استفاده از نانوزئولیت برای تولید نهال مقاوم به خشکی
در
صنوبر تریپلو (*Populus euramericana triplo*)

نگارنده:

سیداحسان ساداتی

۱۴۰۰

عنوان پروژه منتج به نشریه فنی	کد مصوب
بررسی اثرهای نانوزئولیت بر نهالهای صنوبر (*P. euramericana.triplo*) تحت تنش خشکی	۹۷۰۸۷۱- ۰۶۹-۰۹-۶۰-۲۴

عنوان نشریه فنی: استفاده از نانوزئولیت برای تولید نهال مقاوم به خشکی صنوبر تریپلو (*Populus euramericana triplo*)

نگارش:

سید احسان ساداتی – دانشیار پژوهش بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویرایش علمی: فرهاد اسدی و کامبیز اسپهبدی

ویرایش ادبی: اصغر احمدی

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور / اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی / مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

نشانی: اتوبان تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید علی گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور صندوق پستی ۱۱۶-۱۳۱۸۵

تلفن: ۵- ۴۴۷۸۷۲۸۲- ۰۲۱ **وب‌سایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

نوبت و سال انتشار: اول - ۱۴۰۰

این نشریه به شماره ۶۰۸۸۷ در تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۱۸ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است

ISBN:978-964-473-480-9

مخاطبان

کارشناسان منابع طبیعی، کشاورزی، دانشجویان، تولیدکنندگان نهال صنوبر و مروجان منابع طبیعی و کشاورزی

شما با مطالعه این نشریه با موارد زیر آشنا می‌شوید.

اهمیت زراعت چوب صنوبر

اثرهای تنش خشکی روی نهال صنوبر

معرفی صنوبرکلن تریپلو برای شرایط سخت محیطی

کاربرد نانوزئولیت در بستر نهال صنوبر

کنترل کم آبی با ترکیب نانوذره معدنی در بستر

تولید نهال مقاوم به خشکی صنوبر تریپلو

فهرست مطالب

خلاصه ۵

مقدمه ۶

اهمیت صنوبرها در زراعت چوب ۸

صنوبر دورگ تریپلو (*P. euramericana triplo*) ۹

تنش خشکی و نهال صنوبر ۱۰

زئولیت و نانوزئولیت ۱۲

خلاصه روش تحقیق ۱۴

آماده سازی بستر و انتقال نهال ۱۴

تعیین غلظت و اضافه کردن نانوزئولیت به خاک ۱۵

نتایج ۱۸

رشد نهال تریپلو در بستر نانوزولیت ۱۹

ریشه‌زایی و اندام رویشی صنوبر تریپلو در بستر نانوزئولیت ۲۲

توصیه‌های فنی ۲۵

بازکاشت نهالهای خزانه در گلدان ۲۵

ایجاد بستر با اعمال نانو زئولیت در خاک ۲۵

منابع مورد استفاده ۲۶

خلاصه

صنوبر دورگ تریپلو (*Populus. euramericana triplo*) از گونه‌های مهم در زراعت چوب محسوب می‌شود. با توجه به محدودیت آب در کشور، تولید نهال و استقرار آن در برخی مناطق با مشکل مواجه است. برای تقویت رشد و تحمل به کم‌آبی در شرایط سخت و همچنین تولید نهال مقاوم این کلن صنوبر، در قالب پروژه «بررسی اثرهای نانو زئولیت بر نهال‌های صنوبر تریپلو تحت تنش خشکی» مقاومت به خشکی صنوبر تریپلو با کاربرد نانوزئولیت در بستر نهال‌های صنوبر دورگ مورد آزمایش قرار گرفت. این نشریه فنی بخشی از نتایج و دستاورد این تحقیق است. در این نشریه، به ویژگی‌های مطلوب صنوبرها به عنوان عناصر مهم در زراعت چوب، صنوبر دورگ تریپلو، مسائل کم آبی، نانوزئولیت با غلظت‌های مختلف و کاربرد آن در تقویت خاک بستر نهال، بهبود زنده‌مانی، رشد و تحمل در برابر کم آبی پرداخته می‌شود. مطالب این نشریه می‌تواند بخش مهمی از مسائل پیش‌رو را در نهالستان‌های تولید صنوبر و نحوه آبیاری در مرحله استقرار در صنوبرکاری‌ها برای بهره‌برداران پاسخ داده و راهکار افزایش کارایی مصرف آب را مشخص کند. علاوه بر این در این نشریه با استفاده از تکنولوژی نوین و معرفی نانوذره زئولیت با غلظت یک درصد (۱۰ گرم نانوزئولیت در هر کیلوگرم خاک) راهکار مناسبی برای بالابردن تحمل صنوبر دورگ تریپلو به کم‌آبی در نهالستان و عرصه‌های صنوبرکاری با هدف زراعت چوب ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خشکی، صنوبر تریپلو، نهال، نانوزئولیت

مقدمه

ایران در منطقه‌ای قرار گرفته است که سهم اراضی جنگلی آن ناچیز است و به‌لحاظ برخورداری از جنگل جزء کشورهای کم‌برخوردار محسوب می‌شود. با توجه به محدودیت ایجاد شده در برداشت چوب در طرح تنفس جنگل، صنایع وابسته به چوب با چالش مهمی در تأمین چوب مواجه هستند. در این شرایط تنها راهکار اساسی، توسعه زراعت چوب است. صنوبرها به عنوان گونه‌های اصلی در برنامه‌های توسعه زراعت چوب مد نظر بوده و صنوبرکاری‌ها شاخص‌ترین و عمده‌ترین منابع تولید چوب محسوب می‌شوند. از آنجا که معمولاً رویشگاه‌های حاصلخیز به کشت محصولات کشاورزی اختصاص می‌یابد، یافتن کلن‌هایی از صنوبر که توانایی استقرار در شرایط سخت‌تر محیطی را داشته باشد حائز اهمیت فراوان است (اسدی، ۱۳۹۸).

صنوبرها جزء گونه‌های با نیاز آبی بالا محسوب می‌شوند و تأمین آب به‌ویژه در مراحل اولیه تولید نونهال و استقرار نهال نقش تعیین‌کننده‌ای در زنده‌مانی و رشد آنها دارد. این درختان به دلیل سریع‌الرشد بودن، سهولت تکثیر رویشی، تنوع گونه‌ای و پراکنش وسیع، از جایگاه ممتازی در تأمین چوب کشور برخوردارند، تا آنجا که صفات ذکرشده بالا موجب شده است از گونه‌های این جنس به عنوان گونه مدل برای پاسخ‌گویی به بسیاری از تنش‌های محیطی استفاده گردد. بر اساس راهبردهای زراعت چوب کشور، استان مازندران تا سال ۱۴۰۴ باید بیش از ۴۰ هزار هکتار بر صنوبرکاری‌های خود بیفزاید که این مهم بدون رفع نواقص و ایرادات فنی نمی‌تواند محقق شود (اسدی، ۱۳۹۹). بی‌شک رعایت اصول فنی کاشت به‌ویژه بستر کاشت نهال صنوبر می‌تواند در موفقیت صنوبرکاریها نقش تعیین‌کننده داشته باشد. در بین ارقام مختلف صنوبر برخی کلن‌ها با تحمل بیشتر در برابر کم‌آبی، می‌توانند در نهالستان و در عرصه‌های صنوبرکاری مورد استفاده قرار بگیرند. تنش‌های محیطی ازجمله خشکسالی‌های مکرر در دهه‌های اخیر در کاهش سطح صنوبرکاری نقش اساسی داشته‌اند (یوسفی و مدیررحمتی، ۱۳۹۰).

صنوبرها از گونه‌های گیاهی تندرشد مناطق با عرض‌های معتدل هستند اما نیاز آبی زیادی دارند و تأمین نیاز آبی به شدت در بهره‌وری و عملکرد آنها تأثیر دارد (Zsuffa *et al.*, 1996). بررسی کلاگری (۱۳۹۷) نشان داد که ارقام دورگ اورامریکن ازجمله تریپلو در مناطق شرق مازندران و گلستان در شرایط بارندگی و رطوبت کمتر، رشد و عملکرد بهتری داشتند، همچنین بررسی مختاری و مدیررحمتی (۱۳۸۵) در چمستان نیز نشان داد که دورگ تریپلو تولید قابل توجه و مناسبی داشت. بنابراین با توجه به ویژگی‌های این دورگ، آزمایش و ارزیابی دقیق تحمل به خشکی این رقم اورامریکن با استفاده از تکنیک نانو ذرات می‌تواند در معرفی این کلن برای نواحی ذکرشده تعیین‌کننده باشد. از سویی در صورت ایجاد بستر مناسب کشت برای صنوبرها می‌توان قدرت تحمل به خشکی آنها را نیز بالا برد. اخیرا مشخص شده است که با استفاده از تکنولوژی نوین و کاربرد نانوذرات به دلیل سطح جذب بالا در بستر نهال‌ها و تأمین رطوبت می‌توان از این طریق تحمل به خشکی نهال‌ها را افزایش داد. مناطق شرق استان مازندران و استان گلستان به دلیل کاهش بارندگی سالانه و رطوبت توسعه زراعت چوب به صورت دیم مقدور نبوده و نیاز به آبیاری تکمیلی دارد، ازاین‌رو استفاده از ارقام مناسب صنوبر و نیز استفاده از مواد سوپر جاذب می‌تواند در حفظ رطوبت و نگهداری آب قابل دسترس درختان اهمیت داشته باشد.

در این بررسی با انتخاب کلن دورگ (*P. euramericana triplo*) و اعمال تیمار نانوزئولیت در بستر کاشت این رقم، دسترسی به تکنیک مناسب برای معرفی شیوه بستر کاشت مناسب برای تقویت و بهبود رشد نهال متحمل صنوبر به شرایط کم آبی مورد توجه قرار گرفته است. به‌کارگیری یافته‌های این تحقیق در این نشریه به تولیدکننده نهال در نهالستان و صنوبرکار این امکان را می‌دهد در شرایط کم‌آبی نیز با اعمال تیمار مناسب در بستر با استفاده از تکنیک‌های نوین به عنوان اصلاح‌کننده خاک و استفاده از ارقام دورگ صنوبر نسبت به کشت و توسعه صنوبر برای اهداف توسعه زراعت چوب اقدام کند.

اهمیت صنوبرها در زراعت چوب

کمبود چوب در کشور و توقف بهره‌برداری از جنگل‌ها (طرح استراحت جنگل) چالش جدی برای مصرف‌کنندگان چوب و صنایع وابسته به چوب ایجاد کرد. ضمن اینکه مشکلات قرنطینه‌ای و جلوگیری از خروج ارز برای واردات چوب نیز محدویت‌های خاص خودش را دارد. بنابراین تولید چوب در عرصه خارج از جنگل و توسعه زراعت چوب امری مهم و ضروری محسوب شده و برای برون‌رفت از مسئله کمبود چوب و مواد سلولزی گزینه‌ای اجتناب‌ناپذیر است.

صنوبرها به‌دلیل تنوع گونه‌ای، سریع‌الرشد بودن، سهولت در تکثیر، چوب با قابلیت بالا و سرشت بالای دامنه اکولوژیکی اولین گونه در زراعت چوب محسوب می‌شوند. ارقام مختلف صنوبر از سال ۱۳۴۴ از طریق مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور از کشورهای ایتالیا، ترکیه، چین، آلمان و هند وارد ایران شدند. گونه‌های صنوبر به لحاظ سرشت اکولوژیکی و اقلیمی در مناطق مختلف ایران سازگار شده‌اند.

گونه دلتوئیدس و دورگه‌های اورامریکن به دلیل نیاز به بارندگی و رطوبت در مناطق جلگه‌ای شمال کشور کشت می‌شود (کلاگری و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به ویژگی‌های صنوبرها، اولویت اول توسعه زراعت چوب محسوب می‌شوند، به‌طوری‌که در حال حاضر در کشور ۱۹۰۰۰۰ هکتار زراعت چوب وجود دارد که از این سطح، ۱۵۰۰۰۰ هکتار به صنوبرها اختصاص دارد که بیشتر در مناطق شمالی، شمال‌غربی و غرب کشور پراکنده‌اند (عصاره و سیداخلاقی، ۱۳۸۸). از سویی برنامه راهبردی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور در امر زراعت چوب نیز مطالعه و تحقیق در مورد افزایش تولید و معرفی ارقام مختلف صنوبر است.

صنوبر دورگ تریپلو (*P. euramericana triplo*)

امروزه در جهان بسیاری از دورگه‌های صنوبر به دلیل رشد خوب در صنوبرکاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (اسدی، ۱۳۹۸). در بین ارقام مختلف صنوبر، دورگ اورامریکن به‌ویژه تریپلو از ارقام مناسب برای استفاده در زراعت چوب محسوب می‌شود. این دورگ صنوبر (*P. euramericana triplo*) به همراه تعداد دیگری از ارقام صنوبر در سال ۱۳۶۳ از ایتالیا وارد کشور شد و به‌دلیل تریپلوئید بودن (۳n کروموزومی) به آن تریپلو گفته می‌شود (مدیررحمتی و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهش محققان مختلف برتری صفات رویشی و ویژگی‌های این کلن مشخص شد (امین‌املشی و صالحی، ۱۳۹۰)، به‌طوری‌که در مناطق شرق استان مازندران و گلستان که شرایط رطوبت و بارندگی کمتر است، این کلن در مقایسه با سایر کلن‌های اورامریکن عملکرد بهتری را نشان داده است (کلاگری، ۱۳۹۷).

مطالعه ارقام بومی و غیر بومی صنوبر در منطقه فارس نشان داد که بین دورگه‌های اروپایی و آمریکایی، *P.e.triplo* به عنوان کلن برتر معرفی شده و از بالاترین رویش قطری و ارتفاعی برخوردار بود (حمزه‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). در بررسی ۱۴ گونه و رقم صنوبر در گیلان نیز مشخص شد که رقم تریپلو گونه اورآمریکن از توان استقرار و سازگاری مناسبی در ارتفاعات مختلف برخوردار بوده و نسبت به سایر ارقام صنوبر دارای بیشترین رویش بوده است. همچنین این رقم در دوره‌های بهره‌برداری دو، سه و چهارساله در چمستان مازندران به‌ترتیب با تولید چوب سالانه ۱۷/۵۲، ۱۵/۷۵ و ۱۶/۹۶ تن در هکتار از ارقام پرمحصول و سازگار محسوب شده است (مختاری و مدیررحمتی، ۱۳۸۵) (شکل ۱).

شکل ۱- نهالهای صنوبر دورگ (*P.e.triplo*) تولیدی در ایستگاه تحقیقات چمستان

تنش خشکی و نهال صنوبر

تنش خشکی از مهمترین تنش‌های محیطی اثرگذار و تعیین‌کننده در استقرار نهال‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بر اساس نظر Begg and Turner, (1976)، خشکی یکی از مهمترین عوامل طبیعی است که بر روی رشد گیاه اثر می‌گذارد و کمبود آب تنها عامل مهمی است که تولید محصولات را محدود می‌کند. همچنین به اعتقاد محققان حساس‌ترین مرحله برای تأثیر شرایط سخت محیطی برای گیاه، مرحله نهالی است (Pessarakli, 1999). از این رو تولید نهال مقاوم به تنش در نهالستان، می‌تواند موفقیت در استقرار و سازگاری نهال را در عرصه دربر داشته باشد. تنش رطوبتی و کاهش رطوبت خاک علاوه بر کاهش زنده‌مانی نهال، آسیب جدی به سیستم ریشه و رشد گیاه وارد می‌کند (Schaff & Pezeshki, 2003).

صنوبرها به دلیل رشد سریع، سهولت تکثیر رویشی، تنوع گونه‌ای و پراکنش وسیع، به عنوان عناصر اصلی در زراعت چوب محسوب می‌شوند. با توجه به اهمیت آب برای صنوبرها یافتن راهکار برای بالا بردن کارایی مصرف آب در نهال این گونه‌ها بسیار ضروریست. مطالعه روی قلمه‌های *Populus* × *euramericana* نشان داد که تنش آب (کاهش رطوبت) موجب تأخیر زمان ریشه‌زایی، کاهش میزان ریشه‌دهی و رشد نامطلوب و کاهش معنی‌دار در طول و تعداد می‌شود (Puri, 2003).

نتایج پژوهش روی نهال ۵ کلن صنوبر دلتوئیدس نشان داد که کم‌آبی موجب ضعف نهال و کاهش زنده‌مانی و رشد نهال شد (ساداتی و همکاران، ۱۳۹۸). در بررسی یوسفی و مدیررحمتی (۱۳۹۷) روی کلن‌های صنوبر تبریزی، مشخص گردید که خشکی موجب تلفات و کاهش رشد ارقام صنوبر شد. بنابراین تولید نهال مقاوم به کم‌آبی برای موفقیت در موضوع صنوبرکاری و توسعه زراعت چوب حائز اهمیت فراوان است.

زئولیت و نانوزئولیت

زئولیت از مواد معدنی اصلاح‌کننده خاک است که می‌توان از آن برای بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک استفاده کرد (Abedi Koupai *et al*., 2008). این ماده با خاصیت جذب شدید آب، قادر است آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب کرده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری و در اختیار گیاه قرار دهد (Polat *et al*., 2004). اثرهای مفید آن در خاک و بهبود رشد نهال در برخی مطالعات مختلف ازجمله در آزمایش امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی نهال بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) گزارش شد.

در سال‌های اخیر از روش‌های نوینی برای اصلاح‌کننده خاکدانه‌ها استفاده می‌شود که از فناوری نانو به‌دست می‌آید و در زمینه منابع طبیعی نیز کاربردهای مختلفی دارد که یکی از آنها نانوزئولیت است که در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش مصرف آب آبیاری می‌تواند نقش مؤثرتری داشته باشد (مهدی‌زاده و نجفی،۱۳۹۷). از مزایای نانوزئولیت در کشاورزی، تخلخل زیاد و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، بهبود توزیع آب و افزایش تهویه خاک است (Baruah and Dutta, 2009). از آنجا که نانوذره زئولیت سطح ویژه بزرگ‌تری دارد بسیاری از عناصر غذایی را جذب کرده و زمانی که گیاه لازم داشته باشد، آنها را آزاد می‌کند (Naderi and Danesh Shahraki, 2013).

نانوزئولیت (Nanozeolite) که به‌صورت پودر استفاده می‌شود ماده‌ای آب‌دوست و قابل اضافه کردن به خاک است که آب و مواد غذایی را جذب کرده و به‌شکل بهینه در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در آزمایشی که بخشی از نتایج آن در این نشریه چاپ شده است، ماده اولیه (زئولیت) توسط شرکت سپیدسان برتر شمال، از معدن طبیعی زئولیت استخراج و با تبدیل به ساختار نانو، برای مصارف کشاورزی آماده شد (شکل ۲).

شکل ۲- نانو زئولیت مورد استفاده در آزمایش تنش خشکی روی صنوبر تریپلو تولیدی شرکت سپیدسان برتر شمال

خلاصه روش تحقیق

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات باغبانی قائم‌شهر با طول جغرافیایی ۵۲ درجه،۵۰ دقیقه، ۴۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، ۲۷ دقیقه، ۴۸ ثانیه شمالی و ارتفاع ۵۰ متر از سطح دریا با مساحت ۵/۹ هکتار اجرا شد. نهال‌های ۶ ماهه صنوبر تریپلو (*P. euramericana triplo*) حاصل از قلمه‌های کاشته شده در اسفند ۱۳۹۶ از ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان به ایستگاه باغبانی قائم‌شهر منتقل و از آنها به تعداد ۱۸۰ اصله نهال یکنواخت (به لحاظ قطر و ارتفاع) برای آزمایش انتخاب شد.

آماده سازی بستر و انتقال نهال

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با چهار سطح تیمار (دور آبیاری: ۳، ۶، ۹ و ۱۲ روزه) و سه سطح تیمار نانوزئولیت با مقادیر ۰، ۱۰ و ۵۰ گرم در یک کیلوگرم (۰، ۱ و ۵ درصد وزنی) با خاک مخلوط گردید و در ۳ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در فضای مسقف گلخانه‌ای با دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد و نور کافی برای مدت حدود ۳ ماه اجرا شد (شکل ۳).

شکل ۳- فضای مسقف آماده برای اجرای آزمایش با چیدن گلدان‌های نهال صنوبر تریپلو

تعیین غلظت و اضافه کردن نانوزئولیت به خاک

پس از توزین مقدار لازم پودر نانوزئولیت با ترازوی حساس و رعایت دقت لازم در این آزمایش با توجه به مقدار خاک محتوای گلدان (۲/۵کیلوگرم) برای غلظت ۱ درصد به میزان ۲۵ گرم و برای غلظت ۵ درصد به مقدار ۱۲۵ گرم، نانوزئولیت جدا و با خاک گلدان مخلوط شد. این کار پس از تخلیه خاک گلدان در ظرف مخصوص انجام شد. پس از هم‌زدن و اضافه کردن یکنواخت نانوزئولیت، خاک دوباره در گلدان ریخته شد. ضمن اینکه گلدان‌هایی با محتوای همین مقدار خاک در هر گلدان و بدون استفاده نانوزئولیت به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پس از این مرحله نهال‌های صنوبر کلن تریپلو با احتیاط لازم به گلدان منتقل و کاشته شد (شکل‌های ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸).

شکل ۴- انتقال نهال از گلدان اولیه به گلدان مورد آزمایش در تیمار تنش و بستر

شکل ۵- آماده‌سازی و توزین نانوزئولیت برای تعیین غلظت‌های مختلف

شکل ۶- مراحل آماده سازی بستر خاک و نانوزئولیت

شکل ۷- آماده‌سازی بستر بر اساس غلظت‌های مختلف نانوزئولیت

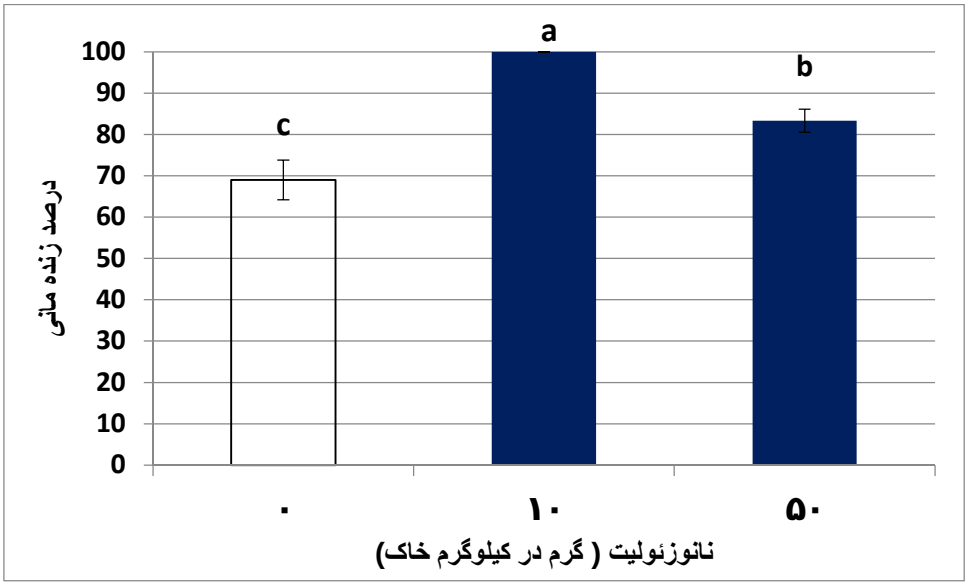
شکل ۸- نمایی از گلدان‌های با بستر آماده شده با نانوزئولیت برای اعمال تیمار تنش

نتایج

اثرهای نانوزئولیت بر زنده‌مانی نهال:

زنده‌مانی فاکتور مهم و تعیین‌کننده در استقرار و سازگاری نهال صنوبرها در عرصه صنوبرکاری‌ها و تولید انبوه نهال در نهالستان محسوب می‌شود. در بررسی ساداتی و همکاران (۱۳۹۲) روی نهال *P. alba* در دوره آبیاری نه روز، ۵۵ درصد زنده‌مانی داشته است. اثرهای تنش خشکی بر زنده‌مانی نهال‌های صنوبر در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (ساداتی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Yang *et al.*, 2009). کاهش رطوبت خاک می‌تواند بر ماندگاری نهال تأثیر نامطلوبی بگذارد. در این تحقیق استفاده از نانوزئولیت توانسته است نسبت به شرایط شاهد (بدون نانوزئولیت) با زنده‌مانی ۶۹ درصد، ماندگاری نهال صنوبر تریپلو را به بالاترین مقدار (۹۹ درصد) برساند. در واقع افزودن نانوزئولیت یک درصد در بستر نهال توانسته است نزدیک به ۳۰ درصد ماندگاری را افزایش دهد (شکل ۹).

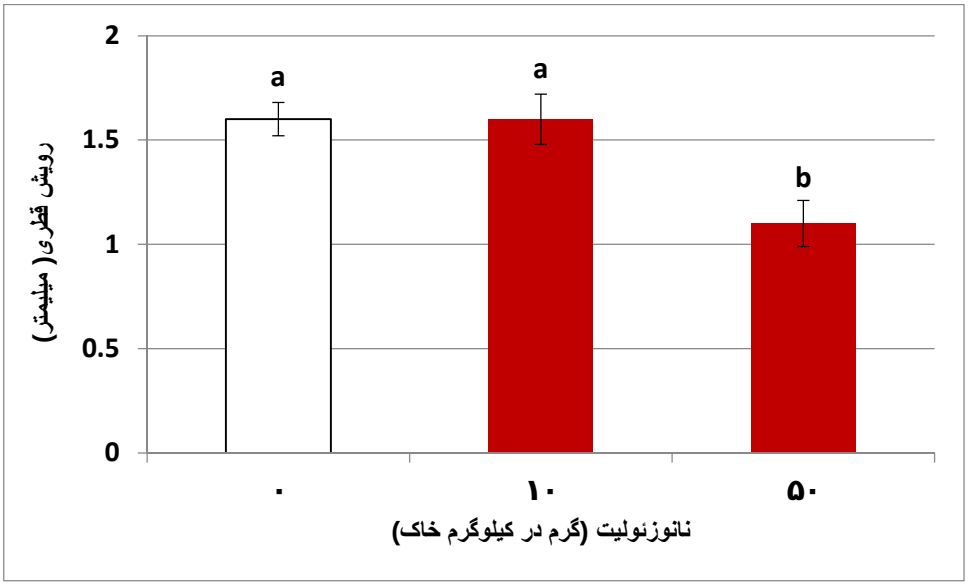
از یافته مهم این تحقیق مصرف حداقل آب (بالاترین کارایی مصرف آب) در تیمارهای محتوای نانوزئولیت بود، به‌طوری‌که در طی مدت حدود سه ماه از این بررسی نهال‌های با بستر نانوزئولیت یک درصد حداکثر دو مرحله آبیاری شدند. پایش نهال‌ها برای نیاز آبی نشان داد که حتی در حدود ۳۵ روز خاک بستر رطوبت را در حد ظرفیت زراعی حفظ کرد و دومین مرحله آبیاری بعد از این فاصله زمانی انجام شد. بنابراین قدرت شگفت‌انگیز نانوزئولیت ۱ درصد در نگهداری رطوبت در خاک و قراردادن تدریجی آن در اختیار ریشه نهال صنوبر در این آزمایش به اثبات رسید.



شکل ۹- زنده‌مانی صنوبر تریپلو تحت تأثیر تیمار نانوزئولیت

رشد نهال تریپلو در بستر نانوزولیت

در نتایج مشخص شد که رشد قطری و ارتفاعی صنوبر دورگ تریپلو تحت تأثیر تنش خشکی کاهش معنی‌داری داشت. رویش قطری با تشدید تنش روند کاهشی داشته و در دوره آبیاری ۱۲روزه (تنش شدید) به کمترین مقدار رسید. این در حالی است که تحت تأثیر نانوزئولیت نسبت به شاهد اندازه بزرگتری را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).



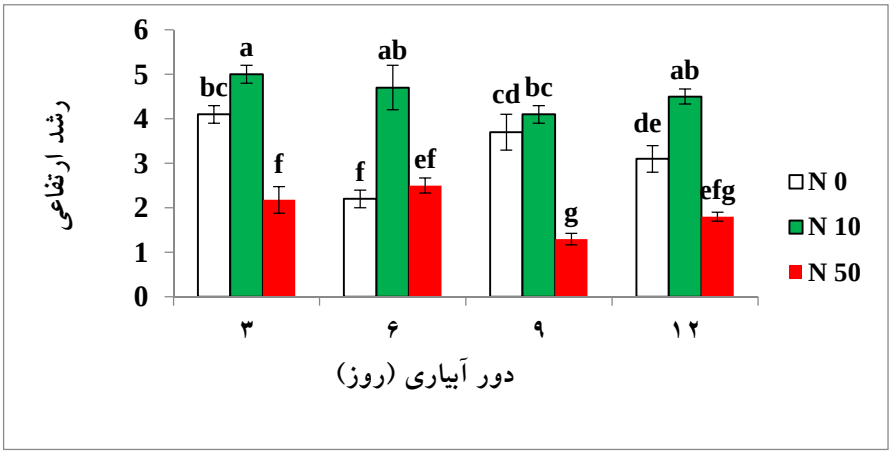
شکل ۱۰- رشد قطری صنوبر تریپلو تحت تأثیر نانوزئولیت

رشد ارتفاعی نهال صنوبر تریپلو نیز تحت تنش خشکی روند کاهشی داشت اما افزودن نانوزئولیت یک درصد به بستر توانسته است برخی از اثرهای نامطلوب را در دوره طولانی آبیاری خنثی کند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

البته کاهش رشد نهال تحت تنش به دلیل اثرهای نامطلوب کم‌آبی در کاهش فشار تورژسانس سلول‌های مریستم انتهایی رشد است. برای تکثیر باید حالت آماس سلول حفظ شود، همچنین کاهش رطوبت خاک موجب می‌شود جذب عناصر غذایی که در رشد نقش بسزایی دارد به حداقل برسد. از این رو با توجه به اهمیت آب در رشد، کمبود و عدم دسترسی به آب در بستر کاشت موجب کاهش رشد نهال شد. کاهش رویش ارتفاعی نهال یک سازوکار تحمل در برابر تنش خشکی است، در این تحقیق افزودن نانوزئولیت سبب شد تا اثرهای نامطلوب کم‌آبی بر رشد نهال کاهش و تقریباً کنترل شود. بنابراین همانطور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود رویش طولی در آبیاری سه روز از ۴ سانتی‌متر به ۵ سانتی‌متر (۲۵ درصد افزایش رشد) و در تنش شدید (دوره آبیاری ۱۲ روزه)

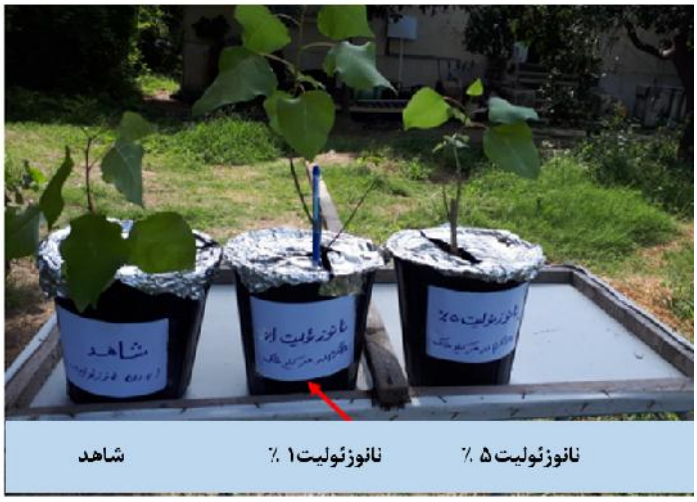
از ۳ سانتی‌متر به ۴/۵ سانتی‌متر رسید و تحت تأثیر نانوزئولیت یک درصد، ۵۰ درصد افزایش یافت (یعنی در واقع نانوزئولیت یک درصد در این آزمایش با افزایش سطح جذب و حفظ رطوبت خاک، آب و عناصر تغذیه‌ای مورد نیاز را در اختیار نهال قرار داد و سبب تقویت و بهبود رشد نهال شد).

نکته قابل تأمل اینکه نانوزئولیت پنج درصد اثرهای نامطلوبی در رشد نهال‌ها ایجاد کرد و نهال‌های صنوبر در این بستر نسبت به شاهد (بدون نانو) رشد کمتری داشتند (شکل ۱۲). کاهش رشد در این شرایط به‌دلیل افزایش و حفظ بیش از حد رطوبت (بیشتر از ظرفیت زراعی خاک) در بستر نهال و ایجاد حالت غرقابی[1] توسط نانو زئولیت پنج درصد در ریزوسفر بوده است. به‌طوری‌که این غلظت بالا منجر شد تا ریشه نهال در شرایط کمبود اکسیژن و خفگی قرار گرفته و در جذب آب و عناصر تغذیه‌ای (به‌ویژه ازت) و در نهایت رشد نهال صنوبر تریپلو اختلال ایجاد شود.



شکل ۱۱- نمودار رشد ارتفاعی صنوبر تریپلو تحت تأثیر اثرهای متقابل خشکی × نانوزئولیت

1- Flooding

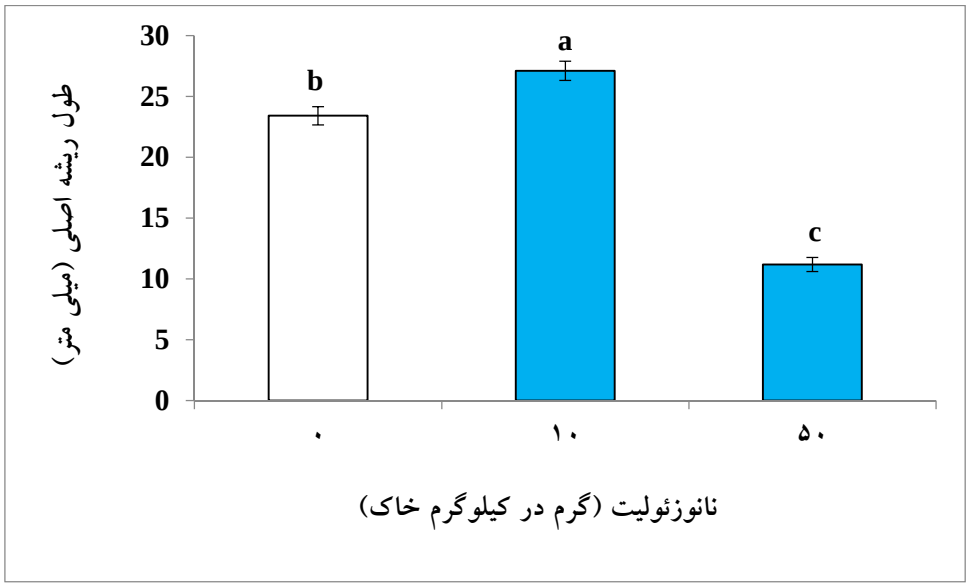


شکل ۱۲- اثرهای نانوزئولیت در بهبود رشد و شادابی نهال صنوبر تریپلو

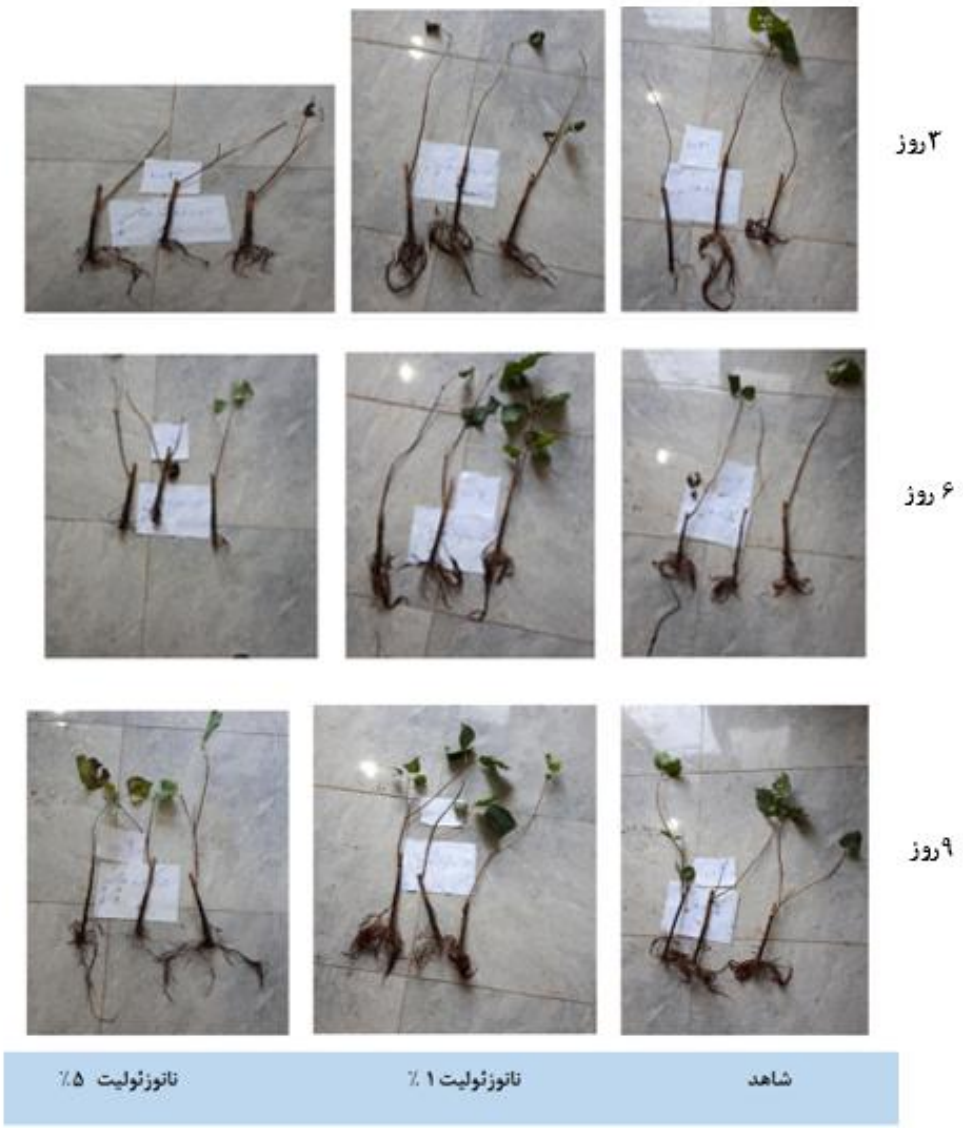
ریشه‌زایی و اندام رویشی صنوبر تریپلو در بستر نانوزئولیت

در این تحقیق تنش رطوبتی منجر به کاهش رشد ریشه نهال شده است. در شرایط خشکی، سیستم و کارایی دستگاه فتوسنتزی گیاه مختل شده و هیدرات کربن که محصول نهایی فتوسنتز است کمتر سنتز شده و این مقدار کم علاوه بر مصرف آن در اندام هوایی باید از طریق آوندهای آبکش به اندام زیرزمینی یعنی ریشه منتقل تا موجب رشد ریشه شود، از این‌رو رشد ریشه با نقصان مواجه شده و طول و حجم و بیوماس آن کاهش می‌یابد. طول ریشه اصلی صرف‌نظر از ذرات نانویی زئولیت روندی کاهش داشته، از سویی اثرهای نانوذرات در آنالیز صرف‌نظر از کم آبی روی طول ریشه نیز در شکل ۱۳ مشهود است که در غلظت یک درصد با بهبود ریشه بلندترین ریشه را در نهال ایجاد کرد. یکی از ضعف‌های نهال تحت تنش، فقدان ریشه کافی در این مرحله است، برای جبران این ضعف کاربرد نانوزئولیت می‌تواند مؤثر باشد و موجب توسعه و گسترش ریشه شود که در شکل ۱۴ نیز به خوبی قابل مشاهده است. نانوزئولیت ۱ درصد توانسته در دوره‌های مختلف

آبیاری درصد ریشه‌زایی را افزایش داده و موجب جذب آب و عناصر تغذیه‌ای و در نهایت باعث رشد نهال صنوبر تریپلو شود.



شکل ۱۳- اثرهای نانوزئولیت در ریشه‌زایی نهال صنوبر تریپلو



شکل ۱۴- اثرهای نانوزئولیت بر ریشه‌زایی و اندام رویشی نهال تریپلو در دور آبیاری مختلف

توصیه‌های فنی

بازکاشت نهال‌های خزانه در گلدان

- قبل از کندن نهال صنوبر تریپلو از خزانه، بستر کاشت باید با خاک با بافت سبک آماده شود؛
- بازکاشت نهال صنوبر در گلدان‌ها در یک روز تقریباً ابری یا در صورت آفتابی بودن هوا، در شرایط نیم‌سایه انجام شود؛
- برای مناطق جلگه‌ای و میان‌بند با شرایط کم‌آبی و رطوبت کم خاک رقم صنوبر تریپلو توصیه می‌شود.

ایجاد بستر با اعمال نانو زئولیت در خاک

- پس از تعیین وزن خاک داخل گلدان و یا چاله در عرصه بر اساس ظرفیت وزنی گلدان و خاک چاله حفر شده، مقدار نانوزئولیت تعیین شود؛
- بهترین غلظت برای حفظ رطوبت در بستر کاشت نهال صنوبر غلظت ۱ درصد وزنی (۱۰ گرم نانوزئولیت در هر کیلوگرم خاک) است و این غلظت توصیه می‌شود؛
- این غلظت و ترکیب وزنی آن با خاک بستر، در شرایط کم‌آبی برای افزایش زنده‌مانی نهال و حفظ رطوبت خاک برای رشد نهال صنوبر تریپلو مناسب است؛
- توصیه می‌شود نانوزئولیت با منشأ معدنی از یک شرکت معتبر و مطمئن تهیه شود.

منابع مورد استفاده

اسدی، ف.، ۱۳۹۸. مبانی زراعت چوب صنوبر. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. ۲۴۵ صفحه.

اسدی، ف.، ۱۳۹۹. راه حل‌های پیشنهادی برای رفع برخی از نواقص فنی صنوبرکاری‌های مازندران. نشریه فنی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. شماره ۱۱، ۵۰ صفحه.

امیر احمدی، ا.، حجتی، س.م.، پریوا، پ. و کامان، ک.، ۱۳۹۸. تاثیر زئولیت بر آب شوئی نیترات، پایداری خاکدانه و رویش نهال بلند مازو. فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۳: ۲۷۱-۲۵۸

امین املشی، م. و صالحی، م.، ۱۳۹۰. بررسی عملکرد کمی و کیفی ۱۰کلن برتر صنوبر در خزانه‌های تولید نهال استان گیلان، فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۲: ۳۷۸-۳۶۸

حمزه پور، م.، مدیر رحمتی، ع.ر.، جوکار، ل.، عباسی، ع.ر.، ۱۳۸۵. جمع آوری ارقام بومی و غیر بومی صنوبر در استان فارس و بررسی آنها در خزانه سلکسیون، فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۱: ۹۱-۸۰

ساداتی، س.ا.، آهنگری، م. و جعفرزاده، ح.، ۱۳۹۲. پاسخ فیزیولوژیک و مورفولوژیک نهال سپیدار(*P.alba*) تحت شرایط کم آبی خاک، سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه اهواز. ۱۱۴-۱۱۰.

ساداتی، س.ا.، مختاری،ج. و اسدی، ف.، ۱۳۹۸. تحمل به خشکی نو نهال های پنج کلن صنوبر دلتوئیدس. فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ، ۴: ۳۸۸-۳۷۷.

کلاگری، م.، ۱۳۹۷. معرفی کلن های موفق و پر محصول صنوبر برای کشت در شمال کشور، مجله طبیعت ایرانه ۲: ۵۸-۵۰.

مختاری،ج. و مدبر رحمتی، ع.ر.، ۱۳۸۵. تعیین ارقام مناسب صنوبر در سیستم بهره برداری کوتاه مدت در چمستان(مازندران). فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران. شماره ۲. ۱۴۷-۱۳۵

مدیر رحمتی، ع.ر.، قاسمی، ر.، کلاگری، م. و باقری، ر.، ۱۳۹۳. بررسی ارقام مناسب صنوبر و پالونیا در ارتفاعات مناطق کوهستانی شمال کشور، فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران. شماره ۴. ۷۴۸-۷۳۶

عصاره، م.ح. . و سید اخلاقی، س.ج.، ۱۳۸۸. سند راهبردی توسعه تحقیقات منابع طبیعی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. ۳۸۰صفحه

مهدی زاده، م. و نجفی، ن.، ۱۳۹۷. مروری بر کاربرد نانو مواد در اصلاح خاک ها، نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۶(۱): ۴۹-۳۱

یوسفی، ب. و مدیر رحمتی،ع. ر.، ۱۳۹۰. بررسی سازگاری و عملکرد چوب ارقام صنوبر تاج بسته در پوپولوتوم مقایسه ای سنندج (مرحله نهایی). فصلنامه علمی پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۳: ۲۹۹-۲۸۳

Abedi Koupai, J., Eslamian, S.S. and Asadkazemi, J., 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. Journal of Ecohydrology, 8: 1. 67-75.

Polat, E., Karaca, M., Demire H. and Naci-. Onus, A., 2004., Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Fruit and Ornamental Plant Research Journal, 12: 183-189.

Baruah, S. and Dutta, J., 2009. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. Environmental Chemistry Letters Journal, 7: 191-204.

Naderi, M.R. and Danesh Shahraki, A., 2013. Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. Agriculture and Crop Sciences International Journal, 19: 2222-2232.

Yang, F., Xu, X., Xio, X. and Li, C., 2009. Responses to drought stress in two poplar species originating from different altitudes. Biologia Plantarum Journal,

Zsuffa, L., Giordano, E., Pryor, L.D. and Stettler, R.F., 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives: 515-539. In: Stettler, R.F., Bradshaw, H.D. Jr, Heilman, P.E. and Hinckley, T.M. (Eds.). Biology of Populus and Its Implications for Management and Conservation. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, 542p.