مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال سیزدهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰
ص ۴۳۶-۴۲۵
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI):10.22034/ijf.2021.289718.1787
شناسه دیجیتال (DOR):20.1001.1.20086113.1400.13.4.6.1

بهبود عملکرد بذرهای توس (*Betula pendula* Roth) با استفاده از نانوپرایم و مغناطیس

رحمت‌الله پردل[۱]، وحیده پیام نور[۲*]، جهانگیر محمدی[۳]، غلامرضا گودرزی[۴]، حسین یوسفی[۵]، اکرم احمدی[۶]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد دانشکدهٔ علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲*] دانشیار دانشکدهٔ علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳] استادیار دانشکدهٔ علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۴] استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی
[۵] دانشیار دانشکدهٔ مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۶] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۶)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان افزایش شاخص‌های صفات جوانه‌زنی (درصد و سرعت سبز شدن) و رویشی گیاهچه‌های سه‌ماههٔ *Betula pendula* Roth (طول ساقه و ریشه، قطر یقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه و نیز سطح برگ) با اعمال نانوپرایمینگ و تیمار مغناطیس انجام گرفت. بذرها از سیاه‌مرزکوه در ۱۸ کیلومتری گرگان جمع‌آوری و پس از ضدعفونی در محلول نانوکیتین، نانوکیتوزان و نانوسلولز ۱ درصد پرایم خیسانده و سپس کاشته شدند. تیمار مغناطیس برای بذرها در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌تسلا و زمان ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه اعمال شد و بذرها بلافاصله کاشته شدند. تعدادی از بذرها نیز بعد از قرار گرفتن تحت تأثیر میدان مغناطیس (با دوز و زمان قبلی)، با هر سه نانوماده پرایم و سپس کشت شدند. نتایج نشان داد که از بین همهٔ تیمارهای اعمال‌شده، مغناطیس یک‌دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد بهترین نتایج را در پی دارد، به‌نحوی که موجب افزایش درصد سبز شدن (۱/۵۸ برابر) سرعت سبز شدن (۱/۹ برابر) تعداد برگ (۱/۲ برابر) سطح برگ (۱/۸۴ برابر) و طول ریشه (۱/۴ برابر) نسبت به شاهد (فاقد تیمار) شد. تیمار مغناطیس ۲۰ دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد نیز نتایج مشابهی داده است. دو تیمار ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای بذرها در ۳۰ میلی‌تسلا (بدون نانوپرایم) نیز بعد از این دو تیمار توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: توس، تیمار مغناطیسی، نانوسلولز، نانوکیتوزان، نانوکیتین.

مقدمه

توس (*Betula pendula* Roth) در جهان با نام‌های توس نقره‌ای و توس سفید اروپایی شناخته می‌شود و متعلق به خانوادهٔ Betulaceae است. این گونه از نظر ارتفاع به‌طور معمول تا ۳۰ متر رشد کرده و به لحاظ سنی تا ۱۰۰ سال و در بهترین شرایط محیطی حداکثر تا ۱۵۰ سال عمر می‌کند. بذردهی این گونه در ده تا پانزده‌سالگی آغاز می‌شود، زمان رسیدن بذرها تابستان است و پراکنش بذرها توسط باد صورت می‌گیرد (Kiani, 2004). گونهٔ *B. pendula*

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳۷۳۵۸۱۲
ایمیل: mnoori56@gmail.com

از ارتفاعات ۲۳۰۰ متری توچال به بالا، در ارتفاعات ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری دودانگهٔ ساری، درهٔ لار هراز آمل، سیاه‌بیشهٔ چالوس، مارمیشوی آذربایجان غربی و سیاه‌مرزکوه گرگان به‌صورت توده‌هایی پراکنده مشاهده و گزارش شده است (Zare, 2002). براساس گزارش مرکز بذر جنگلی خزر، بذرهای این گونه حتی در شرایط آزمایشگاهی جوانه‌زنی پایینی در حد ۰ تا ۳۰ دارند (Forest tree seed directory, 2009). ضمن اینکه بذرهای توس افزون‌بر آلودگی سطحی (*Trichodea harzianum, oxysporum, Fusarium*، *Penicillum implicatum, Alternaria alternate*)، آلودگی درون بذری (*Amblyosporium echynolatum, Trichothecium roseumml*) نیز دارند (Nazari et al., 2012). در منابع بذرهای *B.pendula*ارتودکس معرفی‌شده، دمای مناسب انبار کمتر از ۴ درصد و رطوبت مناسب ۱۰-۸ درصد ذکر شده و ضمن اشاره به درصد زیاد پوکی بذرها، پیش‌تیمار سرمایی در ۴ درجهٔ سانتی‌گراد بین ۳ تا ۹ هفته و ترجیحاً ۶ هفته اعلام شده است (Gosling, 2007) با این‌حال بذرهای بدون استراتیفه نیز می‌توانند سبز شوند. وجود شرایط نوری در افزایش درصد سبز شدن مؤثر است (Hartmann et al., 2011) و برای حصول به جوانه‌زنی بیشتر و صفات رویشی بهتر، اعمال تیمار جیبرلیک اسید ppm ۵۰ مفید است (Payamnoor & Kordalivand, 2016).

تهیهٔ نهال در نهالستان متداول‌ترین روش تهیه و پرورش نهال به‌طور مصنوعی است (Daghestani et al., 2018). بهره‌گیری از فناوری‌های جدید مربوط به تکثیر گیاهان در این حوزه پیشرفت خوبی داشته است. استفاده از میدان مغناطیسی و الکترومغناطیسی به‌عنوان افزایش‌دهندهٔ قدرت جوانه‌زنی و افزایش عملکرد گیاه یکی از این موارد است. پژوهشگران بسیاری در زمینهٔ تیمارهای مغناطیسی مطالعه کرده و از آن به‌عنوان محرک زیستی مؤثر در جوانه‌زنی و همچنین عملکرد گیاه نام برده‌اند (Ahmed et al., 2013). قرار گرفتن بذرها در معرض میدان مغناطیس به تشدید سبز شدن و رشد گیاهچه کمک می‌کند، چنین گیاهانی ریشه‌های عمیق‌تر و قدرت رشد بیشتری نسبت به بقیه دارند. تیمار میدان مغناطیسی بذرها سبب افزایش سرعت رشد گیاه، ساخت پروتئین‌ها و ریشه می‌شود (Phirke & Umbarkar, 1998). برخی تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد میدان مغناطیسی از آسیب‌های بزرگی که توسط بیماری‌ها و آفات ایجاد می‌شود نیز جلوگیری می‌کند (Sarraf et al., 2020). اثر مثبت اعمال میدان مغناطیس روی بذرهای بنه (Payamnoor et al., 2020)، گندم (Martinez et al., 2002)، ماش (Mahajan & Pandey, 2014)، ذرت و سویا (Sunita et al., 2017)، کاج بادامی (Kırdar et al., 2016)، افرا شبه چناری (Ayan et al., 2018) و کاج تدا (Yao & Shen, 2015) نمونه‌هایی از این موارد است. یکی دیگر از پیشرفت‌های مناسب در افزایش کارکرد گیاهان استفاده از فناوری نانویی یا نانومواد (موادی که دست‌کم یکی از ابعاد آنها در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد) است. امروزه از نانومواد با اهداف مختلف استفاده می‌شود و در برخی موارد نتایج منحصربه‌فردی به‌دست می‌آید. بهبود سوخت‌وساز گیاه، مقاومت به عوامل محیطی، جوانه‌زنی و رشد بذر، حفاظت گیاه، شناسایی پاتوژن‌ها و تشخیص باقی‌ماندهٔ آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها از جملهٔ این موارد است. نانوپرایمینگ یکی از انواع پرایمینگ (روش‌های مختلف بهبوددهندهٔ جوانه‌زنی بذرها) است. در همهٔ روش‌های پرایمینگ، آبدهی کنترل‌شدهٔ بذرها اعمال می‌شود تا جایی که فرایندهای متابولیکی مربوط به جوانه‌زنی شروع می‌شود، اما ظهور ریشه رخ نمی‌دهد (Payamnoor et al., 2017). محلول‌های مختلف پرایمینگ خواص و اثربخشی متفاوتی دارند و بهینه‌سازی برای هر گونه محصول ضرورت دارد. اثر

سیلیکون و نانوسیلیکون در مقابله با تنش شوری در مرحلهٔ رشد اولیهٔ گیاه گوجه‌فرنگی بررسی شده که بهبود فتوسنتز گیاه، هدایت مزوفیلی و بازده مصرفی آب گیاه تحت این تنش را در پی داشته است (Haghighia & Pessarakli, 2013). اثر مثبت نانوتیتانیوم بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچهٔ اسفناج و متابولیسم بهتر نیتروژن نیز گزارش شده است (Zhang et al., 2005). در آزمایشی اثر نانونقره (۰، ۲۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر تحمل به شوری گیاه زیرهٔ سبز در مراحل جوانه‌زنی بررسی شد؛ غلظت‌های ۲۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانونقره در بیشتر آزمایش‌ها موجب افزایش مقاومت به تنش شوری شد (Ekhtiari & Moraghebi, 2011). تأثیر مثبت تیمار با نانوذرات سیلیکا ($NSiO_2$) بر صفات جوانه‌زنی و رشد اولیهٔ گونه بارانک لرستانی گزارش شده است (Seyedna et al., 2019). گزارش دیگری مبنی بر افزایش مناسب جوانه‌زنی بذرهای محلب (*Prunus mahaleb* L.) تحت تأثیر پرایم ۲۰ دقیقه‌ای با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم ارائه شده است (Goodarzi et al., 2017). تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان افزایش شاخص‌های صفات جوانه‌زنی و رویشی بذرهای توس با اعمال نانومواد شامل نانوکیتین، نانوکیتوزان و نانوسلولز که منشأ زیستی دارند و تیمار مغناطیس (به‌شکل مجزا و توأم) انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

بذرهای توس از منطقهٔ سیاه‌مرزکوه واقع در فاصلهٔ ۱۸ کیلومتری جنوب شرق شهر گرگان جمع‌آوری شد. این تحقیق در آزمایشگاه اصلاح نژاد و تکنولوژی بذر دانشکدهٔ علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت.

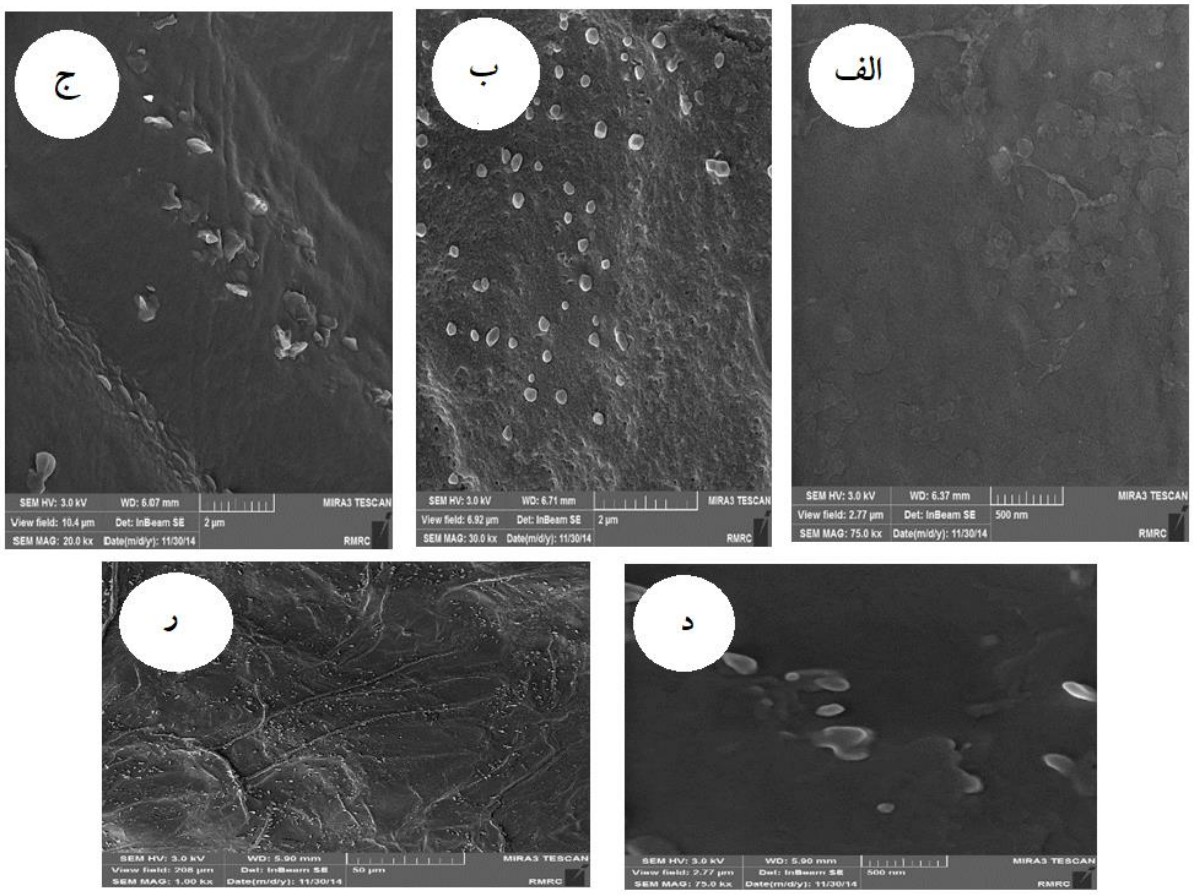
شیوهٔ اجرای پژوهش

بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت در محلول بنومیل ۱ درصد ضدعفونی شدند. الف) نانوپرایم: بذرهای ضدعفونی‌شده به‌مدت دو ساعت در محلول نانوکیتین، نانوکیتوزان و نانوسلولز ۱ درصد پرایم (خیسانده) و کاشته شدند. در تیمار شاهد بذرها پرایم نشدند. برای اطمینان از پوشش‌دهی بذر توسط نانومواد با غلظت ۱ درصد، عکس‌برداری از بذرهای پرایم‌شده به‌وسیلهٔ میکروسکوپ الکترونی (SEM) در بنیاد علوم کاربردی رازی انجام گرفت و پوشش‌دهی بذرها، توسط متخصصان تأیید شد (شکل ۱). سطح بذرهای توس ضمایم بسیار ریزی دارد که سبب ایجاد نقطهٔ اتصال بین سطح بذر و پوشش نانومواد می‌شود، به‌صورت پایه عمل می‌کند و پوشش‌دهی بذر را افزایش – می‌دهد. به این ترتیب با توجه به ساختار نانومواد استفاده‌شده و رطوبت سطحی بذرها، پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب و زنجیره‌های نانومواد ایجاد شده و پوشش‌دهی کامل با غلظت استفاده‌شده اتفاق افتاده است.

ب) بذرها در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌تسلا و در مدت زمان ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه توسط دستگاه مغناطیس‌کننده تحت تأثیر میدان مغناطیس قرار گرفتند و سپس کشت شدند. ج) اثر متقابل نانوپرایمینگ و میدان مغناطیسی بررسی شد. بذرها ابتدا تحت تأثیر مغناطیس در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌تسلا و در مدت زمان ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه قرار گرفتند و پس از پرایم با نانوکیتین، نانوکیتوزان و نانوسلولز ۱ درصد کشت شدند.

کشت همهٔ تیمارها در بستر کاشت آمادهٔ موجود در گلفروشی (شرکت تمیشان) و در شرایط گلخانه با نور ۶۵۰۰۰ لوکس و شرایط دمایی ۱±۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد انجام گرفت. با توجه به اینکه نور عامل مؤثری در میزان سبز شدن بذرهای توس است، به شفاف و تمیز بودن شیشه‌های گلخانه توجه شد. آبیاری در ۲۱ روز نخست در دو زمان صبح و عصر و

بعد از مرحلهٔ جوانه‌زنی روزی یک بار انجام گرفت. صفات مورد نظر شامل درصد و سرعت سبز شدن بعد از ۲۱ روز و فاکتورهای طول ساقه، طول ریشه، قطر یقه، وزن تر، وزن خشک ریشه و ساقه و نیز سطح برگ پس از سه ماه بررسی شد. برای محاسبهٔ درصد و سرعت سبز شدن به‌ترتیب از فرمول $G = (n/N) \times 100$ و $GS= \sum (ni/ti)$ (Ahani et al., 2015) استفاده شد که در آنها n تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز، N تعداد بذرهای کاشته‌شده و t تعداد روز است. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و ساقه گیاهچه‌ها در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت نگهداری و سپس وزن شدند. برای تعیین سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج ساخت شرکت CID Inc استفاده شد.



شکل ۱- الف) سطح بذرهای توس بدون پوشش نانو (شاهد)؛ ب) سطح بذرهای توس با پوشش نانوکیتین ۱ درصد؛ پ) سطح بذرهای توس با پوشش کیتوزان ۱ درصد؛ ت و ث) سطح بذرهای توس با پوشش نانوسلولز ۱ درصد

روش تحلیل

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام گرفت. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل در سه سطح (مواد نانو در چهار سطح، میدان مغناطیس در سه سطح و زمان‌های مختلف در سه سطح) انجام گرفت. برای مقایسهٔ میانگین از آزمون چنددامنهٔ دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج آنالیز واریانس اثر تیمار عامل نانو، عامل میدان مغناطیس، عامل زمان و اثر متقابل این عوامل بر صفات جوانه‌زنی و صفات اولیه گیاهچه‌های توس در طول سه ماه در جدول ۱ نشان داده شده است. نانوپرایم موجب تفاوت معنی‌دار در همهٔ شاخص‌ها شد. اعمال تیمار مغناطیس نیز تفاوت معنی‌داری در همهٔ پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌جز طول ساقه‌چه، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه ایجاد کرد. مدت زمان اعمال تیمار به‌تنهایی تفاوت معنی‌داری را در بین پارامترهای اندازه‌گیری‌شده نشان نداد ($p\geq ۰/۰۵$). اثر متقابل عوامل، سبب ایجاد تفاوت معنی‌دار در صفات جوانه‌زنی و برخی صفات رویشی اندازه‌گیری‌شده شد (جدول ۱).

جدول ۱- آنالیز واریانس تیمارهای نانو، مغناطیس و زمان روی پارامترهای جوانه‌زنی بذرهای توس و پارامترهای رویشی گیاهان حاصل

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	درصد سبز شدن	سرعت سبز شدن	تعداد برگ	سطح برگ	طول ریشه
نانو	۳	۲۶/۷**	۲۶/۷**	۹/۰۳**	۱۰۹/۳۵**	۴۴/۸**
میدان مغناطیس	۲	۱۳/۹**	۸/۰۹**	۳/۰۷*	۲۳/۸**	۳/۳*
زمان	۲	۱/۳۹^{ns}	۰/۴^{ns}	۱/۳۵ ^{ns}	۰/۴۵^{ns}	۱/۶^{ns}
نانو × میدان مغناطیس	۶	۸/۵**	۵/۹**	۰/۷۴۱ ^{ns}	۶/۱۵**	۰/۹۵^{ns}
نانو × زمان	۶	۷/۲**	۳/۰۵**	۱/۷۲ ^{ns}	۱/۱۵^{ns}	۰/۹^{ns}
میدان مغناطیس×زمان	۴	۲/۳*	۰/۸۲*	۳/۱۵*	۱۳/۴۵**	۲/ ۲ ^{ns}
نانو × میدان مغناطیس ×زمان	۱۲	۵/۲**	۳/۳**	۲/۰۶*	۲/۹۵**	۲/۴*
منبع تغییرات	طول ساقه	قطر یقه	وزن تر ریشه	وزن تر ساقه	وزن خشک ریشه	وزن خشک ساقه
نانو	۱۴/۱**	۴۶/۵**	۲۶/۹**	۲۵/۴**	۲۶/۲**	۲۸*
میدان مغناطیس	۱/۹۵ ^{ns}	۶/۶۵**	۴/۹**	۴/۲۴۵*	۶/۵ ^{ns}	۱/۳۶ ^{ns}
زمان	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۶^{ns}	۰/۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}
نانو × میدان مغناطیس	۱/۰۷ ^{ns}	۱/۷۵ ^{ns}	۱/۹^{ns}	۰/۸۷ ^{ns}	۲/۰۷^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}
نانو × زمان	۰/۵۵ ^{ns}	۱ ^{ns}	۰/۴^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۱/۶^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}
میدان مغناطیس × زمان	۳/۲*	۵/۸۵**	۰/۶ ^{ns}	۱/۲۲^{ns}	۰/۶ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}
نانو × میدان مغناطیس× زمان	۱/۵۵ ^{ns}	۲/۵**	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۷ ^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}

*: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ **: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۹۹ درصد؛ ns: نبود تفاوت معنی‌دار

اثر نانوپرایم بذرهای توس بر صفات رویشی در جدول ۲ نشان داده شده است. به‌دلیل جلوگیری از تکرار اطلاعات صفات درصد و سرعت سبز شدن تحت تأثیر نانوپرایم فقط در جدول ۴ ارائه شده است. چنانکه مشخص است درصد جوانه‌زنی بذرهای توس اندک بوده و در حد ۱۲ درصد در تیمار شاهد است. نانوپرایم با نانوسلولز و نانوکیتوزان سبب افزایش این میزان نشده است؛ استفاده از پیش‌تیمار نانوکیتین درصد جوانه‌زنی را حتی به ۴ درصد تقلیل داده است. این مسئله در مورد دیگر صفات اندازه‌گیری‌شده نیز صادق است. طول ساقه‌چه تحت تأثیر نانوسلولز و نانوکیتوزان و همچنین وزن تر ساقه تحت تأثیر نانوسلولز نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول‌های ۲ و ۴).

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین اثر نانوپرایم بر صفات گیاهچهٔ توس

منبع تغییرات	طول ساقه (سانتی‌متر)	قطر یقه (میلی‌متر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)
نانوسلولز	۳۹/۶^{a}	۲/۵۶^{a}	۰/۲۳^{a}	۱/۰۸^{a}	۰/۰۴۳۶^{ab}	۰/۱۲۳^{a}
نانوکیتوزان	۴۲/۶^{a}	۲/۳۶^{a}	۰/۱۷۶۷^{ab}	۰/۹۴^{b}	۰/۰۵۵۳^{a}	۰/۰۷۴^{a}
نانوکیتین	۱۴/۳^{c}	۰/۹۹^{b}	۰/۱۳۳۳^{b}	۰/۱۶^{c}	۰/۰۰۴^{c}	۰/۰۱۴۶^{b}
شاهد	۳۱^{b}	۲/۹۷^{a}	۰/۲۴۳۳^{a}	۰/۸۳^{b}	۰/۰۴۲۶^{a}	۰/۱۱۰^{a}

جدول ۳- مقایسهٔ میانگین میدان مغناطیس تیمارهای مغناطیس بذرهای توس روی صفات گیاهچهٔ توس

منبع تغییرات	طول ساقه (سانتی‌متر)	قطر یقه (میلی‌متر)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)
۲۰ میلی‌تسلا	۳۷/۸ ^{a}	۲/ ۲ ^{b}	^{c}۰/۰۵	۰/۴۲^{ab}	۰/۰۱^{a}	۰/۰۶^{a}
۳۰ میلی‌تسلا	۴۱/۲^{a}	۲/۹ ^{a}	۰/۱۳ ^{bc}	۰/۶۲^{ab}	۰/۰۳^{a}	۰/۰۸^{a}
۴۰ میلی‌تسلا	۴۰/۵ ^{a}	۳/۰۹ ^{a}	^{ab}۰/۱۷	۰/۶^{ab}	۰/۰۴^{a}	۰/۰۷^{a}

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین تیمارهای نانو، مغناطیس و زمان اعمال تیمار روی بذرهای توس

منبع تغییرات	درصد سبز شدن	سرعت سبز شدن (تعداد در روز)	تعداد برگ	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	طول ریشه (میلی‌متر)
نانوسلولز	۱۲/۳$^{f-j}$	۱/۹۶$^{f-j}$	۳۲/۶$^{a-e}$	۴۰/۳$^{d-h}$	۲۲/۶$^{d-k}$
نانوکیتوزان	۱۱/۳$^{f-j}$	۱/۷۹$^{g-k}$	۲۷/۶$^{a-f}$	۳۴/۵$^{d-k}$	۲۰/۸$^{e-k}$
نانوکیتین	۴/۶^{k}	۰/۷۲^{l}	۸/۶^{g}	۹/۷^{o}	۵^{m}
۲۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۲/۳$^{f-j}$	۱/۸۴$^{g-j}$	۲۵$^{b-f}$	۲۰/۸$^{j-o}$	۱۲$^{k-m}$
۲۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۳$^{e-i}$	۱/۸۱$^{g-k}$	۲۷/۳$^{a-f}$	۲۲/۴$^{i-o}$	۱۹/۳$^{f-k}$
۲۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۶$^{a-g}$	۲/۲۸$^{d-j}$	۳۲$^{a-f}$	۳۵/۳$^{d-j}$	۲۸/۳$^{a-i}$
۳۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۰^{ij}	۱/۵۳$^{h-l}$	۳۱$^{a-f}$	۳۰/۱$^{f-m}$	۲۹/۹$^{a-g}$
۳۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۸/۳$^{a-d}$	۲/۹۸$^{a-e}$	۳۳$^{a-e}$	۳۱/۹$^{e-l}$	۲۲/۹$^{d-k}$
۳۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۹/۶^{a}	۳/۳۷$^{a-c}$	۳۹/۶^{a}	۴۰/۵$^{e-l}$	۳۰/۸$^{a-f}$
۴۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۶/۳$^{a-g}$	۲/۳۸$^{d-i}$	۳۵/۳^{ab}	۳۸/۹$^{d-h}$	۳۲/۸$^{a-e}$
۴۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۶/۶$^{a-f}$	۲/۴۹$^{c-h}$	۳۲/۶$^{a-e}$	۴۱/۷$^{d-i}$	۲۲$^{e-k}$
۴۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۳/۳$^{d-i}$	۲/۱۲$^{e-j}$	۲۷/۳$^{a-f}$	۲۴/۶$^{d-h}$	۱۸/۸$^{f-k}$
نانوکیتین + ۲۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۲/۶$^{e-j}$	۱/۶۶$^{g-k}$	۲۴/۳$^{b-f}$	۱۰^{o}	۱۷/۵$^{h-l}$
نانوکیتین + ۲۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۷/۶$^{a-e}$	۲/۶۱$^{b-g}$	۲۸/۳$^{a-f}$	۱۷/۶$^{k-o}$	۱۸/۵$^{f-k}$
نانوکیتین + ۲۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۱$^{g-j}$	۱/۸۴$^{g-j}$	۱۸/۶$^{e-g}$	۱۳/۶$^{m-o}$	۱۱/۸$^{k-m}$
نانوکیتین + ۳۰میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۴$^{d-i}$	۲/۳$^{d-j}$	۳۰/۳$^{a-f}$	۱۷/۷$^{k-o}$	۱۸/۳$^{g-k}$
نانوکیتین + ۳۰میلی‌تسلا +۱۰ دقیقه	۱۶/۳$^{a-g}$	۲/۵۴$^{c-g}$	۲۴$^{b-f}$	۲۶$^{h-o}$	۱۷/۳$^{h-l}$
نانوکیتین + ۳۰میلی‌تسلا +۲۰ دقیقه	۱۵/۳$^{a-h}$	۲/۵$^{c-h}$	۳۵$^{a-c}$	۳۶$^{d-j}$	۲۳/۸$^{c-k}$
نانوکیتین + ۴۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۵/۳$^{a-h}$	۲/۵۶$^{c-g}$	۳۵$^{a-c}$	۲۹/۳$^{g-m}$	۱۹/۸$^{f-k}$
نانوکیتین + ۴۰ میلی‌تسلا +۱۰ دقیقه	۱۴$^{d-i}$	۲/۱۸$^{d-j}$	۲۶$^{a-f}$	۳۲/۳$^{e-l}$	۱۶/۶$^{i-l}$
نانوکیتین + ۴۰ میلی‌تسلا +۲۰ دقیقه	۷/۶^{jk}	۱/۴۱$^{i-l}$	۸^{g}	۱۱/۷^{no}	۶/۳^{lm}
نانوسلولز + ۲۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۸/۶$^{a-c}$	۳/۱۳$^{a-d}$	۳۴$^{a-d}$	۴۶/۸$^{d-f}$	۳۰$^{a-g}$

جدول‌های ۳ و ۴، مقایسهٔ میانگین اثر اعمال مغناطیس را با سه دوز ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌تسلا بر صفات اندازه‌گیری‌شده در مقایسه با شاهد نشان می‌دهند. نتایج حاکی از آن است که اعمال تیمار میدان مغناطیس در ۳۰ میلی‌تسلا سبب افزایش درصد و سرعت سبز شدن، تعداد برگ و طول ساقهٔ گیاهچه نسبت به شاهد شده است. همچنین برای تیمار ۴۰ میلی‌تسلا مغناطیس نیز نتایج مشابهی در دو صفت درصد سبز شدن و طول ساقهٔ گیاهچه حاصل شده است.

در جدول ۴ اثر عوامل مختلف بررسی‌شده مقایسه شده است. چنانکه مشخص است تیمارهای ترکیبی نتایج مقبول‌تری نسبت به تیمارهای مستقل نانوپرایم یا میدان مغناطیس داشته‌اند. پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد و سپس اعمال یک‌دقیقه‌ای مغناطیس با دوز ۳۰ میلی‌تسلا نتایج بهتری را نسبت به تیمارهای دیگر موجب شد. درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، تعداد برگ، سطح برگ و طول ریشه نسبت به شاهد افزایش خوبی داشتند. اعمال ۲۰ و ۱۰ دقیقه‌ای مغناطیس بعد از پرایم با نانوسلولز تیمارهای بهینهٔ بعدی‌اند.

جدول ۵ مقایسهٔ میانگین تیمارهای نانو، مغناطیس و زمان اعمال تیمار روی بذرهای توس را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی، اثرهای متقابل نانوسلولز + ۳۰ میلی‌تسلا + زمان (۱، ۱۰ و ۲۰) نتایج بهتری روی درصد سبز شدن، سرعت سبز شدن، تعداد برگ، سطح برگ و طول ریشه داشت.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین تیمارهای نانو، مغناطیس و زمان اعمال تیمار روی بذرهای توس

منبع تغییرات	درصد سبز شدن	سرعت سبز شدن (تعداد در روز)	تعداد برگ	سطح برگ (میلی‌متر مربع)	طول ریشه (میلی‌متر)
نانوسلولز + ۲۰ میلی‌تسلا + ۱۰دقیقه	۱۵/۶$^{a-g}$	۲/۸۲$^{a-f}$	۳۵/۶^{ab}	۳۹/۳$^{d-i}$	۳۷^{ab}
نانوسلولز + ۲۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۴/۳$^{b-i}$	۲/۸۶$^{a-f}$	۳۰$^{a-f}$	۵۰/۷^{cd}	۲۴/۸$^{b-j}$
نانوسلولز + ۳۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۲۰^{a}	۳/۶^{a}	۳۵/۳^{ab}	۶۴/۶^{bc}	۳۷/۸^{a}
نانوسلولز + ۳۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۴$^{d-i}$	۲/۴$^{c-h}$	۳۵^{abc}	۶۵/۴^{bc}	۳۶$^{a-c}$
نانوسلولز + ۳۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۹/۳^{ab}	۳/۵^{ab}	۳۸/۳^{ab}	۹۵/۹^{a}	۳۵/۳^{abc}
نانوسلولز ۴۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۰^{ij}	۱/۸۱$^{g-k}$	۲۵/۶$^{a-f}$	۷۸/۳^{b}	۳۳$^{a-e}$
نانوسلولز + ۴۰ میلی‌تسلا + ۱۰ دقیقه	۱۱/۶$^{f-j}$	۲/۰۱$^{f-j}$	۳۴/۶$^{a-d}$	۶۴/۹^{bc}	۳۰/۱$^{a-g}$
نانوسلولز + ۴۰ میلی‌تسلا + ۲۰ دقیقه	۱۰/۳$^{h-j}$	۲$^{f-j}$	۲۸/۶$^{a-f}$	۴۵/۶$^{d-g}$	۳۴/۵$^{a-d}$
نانوکیتوزان + ۲۰ میلی‌تسلا+ ۱ دقیقه	۱۲/۳$^{f-j}$	۱/۹$^{f-j}$	۲۵/۳$^{a-f}$	۲۶/۴$^{h-o}$	۲۶/۵$^{a-j}$
نانوکیتوزان + ۲۰ میلی‌تسلا+۱۰ دقیقه	۵^{k}	/۸۹^{kl}	۱۷/۶^{fg}	۱۵/۶$^{l-o}$	۱۵$^{j-m}$
نانوکیتوزان + ۲۰ میلی‌تسلا+۲۰ دقیقه	۱۲/۶$^{e-j}$	۲/۳$^{d-j}$	۲۴$^{b-f}$	۲۷/۴$^{h-n}$	۲۲/۳$^{d-k}$
نانوکیتوزان + ۳۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۷/۶^{jk}	۱/۳۹$^{j-l}$	۲۰/۳$^{d-g}$	۲۱/۵$^{j-o}$	۱۸/۸$^{f-k}$
نانوکیتوزان + ۳۰ میلی‌تسلا +۱۰ دقیقه	۱۲$^{f-j}$	۲/۱۸$^{d-j}$	۲۷/۳$^{a-f}$	۴۶$^{d-g}$	۲۹/۱$^{a-h}$
نانوکیتوزان + ۳۰ میلی‌تسلا +۲۰ دقیقه	۱۱/۳$^{f-j}$	۱/۹۲$^{f-j}$	۲۹/۳$^{a-f}$	۴۸/۹^{de}	۲۵/۶$^{a-j}$
نانوکیتوزان ۴۰ میلی‌تسلا + ۱ دقیقه	۱۱/۶$^{f-j}$	۱/۹۲$^{f-j}$	۳۴$^{a-d}$	۳۴/۹$^{d-j}$	۲۶/۳$^{a-j}$
نانوکیتوزان + ۴۰ میلی‌تسلا +۱۰ دقیقه	۹/۳$^{i-k}$	۱/۷۶$^{g-k}$	۱۷/۶^{fg}	۱۰/۱^{o}	۱۱/۶$^{k-m}$
نانوکیتوزان + ۴۰ میلی‌تسلا +۲۰ دقیقه	۱۱/۶$^{f-j}$	۲/۰۱$^{f-j}$	۲۰/۶$^{c-g}$	۱۱/۲$^{m-o}$	۱۵/۵$^{j-m}$
شاهد (بدون اعمال پرایم و در معرض مغناطیس قرار گرفتن)	۱۲/۶$^{e-j}$	۱/۸۲$^{g-k}$	۲۷/۶$^{a-f}$	۳۵/۱$^{d-g}$	۲۶/۳$^{a-ij}$

بحث

در اثر تخریب رویشگاه‌ها و همچنین تغییرات آب‌و هوایی در سال‌های متمادی، بذرهای *B. pendula* جوانه‌زنی اندک (۳۰-۰ درصد) و میزان پوکی زیادی دارند؛ از این‌رو باید برای یافتن راهکارهایی به‌منظور افزایش کارکرد بذرها و احیای این گونهٔ رو به انقراض تلاش شود. تحقیق حاضر در همین راستا انجام گرفت. ابتدا اثر نانوپرایم دوساعتهٔ بذرهای این گونه با نانوسلولز، نانوکیتین و نانوکیتوزان در غلظت ۱ درصد ارزیابی شد. در طی سال‌های اخیر، به استفاده از نانومواد و بررسی اثر آنها در کارکرد بذرها توجه زیادی شده است. تحقیقات اندکی بر گونه‌های جنگلی متمرکز شده‌اند، ولی به اثرهای مثبت استفاده از نانومواد با هدف افزایش کارایی بذرها در مقالات بسیاری اشاره شده است. اثر چشمگیر استفاده از نانوذرات کربن همراه با اسیدهای کربوکسیلیک (Hossein Ali et al., 2020) در بذرهای توسکا (*Alnus viridis* L.) و نیز استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم (Goodarzi et al., 2017) روی بذرهای محلب و استفاده از نانولوله‌های کربنی روی بذرهای *Alnus subcordata* (Rahimi et al., 2018) و *Brassica napus* (Lin & Xing, 2007) از این‌دست است. در تحقیق حاضر نخستین بار از نانومواد با منشأ زیستی استفاده شد، ولی نتایج چشمگیری در درصد سبز شدن حاصل نشد و فقط طول ساقه‌چه تحت تأثیر نانوسلولز و نانوکیتوزان و همچنین وزن تر ساقه‌چه تحت تأثیر نانوسلولز نسبت به شاهد افزایش داشت. اثر میدان مغناطیس به‌عنوان راهکار دیگری برای افزایش کمیت و کیفیت عملکرد بذرها بررسی شد. سه دوز ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌تسلا به‌مدت ۱، ۱۰ و ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. همهٔ پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌جز طول ساقه‌چه و وزن خشک ساقه تحت تأثیر میدان مغناطیس قرار گرفتند. مدت زمان اعمال تیمار تأثیری بر نتایج نداشت و معنی‌دار نبود. دوز ۳۰ میلی‌تسلا (۱۰ و ۲۰ دقیقه) سبب افزایش درصد و سرعت سبز شدن، تعداد برگ و طول ساقهٔ گیاهچه نسبت به شاهد شد. تیمار مغناطیس، فعالیت یون‌ها و قطبی شدن مولکول‌های دوقطبی را در سلول‌های زنده تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dhawi et al., 2009). پژوهش‌ها نشان داده است که مغناطیس افزون‌بر تأثیر بر فعالیت یون‌ها بر فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفاآمیلاز، دهیدروژناز و پروتئاز که سبب جوانه‌زنی سریع‌تر و بهبود بنیهٔ بذر و خصوصیات بهتر ریشه‌چه در بذرهای تیمارشده می‌شوند اثرگذار است (Vashisth & Nagarajan, 2010). به نظر می‌رسد که گیاهان مختلف بسته به شدت میدان مغناطیس توانایی متفاوتی دارند؛ به‌نحوی که شدت خاصی سبب افزایش عملکرد نوعی گیاه و در عین‌حال کاهش کارکرد گیاه دیگر می‌شود. برای مثال Belyavskaya (2001) معتقد است که میدان مغناطیس ضعیف ممکن است با اختلال در تقسیم سلولی و اندازهٔ میتوکندری تأثیر بازدارندگی بر رشد ریشه‌های اولیه داشته باشد. این درحالی است که Fischer et al. (2004) نشان دادند که میدان‌های مغناطیسی با شدت بیشتر بر درصد سبز شدن بذرها اثری ندارند، ولی وزن تر ریشه و ساقه را افزایش می‌دهند. در تحقیق حاضر نیز شدت مغناطیس ۴۰ میلی‌تسلا بر سبز شدن اثری نداشت، ولی بیشتر صفات رویشی اندازه‌گیری‌شده را بهبود بخشید. Martinez et al. (2002) نیز در بررسی گیاه گندم در معرض میدان مغناطیسی ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی‌تسلا اثر تحریک‌پذیری چشمگیری در مراحل اولیهٔ رشد مشاهده کردند. بر این اساس، باید شدت مناسب مغناطیس برای هر گیاه جداگانه ارزیابی شود. Payamnoor et al. (2020) در بررسی اثر میدان مغناطیس و اسموپرایمینگ بذرهای بنه، تیمار ۱۵ دقیقه مغناطیس با شدت ۱۰ میلی‌تسلا را تیمار برتر انتخاب کرده و پیش‌تیمار مشترک مغناطیس و اسموپرایمینگ با ۲۵ میلی‌مولار هیومیک اسید را

برای بهبود صفات جوانه‌زنی و رویشی بذرهای بنه پیشنهاد کردند. میدان مغناطیسی موجب افزایش تقسیم رشدی در کشت‌های درون‌شیشه‌ای (اکسپلنت جوانه) گیاه پالونیا، افزایش رشد، افزایش سیتوکنین و اکسین، تحریک سنتز پروتئین و ارتقای بلوغ کلروپلاست شد. این محققان میدان مغناطیسی را به‌وسیلهٔ ده آهن‌ربای نصب‌شده روی یک تسمه که با سرعت ۱ متر بر ثانیه می‌چرخیدند ایجاد کردند. جریان مغناطیس ۲/۹ تا ۴/۶ میلی‌تسلا به میزان ۱۹/۸ و ۲/۲ ثانیه اعمال شد (Çelik et al., 2008). بررسی اثرهای میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی بذرها و رشد نهال‌های کاج بادامی (*Pinus Pinea* L.) نشان داد بذرهایی که به‌مدت ۳۰ و ۴۵ دقیقه در معرض میدان مغناطیسی ۹/۴۲ میلی‌تسلا قرار گرفتند، افزایش انرژی جوانه‌زنی (۴۳ درصد) و درصد سبز شدن (۵۵ درصد) داشتند، درحالی که کمترین انرژی جوانه‌زنی (۶ درصد) و درصد سبز شدن (۳۲ درصد) مربوط به بذرهای بدون اعمال تیمار (شاهد) بود. میدان مغناطیسی طول ساقه، قطر یقهٔ ریشه و طول ریشهٔ نهال‌های کاج بادامی را نیز افزایش داد (Kırdar et al., 2016). بذرهای کاج تدا نیز تحت تیمارهای مختلف مغناطیس قرار گرفتند و بررسی شدند؛ نتایج نشان داد که بهترین عملکرد مربوط به بذرهای تیمارشده با ۱۵۰ میلی‌تسلا مغناطیس به‌مدت ۶۰ دقیقه بوده است (Yao & Shen, 2015).

در بررسی اثر توأم میدان مغناطیس و نانومواد مشخص شد که مغناطیس یک‌دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد بهترین نتایج را در پی داشت. اثر متقابل مغناطیس و نانوپرایم در برخی صفات معنی‌دار نبود (طول ساقه، قطر یقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه)، ولی تیمار یادشده موجب افزایش درصد سبز شدن (۱/۵۸ برابر) سرعت سبز شدن (۱/۹ برابر) تعداد برگ (۱/۲ برابر) سطح برگ (۱/۸۴ برابر) و طول ریشه (۱/۴ برابر) شد. افزون‌بر تیمار توأم مغناطیس (۱ دقیقه، ۳۰ میلی‌تسلا + نانوسلولز ۱ درصد)، تیمار مغناطیس ۲۰ دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد نیز نتایج مشابهی داده است. دو تیمار ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای بذرها در ۳۰ میلی‌تسلا (بدون نانوپرایم) نیز بعد از این دو تیمار توصیه می‌شوند.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر فناوری‌های مربوط به تکثیر گیاهان پیشرفت خوبی داشته است. استفاده از نانومواد و همچنین میدان مغناطیسی به‌عنوان افزایش‌دهنده‌های قدرت جوانه‌زنی و افزایش عملکرد گیاه از این‌دست است. در این بررسی، از بین چهل تیمار اعمال‌شده، دو تیمار الف) مغناطیس یک‌دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد؛ ب) مغناطیس ۲۰ دقیقه‌ای بذرها در شدت ۳۰ میلی‌تسلا و سپس پرایم دوساعتهٔ بذرها با نانوسلولز ۱ درصد بهترین نتایج را در بهبود عملکرد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها پس از یک فصل رویش نشان دادند. با توجه به مشکلات بذرهای توس و درصد اندک سبز شدن این گونه استفاده از این پیش‌تیمارها می‌تواند تا حدی جوانه‌زنی و در نتیجه، برخی صفات رویشی خاص مرتبط با برگ را افزایش دهد. در آزمایش‌های بعدی می‌توان از نانومواد دیگر و همچنین فناوری‌های جدیدتر مانند پلاسمای سرد با هدف افزایش درصد سبز شدن استفاده کرد.

References

Ahani, H., Jalilvand, H., Vaezi, J., & Sadati, S.E. (2015). Effect of different treatments on *Hippophae rhamnoides* seed germination in laboratory. *Iranian Journal of Forest, 7*(1), 45-56.

Ahmed, M., Elzaawely, A., & Bayoumi, Y. (2013). Effect of Magnetic Field on Seed Germination, Growth and Yield of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Asian Journal of Crop Science, 5*, 286-294.

Ayan, S., Hasdemir, B., Turfan, N., Ozel, H., & Yer, E. (2018). The effect of magnetic field applications to chemical content of stratified and unstratified seeds of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). *Fresenius environmental bulletin, 27*(5), 3815-3822.

Belyavskaya, N.A. (2001). Ultrastructure and calcium balance in meristem cells oF pearoots exposed to extremely low magnetic Fields. *Advances in Space Research, 28*, 645–650.

Çelik, O., Atak, C., & Rzakulieva, A. (2008). Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in *Paulownia* node cultures. *Journal of Central European Agriculture, 9*, 297-304.

Daghestani, M., Salehi, B., & Cheragi, Sh. (2018). The effect of planting depth and seedbed type treatments on the growth and survival of oak (*Quercus brantii* Lindl.) saplings. *Iranian Journal of Forest, 10* (1), 102-109.

Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., & Hassan, E. (2009). Static magnetic field influence on elements clements composition in date (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal of Biological Sciences, 5*, 161-166.

Ekhtiari, R., & Moraghebi, F. (2011). The study of the effects of nano silver technology on salinity tolerance of cumin seed (*Cuminum cyminum* L.). *Plant and ecosystem, 7*(25), 99-107.

Fischer, G.M., Tausz, M., Köck, M., & Grill. D. (2004). Effects of weak 16 Hz magnetic fields on growth parameters of young sunflower and wheat seedling. *Biolectromagnetics, 25*, 638-641.

Forest tree seed directory (2009). *Caspian forest tree seed centre.* Forests, Range and Watershed Management Organization. 16pp.

Goodarzi, G.R., Payamnoor, V., & Ahmadloo, F. (2017). Effects of nanoparticle treatments on propagation of *Prunus mahaleb* L. by seed. *Journal of forest science, 63*, 408–416.

Gosling, P. (2007). *Raising trees and shrubs from seed*. Forestry Commission Practice Guide. Forestry Commission, Edinburgh. 28 pp.

Haghighia, M., & Pessarakli, M. (2013). Role of nano-SiO2 in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) seeds. *Journal of Elsevier, 21*, 13–17.

Hartmann H.T., Kester D.E., Davies F.E., & Geneve R. (2011). Propagation of Selected Plant Species, Propagation of Ornamental Trees, Shrubs and Woody Vines. In: Hatrman & Kester's *Plant Propagation: Principles and Practices.* Prentice Hall, 774-839.

Hossein Ali, M.D., Sobze, J.M., Pham, T.H., Nadeem, M., Liu, C., Galagedara, L., Cheema, M., & Thomas, R. (2020). Carbon Nanoparticles Functionalized with Carboxylic Acid Improved the Germination and Seedling Vigor in Upland Boreal Forest Species. *Nanomaterials (Basel), 10*(1), 176.

ISTA. (2009). *ISTA rules*. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland, 60 pp.

Kiani, B. (2004). *Forest genetic*. Hagh shenas publication. 164 pp.

Kırdar, E., Yücedağ, C., & Balaban, B. (2016). The Effects of Magnetic Field on Germination of Seeds and Growth of Seedlings of Stone Pine. *Journal of Forests, 3*, 1-6.

Lin, D., & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution, 150*, 243–250.

Mahajan, T.S., & Pandey, O.P. (2014). Magnetic-time model at off-season germination. *International Agrophysics, 28*, 57–62.

Martinez, E., Carbonell, M.V., & Florez, M., (2002). Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine, 21*(1), 43-53.

Nazari, j., Payamnoor, V., & Kavousi. M.R. (2012). Isolation and identification of seed fungi of birch trees in the northern forests of the country. *Journal of Iranian Forests and Rangelands, 10*(2), 165-168.

Payamnoor, V., & Kurdalivand. A. (2016). Effect of different treatments of breaking seed dormancy on germination and initial yield of *Betula pendula*. *Plant Researches, 29*(2), 1-10.

Payamnoor, V., Ghandehari, V., & Amirian, H. (2017). Improvement of seed germination traits in in Scots pine (*Pinus sylvestris*), Black pine (*Pinus nigra*) and Turkish pine (*Pinus brutia*) by using the polyethylene glycol pre-treatment. *Iranian Journal of Forest*, 9(3), 373-384.

Payamnoor, V., Hassani Satehi, A., Atashi, S., & Rezaei Asl, A. (2020). The effect of magnetic field and osmopriming on germination and germination of coriander seeds. *New Findings in Life Sciences, 7*(1), 85-99.

Phirke, P.S., & Umbarkar, S.P. (1998). Influence of magnetic treatment of oilseed on yield and dry matter. *PKV Research Journal, 22*,130–132.

Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K., & Naghdi R. (2018). The Effect of Carbon Nanotubes on drought tolerance of Caucasian Alder (*Alnus subcordata* C.A.Mey) seeds in germination stage. *Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7*(2), 17-28.

Sarraf, M., Kataria, S., Taimourya, H., Santos O.L., Menegatti, R.D., Jain, M., Ihtisham, M., & Liu, SH. (2020). Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants, 9*, 1139. ,

Seyedna, S.V., Pilehvar, B., Abrari Vajari, K., Zarafshar, M., Isavand, H., & Ali Yari, F. (2019). The effect of silica nanoparticles ($NSiO_2$) pretreatments on germination and early growth traits of *Sorbus luristanica* Bornm species. *Journal of Forest Research and Development, 5*(3), 435-448.

Sunita, K., Lokesh, B.K.N., & Guruprasad, N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 10*, 83-90.

Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sun flower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic Field. *Journal plant physiology, 167*, 149-156.

Yao, W., & Shen, Y. (2015). Effect of magnetic treatment on seed germination of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Scandinavian Journal of Forest Research, 30*, 1-11.

Zare, H., (2002). *Ecological study of birch habitats in Sangdeh and Lar valley*. Master Thesis, Tarbiat Modares University. 140 pp.

Zhang, L., Hong, F., Lu, S., & Liu C. (2005). Effects of nano-TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biological Trace Element Reserch, 105*, 83- 91.

Iranian Journal of Forest
Vol. 13, No. 4, Winter 2022
pp. 425-436

Research Article

Improving the performance of birch seeds (*Betula pendula*) using nanoprime and magnetic field

R. Pordel[1], V. Payamnoor[2*], J. Mohammadi[3], Gh. Goodarzi[4], H. Yousefi[5] and A. Ahmadi[6]

[1]M.Sc.Graduate student, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[2*]Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[3]Assistant Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[4]Assistant Prof., of Agricultural and Natural Resources Research, Markazi Province, I. R. Iran
[5] Associate Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran
[6] Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Golestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, I. R. Iran

(Received: 12 July 2021; Accepted: 28 September 2021)

Abstract

The aim of this study was to investigate the possibility of increasing the germination traits (germination and rate percentage) and vegetation characteristics of 3-month-old seedlings of *Betula pendula* (plumule and radicle length, collar diameter, fresh and dry weight of root, leaf area) by applying nano-priming and magnetic field. Seeds were collected from the Siah- Marzkouh area, 18 km from Gorgan-Golestan, Iran and after disinfection they were primed (soaked) in a 1% solution of nano-chitin, nano-chitosan and nano-cellulose, and then sown. Magnetic treatment was applied to the seeds at three levels of 20, 30 and 40 mT at 1, 10 and 20 minutes and were sown immediately. A number of seeds were primed with all 3 nanomaterials after being exposed to the magnetic field (with the previous dose and time) and then planted. The results showed that among all the applied treatments, 1 min magnetism in 30 mT and then 2 hour seed priming with 1% solution of nanocellulose, were the best, In a way that increased the germination percentage (1.58 times), germination rate (1.9 times), number of leaves (1.2 times), leaf area (1.84 times) and root length (1.4 times) compared to the control (no treatment). The 20-minute magnetic treatment of seeds at 30 mT intensity and then the two-hour seed priming with 1% nanocellulose gave similar results. Two seed treatments (10 and 20 minute) in 30 mT (without nanopriming) are also recommended after these two treatments.

Keywords: Birch, Nano cellulose, Nano chitin, Nano chitosan, Magnetic treatment.

∗Corresponding author Tel: +989113735812 Email: mnoori56@gmail.com