of soil moisture content and urea fertilizer on survival, بهبود صفات رویشی و فیزیولوژی نهال آتریپلکس نداشت، اعمال این تیمار برای استقرار موفقیت‌آمیزتر این گونه در عرصه‌های خشک و نیمه‌خشک ایران توصیه نمی‌شود.

منابع مورد استفاده

- Amini, Z. and Haddad, R., 2013. Role of photosynthetic pigments and antioxidant enzymes against oxidative stress. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 26(3): 251-265 (In Persian with English summary).
- Amirjani, M.R., Askari, M. and Askari, F., 2014. Effect of nano zinc oxide on alkaloids, enzymatic and antienzymatic antioxidant contents and some physiological parameters of *Catharantus roseus*. *Journal of Cell and Tissue*, 5: 173-183.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23: 112-121.
- Asadi, M., 2001. Flora of Iran, No. 38: Chenopodiaceae. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 510p (In Persian with English summary).
- Azimi, M., Taheri, M., Khoshzaman, T., Tokasi, M., Sohrabi, E., Dadras, A.R. and Abdollahi, A., 2020. Investigation of drought tolerance using metabolites and photosynthetic characters in Zard olive (*Olea Europaea* L.) cultivar plants. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4): 873-883 (In Persian with English summary).
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1): 205-207.
- Baybordi, A. and Mamedov, G., 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1): 94-103.
- Ford C.W., 1984. Accumulation of low molecular weight solutes in water-stressed tropical legumes. *Phytochemistry*, 23: 1007-1015.
- Golparyar, A.R., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Ahmadi, A., Harvan, E.M. and Ghasemi Pirbalooti, A., 2006. Factor analysis of morphological and morpho-physiological traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought and non-drought stress conditions. *Pajouhesh and Sazandegi*, 72: 52-59 (In Persian with English summary).
- Guan, B.H., Ge, Y., Fan, M.Y., Niu, X.Y., Lu, Y.J. and Shang, J., 2003. Phenotypic plasticity of growth and morphology in *Mosla chinensis* responds to diverse relative soil water content. *Acta Ecologica Sinica*, 23(2): 259-263.
- Imani, H., Kartoolinejad, D., Zolfaghari, A.A. and Nikouee, E., 2022. The effect of zinc oxide nano particles on growth, morphological and physiological characteristics of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) seedlings under drought stress. *Iranian Journal of Forest*, 14(3): 227-243 (In Persian with English summary).
- Jafari, M. and Tavili, A., 2014. Reclamation of Aridlands. University of Tehran Press, Tehran, Iran, 397p (In Persian).

- technique with multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Forest Science*, 62(6): 269-278.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Halody, A.S., 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105-111
 - Saeidi Abueshaghi, Z., Pilehvar, B. and Sayedena, S.V., 2021. Effect of drought stress on morphophysiological and biochemical traits of purple (*Cercis siliquastrum* L.) seedlings. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(1): 91-100 (In Persian with English summary).
 - Sepasi, N., Taheri, A., Zamani, S.M., Jahani, M. and Farashiani, M.E., 2022. Isolation and characterization of *Paxillus involutus* (Boletales: Paxillaceae) as an ectomycorrhizae of poplar and its effect on drought stress in White poplar (*Populus alba* L.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 30(3): 211-223 (In Persian with English summary).
 - Wang, X., Han, H., Liu, X., Gu, X., Chen, K. and Lu, D., 2012. Multi-walled carbon nanotubes can enhance root elongation of wheat (*Triticum aestivum*) plants. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(6): 841.
 - Yousefi, S., Kartoolinejad, D. and Naghdi, R., 2017. Effects of priming with multi-walled carbon nanotubes on seed physiological characteristics of Hopbush (*Dodonaea viscosa* L.) under drought stress. *International Journal of Environmental Studies*, 74(4): 528-539.
 - growth and some physiological attributes of Mediterranean cypress seedling. *Forest and Wood Products*, 71(4): 315-324 (In Persian with English summary).
 - Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R. and Aminzadeh, Gh., 2018. Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10(3): 21-40 (In Persian with English summary).
 - Navabpour, S., Ramezanpour, S.S. and Mazandarani, A., 2016. Evaluation of enzymatic and non-enzymatic defense mechanism in response to drought stress during growth stage in soybean. *Plant Production Technology*, 15(2): 39-54 (In Persian with English summary).
 - Nourozi Haroni, N., Tabari Kouchaksaraei, M. and Sadati, S.E., 2017. Response of growth indices of Judas tree seedling to different irrigation periods. *Iranian Journal of Forest*, 8(4): 419-430 (In Persian with English summary).
 - Raeesi Sadati, S.Y., Jahanbakhsh Godekahriz, S., Ebadi, A. and Sedghi, M., 2020. Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 12: 45-64 (In Persian with English summary).
 - Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R., 2016. Increasing drought resistance of *Alnus subcordata* C.A. Mey. seeds using a nano priming