گل و گیاهان زینتی (۱۳۹۸)، ٤ (۲): ۱۰۰-۸۷

نوع مقاله: پژوهشی

اثر نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید بر تنژگی و شاخص‌های رشد بذر بلوت در تنش خشکی

مریم حشمتی[۱و۲]، مژگان کوثری[۲*]، حسن فیضی[۱]

۱. گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت حیدریه

۲. بخش بیوتکنولوژی میکروبی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* kowsari@abrii.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۹/٤/۸

چکیده

در سال‌های اخیر بخش‌های بزرگی از جنگل‌های زاگرس به دلیل بحران زوال بلوت از بین رفته و موجودیت بخش‌های بیشتری از آن به مخاطره افتاده و ساختار توده‌های جنگل دستخوش تغییرهایی ناخوشایند شده است. یافتن راهکارهایی برای افزایش توان استقرار نهال‌های جدید در عرصه می تواند کمکی در زمینه احیای دوباره جنگل باشد. در این پژوهش از پتانسیل نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید برای کاهش اثرهای مخرب تنش خشکی بر بذر بلوت استفاده شد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل در محدودیت تنژگی گیاهان است. تیمارهای اعمال شده شامل ٤ سطح نانوذره های تیتانیوم (صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ٤ سطح تنش خشکی (صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار) اعمال شده توسط پلی‌اتیلن‌گلایکول ٦۰۰۰، بود. سطح صفر در هردو تیمار به‌عنوان تیمار شاهد درنظرگرفته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی به‌ویژه در سطوح بالا بر بیشتر فاکتورهای رشدی اثر منفی داشته است. تنش خشکی بالای ٦- بار اثر منفی بر رشد ریشه داشت و تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر تیتانیوم دی اکسید با تنش خشکی ۳- بار بیشترین وزن تر ریشه (۷۲۲۸/۳ میلی گرم) و بیشترین طول ریشه (۱۲۷/۳۳ میلی متر) را ایجاد کرد. سطوح بالای تنش خشکی شمار و سطح برگ‌ها را کاهش داد. اگرچه بین تیمارهای نانوذره اختلاف آماری معنی‌داری در طول ساقه‌چه و شمار برگ‌ها وجود نداشت اما تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذره مقدار عددی بیشتری نسبت به دیگر تیمارها داشت. یافته‌ها نشان داد که بیشترین درصد تنژگی و پیدایش گیاهچه در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذره و سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی و کم ترین درصد پیدایش در تیمار بدون نانوذره و سطح ۹- بار تنش خشکی حاصل شد. برهمکنش نانوذره ها و تنش خشکی در سطح یک درصد بر تغییرات قطر طوقه معنی‌دار بود. غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذره در سطح ٦- بار تنش خشکی قطر طوقه را به‌طور میانگین ۲/٦۳ میلی متر نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین شمار ریشه‌های جانبی در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و سطح ۳- بار تنش خشکی به‌دست آمد. یافته‌ها نشان داد زمانی که تیمار نانوذره همراه با تنش خشکی به کار رفته است گیاه آستانه تحمل تنش خود را برای زیوایی بهتر در شرایط تنش افزایش داده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش می توان بیان نمود که غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو ذره مناسب ترین تیمار برای بهبود مشخصات ریشه و کاهش اثر تنش خشکی در گیاه بلوت است. پژوهش حاضر نخستین پژوهش انجام شده روی اثر تیمار نانو ذره بر ویژگی‌های رویشی بذر بلوت است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جنگل، تیتانیوم دی‌اکسید، زوال بلوت.

مقدمه

ناحیه رویشی زاگرس با مساحتی حدود ۵/۲ میلیون هکتار یکی از مهم‌ترین مناطق جنگلی ایران محسوب می‌شود. در فلور گیاهان چوبی زاگرس مهمترین گونه‌ها به لحاظ وسعت و قدمت، گونه‌های بلوت[1]می‌باشند. بلوت، درختی بزرگ و گسترده است که دارای شکل توپر، حجیم و گسترده با تاجی گنبدی شکل و برگ‌های موج‌دار در لبه، و همچنین میوه‌ای که درون یک محفظه فنجان مانند است. بیشتر زیبایی این درخت مربوط به حالت رشد آن است. در بسیاری از کشورها، درخت بلوت را نماد قدرت و استقامت می دانند. به همین دلیل در نمادهای کشورهای مختلف وارد شده است (Ashley *et al.*, 2018; Kremer & Hipp, 2019; Hipp *et al*., 2020). جنگل‌های زاگرس به عنوان دومین اکوسیستم جنگلی طبیعی کشور، نقش بسیار ارزنده‌ای در تأمین منابع آب و تعادل اقلیمی کشور دارد. با تاسف این جنگل‌ها در سال‌های اخیر در برابر آسیب‌های فراوان بوده و مورد تخریب جدی قرار گرفته‌اند، به طوری که گستره قابل توجهی از جنگل‌های زاگرس به ویژه در استان ایلام در دهه گذشته مبتلا به بحران زوال بلوت[2] شده‌اند (Hosein zade *et al.,* 2015; Ahmadi *et al.,* 2019). عوامل فراوانی در بروز این پدیده دخیل هستند که بر حسب منطقه و شرایط رویشگاه می‌توانند نوسان داشته باشند (Maleknia *et al.,* 2006; Alidadi *et al.,* 2019). امروزه با توجه به شرایط مختلف اقلیمی حاکم بر دنیا و منطقه ما، دخالت بی‌رویه انسان‌ها، پیدایش و طغیان آفات و بیماری‌های مختلف، روند تخریب جنگل‌ها شدت زیادی به خود گرفته است. همچنین شاهد وضعیت ناخوشایندی همچون پدیده‌های نوپیدایش زوال بلوت‌ها، ارژن‌ها، گلابی‌های وحشی، گون‌های گزی و دیگر درختان در منطقه زاگرس هستیم و با تاسف هنوز به طور علمی و دقیق راهکاری برای پیشگیری از این پیامدها شناسایی نشده است. عوامل فراوانی از جمله خشکی در گسترش این پدیده نقش دارند و می توان گفت یکی از راهکارهای موثر برای احیا جنگل‌های تخریب شده ایجاد بذور و نهال‌های توانمند در برابر تنش‌های محیطی منطقه به‌ویژه خشکی است. اگر درصد ریشه زایی بذور افزایش یافته و حجم و عمق ریشه و جذب آب و در پایان پایداری و استقرار نهال‌ها در عرصه افزایش یابد، گام بزرگی در بازسازی جنگل‌های تخریب یافته خواهد بود. امروزه با استفاده از نانومواد موفقیت‌های قابل توجهی در زمینه افزایش تحمل گیاهان به عوامل و تنش‌های محیطی، افزایش تنژگی و رشد بذر، بهبود عملکرد گیاه، بازیافت و استفاده دوباره از مواد، انرژی و آب، و کاهش آلودگی به دست آمده است. استفاده از روش‌های نوین با هدف بهبود ویژگی‌های تنژگی بذرها و در پی آن ویژگی‌های رویشی نهال‌های به وجود آمده برای درختان جنگلی می‌تواند در بالا بردن کیفیت مناطق جنگل‌کاری مؤثر باشد. نانوفناوری در جهان به سرعت در حال پیشرفت است و می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور به صنعتی تریلیون دلاری تبدیل شود (Ma *et al.,* 2010). این فناوری یکی از پیشرفت‌های بسیار نوینی است که با استفاده از نانوذره ها که تغییرهای فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای در آن‌ها ایجاد شده، جایگاه برجسته‌ای در علوم مختلف از جمله علوم گیاهی و کشاورزی پیدا کرده است (Scrinis & Lyons, 2007; Singh & Lee, 2016; Rop *et al*., 2019; Tiwari *et al*., 2020; Xu *et al*., 2020). در برخی پژوهش‌ها موضوع ساخت نانوذره های فلزی از گیاهان

1. *Quercus* spp.
2. Oak decline

مطرح شده که نشان دهنده این است گیاهان نیز می‌توانند به عنوان مسیرهای زیستی و سبز برای تولید نانوذره ها مطرح باشند (Sharma *et al.,* 2009). تیتانیوم دی‌اکسید از اکسیدهای فلزی است که در زندگی روزمره کاربرد یافته است. این ماده پودر سفیدرنگی است که دارای سه فاز کریستالی آناتیس[1]، روتایل[2] و بروکیت[3] است. تیتانیوم یکی از عناصر سودمند برای گیاه است و می‌تواند جذب برخی عناصر مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (Paris, 1983) که به برخی عامل‌های زیستی و خاک مثل گونه و رقم گیاه، pH، رطوبت و وضعیت عناصر غذایی در خاک بستگی دارد. تیتانیوم نانواکسید به عنوان یک کاتالیزگر نوری در شرایط نور می‌تواند باعث واکنش اکسیداسیون احیا شود. اثر کوانتومی و فعالیت کاتالیزگر نوری تیتانیوم نانو اکسید بیشتر از مواد توده آن است به‌عبارت‌دیگر، تیتانیوم نانو اکسید می‌تواند واکنش اکسیداسیون احیا را ایجاد و در شرایط نور، الکترون دارای انرژی، آزاد کند. آزمایشی که برای بررسی اثر ذره های نانو و غیر نانو تیتانیوم دی‌اکسید بر تنژگی و رشد گیاهچه گندم صورت گرفت نشان داد که از بین شاخص‌های تنژگی، تنها میانگین زمان تنژگی زیر تأثیر تیمارها قرار گرفت و کمترین زمان مربوط به تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید (۰/۸۹ روز) و بیش‌ترین زمان مربوط به تیمار شاهد (۱/۳۵ روز) بوده است (Feizi *et al.,* 2012). کاربرد نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان تیمار بر بذرهای اسفناج باعث افزایش تنژگی و رشد این گیاه شده است (Zhang *et al.,* 2005; Mingyu *et al.,* 2007). تأثیر مثبت نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید بر فتوسیستم و غشای تیلاکوئیدی نیز گزارش شده است (Hong *et al.,* 2005; Boykov *et al.,* 2019).

هر درخت بلوت از سن ۲۰ تا ۵۰ سالگی تولید میوه را آغاز می کند و پس از آن هر سال حدود ۲۰۰۰ میوه می دهد. با این حال از هر ۱۰۰۰۰ میوه تنها یک دانه بلوت می تواند به درخت تبدیل شود. تولید بذر از موضوع های جدی در توده های جنگلی است. اهمیت این موضوع در جنگل های بلوت بسیار زیاد است، زیرا بذر هم منبع اصلی افزایش جنسی این درختان محسوب می شود و هم منبع غذایی مهمی برای حیوانات جنگلی است. توان تولید بذر پایه های مختلف بلوت به دلیل تفاوت در ساختار ژنتیکی، رویشگاه و اقلیم متفاوت است. خشکیدگی و زوال بلوت پدیده مهم و پیچیده‌ای است که از حدود یک قرن پیش در بیشتر جنگل‌های بلوت دنیا روی داده و در سالیان اخیر نیز در جنگل‌های بلوت زاگرس به دنبال خشکسالی‌های پی در پی رخ داده است. هرچند عامل‌های فراوانی در رخداد خشکیدگی‌های درختی دخیل هستند، اما خشکسالی‌ها و بروز تنش‌های خشکی شدید می تواند سبب شود که درختان نتوانند آب مورد نیاز خود را به اندازه کافی به دست آورده و دچار ضعف فیزیولوژیک شوند (Jenkins & Pallardy, 1995; Bigler *et al.,* 2006). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های نازیوا است که بر بیشتر مراحل رشد گیاه مانند تولید بذر، مرحله تنژگی و استقرار گیاهچه و همچنین ساختار اندام و فعالیت آن‌ها آثار مخرب و زیان‌آوری وارد می‌سازد (Safarnejad, 2004; Shabala *et al*., 2000). کاهش جذب آب و در پی آن کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی تنژگی، علت اصلی کاهش سرعت تنژگی بذر در شرایط

1. Anatase
2. Rutile
3. Brookite

تنش خشکی است (Malik *et al.*, 1986). زوال بلوت گسترده ترین مشکل بحرانی بلوت است، درختان در واکنش به تنش ناشی از خشکسالی طولانی مدت با تبدیل نشاسته ذخیره شده در ریشه به قند و از بین بردن برگ‌ها به حمایت از متابولیسم ادامه می‌دهند، هنگامی که این ذخیره های موجود خالی شوند، درختان توانا به حفظ وضعیت معمول نیستند و این شروع زوال است. از آنجایی که درختان بلوت از نظراکوسیستم از دیدگاه ملی و بین‌المللی، ساختار ژنتیکی، ذخیره منابع آبی کشور، تولید اکسیژن و پیشگیری از ورود ریزگردها به داخل کشور، قابل توجه هستند، نگهداری از این منابع با ارزش و کمک به بهبود ویژگی های رویشی بذرهای آن ها، ضروری است. در این پژوهش برای اولین بار با استفاده از توان ویژه نانو ذره ها، برای بهبود ویژگی های رویشی بذرهای بلوت، با هدف احیا جنگل های از بین رفته و کمک به کارآمدتر شدن فعالیت های نهالستان های بلوت در جنگل کاری، مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید بر شاخص‌های تنژگی و رشد بذر بلوت زیر تنش خشکی، این پژوهش انجام شد.

تهیه بذر

برای انجام آزمایش جمع‌آوری بذر از جنگل‌های استان ایلام، شهرستان‌های ایوان و شیره زول صورت گرفت و ۱۷۲ عدد بذر انتخاب شد.

شرایط آزمایش

آزمایش دارای چهار سطح غلظت نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید ۰ (شاهد)، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و چهار سطح تنش خشکی ۰ (شاهد)، ۳-، ٦- و ۹- بار، در سه تکرار بود. در این پژوهش از ظروف پلاستیکی دربسته با ابعاد طول ۲۰، عرض ١٤ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر به عنوان واحد آزمایش و از خاک با ترکیب خاک جنگل (۲ قسمت)، کوکوپیت+ پرلایت (۱ قسمت) و خاک زراعی (۲ قسمت) به عنوان بستر کشت در محیط اتاقک رشد (فیتوترون)[1] استفاده شد.

تهیه محلول‌های نانوذره

پودر نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید TiO_2 P25AEROXIDE® از شرکت Evonik Degussa Gmbh آلمان تهیه شد. خلوص پودر نانوذره ها ۹۹/۸% و میانگین اندازه ذره ها ۲۱ نانومتر بود. ازآنجایی‌که نانوذره‌های تیتانیوم دی اکسید در آب تشکیل کلوخه می‌دهند بنابراین باید برای پخش کردن آن‌ها از اولتراسونیک استفاده کرد. ارلن‌ها به مدت ۲ ساعت در اولتراسونیک حمامی قرار داده شد و محلول به یکنواختی مناسبی رسید.

محلول سازی تنش خشکی

برای ایجاد محیط‌های مصنوعی کنترل ظرفیت آب، به طور معمول از موادی با جرم مولکولی بالا چون پلی‌اتیلن گلایکول به دلیل ایجاد محلول اسمزی با شرایط مشابه طبیعی، استفاده می‌شود. پلی‌اتیلن گلایکول استفاده شده از شرکت فلوکای آلمان تهیه شد. میزان جرمی از پلی‌اتیلن گلایکول که باید به کار می رفت از فرمول میشل-کافمن به دست آمد. برای تهیه محلول‌ها، تیتانیوم دی اکسید لازم برای تهیه ۱۰۰میلی لیتر از هر یک ازسطوح، در آغاز در ۷۰ میلی لیتر آب حل شد و سپس با اندازه گیری دمای آب و با استفاده از فرمول مقدار پلی اتیلن گلیکول لازم برای هرسطح از تنش خشکی محاسبه و به آن افزوده شد و در

1. Phytotron

پایان حجم محلول با افزودن آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسید.

$$\Psi s = - (1.18\times10^{-2})\ C - (1.18\times10^{-4})(C\times10^{-4})\ C^2 + (2.67\times10^{-4})\ CT + (8.39\times10^{-7})\ C^2T$$

در این فرمول ψs ظرفیت اسمزی محلول حاصل بر حسب بار، C غلظت پلی‌اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ بر حسب گرم در لیتر، و T دما بر حسب درجه سلسیوس است.

آماده سازی بستر رشد

برای رشد بذرها و بازبینی مراحل رشدی از بسترهای شفاف استفاده شد. محیط‌های رشد (ظرف‌های پلاستیکی دربسته) با استفاده از سدیم هیپوکلریت ۱٤٪ گندزدایی شد. سپس بسترهای کشت به دقت با آب شسته شدند تا ماده گندزدا به طور کامل از سطح ظرف‌ها پاک شده و باعث ایجاد خطا در آزمایش نشود. در هر ظرف رشد ٦۵۰ گرم خاک با ترکیب خاک با ترکیب خاک جنگل (۲ قسمت)، کوکوپیت+ پرلایت (۱ قسمت) و خاک زراعی (۲ قسمت) که توسط گرمادهی در کوره گندزدایی شده بود ریخته شد.

روش کاربرد تیمارها

بذرهای سالم جمع آوری شده با استفاده از پنبه و الکل ۲۰٪ زیر هود به صورت سطحی گندزدایی شدند، سپس برای از بین بردن احتمال آلودگی قارچی یک دقیقه در سدیم هیپوکلریت ۱٤٪ غوطه‌ور شدند. بذرها برای خشک شدن سطح، به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس بذرها به مدت ۳ ساعت در محلول نانو خیسانده شده و سپس خشک شدند. متناسب با سطح تنش مشخص شده، محلول پلی‌اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ آماده شده برای بذرهای گندزدایی شده افزوده شد و به مدت ۲٤ ساعت در آن محلول غوطه‌ور شدند (شکل ۱).

شکل ۱- تیمار بذرها با محلول پلی اتیلن گلیکول.

Figure 1- Treatment of seeds with polyethylene glycol solution.

در هر ظرف کشت، دوعدد بذر که در محلول‌های نانو خیسانده شده بودند و همچنین تیمار شده با پلی‌اتیلن گلیکول بودند، در گوشه‌های هر ظرف در عمق ۳-۲ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند و بذر سوم در میان ضلع رو به رو، روی خاک قرار داده شد تا بتوان مراحل تنژگی و رشد سیستم ریشه را مشاهده کرد. درب ظرف‌ها برای پیشگیری از تبخیر بسته شد و در هفته نخست هر روز به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر و از هفته دوم به بعد هر دو روز یک‌بار بذرها با آب مقطر آبیاری شدند. همه ظرف‌های رشد به اتاقک رشد با شرایط ۲۵ درجه سلسیوس، ۱٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت ٤۰٪ منتقل شدند (شکل ۲).

شکل ۲- بسترهای رشد حاوی بذرهای تیمارشده در اتاقک رشد.

Figure 2- Growth media contains treated seeds, inside the phytotrone.

ویژگی های مورد پژوهش

ویژگی هایی مثل درصد پیدایش گیاهچه، سرعت تنژگی بذر، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک گیاهچه، طول ریشه، طول گیاهچه، شمار برگ، قطر طوقه، و شمار ریشه‌های جانبی مورد بررسی قرار گرفتند.

روش‌های اندازه‌گیری

شمارش بذرهای تنژیده و ثبت اطلاعات مربوط به طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و شمار برگ‌ها هر روز تا روز بیست و هشتم انجام شد. دما و رطوبت اتاقک رشد روزی دو مرتبه بررسی شد. روز بیست و هشتم در آغاز به وسیله خط‌کش با دقت میلی‌متر طول ریشه و ساقه و سپس با استفاده از کولیس قطر طوقه با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه و ساقه از ترازوی با دقت ۰/۱ میلی‌گرم استفاده شد، در مرحله بعدی ساقه و ریشه به‌طور جداگانه در پاکت‌های کاغذی که از پیش آماده شده بود قرار گرفته و به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرارگرفته و خشک شدند. وزن خشک ساقه و ریشه نیز با ترازوی با دقت ۰/۱ میلی‌گرم اندازه گیری شد. روابط محاسباتی نیز برای شاخص‌های تنژگی استفاده شد.

واکاوی داده‌ها

داده‌های مربوط به هریک از مراحل آزمایش به‌طور جداگانه با نرم‌افزار Excel مرتب و پردازش شد و سپس واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS JMP نسخه v14.3.0 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که کاربرد تیمار دی اکسید تیتانیوم در شرایط تنش خشکی بر بیشتر صفات مورد ارزیابی تأثیر معنی داری در سطح ۱٪ داشت.

درصد پیدایش گیاهچه و سرعت تنژگی بذر

نخستین گام از نشانه‌های زیوایی بذر قوه نامیه و تنژگی و پیدایش گیاهچه است. هر عاملی که بتواند توان تنژگی بذر را افزایش دهد در دیرپایی گیاه نقش مستقیمی خواهد داشت. نتایج نشان می دهد که کاربرد تیمار تیتانیوم دی اکسید در شرایط تنش خشکی بر بیشتر ویژگی های مورد ارزیابی تاثیر معنی‌داری داشته است. یافته‌ها نشان داد که بیشترین درصد تنژگی و پیدایش گیاهچه در غلظت ۵۰

میلی‌گرم در لیتر نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید و سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی و کم‌ترین درصد پیدایش در تیمار بدون کاربرد نانوذره و سطح ۹- بار تنش خشکی به دست آمد (شکل ۳). با کاربرد ۳- بار تنش خشکی بی درنگ سرعت پیدایش کمی افزایش یافت ولی دوباره با افزایش تنش خشکی(٦- بار) سرعت پیدایش کاهش یافت. در سطوح پایین تنش خشکی، اثرگذاری نانوذره ها بیشتر بود اما با افزایش تنش خشکی به ٦- و ۹- بار، اثر گذاری نانو ذره ها کاهش یافت (شکل ۳). ممکن است در شرایط تنش شدید خشکی نانوذره ها اثر سمی بر گیاه داشته باشند (Feizi *et al.,* 2012; Nair *et al.,* 2010). سرعت تنژگی بلوت با افزایش سطح تنش خشکی کاهش یافت. بهترین سرعت تنژگی به تیمار شاهد با ۱۳/۲۰ بذر در روز مربوط به تیمار۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره بود (شکل٤) و کم‌ترین سرعت پیدایش در تیمار تنش خشکی سطح ۹- بار با ۱/۵ بذر در روز دیده شد.

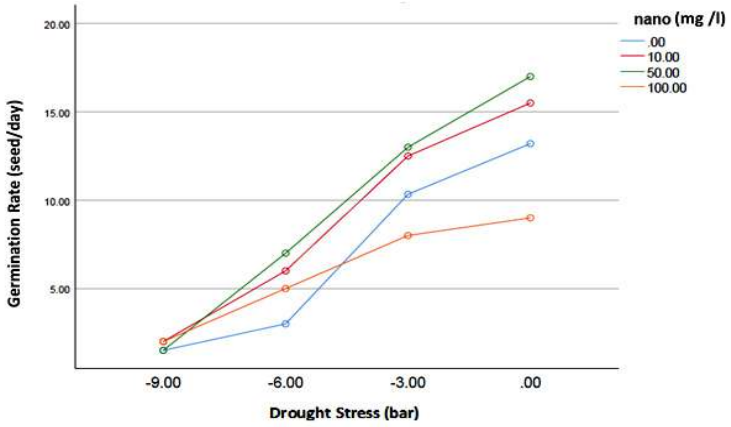
در سطوح بالای تنش خشکی، آسیب‌های احتمالی ناشی از تخریب ساختار سه بعدی آنزیم‌ها می تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سرعت تنژگی باشد. در تائید پژوهش حاضر نتایج حاصل از بررسی اثر تنش آبی ناشی از پلی اتیلن گلیکول بر ویژگی های تنژگی بذر گیاه سرخارگل[7]نشان داد که با کاهش پتانسیل آب و ایجاد تنش خشکی، سرعت و درصد تنژگی، وزن تر و خشک و طول ساقه‌چه و ریشه چه کاهش یافت (Asghari *et al.,* 2010).

همچنین در مقایسه بین سطوح مختلف نانوذره ها با یکدیگر دیده شد که غلظت‌های پایین نسبت به غلظت‌های بالاتر اثر مثبت کمتری بر سرعت تنژگی داشتند. به‌طوری که بهترین سرعت تنژگی به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذره در شرایط بدون تنش خشکی (۱۷ بذر در روز) دیده شد. پژوهشگران دلیل افزایش سرعت تنژگی را رخنه نانوذره ها به پوسته بذر بیان کرده اند که موجب آسان شدن ورود آب و اکسیژن به درون بذر و درنتیجه تسریع فعالیت آنزیم‌ها و هیدرولیز مواد ذخیره‌ای بذر می شود که می تواند اثرهای مفیدی بر فرآیند تنژگی بگذارد (Feizi *et al.,* 2013; Zheng *et al.,* 2005).

وزن تر و خشک ریشه‌چه

یافته‌های این پژوهش نشان داد که در ویژگی وزن ریشه چه تفاوت معنی داری بین تیمارها وجود دارد. در بیشتر تیمارهای تنش خشکی دیده شد که با افزایش سطح تنش خشکی از صفر به ۳- بار میانگین وزن ریشه افزایش یافته است، اما با بالاتر رفتن شدت تنش (٦- و ۹- بار)، وزن ریشه نیزکاهش یافت. به نظر می رسد گیاه بلوت در سطوح آغازین تنش خشکی با افزایش زیست‌توده کلی ریشه تلاش می‌کند تا تنش خشکی را تحمل کند اما با افزایش شدت تنش، توانایی برای رویارویی با این تنش محیطی کاهش می‌یابد. همچنین واکاوی داده‌ها نشان داد که برهمکنش نانوذره ها و تنش خشکی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تیمار نانوذره با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر با تنش خشکی ۳- بار دارای بیشترین وزن تر ریشه (۷۲۲۸/۳ میلی گرم) و وزن خشک ریشه (٥٦٤٥/۱ میلی گرم) بود. همچنین تیمار نانوذره با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در تنش خشکی ۹- بار، کمترین وزن تر و وزن خشک ریشه (۱۰٦۲ و ۸۵۳/۸ میلی گرم) را داشت.

1. *Echinacea angustifolia* DC.



شکل ۳- میانگین تغییرات سرعت تنژگی بذر با کاربرد تیمارهای نانوذره (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و تنش‌های خشکی (۰، ۳-، ٦-، ۹- بار).

Figure 3- Mean of germination rate of seedlings after treatment by nanoparticles (0, 10, 50, 100 mg L^{-1}) and drought stress (0, -3, -6, -9 bar).

شکل ٤- تنژگی و رویش گیاهچه بلوت پس از کاربرد نانوذره (۵۰ میلی گرم در لیتر) و تنش خشکی(۳- بار).

Figure 4 - Germination and emergence of oak seedling after treatment with nanoparticles (50 mg L^{-1}) and drought stress (-3 bar).

طول ریشه

یافته‌ها نشان داد که تنش خشکی به تنهایی می تواند در سطوح پایین عاملی برای افزایش طول ریشه برای دستیابی به آب بیشتر باشد اما پس از کاربرد سطوح بالاتر تنش خشکی گیاه برای بقا خود واکنش محافظتی انجام می دهد و تلاش در حفظ موجودیت خود دارد تا گسترش و یا افزایش شمار یاخته‌ها حتی در ناحیه ریشه. اما زمانی که تیمار نانوذره ها همراه با تنش خشکی به کار رفت گیاه آستانه تحمل تنش خود برای بقای بهتر در شرایط تنش را افزایش داد. غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره ها در سطح تنش خشکی ۳- بار با ۱۲۷/۳۳ میلی‌متر بیش‌ترین میانگین طول ریشه را ایجاد کرد (شکل های ۵ و ٦) و همین غلظت نانوذره ها در سطح تنش خشکی ٦- بار، دارای طول ریشه برابر ۹٦/۲ میلی متر بود که به ترتیب ۷٦/۷۳ میلی متر و

٤٥/٦ میلی متر بیشتر از شاهد (٥٠/٦ میلی متر) رشد طولی ریشه داشتند (شکل ٥). بذرهایی که بتوانند در مرحله تنژگی واکنش مناسبی به تنش خشکی نشان دهند، در مرحله گیاهچه‌ای رشد بهتری داشته و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری تولید می‌کنند.

یافته‌های پژوهشگران دیگر نشان داده است که غلظت‌های پایین از نانوذره های تیتانیوم باعث تنش اکسیداتیو قابل ملاحظه‌ای در یاخته گیاهی نخواهد شد (Sing *et al.*, 2012; Larue *et al.*, 2012). پس از نفوذپذیر شدن پوسته‌ی بذر، ریشه‌چه‌ها به طور مستقیم در برابر تماس با نانوذره ها قرار می‌گیرند و نخستین بافت هدف در رویارویی با غلظت‌های نانوذره ها هستند، در نتیجه اثر نانوذره ها بیشتر در ریشه‌چه‌ها مشخص می‌شود (Sresty and Rao., 1999).

طول ساقه‌چه و شمار برگ

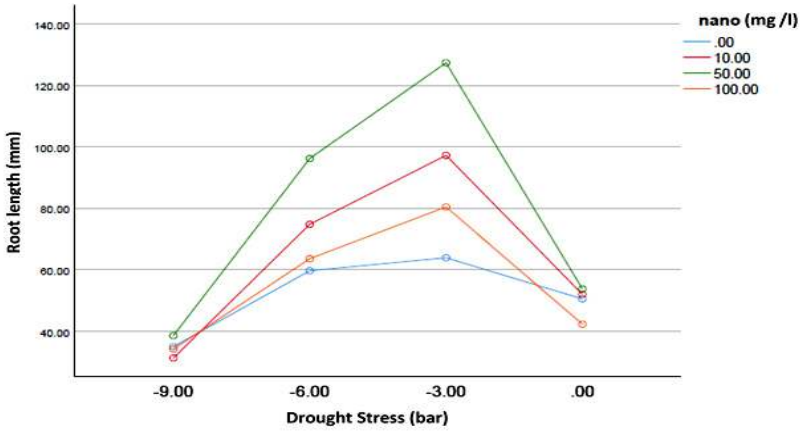
واکاوی یافته‌ها نشان داد که تنش خشکی تغییر معنی‌داری در طول ساقه‌چه ایجاد نکرد اما در سطوح بالای تنش خشکی شمار برگ‌ها و اندازه سطح برگ‌ها کاهش نشان داد. واکاوی تیمارها نشان داد که بیشترین شمار برگ در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره و بدون تنش خشکی به دست آمد (٦ برگ). تنش‌های شدید خشکی بر شمار برگ‌ها اثر منفی داشت. اگرچه بین تیمارهای نانوذره ها اختلاف آماری معنی داری در طول ساقه‌چه و شمار برگ‌ها وجود نداشت اما تیمار ٥٠ میلی گرم در لیتر نانوذره ها مقدار عددی بیشتری نسبت به دیگر تیمارها داشت. به‌طوری که طول ساقه‌چه در غلظت ٥٠ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره و بدون تنش خشکی ، نسبت به تیمار شاهد ۱۰/۱۱ میلی‌متر افزایش نشان داد.

قطر طوقه

در هر گیاه، بین مقدار ریشه و ساقه و برگ‌ها باید توازنی برقرار باشد. این توازن به ویژه از نظر مجموع سطح برگ و مجموع سطح ریشه‌ها دارای اهمیت است. به عبارت دیگر بین ساخته شدن هیدرات‌های کربن توسط برگ‌ها و جذب آب و مواد کانی به وسیله ریشه باید توازنی حفظ شود. بنابراین توازن بین ریشه و شاخساره رابطه‌ای است که مربوط به کنش های درونی و تامین نیازهای زیستی گیاه است. طوقه پل ارتباطی ریشه و ساقه است. در این ناحیه، مسیر دسته‌های آوندی ریشه تغییر کرده و با دسته‌های آوندی ساقه، ارتباط پیدا می‌کند. بنابراین تغییر در قطر این ناحیه می تواند میزان تبادل های گیاه را زیر تاثیر قرار دهد. یافته‌ها نشان داد که برهمکنش بین تیمار نانوذره ها و تنش خشکی بر تغییرهای قطر طوقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۷). غلظت ٥٠ میلی‌گرم در لیتر نانوذره ها و سطح ٦- بار تنش خشکی ، با ٦/۳۳ میلی‌متر بیشترین میانگین قطر طوقه را داشت (شکل ۸) و نسبت به تیمار شاهد ، قطر طوقه به‌طور میانگین ۲/٦۳ میلی‌متر افزایش داشت.

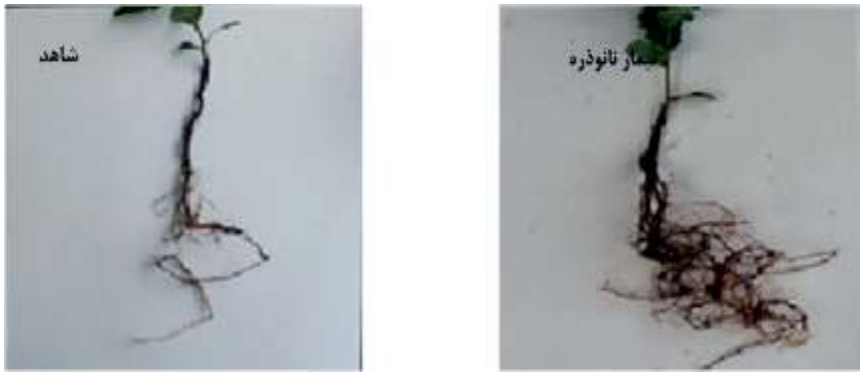
ریشه‌های جانبی

هر چه سطح ریشه بیشتر باشد آب و مواد معدنی بیشتری از خاک جذب می شود و توان استقرار گیاه در شرایط تنش خشکی افزایش خواهد یافت. بنابراین ایجاد ریشه‌های جانبی و مویین در کنار ریشه‌های اصلی می تواند از عوامل مهم پایداری و بقا گیاه بلوت در شرایط تنش خشکی باشد. واکاوی یافته‌ها نشان داد که بیشترین شمار ریشه‌های جانبی در غلظت ٥٠ میلی‌گرم در لیتر نانوذره ها و سطح ۳- بار تنش خشکی و کمترین شمار در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره ها و سطح ۹- بار تنش خشکی می باشد. همچنین کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذره در سطح تنش ۳- بار سبب ایجاد شماری ریشه‌های مویین شد، درحالی که در غلظت صفر از نانوذره ها و سطح ۹- بار تنش خشکی کمترین شمار ریشه‌های مویین دیده شد (شکل ۹).



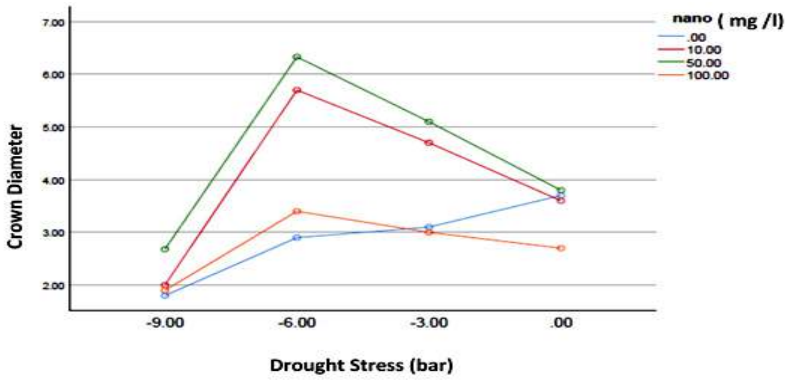
شکل ٥- میانگین تغییرات طول ریشه با کاربرد تیمارهای نانوذره (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و تنش‌های خشکی (۰، ۳-، ٦-، ۹- بار).

Figure 5 – Mean of differences in root length after treatment by nanoparticles (0, 10, 50, 100 mg L^{-1}) and drought stress (0, -3, -6, -9 bar).



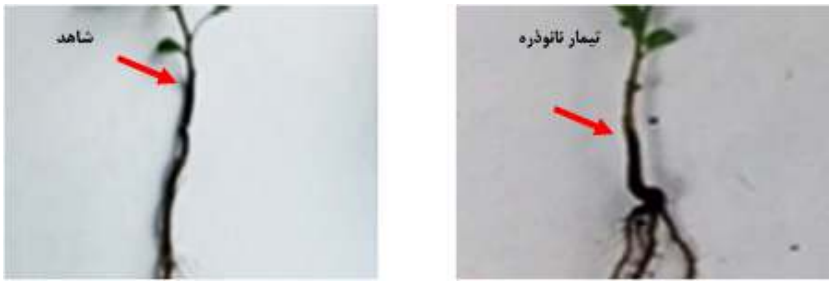
شکل ٦- اثر نانوذره ها و تنش خشکی بر طول ریشه (غلظت نانوذره ۵۰ میلی گرم در لیتر و تنش خشکی ۳- بار).

Figure 6 - Interaction of nanoparticles and drought stress on root length (nanoparticle concentration of 50 mg L^{-1} and drought stress of -3 bar).



شکل ۷- میانگین تغییرات قطر طوقه با کاربرد تیمارهای نانوذره (۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و تنش‌های خشکی (۰، ۳-، ٦-، ۹- بار).

Figure 7 –Mean of differences in crown diameter after treatment by nanoparticles (0, 10, 50, 100 mg L^{-1}) and drought stress (0, -3, -6, -9 bar).



شکل ۸- اثر نانوذره ها و تنش خشکی بر قطر طوقه (غلظت نانوذره ۵۰ میلی گرم در لیتر و تنش خشکی ٦- بار).

Figure 8 - Interaction of nanoparticles and drought stress on crown diameter (nanoparticle concentration of 50 mg L^{-1} and drought stress of -6 bar).

شکل ۹- ایجاد ریشه‌های جانبی و مویین تیمار۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذره ها و تنش خشکی ۳-بار.

Figure 9- Production of lateral and fibrous roots in 50 mg L^{-1} nanoparticles and -3 bar drought stress .

یافته‌ها نشان داد که تیمار بذرها با نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید موجب بهبود رشد ریشه و استقرار بهتر بذور شد. نانوتیتانیوم دی‌اکسید باعث افزایش قدرت و استحکام ریشه و افزایش توانایی ریشه در جذب آب و کود و افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز می‌شود و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مثل سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش می دهد (Lu *et al*., 2002). دلیل عمده افزایش سرعت رشد گیاه در واکنش به نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید تولید نوری اکسیژن فعال است که تحمل بذر را به تنش افزایش داده و رخنه آب و اکسیژن را بهبود و در نتیجه سرعت تنژگی را افزایش می‌بخشد (Khot *et al*., 2012). زیر تنش خشکی، تیمار بذر که موجب افزایش رشد و سطح ریشه‌چه گردد از اهمیت بیشتری برخوردار است. تیمار بذرهای بلوت با نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید موجب افزایش ۱۰/۸۵ درصدی طول ریشه و همچنین افزایش ۱۸/۱۸ درصدی طول ساقه نسبت به شاهد شد. بذرهای خیسانده شده کتان در تعلیق‌های نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثرهای مثبتی بر تنژگی بذر و رشد ریشه داشت (Clement *et al*., 2012). این اثرهای مثبت می‌تواند به دلیل ویژگی‌های ضدمیکروبی ساختار کریستالی آناتاز تیتانیوم دی‌اکسید باشد که تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد (Clement *et al*., 2012). پژوهش‌ها نشان داده است که روش کاربرد تیتانیوم بر رشد اثرهای متفاوتی دارد. پژوهشگران دریافتند که اثر کاربرد تیتانیوم در محلول غذایی بر رشد مؤثرتر از تیمار آن بر برگ بود (Kuzel *et al*. 2003) همچنین گروه دیگر از

پژوهشگران نشان دادند که محلول پاشی این عنصر روی برگ‌های فلفل اثر بیشتری بر رشد داشت (Martines-Sunchez *et al*. 1993). پاشیدن نانوذره های تیتانیوم به ویژه با غلظت‌های کم (۲۰ و ٤۰ قسمت در میلیون) روی اندام هوایی نهال‌های گلابی وحشی از راه تبادل های گازی و افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، باعث کاهش اثرهای مخرب تنش خشکی شد. با کاربرد تنش خشکی در سطح ۳- بار بیشتر ویژگی‌های تنژگی بذر بلوت کاهش یافت ولی با افزایش میزان تنش خشکی به سطح ٦- بار دوباره بهبود دراین ویژگی‌ها دیده شد و بهترین عملکردها در تنش خشکی در سطح ٦- بار بود و با افزایش سطح خشکی به ۹- بار عملکردها کاهش یافتند و گاهی حتی از عملکرد تیمار شاهد نیز کمتر بود که این بیانگر نیمه حساس بودن بلوت به تنش خشکی می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) عنوان کردند که دلیل عمده افزایش سرعت تنژگی با استفاده از نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید رخنه سریع آن‌ها به واسطه اندازه بسیار ریز، به پوسته بذر است که باعث آسانی ورود آب و اکسیژن به درون یاخته شده بنابراین متابولیسم تنژگی بذر را تشدید می نماید. با توجه به نتایج، بهترین تیمار بذری ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر از نانوذره های تیتانیوم دی‌اکسید بود، که در واقع نانوذره های تیتانیوم در این غلظت موجب بهبود رشد و استقرار بلوت در خاک‌های زیر تنش خشکی می‌شود.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد که گیاه بلوت خشکی را تا ۳- بار تحمل نمود اما افزایش شدت تنش بر شاخص‌های تنژگی این گیاه اثر منفی گذاشت. تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوذره ها توانستند به تحمل گیاه در برابر تنش خشکی تا سطح تنش ٦- بار کمک کرده و شاخص‌های تنژگی بلوت را نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی بهبود بخشند. بنابراین می‌توان تیمار گفته شده را برای بهبود رشد گیاه بلوت در مناطقی که با تنش خشکی رو به رو هستند پیشنهاد نمود. پژوهش حاضر نخستین پژوهش انجام شده تیمار نانو ذره بر ویژگی‌های رویشی بذر سخت و چوبی بلوت است. یافته‌های حاصل در شرایط گلخانه به دست آمده است و برای آگاهی از واکنش گیاه به نانوذره ها در شرایط تنش خشکی در عرصه‌های طبیعی لازم است که همانند این آزمایش در شرایط طبیعی و محیط جنگل و نهالستان‌ها آزمایش‌هایی انجام شود. یافته‌های این پژوهش می تواند در احیا و بازسازی جنگل‌های بلوت از دست رفته، و همچنین داشتن بذرهایی با توانمندی بالا برای ایجاد درختانی تنومند با برگ‌های فراوان برای پالایش هوا، کنترل فرسایش خاک و سایه افکنی و ایجاد فضای سبز نقش داشته باشد.

منابع

Ahmadi, E., Kowsari, M., Azadfar, D., Salehi Jouzani, G.R. (2019). *Bacillus pumilus* and *Stenotrophomonas maltophilia* as two potentially causative agents involved in Persian oak decline in Zagros forests (Iran). *Forest Pathology, 49*, 1-16.

Alidadi, A., Kowsari, M., Javan-Nikkhah, M., Karami, S., Ariyawansa, H.A., Salehi Jouzani, G.R. (2019). *Deniquelata quercina* sp. nov.; a new endophyte species from Persian oak in Iran. *Phytotaxa, 405,* 187–194.

Alidadi, A., Kowsari, M., Javan-Nikkhah, M., Salehi Jouzani, G.R., Ebrahimi Rastaghi, M. (2019). New pathogenic and endophytic fungal species associated with Persian oak in Iran. *European Journal of Plant Pathology, 155,* 1017-1032.

Asghari, F., Dreajhshani, Z., Delkani, M. (2010). Effect of water stress derived of PEG on germination properties of Cone Flower *Echinacea purpurea* (L.). Proceeding of Articles 6th Iranian Congress of Horticultural Sciences 13-16 July, Gilan, Iran.

Ashley, M.V., Backs, J.R, Kindsvater, L., Abraham, S.T. (2018). Genetic variation and structure in an endemic island oak, *Quercus tomentella* and mainland canyon oak, *Quercus chrysolepis*. *International Journal of Plant Sciences, 179*, 151–161.

Bigler, Ch., Ulrich Braker, O., Bugmann, H., Dobbertin, M. Rigling, A. (2006). Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems, 9*, 330-343.

Boykov, I. N., Shuford, E., Zhang, B. (2019). Nanoparticle titanium dioxide affects the growth and micro RNA expressionof switchgrass (*Panicum virgatum*). *Genomics, 111*, 450-456.

Clement, L., Hurel, C., Marmier, N. (2012). Toxicity of TiO_2 nanoparticles to cladocerans, algae, rotifers and plants- Effects of size and crystalline structure. *Chemosphere, 90,* 1083-1090.

Feizi, H., Rezvanimoghaddam, P., Fotovat, A., Shahtahmasebi, N. (2012). Impact of Bulk and Nanosized Titanium Dioxide (TiO_2) on Wheat Seed Germination and Seedling Growth. *Biological Trace Element Research*, *146*,101–106.

Hipp, A., Manos, P., Cavender-Bares, J. (2020). Ascent of the Oaks: How they evolved to rule the forests of the Northern Hemisphere. Scientific American.

Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L., Yang, P. (2005). Effects of Nano Tio2 on photochemical reaction of chloroplasts of Spinach. *Biological Trace Element Research, 105*, 269-279.

Hosseinzadeh, J., Aazami, A., Mohammadpour, M. (2015). Influence of topography on Brant`s oak decline in Meleh- Siah Forest, Ilam Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23,* 190-197. (In Persian).

Jenkins, M.A., Pallardy, S.G. (1995). The influence of drought on red oak group species growth and mortality in in the Missuri Ozarks. *Canadian Journal of Forest Research, 25*, 1119-1127.

Khote, LR., Sankaran, S., Mari, J., Schuster, E.W. (2012). Applications of nanomaterials in agriculture production and crop protection; A review. *Crop Protection, 35,* 64-70.

Kremer, A., Hipp, A.L. (2019). Oaks: An evolutionary success story. *New Phytologist*, *226*, 987-1011.

Kuzel, S., Hruby, M., Cigler, P., Tlustos, P., Van, P.N. (2003). Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. *Journal of Biological Trace Element Reasearch, 91,* 179-190.

Larue, C., Laurette, J., Herlin-Boime N., Khodja H., Fayad B.F., Lank, A.M., Brisset, F., Carriere, M. (2012). Accumulation, translocation and impact of TiO_2 nanoparticles in wheat *Triticum aestivum* ssp.; influence of diameter and crystal phase. *Science of the Total Enviroment 431,*197-208.

Lu, C.M., Zhang, C.Y., Wu, J.Q., Tao, M.X. (2002). Reasearch of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science, 21,* 168-172.

Ma, M., Geiser, L., Deng, Y., Kolmakov, A. (2010). Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants; Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of the Total Enviroment, 408*, 3053-3061.

Maleknia, R., Namiranian, M., Feghhi, J. (2006). Investigation on the effective factors in agricultural lands selection in zagros forest and their influence on forest stands status (Case study; cheshmeh khazaneh rural boundary Ilam). *Forest & Rangeland, 71*, 22-25 (In Persian).

Malik, C.P., Gupta. K., Sharma, S. (1986). Effect of water stress on germination and seedling metabolism of gram

(*Cicer arietinum* L.). *Acta Agronemica Hungarica, 35,* 11-16.

Martinez-Sanchez, F., Nunez, M., Amoros, A., Gimenez, J.L., Alcarez, C.F. (1993). Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annum* L. Fruits. *Journal PlantNutrition, 16,* 975-981.

Mingyu, S., Hong, F., Liu, C., Wu, X., Liu, X., Chen, L. (2007). Effects of nano-anatase Tio2 on absorption, distribution of light and photo reduction activities of choloroplast membrance of spinach, *Biological Trace Element Research, 118,* 120-130.

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Sakthi Kumar, D. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science, 179*, 154–163.

Paris, I. (1983). The biological importance of titanium. *Journal of Plant Nutrition, 6,* 3-131.

Safarnejd, A. (2004). Characterization of somaclones of *Medicago sativa* L.for drought tolerance. *Journal of Agricultural Science and Technology, 6,*121-127.

Rop, K., Karuku, G.N., Mbui, D., Njomo, N., Michira, I. (2019). Evaluating the effects of formulated nano-NPK slow release fertilizer composite on the performance and yield of maize, kale and capsicum. *Annals of Agricultural Science*, *64*, 9-19.

Scrinis G., Lyons, K. (2007). The emerging nano corporate paradigm; Nanotecnology and the transformation of nature, food and Agri food systems. *International Journal of Sociology of food and Agriculture, 15,* 22-44.

Shabala, S., Babourina, O., Newman, I. (2000). Ion-specific mechanisms of osmoregulation in bean mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany, 51,* 1243-1253.

Sharma, V.K., Yngard R.A., Lin, Y. (2009). Silver nanoparticles; green syntesis and their antimicrobial activities, A dv. *Journal of Colloid and Interface Science, 145,* 83-96.

Singh, D., Kumar, S., Singh, S.C., Lal, B., Singh, N.B. (2012). Applications of liquid assisted pulsed laser ablation synthesized TiO_2 nanoparticles on germination, growth and biochemical parameters of *Brassica oleracea* var. *Capitata. Science of Advanced Materials, 4,* 522-531.

Singh, J., Lee, B.K. (2016). Influence of nano-TiO2 particles on the bioaccumulation of Cd in soybean plants (Glycine max): A possible mechanism for the removal of Cd from the contaminated soil. *Journal of Environtal Management, 170*, 88-96.

Sresty, T.V.S., Rao, K.V.M. (1999). Ultrastructural alteration in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea. *Enviromental and Experimental Botany, 41,* 3-13.

Tiwari, E., Mondal, M., Singh, N., Khandelwal, N., Monikh, F.A., Darbha, G.K. (2020). Effect of the irrigation water type and other environmental parameters on CeO2 nanopesticide–clay colloid interactions. *Environmental Science: Processes and Impacts, 22*, 84-94.

Xu, N., Li, Z., Huangfu, X., Cheng, X., Christodoulatos, C., Qian, J., Chen, M., Chen, J., Su, C, Wang, D. (2020). Facilitated transport of nTiO2-kaolin aggregates by bacteria and phosphate in water-saturated quartz sand. *Science of the Total Environment, 713*, 136589.

Zhang, L., Hong, F., Lu, S., Liu, S., Liu, C. (2005). Effect of nano –Tio2 on strenght of naturally aged seeds and growth of Spinach. *Biological Trace Element Research, 105,* 83-91.

Flower and Ornamental Plants (2020), 4(2): 87-100
Article type: Research article

Effects of titanium dioxide nanoparticles on germination and growth indices of oak acorns under drought stress

Maryam Heshmati[1,2], Mozhgan Kowsari[2]*, Hassan Feizi[1]

1. Department of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Iran
2. Microbial Biotechnology Department, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* kowsari@abrii.ac.ir

Abstract

The crisis of oak decline in recent years has destroyed big sections of the Zagros forests, and altering the structure of the forest masses. Finding ways to restore deforested forests and increase the ability to deploy new seedlings in the field can help reforest. In this study, the potential of titanium dioxide nanoparticles was used to modify the damaging effects of drought stress on oak seed. Drought stress is one of the most important factors in limiting the seed germination of plants. Treatments consisted of 4 levels of titanium nanoparticles (0, 10, 50 and 100 mg L^{-1}) and 4 levels of drought stress (0, -3, -6 and -9 bar) applied by polyethylene glycol 6000. Zero levels in both treatments were considered as the control treatment. The experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors and three replications. Analysis of variance showed that drought stress had a negative effect on most growth factors, especially at high levels. Drought stress above -6 bar, had a negative effect on root growth and treatment of 50 mg L^{-1} titanium dioxide with -2 bar of drought stress caused the highest root fresh weight (7228.3 mg) and maximum root length of 127.33 mm. High drought stress levels decreased leaf number and leaf area. Although there were no significant differences between the treatments of nanoparticles on stem length and number of leaves, treatment with 50 mg L^{-1} nanoparticles had higher numerical value than others. The results showed that the highest germination percentage and seedling emergence were obtained at the concentration of 50 mg L^{-1} of TiO_2 and drought stress in 0 and -3 bar, and the lowest germination percentage was observed at no-treatment and drought stress in -9 bar. The interactions between nanoparticles and drought stress at the 1% level were significant for the crown diameter changes. The concentration of 50 mg L^{-1} nanoparticles at the drought stress in -6 bar, increased the crown diameter by about 2.63 mm on average. The highest number of lateral roots was obtained at a concentration of 50 mg L^{-1} and a -3 bar of drought stress. The results showed that when the nanoparticles were treated with drought stress, the plant increased its stress tolerance threshold for better survival under stress conditions. Based on the findings of this study, it can be concluded that a concentration of 50 mg L^{-1} nanoparticles is the most suitable treatment for improving root characteristics and moderating drought stress effect on oak. The present study is the first study of nanoparticle treatment on vegetative characteristics of oak seed.

Keywords: Oak decline, Drought stress, Titanium dioxide, Forest.