پژوهش‌های بذر ایران/ سال نهم/ شماره اول/ ۱۴۰۱/ صفحات: ۵۷-۴۳

مقاله پژوهشی

تأثیر نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم مزو متخلخل بر صفات جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) تحت تنش خشکی

سیده تینا موسوی کانی[۱]، داود کرتولی‌نژاد[۲*]، زهره بهرامی[۳]، علی‌اصغر ذوالفقاری[۴]، الهه نیکوئی[۵]

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه به دلیل تغییر کاربری و تخریب منابع طبیعی در اثر فعالیت‌های انسانی، توجه به امر بیابان‌زدایی بسیار فراگیر شده است. یکی از گونه‌های مهم جهت احیای زیستی مناطق بیابانی در سطح وسیع، گیاه تاغ است. تاغ گیاهی از تیره تاج خروسان (Amaranthaceae) بوده که دو گونه آن به نام‌های سفید تاغ (*Haloxylon persicum* Bunge ex Boissier & Buhse) و سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) شهرت و پراکنش بیشتری در ایران دارد. این گیاهان، با داشتن سیستم ریشه‌ای گسترده سبب تثبیت ماسه‌های روان می‌شوند. هدف از این تحقیق، بررسی اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مزو متخلخل بر صفات جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ تحت تنش خشکی، به عنوان یک گونه مهم در مناطق کویری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل پنج تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و شش سطح تنش‌خشکی شامل صفر، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- بار بوده است. پس از نانوپرایمینگ، بذرهای سیاه تاغ به مدت ۱۵ روز در دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سلسیوس با چهار تکرار تحت تنش خشکی قرار گرفتند. پس از اتمام جوانه‌زنی، در هر کدام از تیمارها، صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۴ درصد) متعلق به تیمار تنش خشکی صفر بار با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن (۳ درصد) متعلق به تنش ۲۰- بار با غلظت ۲۵ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیتانیوم بوده است. با افزایش شدت تنش خشکی از صفر بار به ۲۰- بار، سرعت جوانه‌زنی از ۷/۰۱ به ۰/۴۳ بذر در روز کاهش یافت. بیشترین میزان شاخص بنیه بذر نیز در تنش صفر بار متعلق به تیمار نانو تیتانیوم ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، با میزان ۳۲۵/۷۷، بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش تنش خشکی، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه بذر سیاه‌تاغ در کلیه تیمارهای پرایم شده و پرایم نشده کاهش داشته و نانوپرایمینگ دی‌اکسید تیتانیوم، اثر مثبتی روی صفات جوانه‌زنی بذرها داشته‌است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سرعت جوانه‌زنی، سیاه تاغ، شاخص بنیه بذر، نانوپرایمینگ

جنبه‌های نوآوری:

۱- پرایمینگ بذر با استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم مزو متخلخل، سبب بهبود درصد جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ، تحت تنش خشکی گردید.

۲- غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم مزو متخلخل تاثیر بهتری بر شاخص بنیه بذر، میانگین زمان جوانه‌زنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی نشان داد.

۳- نانو پرایمینگ بذر با دی‌اکسید تیتانیوم، تاثیر چندانی بر مشخصه‌های رویشی نونهال سیاه تاغ در سطوح بالای تنش خشکی ایجاد ننمود.

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته علوم زیستی جنگل، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

[۲*] نویسنده مسئول: استادیار، عضو هیات علمی گروه جنگلداری، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

[۳] استادیار دانشکده نانو فناوری، دانشگاه سمنان، ایران

[۴] دانشیار، عضو هیات علمی گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

[۵] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم زیستی جنگل، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

رایانامه نویسنده مسئول: Kartooli58@semnan.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.1.2.3

DOI: 10.52547/yujs.9.1.43

مقدمه

از میان تمامی تنش‌های فیزیکی - شیمیایی (غیر زنده)، تنش خشکی به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر رشد و پراکنش گیاهان در سرتاسر جهان شناخته شده است (پورسل[1] و همکاران، ۲۰۰۵). این تنش، می‌تواند بر ویژگی‌های آناتومی، مورفولوژی، بیوشیمیایی و فیزیولوژی گیاهان و نیز جنبه‌های مختلف جوانه‌زنی بذر نظیر قدرت جوانه‌زنی (توکل افشاری[2] و همکاران، ۲۰۰۷)، میانگین زمان جوانه‌زنی (بویداک[3] و همکاران، ۲۰۰۳) درصد و سرعت جوانه‌زنی (رحیمی[4] و همکاران، ۲۰۱۶) و بنیه بذر (بهمنی[5] و همکاران، ۲۰۱۶) اثر منفی بگذارد. استفاده از گونه‌های مقاوم به تنش‌خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک از اهداف مهم در این مناطق به شمار می‌آید که از جمله این گونه‌ها، می‌توان به گیاه تاغ اشاره کرد (علی احمد کروری[6] و همکاران، ۲۰۱۴).

تاغ، گیاهی از تیره تاج خروسان (Amaranthaceae) است که دو گونه آن به نام‌های سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) و سفید تاغ (*Haloxylon persicum* Bunge ex Boissier & Buhse) در ایران شهرت و پراکنش بیشتری دارد (مظفریان[7]، ۲۰۰۹). درخت تاغ، روی خاک‌های شنی و سبک رشد قابل توجهی دارد اما رشد آن در بافت‌های رسی و سخت کمتر بوده و به حالت درختچه ظاهر می‌شود. رویشگاه ایده‌آل برای رشد و نمو درخت سیاه تاغ، خاک‌های بیابانی سبک و سرشار از املاح کلر و سولفات است، اما برای گونه سفید تاغ، خاک‌های پوکه و ماسه‌های بادی نرم عنوان شده است (راد[8] و همکاران، ۲۰۰۷). گیاه تاغ، علاوه بر نقش مهمی که در تثبیت ماسه‌های روان دارد، از نظر تأمین علوفه در مناطق خشک نیز حائز اهمیت است به همین دلیل، از آن جهت توسعه و احیای بیولوژیکی مراتع مناطق کویری استفاده می‌گردد.

جوانه‌زنی بذر، حساس‌ترین مرحله استقرار و رشد یک گیاه می‌باشد. بذر، زمانی شروع به جوانه‌زنی می‌نماید که شرایط محیطی نظیر رطوبت، دما و انرژی لازم به صورت آدنوزین‌تری‌فسفات (ATP) جهت انجام فعالیت‌های متابولیکی آنزیم‌های هیدرولیزکننده موجود در آن فراهم باشد (بردمور[9] و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین مهیا نمودن شرایط مناسب و استفاده از محرک‌ها جهت سرعت بخشیدن به جوانه‌زنی بذر می‌تواند مؤثر واقع شود.

فناوری نانو[10]، یکی از فناوری های نوین در زمینه کشاورزی و منابع طبیعی است (فیضی[11] و همکاران، ۲۰۱۱). موادی با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر، به عنوان نانوذرات طبقه بندی می‌شوند (کرتولی نژاد[12] و همکاران، ۲۰۱۷؛ رحیمی و همکاران، ۲۰۱۶؛ یوسفی[13] و همکاران، ۲۰۱۷a). مطالعات اولیه نشان داده است که؛ استفاده از نانو مواد می‌تواند سبب بهبود جوانه‌زنی گیاه شود و مقاومت آن را در مقابل آفات و بیماری‌ها افزایش دهد (خودا کواسکایا[14] و همکاران، ۲۰۱۲).

اثر نانو ذرات بر رشد و توسعه گیاهان به نوع گونه گیاهی، مرحله رویشی، شرایط خاص آزمایشگاهی، نوع و غلظت نانو ذره بستگی دارد (نائیر[15] و همکاران، ۲۰۱۰). تاکنون نانو ذرات گوناگونی در زمینه علوم گیاهی بررسی شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، نانو ذره نقره (SNPs)، سیلیکون (SiO_2) و نانو لوله‌های کربن اشاره کرد. تحقیقی توسط اوولِید[16] و همکاران (۲۰۰۸) روی دانه نخود (*Vigna unguiculata*) تحت تیمار TiO_2 انجام گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که عملکرد دانه نخود تحت تیمار TiO_2 افزایش یافته و نانو TiO_2 با غلظت‌های مناسب، سبب بهبود رشد گیاهچه و جوانه‌زنی بذر شده است. تحقیق دیگری توسط ژنگ[17] و همکاران (۲۰۰۵) روی بذرهای اسفناج (*Spinacia oleracea*) تحت تأثیر نانو تیتانیوم انجام گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که نانو

[1] Porcel
[2] Tavakkol Afshari
[3] Boydak
[4] Rahimi
[5] Bahmani
[6] Ali Ahmad korori
[7] Mozaffarian
[8] Rad
[9] Beardmore
[10] Nanotechnology
[11] Feizi
[12] Kartoolinejad
[13] Yousefi
[14] Khodakovskaya
[15] Nair
[16] Owolade
[17] Zheng

تیتانیوم می‌تواند در یک دوره ۳۰ روزه سبب سه برابر شدن فتوسنتز در گیاه شود. با توجه به اهمیت گیاه تاغ به عنوان یکی از عناصر مهم در امر بیابان‌زایی، توسعه و احیای بیولوژیکی مناطق بیابانی و کویری، این تحقیق با هدف بررسی اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) مزو متخلخل بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه سیاه تاغ، تحت تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم مزو متخلخل بر صفات جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه بذر درختان جنگلی دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل نانو ذرات با غلظت‌های مختلف و تیمار شاهد (بدون استفاده از نانو) بود. بذرهای مورد استفاده در این تحقیق، با اندازه و وزن یکسان تهیه گردیدند که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت انجام آزمایش، قوه نامیه بذرها با استفاده از اندازه‌گیری بیوشیمیایی تترازولیوم بررسی گردید. به دلیل حساسیت بذرهای خشک به ماده تترازولیوم، ۱۰۰ عدد بذر با ۴ تکرار، به مدت ۲۰ ساعت در داخل آب قرار داده شد. پس از جداسازی پوسته بذرها، جنین بذر در محلول یک درصدی تترازولیوم (یک گرم تترازولیوم در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر) به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. در پایان نیز با در نظر گرفتن تغییر رنگ جنین، قوه نامیه بذرها بررسی شد (ایستا[1]، ۲۰۰۹).

جهت اندازه‌گیری مقدار رطوبت بذر، ۳ تکرار ۱۰ گرمی از بذر سیاه تاغ انتخاب و درون آون[2] با دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت ۱۷ ساعت قرار داده شد. با اندازه‌گیری مجدد وزن بذرها، درصد رطوبت بذر بر اساس وزن‌تر با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد (ایستا، ۲۰۰۹).

رابطه (۱):

$$\text{درصد رطوبت بذر} = \left(\frac{N_2 - N_3}{N_2 - N_1}\right) \times 100$$

N_1 = وزن ظرف با پوشش آن بر حسب گرم (g)، N_2 = وزن ظرف با پوشش به‌همراه بذرها بر حسب گرم (g) قبل از خشک کردن و N_3 = وزن ظرف با پوشش به‌همراه بذرها بر حسب گرم (g) بعد از خشک کردن

روش تهیه محلول نانو دی‌اکسید تیتانیوم مزو متخلخل

ابتدا بذرهای سیاه تاغ با قارچ‌کش بنومیل (۲ گرم در هزار) ضدعفونی و با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. به منظور توازن در محتوای رطوبتی بذرهای پرایم شده با بذر شاهد، بذرها در دمای معمولی اتاق و بدون نور قرار گرفتند تا برای رسیدن به وزن اولیه خشک شده و عملیات پرایمینگ آماده گردند.

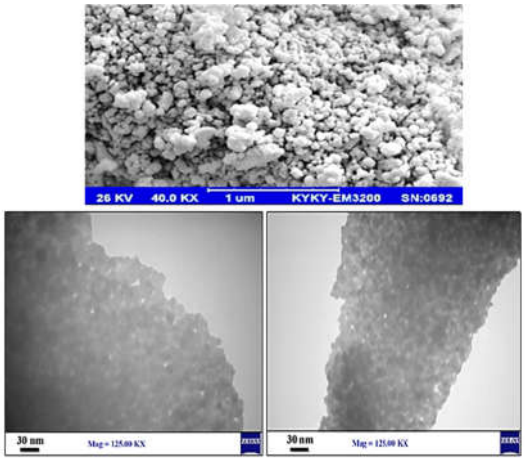
جهت تهیه محلول نانو دی‌اکسید تیتانیوم مزو متخلخل، ابتدا پودر نانودی‌اکسید با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را درون ارلن ریخته و با استفاده از هموژنایز اولتراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه هموژن[3] شدند.

[1] Ista
[2] Oven
[3] Homogeneous

جدول ۱. مشخصات بذر سیاه تاغ

Table 1. Characteristics of seed *Haloxylon aphyllum*

تعداد بذر در کیلوگرم Number of seed in kilograms	درصد خلوص اولیه Percentage of initial pure	درصد رطوبت Percent of Humidity	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds (g)	قوه نامیه (درصد) Vigor seed (%)	مبدأ بذر Seed provenance
186.916	70%	7%	5.35	0.65	شهرستان خلیل آباد کاشمر Kashmar Khalil Abad county



شکل ۱. تصاویر میکروسکپی SEM (بالا) و TEM (پایین) از نانو دی اکسید تیتانیوم مزومتخلخل

Fig. 1. Microscopic images of SEM (up) and TEM (Down) of mesoporous titanium dioxide of nano

پس از آن، بذرها داخل محلول مورد نظر قرار گرفتند و پس از خشک شدن بذرهای پرایم شده در دمای معمولی اتاق، اندازه‌گیری وزن بذرها شروع و تا رسیدن به میزان رطوبت اولیه، قبل از پرایمینگ، ادامه پیدا کرد.

آزمایش جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی

پس از اتمام نانو پرایمینگ و خشک‌کردن بذرهای پرایم شده، جهت بررسی تأثیر این روش بر جوانه‌زنی و رشد اولیه بذر سیاه تاغ تحت تنش‌خشکی، محلول‌های خشکی ۰، ۴-، ۸-، ۱۲-، ۱۶- و ۲۰- بار پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰، با استفاده از رابطه ۲ تهیه گردید (مایکل و کافمن[1]، ۱۹۷۶).

رابطه (۲):

$$\Psi s = -(1/18 * 10^{-2})\, C - (1/18 * 10^{-4})\, C^2 + (2/67 * 10^{-4})\, CT + (8/39 * 10^{-7})\, C^2$$

Ψs[2]= پتانسیل اسمزی (بار)، C[3] = غلظت (گرم در یک کیلوگرم آب) و T[4] = دما (درجه سلسیوس)

جهت حل کردن این ماده در آب، محلول‌ها به مدت ۱۶ ساعت درون شیکر[5] قرار داده شدند. بذرهای تیمار شده به روش نانوپرایمینگ، در چهار تکرار ۲۵ عددی به تعداد سطوح تنش خشکی درون پتری‌های[6] سترون شده با ۲ لایه کاغذ صافی قرار گرفت و محلول‌های مورد نظر جهت اعمال تنش خشکی به مقدار پنج سی‌سی در زمان مورد نیاز به آن‌ها اضافه گردید. پس از آن، پتری‌های حاوی بذرهای پرایم شده با شرایط شدت نور به میزان ۳۰۰۰ لوکس، رطوبت، ۶۵ درصد و دما، ۰٫۵ ± ۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه ژرمیناتور[7] تحت تنش خشکی قرار گرفته شد. پس از اتمام جوانه‌زنی، صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و میانگین زمان جوانه‌زنی با استفاده از روابط ارائه شده محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری طول گیاهچه، ۷ عدد گیاه‌چه از هر پتری به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک نیز، گیاهچه‌ها به مدت ۱۷ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس درون آون قرار گرفته و توزین شدند (ایستا، ۲۰۰۹). ملاک جوانه‌زنی در این آزمایش، داشتن طول ریشه‌چه حداقل ۲ میلی‌متر بود (بویداک و همکاران، ۲۰۰۳).

درصد جوانه‌زنی از رابطه $GP^{8} = n/(N \times 100)$ (ژو[9] و

[1] Michel and Kaufman
[2] Osmotic Potential
[3] Consistency
[4] Temperature
[5] Shaker
[6] Petri dish
[7] Germinator
[8] Germination Percentage
[9] Zhu

همکاران، ۲۰۰۶)، سرعت جوانه‌زنی از رابطه رحیمی و همکاران، ۲۰۱۶) $GS^{1}=\sum(ni/ti)$ ، (شاخص بنیه بذر از رابطه $SVI^{2}= GP \times Mean\ (Pl+Rl)/100$ (پاررا و کانتلیف[3]، ۱۹۹۴) و میانگین زمان جوانه‌زنی از رابطه $MGT^{4}=\sum(ni/ti)/\sum n$ (برانکالیون[5] و همکاران، ۲۰۱۰) محاسبه گردید.

با توجه به روابط ارائه شده؛ n = تعداد کل بذرهای جوانه‌زده در طول دوره، ni = تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک فاصله زمانی مشخص، N = تعداد بذرهای کاشته شده، ti = تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی، Pl = طول ساقه‌چه و Rl = طول ریشه‌چه می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون Levene بررسی شد. داده‌های غیر نرمال نیز با استفاده از لگاریتم، نرمال شدند. جهت تعیین اختلاف آماری داده‌ها، از آزمون‌های تجزیه واریانس یک طرفه و دو طرفه، مقایسه میانگین‌ها در صورت همگن بودن واریانس‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در صورت غیر همگن بودن، از آزمون دانت تی ۳ استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه، نشان داد که تیمار نانوپرایمینگ، تنش خشکی و اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری بر تمامی صفات جوانه‌زنی از جمله درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ساقه‌چه و وزن خشک ریشه‌چه داشته است؛ شایان ذکر است که میانگین زمان جوانه‌زنی تنها تحت تأثیر تنش خشکی بوده است (جدول ۲).

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد که میانگین صفات جوانه‌زنی در بین تیمارها اختلاف معنی داری را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد؛ به نحوی که با افزایش تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی کاهش می یابد. کاهش درصد جوانه‌زنی را می‌توان به علت کاهش رطوبت سلول ها و به دنبال آن کاهش تولید هورمون‌های محرک جوانه‌زنی و هورمون‌های هیدرولیزکننده مواد ذخیره‌ای بذر دانست (المنصوری[6] و همکاران، ۲۰۰۱).

نتایج تحقیق اخوان ارمکی[7] و همکاران (۲۰۱۲)، بر روی سه گونه مرتعی جنس *Bromus* نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی شده است. بررسی انجام گرفته روی گونه *Pinus sylvestris* var. mongolica نیز نشان داد که با افزایش تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (ژو و همکاران، ۲۰۰۶)؛ که با نتایج انجام گرفته روی گونه سیاه تاغ مطابقت دارد.

نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری به میزان ۰/۹۸۳ وجود دارد؛ به نحوی که با افزایش سرعت جوانه‌زنی، تعداد بذر جوانه‌زده در یک زمان مشخص افزایش می یابد؛ بنابراین چنانچه در تیماری سرعت جوانه‌زنی افزایش یابد، می‌توان عنوان کرد که بذرهای بیشتری جوانه زده و در نهایت سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (یزدانی بیوکی و رضوانی‌مقدم[8]، ۲۰۱۲).

بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۷۴ درصد متعلق به تیمار تنش صفر بار با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیتانیوم و کمترین میزان، در سطح تنش ۲۰- بار با غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم به میزان ۳ درصد بوده است. در سطوح بدون تنش (صفر بار)، ۴- و ۸- بار همواره بذرهایی که با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پرایم شده بودند، توانستند بیشترین میزان در صد جوانه‌زنی را به خود اختصاص دهند (شکل ۲). معمری[9] و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود روی مولفه‌های رشد گیاهچه اسپرس علوفه‌ای (*Onobrychis sativa*

[1] Germination Speed
[2] Vigor Index
[3] Parera and Cantliff
[4] Mean Germination Time
[5] Brancalion
[6] Almansouri
[7] Akhavan Armaki
[8] Yazdani Biuki and Rezvani Moghaddam
[9] Moameri

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه سیاه تاغ تحت تیمار نانوپرایمینگ و تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance of seed germination index and primary growth of *Haloxylon aphyllum* under Nano priming and drought stress

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate	میانگین زمان جوانه زنی (روز) mination time	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Plumule length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Radicle length (mm)	شاخص بنیه بذر Seed vigour index	وزن ساقه‌چه (میلی گرم) Plumule weight (mg)	وزن ریشه‌چه (میلی گرم) Radicle weight (mg)
تنش خشکی Drought stress	5	MS	7060.00	100.99	2.61	539.70	272.41	104094.8	55.58	6.70
		P_{value}	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
نانو پرایمینگ Nano priming	4	MS	507.87	6.90	1.10	38.80	19.00	13796.5	3.97	0.46
		P_{value}	0.000	0.001	0.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
نانو پرایمینگ× تنش خشکی Nano priming × Drought stress	20	MS	180.59	3.00	1.04	13.80	6.81	4956.8	1.42	0.20
		P_{value}	0.012	0.006	0.152	0.011	0.010	0.001	0.013	0.015
خطا Error	90	MS	88.40	1.30	0.8	6.70	3.40	1816.0	0.7	0.08

.Lam) تحت تأثیر نانو پرایمینگ و بیوپرایمینگ بیان کردند که بیشترین و کمترین میزان درصد جوانه‌زنی به ترتیب در پیش تیمار نانوتیتانیوم ۱۰۰۰ میلی‌گرم و تیمار شاهد (بدون تیمار) بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. نتایج تحقیق محمودزاده و عقیلی[1] (۲۰۱۴) نیز نشان داد که غلظت زیاد نانوتیتانیوم سبب افزایش جوانه‌زنی، وزن خشک، وزن‌تر و وزن دانه گندم می شود. بررسی انجام گرفته روی سرعت جوانه‌زنی نیز نشان داد که تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی داشته است، به نحوی که با افزایش شدت تنش خشکی از صفر بار به ۲۰- بار، سرعت جوانه‌زنی از ۷/۰۱ به ۰/۴۳ بذر در روز (تیمار بدون اعمال پرایمینگ) کاهش یافت (شکل ۳). نورمحمدی[2] و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود بیان کردند چنانچه بذر گیاه در جذب آب دچار اختلال گردد، فعالیت های متابولیسمی جوانه‌زنی در بذر نیز به آرامی انجام خواهد شد، درنتیجه سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق بویداک و همکاران (۲۰۰۳) بر جوانه‌زنی گونه کاج ایتالیایی (*Pinus brutia*) نشان داد که افزایش تنش خشکی سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر شده است. رسام[3] و همکاران (۲۰۱۴) نیز در تحقیق خود بر روی گیاه دارویی زوفا و بادرشبو به این نتیجه رسیدند که با افزایش تنش خشکی، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر در هر دو گیاه کاهش می یابد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

فیضی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی که روی گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از نانو ذرات TiO_2 جوانه زنی بذرها را به طور قابل توجهی افزایش داد که با نتایج بدست آمده از این تحقیق مطابقت داشت.

نتایج تحقیق اسکندری نسب[4] و همکاران (۲۰۱۹) روی گیاه دان سیاه (*Guizotia abyssinica*) تحت تأثیر سه نانو ذره (دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید سیلسیوم و نانو تیوب کربن) نشان داد که افزایش غلظت نانو ذرات از جمله دی‌اکسید تیتانیوم سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد.

بهنام[5] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود بیان نمودند که تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند سبب مقاومت گیاه سرخار گل (*Echinacea purpurea* L.) در برابر تنش خشکی تا سطح تنش ۶- بار گردد و شاخص‌های جوانه‌زنی سرخار گل را نسبت به شاهد در شرایط تنش

[1] Mahmoodzadeh and Aghili
[2] Nourmohammadi
[3] Rassam
[4] Eskandarinasab
[5] Behnam

خشکی بهبود بخشد.

شاخص بنیه بذر

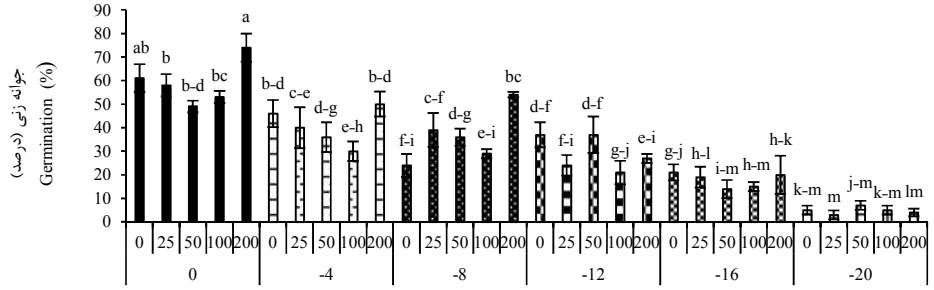
نتایج بدست آمده نشان داد که بین تیمارهای مذکور در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به نحوی که بیشترین و کمترین میانگین شاخص بنیه بذر در تمام سطوح نانوپرایمینگ، به ترتیب متعلق به تیمار تنش خشکی صفر و ۲۰- بار بوده است (شکل ۴). بیشترین شاخص بنیه بذر علاوه بر تنش صفر (تیمار بدون اعمال تنش خشکی) در سطوح ۴- و ۸- بار با تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم نیز مشاهده شد که در سطح تنش صفر بار میزان آن ۳۲۵/۷۷ بوده است. در سطوح بالاتر از ۸- بار، روند مشخصی بین میزان شاخص بنیه بذر و غلظت نانوپرایمینگ مشاهده نگردید و همواره با افزایش شدت تنش خشکی از این میزان کاسته شد که با نتایج ژو و همکاران (۲۰۰۶) روی گونه *Pinus sylvestris* var. *mongolica* مطابقت دارد. یوسفی و همکاران (b۲۰۱۷)، کاهش آب در دسترس گیاه را، عامل کاهش بنیه بذر معرفی کردند که سبب اختلال در فعالیت آنزیم ها جهت انتقال مواد غذایی آندوسپرم و بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین می‌گردد.

احمدلو[1] و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود روی کاج بروسیا و کاج محلب به این نتیجه رسیدند که تنش آبی، سبب کاهش شاخص بنیه بذر می‌شود. بررسی انجام گرفته روی جنس *Elymus* در گونه‌های مختلف *E. petenus* و *E. hispidus* در چهار سطح اسمزی، نشان داد که افزایش تنش خشکی سبب کاهش مشخصه‌های بذر از جمله شاخص بنیه بذر شده است (کاظم‌پور[2] و همکاران، ۲۰۱۱) که با نتایج بدست آمده از این تحقیق مطابقت دارد.

میانگین زمان جوانه‌زنی

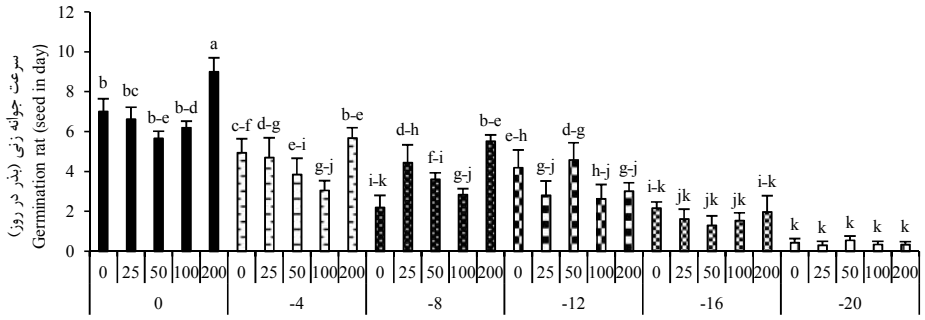
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نانوپرایمینگ در سطوح مختلف تنش خشکی (۰، ۴-، ۸-،۱۲-، ۱۶- و ۲۰- بار) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میانگین زمان جوانه‌زنی بذرها نداشته است. بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تمام سطوح تنش به میزان ۳/۹۶ روز متعلق به تنش خشکی ۲۰- بار با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان آن نیز در همین سطح تنش با غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر به میزان ۱/۲۵ روز بوده است. به طور کلی با افزایش تنش خشکی از صفر بار به ۲۰- بار، میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافت که با نتایج تحقیق جوانمرد[3] و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. شایان ذکر است برخلاف تنش خشکی، روند خاصی از نظر این شاخص در بین سطوح مختلف نانوپرایمینگ مشاهده نگردید (شکل ۵).

[1] Ahmadloo
[2] Kazempour
[3] Javanmard



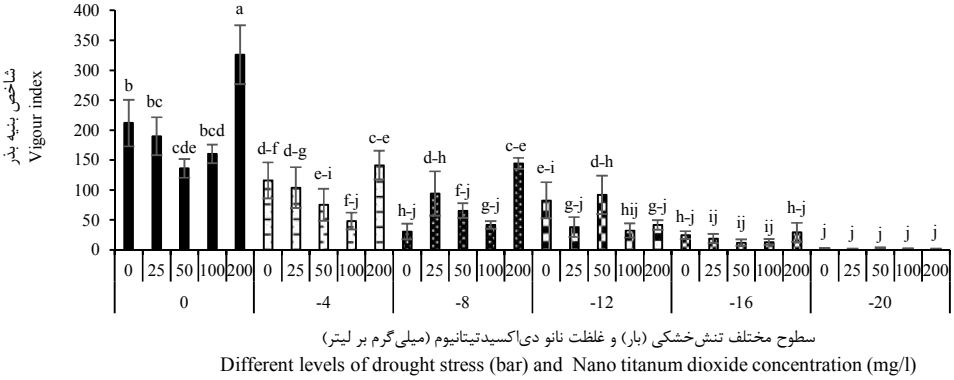
شکل ۲. تأثیر نانوپرایمینگ بر میانگین درصد جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ تحت تنش خشکی. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شده است. میانگین‌ها با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (میانگین±اشتباه معیار).

Fig. 2. Influence of Nano priming on average *Haloxylon aphyllum* seed germination under drought stress. The results of mean comparison made by Duncan's test in 99% confidence interval. Means with the same letters are not significantly different (Mean±StdE).



شکل ۳. تأثیر نانوپرایمینگ بر شاخص سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) بذر سیاه تاغ تحت تنش خشکی. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شده است. میانگین‌ها با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (میانگین±اشتباه معیار).

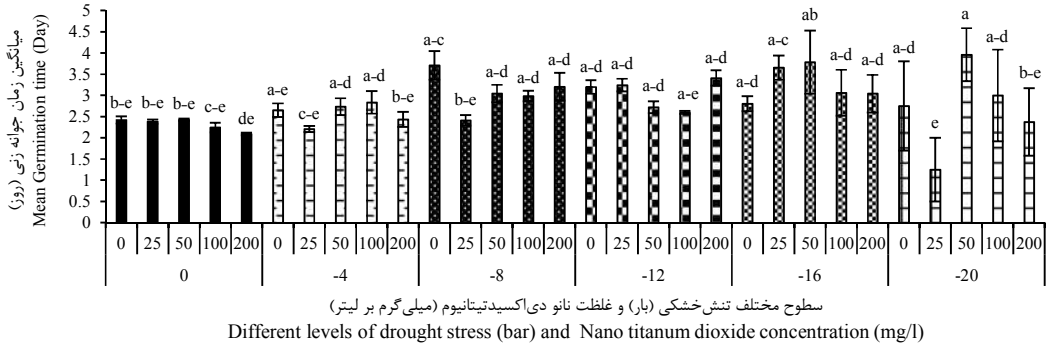
Fig. 3. Influence of Nano priming on *Haloxylon aphyllum* germination rate indice (seed per day) under drought stress. The results of mean comparison made by Duncan's test in 99% confidence interval. Mean with the same letters are not significantly different (Mean±StdE).



شکل ۴. تأثیر نانوپرایمینگ بر شاخص بنیه بذر سیاه تاغ تحت تنش خشکی. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شده است. میانگین‌ها با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (میانگین±اشتباه معیار).

Fig. 4. Influence of Nano priming on *Haloxylon aphyllum* vigour index under drought stress. The results of mean comparison made by Duncan's test in 99% confidence interval. Means with the same letters are not

significantly different (Mean±StdE).



شکل ۵. تأثیر نانوپرایمینگ بر شاخص میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) بذر سیاه تاغ تحت تنش خشکی. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شده است. میانگین‌ها با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (میانگین±اشتباه معیار).

Fig. 5. Influence of Nano priming on *Haloxylon aphyllum* mean germination time (day) under drought stress. The results of mean comparison made by Duncan's test in 99% confidence interval. Means with the same letters are not significantly different (Mean±StdE).

پارامترهای رشد اولیه

نتایج بدست آمده از تحلیل واریانس دوطرفه و مقایسه میانگین آزمون چند دامنه دانکن نشان داد که با افزایش تنش خشکی از تیمار صفر تا ۲۰- بار پارامترهای مذکور کاهش داشته است؛ به نحوی که بیشترین میزان طول ساقه‌چه و ریشه‌چه متعلق به تیمار شاهد (صفر بار) در سطوح صفر، ۲۵ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوتیتانیوم و کمترین میزان متعلق به سطح تنش خشکی ۲۰- بار بوده است. کاترجی[1] و همکاران (۱۹۹۳) در تحقیق خود بیان کردند بذرهایی که تحت شرایط تنش هستند، ساقه‌چه و ریشه‌چه کوتاه‌تری دارند. علت آن را می‌توان به دلیل عدم انتقال یا کاهش مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر دانست. نتایج تحقیق روی گیاه آویشن نیز نشان داد که افزایش تنش خشکی، سبب کاهش صفات وزن‌تر و وزن خشک اندام رویشی، طول ریشه، تعداد ساقه جانبی و ارتفاع بوته گردیده است (بابایی[2] و همکاران، ۲۰۱۰) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج بررسی روی نانوپرایمینگ بذر سیاه تاغ نشان داد که در سطوح پایین تنش خشکی تا ۸- بار، نانوپرایمینگ سبب افزایش طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و به دنبال آن افزایش وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه گردیده است؛ به نحوی که در سطح تنش خشکی ۸- بار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در تیمار بدون نانوپرایمینگ به ترتیب برابر ۶/۴ و ۵/۴ میلی‌متر بوده که با افزایش غلظت نانو تیتانیوم به ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به ترتیب به ۱۴/۹ و ۱۱/۲ میلی‌متر افزایش پیدا کرد. به طور کلی نانوپرایمینگ در سطوح بالای تنش خشکی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش پارامترهای اولیه رشد نداشته و حتی سبب کاهش پارامترهای مذکور شده است (جدول ۳).

نتایج تحقیق رحیمی و همکاران (۲۰۱۶) روی اثر نانوپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر توسکا ییلاقی نشان داد که، نانوپرایمینگ سبب افزایش مقاومت بذر توسکا ییلاقی به تنش خشکی شده است. تحقیق دیگری توسط تدین و نوروزی[3] (۲۰۱۵) روی اثر نانواکسید تیتانیوم، نانو روی و نانو تیوب کربنی چند جداره بر عملکرد ماش انجام گرفت. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تیمارهای نانوذرات، تأثیر معناداری بر عملکرد ماش داشته و نانواکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، سبب بهبود عملکرد دانه شده است. کاوور[4] و همکاران (۲۰۰۲) نیز در تحقیق خود روی نخود (*Cicer arietinu*) بیان کردند که هالوپرایمینگ، سبب افزایش طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی می‌گردد.

نتایج تحقیق سرتیپ و سیروس مهر[5] (۲۰۱۶) روی

[1] Katterji
[2] Babaee
[3] Tadayon and Norouzi
[4] Kaur
[5] Sartip and Sirousmehr

جدول ۳. تأثیر نانوپرایمینگ بر میانگین صفات طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه چه تحت سطوح مختلف تنش خشکی

Table 3. Influence of nano priming on average root length, root dry weight, stem length and stem dry weight under different drought stress

تنش خشکی (بار) Drought stress (Bar)	تیمار نانو (میلی‌گرم بر لیتر) Nano (mg/lit)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Plumule length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Radicle length (mm)	وزن خشک ساقه‌چه (میلی‌گرم) Plumule dry weight (mg)	وزن خشک ریشه‌چه (میلی‌گرم) Radicle dry weight (mg)
0	0	16.87±1.65 ab	12.60 ± 1.16 ab	5.48 ± 0.52 ab	2.10 ± 0.18 ab
	25	16.04 ±1.32 b	11.99 ± 0.92 ab	5.20 ± 0.42 b	1.98 ± 0.14 a-c
	50	13.55 ±0.70 b-d	10.25±0.50 a-e	4.42±0.22 bcd	1.71 ± 0.08b c-f
	100	14.66 ± 0.70 bc	11.02 ± 0.49 a-d	4.80 ± 0.22 bc	1.80 ± 0.08 a-e
	200	20.50 ± 1.66 a	15.08 ± 1.16 a	6.63 ± 0.53 a	2.50 ± 0.18 a
-4	0	12.72 ± 1.60 b-d	9.70 ± 1.12 b-f	4.15 ± 0.50 b-d	1.62 ± 0.17 b-g
	25	11.06 ± 2.40 c-e	8.50±1.70 b-g	3.62 ± 0.76 c-e	1.44±0.26 b-h
	50	9.96 ± 1.75 d-g	7.73±1.22 b-g	3.27 ±0.56 d-g	1.32 0.20 c-i
	100	8.30 ± 1.15 e-h	6.57±0.81 c-h	2.74 ±0.37 e-h	1.14 ± 0.12 d-j
	200	13.80 ± 1.46 b-d	10.44±1.02 a-e	4.50 ± 0.47 b-d	1.74 ±0.16 b-f
-8	0	6.64 ± 1.35 f-i	5.40 ± 0.95 e-j	2.20 ± 0.43 f-i	0.96 ± 0.15 g-l
	25	10.78 ±2.00 c-f	8.31 1.40 b-g	3.53 ±0.64 c-f	1.40±0.22 b-i
	50	10.00±1.00 d-g	7.73±0.70 b-g	3.27 ±0.32 d-g	1.32 ±0.11 c-i
	100	8.01 ±0.53 e-i	6.37±0.37c-i	2.70±0.17 e-i	1.11 ± 0.06 e-j
	200	14.93 ± 0.32 bc	11.21 ±0.23 a-c	4.86 ± 0.10 bc	1.86 ± 0.03 a-d
-12	0	10.23 ± 1.50 d-f	7.92 ±1.02 b-g	3.40 ± 0.46 d-f	1 ± 0.16 b-i
	25	6.64 ± 1.19 f-i	5.40 ± 0.84 e-j	2.21 ± 0.38 f-i	0.96 ± 0.13 g-l
	50	10.23 ± 2.14 d-f	7.92 ±1.49 b-g	3.36 ± 0.68 d-f	1.35±0.23 b-i
	100	5.81 ±1.38 g-j	4.83 ± 0.97 f-j	1.94 ± 0.44 g-j	0.84 ± 0.15 h-m
	200	7.50 ±0.53 e-i	6.00±0.37 d-j	2.47±0.17 e-i	1.05 ± 0.06 f-k
-16	0	5.81 ± 0.94 g-j	4.80 ± 0.66 f-j	1.94 ± 0.30 g-j	0.87 ± 0.10 h-m
	25	5.30 ± 1.23 h-l	4.44 ± 0.86 g-j	1.76 ± 0.39 h-k	0.81 ± 0.13 h-m
	50	3.87 ±1.06 i-m	3.47 ± 0.70 g-j	1.32 ± 0.34 i-l	0.66 ± 0.11 i-m
	100	4.15 0.53 h-m	3.66 ± 0.37 g-j	1.40 ± 0.20 h-l	0.69 ± 0.06 h-m
	200	5.50 ± 2.26 h-k	4.63 ± 1.58 f-j	1.85 ± 0.72 h-j	0.84 ± 0.24 h-m
-20	0	1.40 ± 0.52 k-m	1.54 ± 0.54 h-j	0.52 ± 0.17 kl	0.40 ± 0.08 k-m
	25	0.83 ± 0.53 m	0.96 ± 0.58 j	0.30 ± 0.20 l	0.21 ± 0.12 m
	50	1.94 ± 0.50 j-m	2.11 ± 0.37 h-j	0.70 ± 0.17 j-l	0.45 ± 0.10 j-m
	100	1.40 ± 0.53 k-m	1.54 ± 0.54 h-j	0.50 ± 0.19 kl	0.33 ± 0.11 k-m
	200	1.11 ± 0.45 lm	1.34 ± 0.48 ig	0.41 ± 0.16 l	0.30 ± 0.10 lm

اعداد نشان دهنده میانگین ± اشتباه معیار هستند. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شده است. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

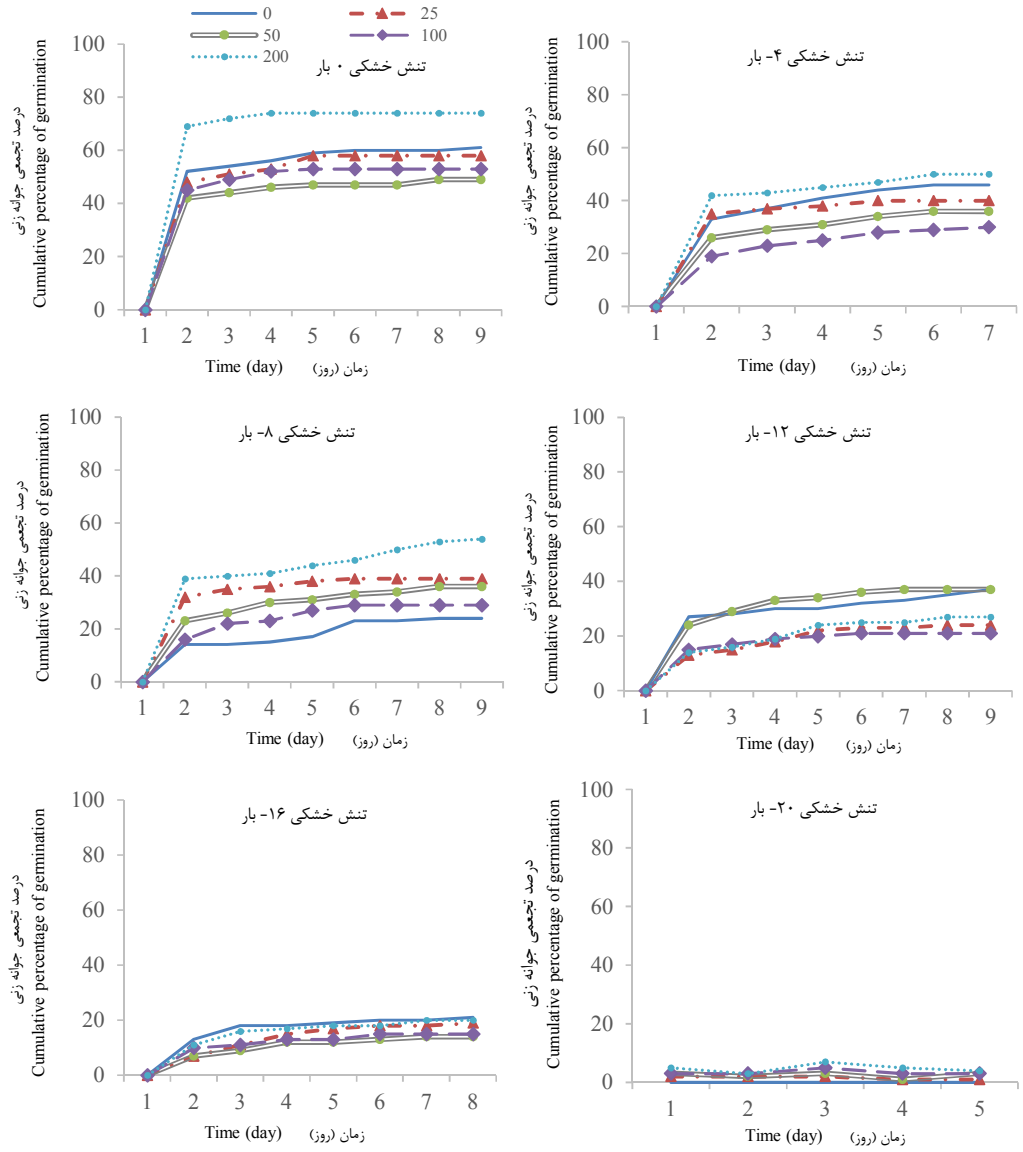
The numbers represent mean ± standard error. The results of mean comparison made by Duncan's test in 99% confidence interval. Similar letters indicate no significant differences.

گیاه خرفه (*Portulaca oleracea*) نشان داد که استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم سبب افزایش طول ساقه می‌شود، اما در تحقیقی که احمدی[1] و همکاران (۲۰۲۰) روی گیاه گل ناز یخی (*Aptenia cordifolia*) انجام دادند بیان نمودند که استفاده از نانو اکسید تیتانیوم سبب کاهش فاکتورهای رشدی گیاه نسبت به شاهد می‌گردد.

درصد تجمعی جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ

نتایج بدست آمده از نمودار تجمعی جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ نشان داد که میزان جوانه‌زنی بذرها در هر یک از تیمارهای نانوپرایمینگ در سطوح مختلف خشکی، یک روند افزایشی در روزهای ابتدای جوانه‌زنی دارد، اما پس از مدتی از سرعت و میزان جوانه‌زنی کاسته شده و در نهایت ثابت می‌شود (شکل ۶).

[1] Ahmadi



شکل ۶. درصد تجمعی جوانه‌زنی بذر سیاه تاغ در تیمارهای نانوپرایمینگ (میلی‌گرم بر لیتر) تحت تنش خشکی

Fig. 6. Cumulative percentage of *Haloxylon aphyllum* seed germination in different Nano priming (mg/lit) under drought stress

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که افزایش تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه بذرهای سیاه تاغ در کلیه تیمارهای پرایم شده و پرایم نشده می‌گردد؛ به نحوی که درصد جوانه‌زنی بذرهای سیاه‌تاغ از ۷۴ درصد در تیمار بدون تنش خشکی (شاهد) به ۳ درصد در سطح خشکی ۲۰- بار کاهش یافت. بررسی‌های انجام گرفته بر روی سرعت جوانه‌زنی نیز نشان داد که افزایش تنش خشکی از صفر به ۲۰- بار سبب کاهش ۹۳ درصدی سرعت جوانه‌زنی در تیمار بدون اعمال پرایمینگ می‌شود. بیشترین شاخص بنیه بذر در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیتانیوم با میزان ۳۲۵/۷۷ مشاهده گردید. در رابطه با بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی نیز در تمامی سطوح، متعلق به تنش خشکی ۲۰- بار و در سطح غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیتانیوم به میزان ۳/۹۶ روز بدست آمد. با توجه به نتایج

بدست آمده از این تحقیق مشخص شد که نانوپرایمینگ دی اکسید تیتانیوم مزو متخلخل تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بهبود کلیه صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه سیاه تاغ دارد و بیشترین تأثیر آن متعلق به تیمار نانوپرایمینگ با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو تیتانیوم بخصوص در سطوح صفر، ۴- و ۸- بار بوده است اما در کل استفاده کلان از آن ملزم به تحقیقات بیشتری در این رابطه می‌باشد.

منابع

Ahmadi, L., Kolahi, M., Mohajjel Shoja, H. and Mohajel Kazemi, E. 2020. Effect of TiO_2 nanoparticles on physiological and anatomical characteristics of Baby sun rose (*Aptenia cordifolia*). Journal of Cell & Tissue, 11(3): 188-204. https://doi.org/10.52547/JCT.11.3.203

Ahmadloo, F., Tabari, M. and Behtari, B. 2011. Effect of drought stress on the germination parameters of Cupressus seeds. International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1(1): 11-17.

Akhavan Armaki, M., Azarnivand, H., Assareh, M.H., Jafari, A.A. and Tavili, A. 2012. Physiological and morphological characteristics in seedlings of four Bromus inermis ecotypes under drought stress in germinator and greenhouse condition. Iranian Journal of Range and Desert Research, 19(4): 669-678. [In Persian with English Summary].

Ali Ahmad Korori, S., Matinizadeh, M., Shirvany, A., Madani Mashaei, E., Talebi Khorabadi, T., Monemian, S.M. and Abdi, E. 2014. Evaluation of pollution intensity in different districts of Tehran based on measuring chlorophyll, plumb and cadmium heavy metal contents in trees. Global Journal of Environmental Science and Management, 8(4): 1105-1114. [In Persian with English Summary].

Almansouri, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stress on germination in durum wheat (*Triticum aestivum* Desf.). Plant and Soil, 23: 243-254. https://doi.org/10.1023/A:1010378409663

Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M. and Jabbari, R. 2010. Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(2): 239-251.

Bahmani, M., Yousefi, S. and Kartoolinejad, D. 2016. The effects of gamma radiation on seed germination and vigour of caper (*Capparis spinosa* var. parviflora) medicinal plant. Iranian Journal of Seed Research, 3(1): 15-26. [In Persian with English Summary].

Beardmore, T., Wang, B.S.P., Penner, M. and Scheer, G. 2008. Effects of seed water content and storage temperature on the germination parameters of white spruce, black spruce and lodgepole pine seed. New Forests, 36(2): 171-185. https://doi.org/10.1007/s11056-008-9091-x

Behnam, H., Feizi, H., Ailpanah, M., Farvani, M. 2017. The effect of TiO_2 bulk and nanoparticles on indicators of *Echinacea purpurea* germination under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(2): 97-107. [In Persian with English Summary].

Boydak, M., Duruk, H., Tulku, F. and Alikoulu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of Pinus brutia seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27: 91-97.

Brancalion, P.H.S., Tay, D., Novembre, A.D.D.L.C., Rodrigues, R.R. and Marcos Filho, J. 2010. Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seeds evaluated by an automated computer image analysis. Scientia Agricola, 67(3): 274-279. https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000300004

Eskandarinasab, M., Rafieiolhossaini, M., Roshandel, P. and Tadayon, M.R. 2019. Investigation of Seed germination indices and anthocyanin content of niger (*Guizotia abyssinica*) seedling under the effect of three nanoparticles. Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 73-89. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.29252/yujs.5.2.73

Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L. and Rezvani Moghaddam, P. 2013. Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). Chemosphere, 91: 506-511. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.012

Feizi, H., Rezvani Moghaddam, P. and Berahmand, A.A. 2011. Sugar beet yield and quality characteristics as affected by magnetic field and silver Nano particles. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(1):88 - 94. [In Persian with English Summary].

ISTA. 2009. International rules for seed testing. Seed Science and Technology, 21: 160-186.

Javanmard, Z., Tabari Kouchaksaraei, M. and Ahmadloo, F. 2015. Effect of osmopriming on germination and physiological characteristic of Pinus eldarica Medw. seed under drought stress. Journal of Plant Research, 27(3): 395-405.

Kartoolinejad, D., Rahimi, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R. 2017. The Effect of carbon nanotubes on drought resistance of caucasian alder (*Alnus subcordata* CA Mey) in germination stage. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2): 17-28. [In Persian with English Summary].

Katterji, N., Mastrorili, M., Hamdy, A. 1993. Effect of stress at different growth stage on pepper yield. Acta Horticulturae, 335: 16-171. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.335.18

Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2002. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. Plant Growth Regulation, 37: 17-22. https://doi.org/10.1023/A:1020310008830

Kazempour, A., Jafari, A.A. and Riasat, M. 2011. The effects of osmotic potential on germination and seedling growth in several populations of *Elymus hispidus* and *Elymus pertenuis* species. Iranian Journal of Range and Desert Research, 18(2): 307-321. [In Persian with English Summary].

Khodakovskaya, M.V., de Silva, K., Biris, A.S., Dervishi, E. and Villagarcia, H. 2012. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. ACS Nano, 6(3): 2128-2135. https://doi.org/10.1021/nn204643g

Mahmoodzadeh, H. and Aghili, R. 2014. Effect on germination and early growth characteristics in wheat plants (*Triticum aestivum* L.) seeds exposed to TiO nanoparticles. Journal of Chemical Health Risks, 4(1): 29-36. [In Persian with English Summary].

Michel, B.E., Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51(5): 914-916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

Moameri, M., Alijafari, E. and Ghorbani, A. 2018. Effects of nanopriming and biopriming on growth characteristics of *Onobrychis sativa* Lam. Under laboratory conditions. Rangeland, 12(1): 101-111.

Mozaffarian, V. 2009. Culture names of Iranian plants. Farhang Moaser press. 740p. [In Persian].

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science, 179(3): 154 - 163. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012

Nourmohammadi, K., Kartoolinejad, D., Naghdi, R. and Baskin, C.C. 2019. Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water-impermeable seeds of Gleditsia caspica (Fabaceae) and seedling growth. Folia Oecologica, 46(2): 115-126. https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014

Owolade, O., Ogunleti, D. and Adenekan, M. 2008. Titanium dioxide affects disease development and yield of edible cowpea. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 7: 2942-2947.

Parera, C.A. and Cantliff, D.J. 1994. Presowing seed priming. Horticultural Reviews, 16(16): 109-141. https://doi.org/10.1002/9780470650561.ch4

Porcel, R., Gómez, M., Kaldenhoff, R. and Ruiz-Lozano., J.M. 2005. Impairment of NtAQP1 gene expression in tobacco plants does not affect root colonisation pattern by arbuscular mycorrhizal fungi but decreases their symbiotic efficiency under drought. Mycorrhiza, 15(6): 417-423. https://doi.org/10.1007/s00572-005-0346-5

Rad, M.H., Ali Ahmad Korori, S. and Matinizadeh, M. 2007. Comparison between natural and cultivated forests of *Haloxylon* sp. with respect to some ecological factors. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(1): 29-38. [In Persian with English Summary].

Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R. 2016. Increasing drought resistance of *Alnus subcordata* CA Mey. seeds using a nano priming technique with multi-walled carbon nanotubes. Journal of Forest Science, 62(6): 269-278. https://doi.org/10.17221/15/2016-JFS

Rahimi, D., Sadeghipour, A. and Kartoolinejad, D. 2016. Effects of priming with different concentrations of potassium nitrate salt on seed germination and vigor indices of *Capparis cartilaginea*. Rangeland, 10(2): 180-190.

Rassam, Gh., Dadkhah, A. and Khoshnood Yazdi, A. 2014. Evaluation of water deficit on morphological and physiological traits of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Jouranl of Agronomy Sciences, 5(10): 1-12.

Sartip, H and Sirousmehr, A.R. 2016. Effect of titanium nano particles and different irrigation levels on photosynthetic pigments, proline, soluble carbohydrates and growth parameters of Purslane. Journal of Plant Ecophysiology, 9: 79-90.

Tadayon, M.R. and Norouzi, S. 2015. Effect of nano titanium oxide, nano zink and multiwall carbon nano tube on yield and yield components of green gram. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture), 17(1): 196-182. [In Persian with English Summary].

Tavakkol Afshari, R., Abasi, A. and Ghasemi, A. 2007. Seed Technology. Tehran University Press, 515p. [In Persian].

Yazdani Biuki, R. and Rezvani Moghaddam, P. 2012. Germination characteristics of marshmallow (*Althea officinalis* L.) as influenced by drought and salinity stress. Iranian Journal of Field crops Research, 10(1): 1-10. [In Persian with English Summary].

Yousefi, S., Kartoolinejad, D. and Naghdi, R. 2017a. 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. https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1325627

Yousefi, S., Kartoolinejad, D., Bahmani, M. and Naghdi, R. 2017b. Salinity tolerance of *Dodonaea viscosa* L. inoculated with plant growth-promoting rhizobacteria: assessed based on seed germination and seedling growth characteristics. Folia Oecologica, 44(1): 20-27. https://doi.org/10.1515/foecol-2017-0003

Zheng, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research, 104(1): 83- 91. https://doi.org/10.1385/BTER:104:1:083

Zhu, J., Kang, H., Tan, H. and Xu, M. 2006. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. Mongolia seeds from natural and plantation forests on sandy land. Journal of Forest Research, 11(5): 319-328. https://doi.org/10.1007/s10310-006-0214-y

Iranian Journal of Seed Research, 2022, 9(1): 43-57

Yasouj University

Research Article

The effect of mesoporous titanium dioxide nanoparticles on germination traits of black saxaul seeds (*Haloxylon aphyllum*) under drought stress

Seyedeh Tina Mousavi Kani[1], Davoud Kartoolinejad[2,*], Zohreh Bahrami[3], Ali Asghar Zolfaghari[4], Elahe Nikouee[5]

Extended Abstract

Introduction: Nowadays, due to land use change and destruction of natural resources induced by human activities, attention to desertification has immensely become widespread. One of the most important species for biological rehabilitation of desert areas on a large scale is the hawthorn plant. Hawthorn is a plant belonging to the family Amaranthaceae, the two species of which are called white saxaul (*Haloxylon persicum* Bunge ex Boissier & Buhse) and black saxaul (*Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Iljin) are more notorious and widespread in Iran. These plants own extensive root systems and stabilize running sands. The aim of this study was to investigate the effect of mesoporous titanium dioxide nanoparticles on germination traits of black saxaul seeds under drought stress, as an important species in desert areas.

Materials and Methods: The experiment was performed as a factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. Experimental treatments included five titanium nano dioxides with concentrations of 0, 25, 50, 100 and 200 mg / l and six drought stress levels including 0, -4, -8, -12, -16 and -20 bar. After nanopriming, black saxaul seeds were subjected to drought stress for 15 days in a germinator at a temperature of 20 °C with four replications. After germination, in each of the treatments, germination percentage (GP), germination rate (GS), mean germination time (MGT) and seed vigor index (VI) were calculated.

Results: The results of two-way ANOVA and mean comparison of germination indices showed that the highest germination percentage (74%) belonged to the zero level of stress treatment with a concentration of 200 mg/l and the lowest one (3%) belonged to -20 bar treatment with 25 and 200 mg/l nano-titanium dioxide. With increasing drought stress intensity from zero to -20 bar level, germination rate decreased from 7.01 to 0.43 seeds per day. The highest amount of seed vigor index at zero drought level belonged to the treatment of 200 mg/l concentration of nano-titanium, with a rate of 325.77.

Conclusion: The results showed that germination indices and initial growth of black saxaul seeds decreased in all primed and unprimed treatments with increasing drought stress, and nanopriming with titanium dioxide had a positive effect on seed germination traits.

Keywords: Drought stress, Germination rate, Black saxaul, Seed vigor index, Nanopriming

Highlights:

1- Seed priming using mesoporous nano-titanium dioxide improved the germination percentage of black saxaul seeds under drought stress.
2- The concentration of 200 mg/l of mesoporous nano titanium dioxide revealed a better effect on seed germination index, mean germination time, germination rate and percentage
3- Seed nano priming using titanium dioxide did not have much effect on the growth characteristics of black saxaul seedlings at higher levels of drought stress.

[1] M.Sc. Graduate Student of Forest Biology, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
[2] Assistant Professor of Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
[3] Assistant Professor, Faculty of Nanotechnology, Semnan University, Semnan, Iran
[4] Associate Professor of Soil Physics, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran
[5] M.Sc. Graduate Student of Forest Biology, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Corresponding author, E-mail: Kartooli58@semnan.ac.ir

(Received: 12.18.2020; Accepted: 05.22.2021)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1401.9.1.2.3

DOI: 10.52547/yujs.9.1.43

CrossMark