



دانشگاه گورگان، دانشکده منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹

۱-۱۷

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2020.17905.1869

اثرات نانوزئولیت بر برخی ویژگی‌های نهال صنوبر دورگ تریپلو تحت دوره‌های آبیاری

*سید احسان ساداتی^۱، جمشید مختاری^۲، مائده یوسفیان^۱ و فرهاد اسدی^۳

^۱استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

^۲آمرب پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

^۳دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: صنوبر دورگ اورامریکن تریپلو (*P. euramericana triplo*) از گونه‌های مهم زراعت چوب در مناطق شمال کشور محسوب می‌شود. با توجه به تغییرات اقلیمی و محدودیت آب در کشور، تولید نهال و استقرار آن در برخی از مناطق شرق استان مازندران و گلستان به صورت دیم با مشکل مواجه می‌شود. هدف از این پژوهش تعیین تحمل به کم‌آبی صنوبر تریپلو و برای اولین بار با استفاده از نانوزئولیت در بستر نهال‌های صنوبر در دوره‌های آبیاری مختلف و دستیابی به راهکار مناسب برای تولید نهال در نهالستان‌ها و موفقیت در زراعت چوب می‌باشد. مقصود از این بررسی ارزیابی رشد یک رقم از صنوبر در شرایط کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، تعداد ۱۸۰ اصله نهال یک اندازه صنوبر تریپلو با اعمال سطوح تیمار نانوزئولیت با مقادیر ۰، ۱۰، ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک (۰، ۱ و ۵ درصد وزنی) و تحت دوره‌های مختلف آبیاری (دوره‌های آبیاری ۳، ۶، ۹ و ۱۲ روزه)، حدود سه ماه در فصل رشد در گلخانه تحقیقاتی ایستگاه باغبانی قائم‌شهر، از نظر رشد، زنده‌مانی و صفات ریختی مورد بررسی قرار گرفتند. از این‌رو آزمایش به صورت فاکتوریل در سه تکرار و در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در شرایط گلخانه اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش شدت خشکی، زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی و سایر صفات ریخت‌شناسی مانند تعداد برگ، سطح برگ، زیتوده برگ، اندام‌های هوایی، ویژگی‌های ریشه و محتوی کلروفیل کل نهال صنوبر به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. با افزودن نانوزئولیت به ویژه غلظت یک درصد (۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک)

* مسئول مکاتبه: sadati10@yahoo.com

اغلب صفات فوق نسبت به شاهد افزایش یافتند. طوری که این افزایش در دوره آبیاری ۱۲ روز (شدیدترین تنش) برای رویش ارتفاعی، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه به ترتیب ۵۰، ۵۴، ۱۵۵، ۱۸۸، ۴۰ و ۴۷ درصد بود.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش مشخص شد صنوبر اورامریکن تریپلو نسبتاً مقاوم به کم‌آبی است و تیمار نانوزئولیت با غلظت یک درصد برای کاهش اثر دوره‌های آبیاری طولانی‌مدت و بهبود رشد نهال این‌گونه مناسب است. همچنین نهال‌ها در دوره‌های آبیاری ۹ و ۱۲ روز بیشتر از ۸۰ درصد زنده‌مانی داشتند. از این رو ایجاد فاصله در دوره آبیاری برای تولید نهال این دورگه صنوبر در نهالستان و جهت استقرار در عرصه مناسب به‌نظر می‌رسد. علاوه بر این توصیه می‌شود برای استقرار اولیه نهال صنوبر دورگه تریپلو با اهداف کاهش اثر تنش ناشی از دوره‌های آبیاری طولانی‌مدت از نانوزئولیت یک درصد استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: دوره‌های آبیاری، زیتوده نهال، صنوبر دورگه تریپلو، محتوی کلروفیل کل، نانوزئولیت

مقدمه

با توجه به مسأله تغییر اقلیم و خشکی که سطح وسیعی از کشورمان را در بر گرفته است، استفاده از سوپرچاذب‌ها از جمله راهکارهای افزایش بهره‌وری آب بوده که بهبود عملکرد کیفی محصول را فراهم نموده و باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (۳۳). در خصوص کاربرد سوپرچاذب‌ها در تولید نهال گونه‌های جنگلی مطالعاتی نیز صورت گرفت به طوری که کاربرد سوپرچاذب در بستر نهال بنه با دوره‌های مختلف آبیاری نشان داد که استفاده از ۵۰ گرم سوپرچاذب علاوه بر افزایش رشد نهال، موجب کاهش مصرف آب (نصف مقدار) نیز شد (۶). همچنین در بررسی توکلی و همکاران (۲۰۱۱) مشخص گردید با استفاده از سوپرچاذب هیدروژل، به‌خاطر افزایش رطوبت خاک بستر، درصد ریشه‌زایی جست‌های بلوط ایرانی افزایش یافت (۳۴).

زئولیت از مواد معدنی اصلاح‌کننده خاک است که می‌توان از آن به‌منظور بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک استفاده

کرد (۱). این ماده با خاصیت جذب شدید آب قادر است آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب نموده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگهداری و به‌تدریج جذب گیاه نماید (۲۴). اثرات مفید زئولیت در خاک و بهبود رشد نهال در برخی مطالعات مختلف از جمله در آزمایش امیراحمدی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی نهال بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) مشاهده شد (۳). البته، اخیراً روش‌های نوینی برای اصلاح‌کننده خاکدانه‌ها به‌کار می‌رود 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 مؤثرتر و کارایی بهتری داشته باشد (۱۷). از مزایای نانوزئولیت در کشاورزی، تخلخل زیاد و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، بهبود توزیع آب و افزایش تهویه خاک می‌باشد (۷). از آن‌جا که نانوذره زئولیت سطح ویژه بزرگتری دارد بسیاری از عناصر غذایی را جذب کرده و زمانی که گیاه لازم داشته باشد آزاد می‌کند

گردید کلن‌های ۶۳/۵۱، ۶۳/۱۰ و ۶۹/۵۵ دوره آبیاری ۹ روزه را در مدت یک فصل رشد تحمل کردند و کلن ۷۷/۵۱ حساس‌ترین کلن در برابر تنش رطوبتی شناخته شد (۳۱). از آن‌جا که اراضی مستعد و حاصلخیز توسط کشاورزان به محصولات کشاورزی اختصاص می‌یابد، یافتن کلن‌ها و دورگ‌هایی از صنوبر که توانایی استقرار در شرایط سخت‌تر را داشته باشند می‌تواند بسیار سودمند باشد.

در بین ارقام مختلف صنوبر، گونه اورامریکن به‌ویژه تریپلو (*P. euramericana triplo*) از ارقام مناسب برای استفاده در زراعت چوب به‌ویژه برای نواحی شرقی شمال کشور محسوب می‌شود. این دورگ صنوبر به همراه تعداد دیگری از ارقام صنوبر در سال ۱۳۶۳ از ایتالیا وارد کشور شد و به‌دلیل تریپلوئید بودن (۳n کروموزومی) به آن تریپلو اطلاق می‌گردد (۲۰). در پژوهش پژوهشگران مختلف برتری صفات رویشی و ویژگی‌های این کلن مشخص گردید (۲). طوری که در مناطق شرق استان مازندران و گلستان که شرایط رطوبت و بارندگی کم‌تر است، این کلن در مقایسه با سایر کلن‌های اورامریکن (*P. eura. I*، ۴۸۸، *P. eura.*، ۲۱۴، *P. eura.* ۵۶۱/۴۱ و *P. eura.* ۴۵۵) عملکرد بهتری را نشان داده است (۸). در بررسی ۱۴ گونه و رقم صنوبر در گیلان نیز مشخص شد گونه اورامریکن رقم تریپلو از توان استقرار و سازگاری مناسبی در ارتفاعات مختلف برخوردار بوده و نسبت به سایر ارقام صنوبر (*P. d* ۶۹/۵۵، *P. eura.* ۵۶۱/۴۱ و *Populus eura.* ۵۶/۷۵) دارای بیش‌ترین رویش بوده است. هم‌چنین این رقم در دوره‌های بهره‌برداری دو، سه و چهارساله در ایستگاه تحقیقات چمستان مازندران به‌ترتیب با تولید سالانه ۳۵، ۳۱/۵ و ۳۳/۹ مترمکعب ماده خشک چوبی در هکتار از ارقام پرمحصول و سازگار محسوب شده است (۲۱). این عنصر مهم زراعت

(۲۲). خوشبین و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه تأثیر نانوزئولیت روی *Rhapsody Clementine* دریافتند که استفاده این ماده به‌میزان سه گرم در هر گلدان، افزون بر کاهش تأثیر منفی کم‌آبیاری، باعث افزایش چند برابری جذب عناصر فسفر و پتاسیم در تیمارهای حاوی آن‌ها می‌شود. هم‌چنین کاربرد آن، افزایش سطح برگ، تاج‌پوشش و وزن تر و کاهش نشت یونی و افزایش کلروفیل برگ را در برداشته است (۱۶).

صنوبرها به‌عنوان گونه‌های سریع‌الرشد چوب‌ده با تولید بالا هستند که برای رشد و نمو به آب زیادی نیاز دارند (۲۷) و هنگامی که خاک بسترشان با کمبود رطوبت مواجه شود، زنده‌مانی و رشدشان کاهش یافته و صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آن‌ها دچار اختلال می‌شود (۴، ۹، ۲۹ و ۳۱). این گونه‌های تند رشد در طی فصل رشد به آب و رطوبت کافی نیاز دارند و در برخی موارد در همین عرصه‌های مناسب نیز با کم‌آبی یا دوره‌های خشکی مواجه می‌شوند (۱۴). البته مکانیسم تحمل ارقام، گونه‌ها و دورگ‌های صنوبر متفاوت است. به‌طوری که در بررسی هاکین و همکاران (۲۰۰۵)، صنوبر *P. euphratica* نسبت به *P. alba* در برابر خشکی مقاوم‌تر بوده است (۱۳). نتایج پژوهش‌های باقری و همکاران (۲۰۱۰) روی صنوبر نشان داد کلن‌های *P.e. vernirubensis*، *P.n.* ۶۲/۱۵۴ و *P.e.* ۵۶۱/۴۱ در تیمارهای چهار و ۸ روزه آبیاری بیش‌ترین رویش قطری و ارتفاعی و نهایتاً بالاترین تولید را داشتند. این در حالی است که تفاوت معنی‌داری بین این دو دوره آبیاری نبود اما در دوره چهار روزه آب بیش‌تری مصرف شد (۵).

در مطالعه ساداتی و همکاران (۲۰۱۹) روی پنج کلن صنوبر دلتوئیدس تحت تنش رطوبتی، مشخص

تنش رطوبتی است. شکل منحنی مشخصه آب خاک به توزیع و اندازه منافذ خاک و تخلخل خاک بستگی دارد. برای تعیین دوره آبیاری، وزن مرجع و اعمال تنش نیاز به تعیین نقاط مهم پتانسیلی، یعنی ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) بود که با استفاده از مشخصات خاک، مانند درصد ذرات و وزن مخصوص ظاهری و با استفاده از رابطه (۱)، منحنی ترسیم شد و بر این اساس ظرفیت زراعی و پژمردگی خاک مورد آزمایش تعیین و در جدول ۱ درج گردید. در این ارتباط، وزن مرجع که مجموعی از وزن خاک خشک داخل گلدان، وزن گلدان، وزن پلاستیک و وزن آب در رطوبت ظرفیت مزرعه می‌باشد، تعیین شد. در اواخر بهار قبل از شروع آزمایش قطر یقه و ارتفاع کلیه نهال‌ها اندازه‌گیری شد. برای جلوگیری از تبخیر سطحی خاک، سطوح جانبی گلدان‌ها با ورق آلومینیمی پوشانده شد.

$$\Psi_m = A\theta_v^B \quad (1)$$

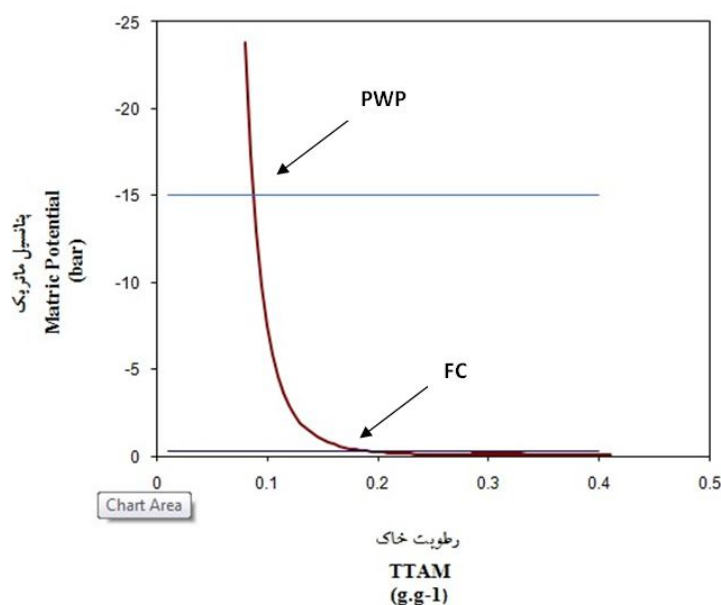
که در آن، Ψ_m پتانسیل ماتریک خاک بر حسب کیلوپاسکال، θ_v مقدار رطوبت حجمی خاک بر حسب مترمکعب بر مترمکعب و A و B ضرایبی هستند که می‌توان آن‌ها را به ویژگی‌های خاک ارتباط داد. در این روابط C درصد رس و S درصد شن خاک می‌باشد.

چوب در برخی مناطق در معرض کم‌آبی قرار می‌گیرد و تولید نهال آن نیز در نهالستان‌های با توجه محدودیت آب با چالش مواجه می‌شود. در این پژوهش برای اولین بار در جهت تولید نهال‌های صنوبر تریپلو از تکنولوژی نانوذرات استفاده شده است تا تأثیر آن روی میزان تحمل این رقم در شرایط کم‌آبی بررسی شود. دستیابی به این تکنیک نوین می‌تواند راهکار مناسبی برای تولید نهال در نهالستان‌ها و گسترش و موفقیت جنگل‌کاری با این گونه در مناطقی که با محدودیت آب مواجه است باشد.

روش تحقیق: نهال‌های صنوبر *Populus euramericana triplora* حاصل از قلمه‌های کاشته شده در ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع چمستان به ایستگاه باغبانی قائمشهر منتقل شد و از آن ۱۸۰ اصله نهال یکنواخت (به لحاظ قطر و ارتفاع تقریباً یکسان) انتخاب شدند. نهال‌ها در گلدان‌های پلاستیکی (ابعاد ۱۱ × ۱۹/۵ سانتی‌متر) حاوی خاک لوم در نهالستان بازکاشت شدند. بافت، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت خاک مورد استفاده قبل از کاشت در آزمایشگاه خاک‌شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران اندازه‌گیری شد (جدول ۱). پس از مشخص شدن عوامل فوق، منحنی مشخصه رطوبتی خاک از روش ساکستون و همکاران (۱۹۸۶) و از رابطه ۱ در شکل ۱ ترسیم گردید (۳۲). این منحنی، رابطه پتانسیل ماتریک خاک با مقدار آب آن را نشان می‌دهد. در واقع این منحنی دربرگیرنده یک سری از مشخصات خاک مورد آزمایش تحت

$$A = \exp [-4.396 - 0.0715 (C) - 4.88 \times 10^{-4} (S)^2 - 4.285 \times 10^{-5} (S)^2 (C)] 100$$

$$B = -3.14 - 0 / 00222 C^2 - 3.484 \times 10^{-5} S^2 C$$



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی خاک مورد استفاده در آزمایش اثر تیمارهای دوره‌های آبیاری و نانوزئولیت روی برخی ویژگی‌های صنوبر تریپلو.

Figure 1. The soil moisture characteristic curve used in the experiment of the effects of irrigation period and nanozeolite on some properties of *P. eur. Triplo*.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش اثر تیمارهای دوره‌های آبیاری و نانوزئولیت روی برخی ویژگی‌های صنوبر تریپلو.

Table 1. Soil properties used in the experiment of the effects of irrigation period and nanozeolite on some properties of *P. eur. Triplo*.

نقطه پژمردگی Permanent wilting point (%)	ظرفیت زراعی Field capacity (%)	وزن مخصوص ظاهری Apparent specific weight (g/cm ³)	سیلت Silt (%)	شن Clay (%)	رس Sand (%)	بافت خاک Soil texture
8.7	18.5	1.3	33	50.5	16.5	لوم Loam

نانوزئولیت که به صورت پودر استفاده می‌شود، ماده‌ای آبدوست و قابل افزودن به خاک بوده که آب و مواد غذایی را جذب و به شکل بهینه در اختیار گیاه قرار می‌دهد. زئولیت توسط شرکت سپیدسان برتر شمال، از معدن زئولیت در طبیعت استخراج و با تبدیل به ساختار نانو برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود.

اعمال تیمار دوره آبیاری طوری بوده است که گلدان‌های تیمار سه روزه هر سه روز وزن شده و به اندازه وزن مرجع (وزن در شرایط رطوبت مزرعه) آبیاری و تیمار ۶ و ۹ و ۱۲ روز نیز به همین صورت

به منظور اعمال تنش به تعداد ۱۸۰ اصله نهال *P. eur. triplo* با ترکیب تیمار رژیم رطوبتی و نانوزئولیت اختصاص یافت. آزمایش به صورت فاکتوریل با ۴ سطح تیمار (دوره آبیاری ۳، ۶، ۹، ۱۲ روزه) و ۳ سطح تیمار نانوزئولیت با مقادیر ۰، ۱۰، ۵۰ گرم در یک کیلوگرم (۰، ۱ و ۵ درصد وزنی) با خاک مخلوط گردید و در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در فضای مسقف گلخانه‌ای با دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد و نور کافی برای مدت ۸۰ روز اجرا شد (شکل ۲).

از هر نهال، سه برگ از یک پنجم بالایی) در دو مرحله، اولی در وسط آزمایش دوره‌های آبیاری و دومی در انتهای دوره آزمایش بعد از کالیبره کردن دستگاه با دقت اندازه‌گیری شد (۱۸).

تجزیه و تحلیل آماری: به منظور اثبات تبعیت توزیع نرمال داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و جهت بررسی همگنی واریانس بین گروه‌ها از آزمون لون (Levene) استفاده گردید. به کمک رویه مدل‌های خطی (General Linear Model) آنالیز واریانس دوطرفه انجام شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار در اثرات متقابل بین فاکتورهای مورد بررسی (دوره‌های آبیاری \times نانوزئولیت) از دستور Lsmeans و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسات میانگین‌ها با آزمون توکی (Tukey) صورت گرفت. داده‌های زنده‌مانی با توجه به این‌که به‌صورت درصدی ثبت شده بودند ابتدا با استفاده از فرمان Arc sin تبدیل و بعد از برقراری شرایط استفاده از آزمون آنالیز واریانس (توزیع نرمال) از فرمان GLM خروجی جدول آنالیز واریانس گزارش گردید (۲۶). نمودارها با نرم‌افزار EXCEL 2003 ترسیم گردید.

بر اساس دوره تعیین‌شده به میزان رطوبت وزن مرجع آبیاری شدند. در پایان دوره بعد از شمارش نهال‌ها برای تعیین درصد زنده‌مانی، از هر تیمار در هر تکرار سه نهال به‌طور تصادفی انتخاب و مهم‌ترین متغیرهای مورفولوژیکی شامل رشد قطری و ارتفاعی، تعداد برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ، طول ریشه اصلی، حجم ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد. اشاره می‌گردد برای هر تیمار در هر تکرار پنج نهال در نظر گرفته شد. قطر نهال‌ها توسط کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر و ارتفاع نهال‌ها با خط‌کش مدرج با دقت ۰/۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین زیتوده (ریشه، اندام هوایی و برگ)، نهال‌ها از گلدان‌ها خارج و پس از شستشوی ریشه‌ها از محل یقه نهال قطع شدند. سپس ریشه‌ها، ساقه و برگ‌ها به‌طور جداگانه در آن‌ون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. بدین ترتیب وزن خشک ریشه، اندام هوایی و برگ تعیین شد. صفت فیزیولوژیکی محتوی کلروفیل کل نیز با دستگاه SPAD 502 Minolta (model Japan) و از برگ‌های قسمت بالایی نهال



شکل ۲- مراحل بازکاشت، آماده‌سازی و مخلوط کردن نانوزئولیت با خاک بستر نهال صنوبر تریپلو.

Figure 2. Steps of re-planting, pot replacement and mixing of nanozeolite with soil of *P. eur. triplio* seedling.

نتایج و بحث

مانند تعداد برگ، سطح برگ، بیوماس برگ، اندام‌های هوایی، ویژگی‌های ریشه و محتوی کلروفیل کل صنوبر تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه مشخص نمود که اثر تیمارهای تنش رطوبتی و تیمار نانوزئولیت بر زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی و سایر صفات مورفولوژیکی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات دوره‌های آبیاری و نانوزئولیت بر صفات درصد زنده‌مانی، مورفولوژیکی و کلروفیل کل نهال (*P. eur. triplo*)

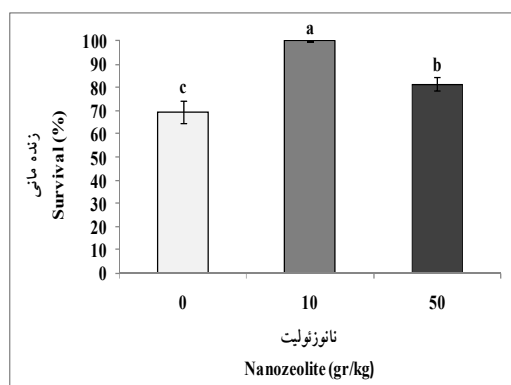
Table 2. Analysis of variance of irrigation periods and nanozeolite effects on survival and morphological characteristics and chlorophyll content of *P. eur. triplo* seedling.

دوره‌های آبیاری × نانوزئولیت Irrigation periods * Nanozeolite			نانوزئولیت Nanozeolite			دوره‌های آبیاری Irrigation periods			پارامتر Parameter
Sig	F	df	Sig	F	df	Sig	F	df	
0.53 ^{ns}	0.85	6	0.00 ^{**}	22.71	2	0.048 [*]	2.65	3	زنده‌مانی Survival
0.36 ^{ns}	1.1	6	0.00 ^{**}	27.72	2	0.003 ^{**}	5.006	3	رشد قطری Diameter growth
0.00 ^{**}	5.18	6	0.00 ^{**}	93.61	2	0.05 ^{**}	4.58	3	رشد ارتفاعی Height growth
0.00 ^{**}	9.23	6	0.00 ^{**}	107.82	2	0.00 ^{**}	26.94	3	تعداد برگ Leaf number
0.00 ^{**}	4.36	6	0.00 ^{**}	7.42	2	0.25 ^{ns}	1.36	3	سطح برگ Leaf area
0.00 ^{**}	15.83	6	0.00 ^{**}	123.49	2	0.00 ^{**}	56.46	3	وزن خشک برگ Leaf dry weight
0.017 [*]	2.74	6	0.00 ^{**}	10.61	2	0.00 ^{**}	6.04	3	وزن خشک ساقه و شاخه Shoot dry weight
0.00 ^{**}	3.46	6	0.00 ^{**}	54.24	2	0.00 ^{**}	15.44	3	وزن خشک ریشه Root dry weight
0.00 ^{**}	3.67	6	0.00 ^{**}	73.73	2	0.00 ^{**}	57.23	3	حجم ریشه Root volume
0.076 ^{ns}	1.98	6	0.00 ^{**}	373.77	2	0.00 ^{**}	58.98	3	طول ریشه Root length
0.7 ^{ns}	0.36	6	0.00 ^{**}	9.37	2	0.00 ^{**}	24.93	3	محتوی کلروفیل کل Chlorophyll content

^{**} معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪، ^{*} معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری.

^{**} Significant at the 1% level, ^{*} significant at the 5% level, ^{ns} not significant.

پژوهشگران نیز گزارش شده است (۲۳، ۲۸، ۳۱ و ۳۵). کاهش رطوبت خاک می‌تواند بر ماندگاری نهال تأثیر نامطلوبی ایجاد کند. استفاده از نانوزئولیت توانسته است نسبت به شاهد (بدون نانوزئولیت) با زنده‌مانی ۶۹ درصد، ماندگاری نهال صنوبر تریپلو را به بالاترین مقدار (۹۹ درصد) برساند. در واقع افزودن نانوزئولیت یک درصد توانسته است نزدیک به ۳۰ درصد ماندگاری را افزایش دهد (شکل ۴). افزایش زنده‌مانی نهال با کاربرد زئولیت روی نهال آکاسیا توسط قضاوی (۲۰۱۳)، یوسفیان و همکاران (۲۰۱۸) روی نهال آتریپلکس نیز اثبات گردید (۱۱ و ۳۶). از یافته مهم در این پژوهش مصرف حداقل آب (بالاترین کارایی مصرف آب) در تیمارهایی محتوی نانوزئولیت بود. در طی مدت حدود سه ماه از این بررسی نهال‌های با نانوزئولیت یک درصد حداکثر دو مرحله آبیاری شدند و حتی پس از حدود ۳۵ روز، پس از اولین آبیاری نیاز به آبیاری داشتند تا در حد ظرفیت زراعی بمانند.

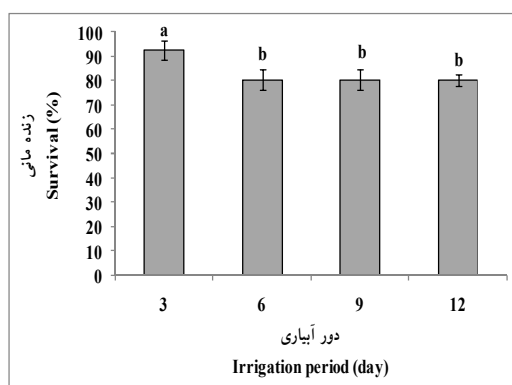


شکل ۴- زنده‌مانی صنوبر تریپلو تحت تأثیر تیمار نانوزئولیت.

Figure 4. *P. eur. triplo* Survival under nanozeolite treatment.

در حالی است که تحت تأثیر نانوزئولیت نسبت به شاهد اندازه بزرگ‌تری را نشان می‌دهد (شکل ۶). رشد ارتفاعی نهال صنوبر تریپلو نیز تحت تنش رطوبتی روند کاهشی دارد اما افزودن نانوزئولیت یک درصد به بستر توانسته است برخی از اثرات

بر اساس نتایج، زنده‌مانی نهال‌های صنوبر تریپلو تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفت و با تشدید تنش و ایجاد شرایط طولانی آبیاری از دوره آبیاری سه روز به ۱۲ روز حدود ۱۴ درصد از زنده‌مانی آن کم شده است؛ اما با این حال در شدیدترین تیمار (دوره آبیاری ۱۲ روز) نیز ۷۹ درصد ماندگاری داشت که قدرت تحمل نسبتاً بالای آن به کم‌آبی را می‌رساند (شکل ۳). ماندگاری بالای نهال‌های تریپلو نسبت به چهار کلن صنوبر دلتوئیدس در پژوهش مختاری و مدیررحمتی (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است (۲۱). نتایج زنده‌مانی در این پژوهش با یافته باقری (۲۰۱۲) نیز مطابقت دارد (۴). البته در مطالعه ایشان دوره آبیاری برای برخی از ارقام صنوبر از جمله کلن اورامریکن ($P.e.$ ۵۶۱/۴۱) روز تعیین شد. در بررسی دیگری توسط ساداتی و همکاران (۲۰۱۴) روی *P. alba* در دوره آبیاری ۹ روز، ۵۵ درصد زنده‌مانی داشته است (۲۹). اثرات تنش رطوبتی بر زنده‌مانی نهال‌های صنوبر و گونه‌های جنگلی در مطالعات سایر

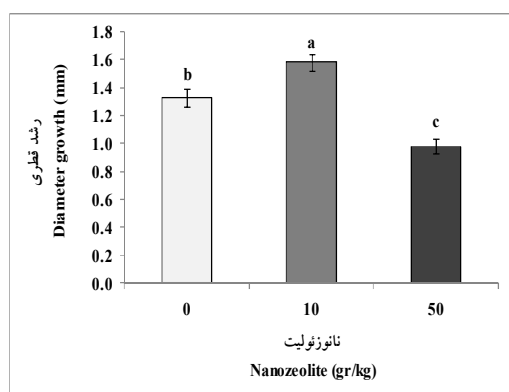


شکل ۳- زنده‌مانی صنوبر تریپلو تحت تأثیر دور آبیاری.

Figure 3. *P. eur. triplo* survival under irrigation period.

در نتایج مشخص شد رشد قطری و ارتفاعی صنوبر دورگ تریپلو تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش معنی‌داری داشتند (جدول ۲). ریش قطری با تشدید تنش روند کاهشی داشته و در دوره آبیاری ۱۲ روزه به کم‌ترین مقدار (۱/۱ میلی‌متر) رسید (شکل ۵) این

نانوزئولیت سبب شد تا اثرات نامطلوب کم‌آبی بر رشد نهال کاهش و تقریباً کنترل شود. از این رو همان‌طور که در شکل ۷ قابل ملاحظه است، رویش طولی در آبیاری سه روز از چهار سانتی‌متر به پنج سانتی‌متر (۲۵ درصد افزایش رشد) و در تنش شدید (دوره آبیاری ۱۲ روزه) از سه سانتی‌متر به چهار و نیم سانتی‌متر تحت تأثیر نانوزئولیت یک درصد (یعنی ۵۰ درصد افزایش رشد) افزایش یافت. 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 توجه این‌که کاربرد نانوزئولیت پنج درصد اثرات نامطلوبی در رشد نهال‌ها ایجاد کرد؛ از این رو، نهال‌های در بستر نانو زئولیت پنج درصد نسبت به شاهد (بدون نانو) رشد کم‌تری داشتند (شکل ۷). کاهش رشد در این حالت به‌خاطر افزایش و حفظ بیش از حد رطوبت در بستر نهال و ایجاد حالت غرقابی^۱ توسط زئولیت پنج درصد در ریزوسفر بوده است طوری که منجر شد تا ریشه نهال در شرایط کمبود اکسیژن و خفگی قرار گرفته و در جذب آب و عناصر تغذیه‌ای (به‌ویژه ازت) و رشد نهال اختلال ایجاد گردد.

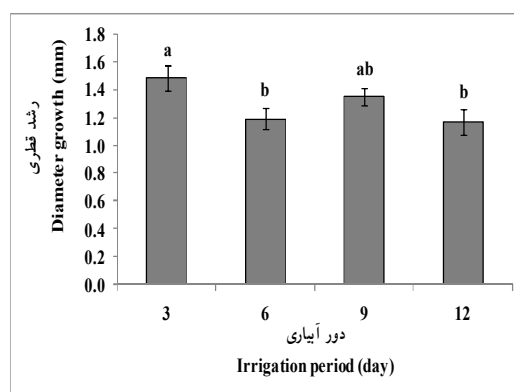


شکل ۶- رشد قطری صنوبر تریپلو تحت تأثیر نانوزئولیت.

Figure 6. Diameter growth of *P. eur. triplo* under nanozeolite treatment.

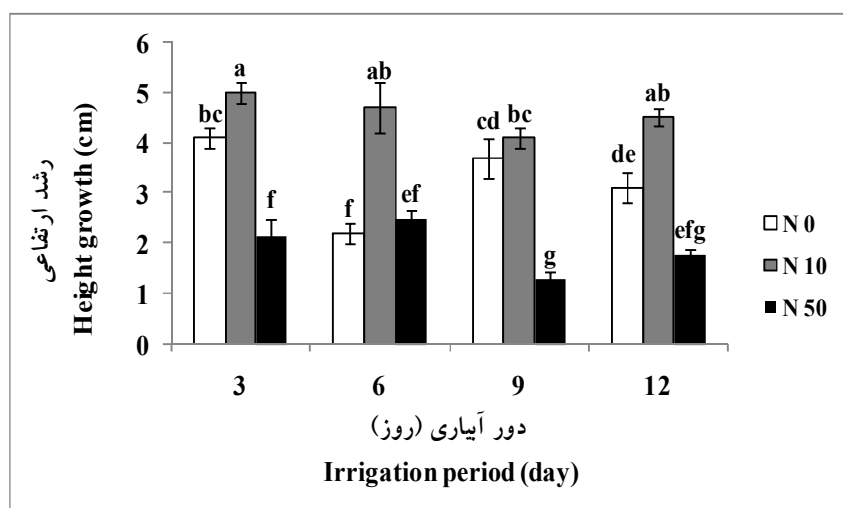
نامطلوب دوره طولانی آبیاری را خنثی کند (جدول ۲ و شکل‌های ۷ و ۸).

کاهش رشد نهال تحت تنش به دلیل اثرات نامطلوب کم‌آبی در کاهش فشار تورژسانس سلول‌های مریستم انتهایی رشد می‌باشد. سلول جهت تکثیر باید حالت آماس آن حفظ شود. همچنین کاهش رطوبت خاک موجب می‌شود جذب عناصر غذایی که در رشد نقش به‌سزایی دارد، به حداقل برسد. علاوه بر این در فرایند فتوسنتز، آب جزء مهم در دستگاه فتوسنتزی، در واکنش‌های نوری و تاریکی و اسیمیلاسیون محسوب می‌گردد. از این رو و 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 مکانیزم در برابر تنش رطوبتی است. در چنین شرایطی نهال حداکثر انرژی خود را صرف تقویت ریشه می‌کند (۱۰). طوری که نهال تریپلو با این شیوه سازگاری در بیش‌تر دوره‌های آبیاری از آسیب‌پذیری ریشه نسبت به رویش ارتفاعی کاسته است (جدول ۳ و شکل ۷). کاهش رشد قطری و ارتفاعی نهال صنوبرها در اثر تنش رطوبتی در مطالعه ساداتی و همکاران (۲۰۱۹)، جاو و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد (۱۲ و ۳۱). در این پژوهش افزودن



شکل ۵- رشد قطری صنوبر تریپلو تحت تأثیر دور آبیاری.

Figure 5. Diameter growth of *P. eur. triplo* under irrigation period.



شکل ۷- رشد ارتفاعی صنوبر تریپلو تحت تأثیر اثرات متقابل دوره آبیاری × نانوزئولیت.

Figure 7. Height growth of *P. eur. triplo* under interaction effects of irrigation period * nanozeolite treatment.



شکل ۸- اثرات نانوزئولیت در بهبود رشد و شادابی نهال صنوبر تریپلو.

Figure 8. Effects of nanozeolite on growth and viability improvement of *P. eur. triplo* seedlings.

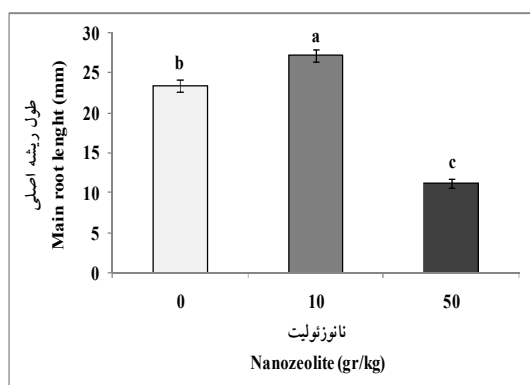
سطح برگ را جهت جلوگیری از هدررفت آب در اثر پدیده تعرق کم می‌کند تا نهال با مکانیزم تنظیم اسمزی در برابر کم‌آبی مقاومت کند. تنش رطوبتی به دلیل کاهش فشار اسمزی درون یاخته باعث کاهش تقسیم سلولی و کاهش اندازه یاخته‌ها و در نهایت کاهش سطح برگ می‌شود (۲۵). از طرفی، وقتی تعداد

در پژوهش پیش‌رو تعداد، سطح و زیتوده بیوماس برگ نهال‌ها تحت تأثیر تنش رطوبتی و روند کاهشی داشتند اما در بسترهای اعمال‌شده با نانو زئولیت، شرایط بهتری یافتند (جدول‌های ۲ و ۳). استرس خشکی، اندازه برگ به عنوان اندام فتوسنتزکننده را کاهش می‌دهد و علاوه بر کاهش نرخ برگ‌زایی،

۲ می‌توان دریافت کرد حجم ریشه در نهال سه‌روزه شاهد (بدون نانوزئولیت) در اثر تنش وارده از ۳ به ۱/۸ سانتی‌متر مکعب در نهال با دوره آبیاری ۱۲ روز تقلیل پیدا کرد. هم‌چنین زیتوده ریشه شاهد از ۰/۵۷ به ۰/۳۶ در نهال با دوره آبیاری ۱۲ روز کاهش یافت. البته باید به این نکته توجه شود اثرات کم‌آبی روی اندام هوایی بالاخص زیتوده برگ نسبت به زیتوده ریشه بیش‌تر است (۱۹). در این پژوهش (جدول ۳) تغییرات وزن خشک برگ در شاهد سه‌روزه نسبت به شاهد ۱۲ روزه از ۰/۵۴ به ۰/۱۷ حدود ۷۰ درصد کاهش داشت اما تغییرات و روند کاهشی ریشه از ۰/۵۷ به ۰/۳۶ یعنی حدود ۳۵ درصد کاهش داشت که نهال صنوبر تریلو با این مکانیسم اجتناب از تنش، ریشه را در برابر کاهش رطوبت خاک، با آسیب کم‌تر، حفظ کرد. در حقیقت، این کلن در نهال‌های با آبیاری ۱۲ روز (تنش شدید) از کم‌ترین رطوبت خاک هم با غلبه بر پتانسیل ماتریک خاک استفاده کرده و عناصر را از مسیر آپوپلاستی و سیمپلاستی به اندام هوایی هدایت نمود و هم با کاهش در برگ و تنظیم اسمزی، توانست از تلفات آب در اندام هوایی نیز جلوگیری کند. طول ریشه اصلی صرف‌نظر از ذرات نانویی زئولیت روندی کاهش داشته (شکل ۹). از سویی اثرات نانوذرات در آنالیز صرف‌نظر از کم‌آبی روی طول ریشه نیز در شکل ۱۰ مشهود است که در غلظت یک درصد با بهبود ریشه بلندترین ریشه را در نهال ایجاد نمود.

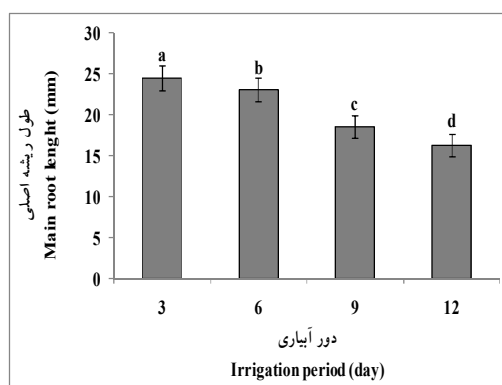
و سطح برگ کاهش یابد در نتیجه زیتوده وزن خشک برگ نیز کم می‌شود. تغییرات و کاهش زیتوده برگ در نهال‌های شاهد سه روز از ۰/۵۴ گرم به ۰/۱۷ گرم در نهال ۱۲ روزه در جدول ۳ کاملاً مشهود است. استفاده از نانوزئولیت یک درصد توانسته است خطرات ناشی از کم‌آبی را کم کند. به‌طوری‌که در دوره آبیاری ۱۲ روز سطح برگ را تا دو برابر شاهد بهبود بخشید این در حالی است که نهال شاهد سه‌روزه در طی دوره آزمایش دفعات بیش‌تری نسبت به دوره ۱۲ روزه، در واقع ۴ برابر بیش‌تر آبیاری شده و آب بیش‌تری نیز مصرف کردند. کاهش صفات برگ نهال در برابر تنش رطوبتی در بررسی ساداتی و همکاران (۲۰۱۹)، نقی‌پور و همکاران (۲۰۱۹)، روکی و همکاران (۲۰۱۹)، چان‌یانگ و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش گردید (۹، ۲۳، ۲۸ و ۳۱).

در پژوهش حاضر تنش رطوبتی منجر به کاهش رشد ریشه نهال شده که تجزیه واریانس اثرات آن را در دوره‌های مختلف آبیاری و سطوح نانوزئولیت و اثرات متقابل (دوره‌های آبیاری × نانوزئولیت) را نیز متفاوت و معنی‌دار نشان داد (جدول‌های ۲ و ۳). در شرایط خشکی، سیستم و کارایی فتوسنتزی گیاه مختل شده و هیدرات کربن که محصول نهایی فتوسنتز هست کم‌تر سنتز شده و این مقدار کم علاوه بر مصرف آن در اندام هوایی، باید از طریق آوندهای آبکش به اندام زمینی 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. از جدول



شکل ۱۰- طول ریشه اصلی صنوبر تریپلو تحت تأثیر نانوزئولیت.

Figure 10. Main root length of *P. eur. triplo* affected by nanozeolite.

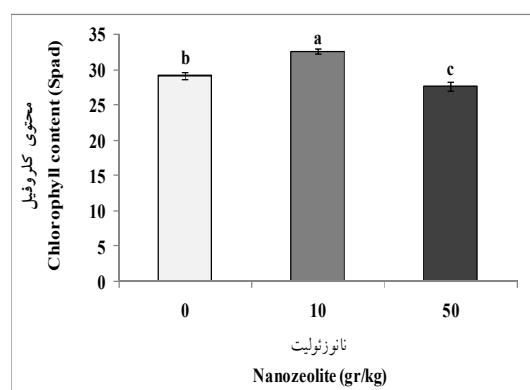


شکل ۹- طول ریشه اصلی صنوبر تریپلو تحت تأثیر دور آبیاری.

Figure 9. Main root length of *P. eur. triplo* under irrigation period.

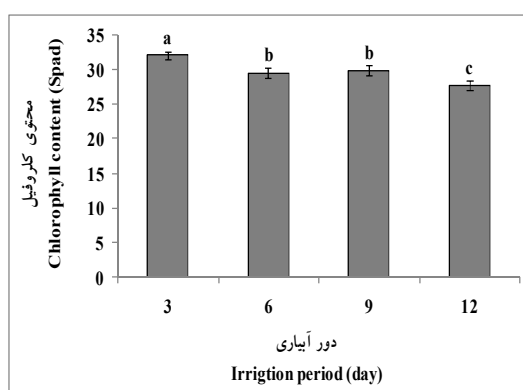
نرخ فتوسنتز خالص و سپس سبب کاهش رشد نهال می‌شود. در پژوهش پیش‌رو، نهال‌های صنوبر تریپلو در برابر تنش رطوبتی با افزایش دوره آبیاری محتوی کلروفیل را کاهش دادند (شکل ۱۱). هم‌چنین در نهال‌هایی که در آن از نانوزئولیت یک درصد استفاده شد میزان کلروفیل افزایش قابل‌توجهی داشته است (شکل ۱۲). کاهش محتوی کلروفیل در برابر تنش در مطالعات ساداتی و طبری (۲۰۱۸) روی سفیدپلت (*P. caspica*) و جاو و همکاران (۲۰۱۰) روی کلن‌های صنوبر نیز گزارش گردید (۱۲ و ۳۰).

محتوی کلروفیل: محتوی کلروفیل برگ نهال تحت تأثیر تنش رطوبتی و سطوح مختلف نانوزئولیت قرار گرفتند (جدول ۲). کلروفیل با وجود کلروپلاست در آن، محل مهم‌ترین رخداد در گیاه یعنی فتوسنتز است که با آب و دی‌اکسیدکربن در معرض نور، سنتز کربوهیدرات در آن صورت می‌گیرد. گیاه تحت تنش برای مقابله با کم‌آبی از ایجاد سبزینه از طریق کاهش سطح و تعداد برگ و با بسته شدن روزنه‌ها و عدم دسترسی کلروپلاست‌ها به دی‌اکسید کربن، جلوگیری می‌کند (۱۵). نقش کلروفیل در فتوسنتز و کارایی آن تعیین‌کننده است و نقصان در سنتز آن موجب کاهش



شکل ۱۲- محتوی کلروفیل صنوبر تریپلو تحت تأثیر نانوزئولیت.

Figure 12. Chlorophyll content of *P. eur. triplo* affected by nanozeolite.



شکل ۱۱- محتوی کلروفیل صنوبر تریپلو تحت تأثیر دور آبیاری.

Figure 11. Chlorophyll content of *P. eur. triplo* under irrigation period.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌ها اثرات متقابل (دوره‌های آبیاری × نانوزئولیت) نهال (*P. eur. triplo*).Table 3. Mean comparison of interaction effects (irrigation period*nanozeolite) of *P. eur. triplo* seedlings.

حجم ریشه Root volume (cm ³)	وزن خشک ریشه Root dry weight (gr)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (gr)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (gr)	سطح برگ Leaf area (cm ²)	تعداد برگ Leaf number	نانوزئولیت Nanozeolite	دوره‌های آبیاری Irrigation periods (Day)
3.04 ^b ±0.21	0.57 ^{cde} ±0.5	7.6 ^{abc} ±0.52	0.54 ^c ±0.05	22.27 ^{de} ±0.88	5.33 ^c ±0.33	0	
4.33 ^a ±0.39	1.11 ^a ±0.11	8.6 ^a ±0.52	1.005 ^a ±0.12	52.1 ^a ±1.3	6.55 ^b ±0.33	10	3
2.25 ^{cd} ±0.24	0.35 ^{fg} ±0.04	6.2 ^{de} ±0.25	0.05 ^e ±0.005	25.77 ^{cde} ±0.64	2.11 ^{gh} ±0.26	50	
1.8 ^{de} ±0.12	0.56 ^{cde} ±0.06	7.5 ^{abc} ±0.48	0.52 ^c ±0.06	38.34 ^{abcd} ±1.19	4.22 ^{de} ±0.43	0	
2.73 ^{bc} ±0.13	0.79 ^b ±0.05	7.91 ^{ab} ±0.5	0.96 ^b ±0.05	27.07 ^{cde} ±0.5	8.77 ^a ±0.46	10	6
1.32 ^e ±0.1	0.37 ^{defg} ±0.04	7.8 ^{ab} ±0.41	0.66 ^c ±0.03	16.3 ^c ±0.6	3.33 ^{ef} ±0.33	50	
2.05 ^d ±0.06	0.58 ^{cd} ±0.05	4.5 ^{cde} ±0.21	0.28 ^d ±0.02	25.06 ^{cde} ±0.84	4.33 ^{cde} ±0.33	0	
3.12 ^b ±0.18	0.59 ^e ±0.1	7.35 ^{abcd} ±0.4	0.5 ^c ±0.06	33.07 ^{bcde} ±1.58	4.66 ^{cd} ±0.44	10	9
1.74 ^{de} ±0.11	0.29 ^g ±0.03	5.91 ^e ±0.5	0.11 ^e ±0.03	23.88 ^{cde} ±0.59	2.77 ^{fg} ±0.22	50	
1.81 ^{de} ±0.07	0.36 ^{efg} ±0.05	5.5 ^c ±0.28	0.17 ^{de} ±0.02	17.35 ^c ±0.65	2.88 ^{fg} ±0.26	0	
1.74 ^{de} ±0.16	0.53 ^{cdef} ±0.07	7.7 ^{abc} ±0.27	0.49 ^c ±0.09	44.48 ^{ab} ±1.35	4.44 ^{cd} ±0.44	10	12
0.37 ^f ±0.03	0.08 ^h ±0.01	6.7 ^{bcd} ±0.14	0.03 ^e ±0.01	40.34 ^{abc} ±18.8	1.55 ^h ±0.24	50	

علامت ± بیانگر اشتباه معیار میانگین‌ها می‌باشند. میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

± indicates the standard error of the mean. The means with the same letters are not significantly different.

است. از این رو استفاده از نانوزئولیت یک درصد برای تولید نهال تریپلو در نهالستان‌ها و مناطقی که در مرحله استقرار اولیه نهال این کلن با ارزش به‌منظور توسعه زراعت چوب در معرض خشکی قرار می‌گیرد، می‌تواند موجب تقویت رشد نهال شده و از مصرف بی‌رویه آب نیز جلوگیری کند. ضمن این‌که برای استفاده از این نانوزئولیت برای سایر گونه‌های صنوبر و نهال‌های جنگلی نیاز به آزمایش دارد.

نتیجه‌گیری

در کل در این پژوهش مشخص گردید هر چند خشکی و کم‌آبی موجب کاهش صفات رویشی نهال دورگ صنوبر تریپلو می‌شود، اما کاربرد نانوزئولیت یک درصد می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک در بستر نهال بیش‌تر این صفات به‌ویژه رشد را افزایش داده و از این طریق نهال با مکانیسم اجتناب و تحمل، تنش رطوبتی را تا حد زیادی کنترل کند. به‌طوری‌که نهال این گونه دوره طولانی آبیاری ۹ روزه و حتی ۱۲ روزه را تحمل و زنده‌مانی و رشد نسبتاً خوبی داشته

منابع

1. 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. *J. of Ecohydrology*. 8: 1. 67-75. (In Persian)
2. Amin Amlashi, M., and Salehi, M. 2011. Qualitative and quantitative evaluation of seedlings of 10 top Poplar clones at the nursery in Guilan province. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 19: 2. 268-278. (In Persian)
3. Amirahmadi, M., Hojjati, S.M., Beparva, P., and Kammann, C. 2019. Effect of zeolite on nitrate leaching, aggregate stability and growth of Chestnut leaved oak (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.) seedlings. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 27: 3. 258-271. (In Persian)
4. Bagheri, R., Ghasemi, R., Calagari, M., and Merrikh, M., 2012. Effect of different irrigation intervals on superior poplar clones yield. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 20: 3. 357-369. (In Persian)
5. Bagheri, R., Modirrahmati, A., Asadi, F., Ghasemi, R., Kalagari, M., and sadeghi, E. 2010. Effect of irrigation interval on superior poplar clones yield. Final Report of Research Institute of Forest and Rangelands. (In Persian)
6. Banj Shafiei, A., Eshaghi Rad, J., Alijanpour, A., and Pato, M. 2012. Effects of super-absorbent application and irrigation period on the growth of pistachio seedlings (*Pistacia atlantica*), (Case study: Dr. Javanshir nursery, Piranshahr). *Iranian J. of Forest*. 4: 2. 101-112. (In Persian)
7. Baruah, S., and Dutta, J. 2009. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters J*. 7: 191-204.
8. Calagari, M. 2018. Introduction of high wood production poplar clones for cultivation in the north of country. *J. of Iran Nature*. 3: 2. 50-58. (In Persian)
9. Chunying, Y., Youhong, P., Runguo, Z., Yaping, Z., and Chunyang, L. 2005. Adaptive responses of *Populuskangdingensis* to drought stress. *Physiologia Plantarum J*. 123: 445-451.
10. Ehsani Tabatabaei, F. 2006. Plant Stress of Physiology. Payam Noor Univ. Press. (In Persian)
11. Ghazavi, R. 2013. The application effects of natural zeolite at early stages of plant growth for two rangeland species (*Ziziphose Spina christi* and *Acacia Salicina*) under drought stresses. *J. of Arid Biome Scientific and Research*. 3: 2. 84-89. (In Persian)
12. Guo, X.Y., Zhang, X.SH., and Huang, Zh.Y. 2010. Drought tolerance in three hybrid poplar clones submitted to different watering regimes. *Plant Ecology J*. 3: 2. 79-87.
13. Hukin, D., Cochard, H., Dreyer, E., Le Thiec, D., and Bogeat-Triboulot, M.B. 2005. Cavitation vulnerability in roots and shoots: does *Populus euphratica* Oliv., a poplar from arid areas of Central Asia, differ from other poplar species? *Experimental Botany J*. 56: 2003-2010.
14. Isebrands, J.G., and Richardson, J. 2014. Poplar and Willows: Trees for Society and the Environment. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI Press, 634p.
15. Kafi, M., Borzooe, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of environmental stresses in plants. Mashhad Press. 502p. (In Persian)
16. Khoshbin, Sh., Solgi, M., Taghizadeh, M., and Barati, A. 2016. The effect of nanocomposite containing zeolite Nanoparticles and some nutrients on the growth characteristics of African violets (*Saintpaulia ionantha* 'Rhapsody Clementine'). *Iranian J. of Horticultural Science*. 47: 4. 835-843. (In Persian)
17. Mahdizadeh, M., and Najafi, N. 2018. Applications of nanomaterials in soil remediation. *J. of land Management (Soil and Water Sci.)*. 6: 1. 31-49. (In Persian)
18. Marcelo, S.M., and Bruce, S. 2009. Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. *Environmental and Experimental Botany. J*. 12: 24-31.

19. Marron, N., Dreyer, E., Boudouresque, E., Delay, D., Petit, J.M., Delmotte, F.M., and Brignolas, F. 2003. Impact of successive drought and re-watering cycles on growth and specific leaf area of two *Populus × canadensis* (Moench) clones, 'Dorskamp' and 'Luisa Avanzo'. *Tree Physiology J.* 23: 1225-1235.
20. Modir-Rahmati, A.R., Ghasemi, R., Calagary, M., and Baghery, R. 2014. Study of adaptability and growth of different Poplar and Paulownia clones in the mountainous region of northern Iran (Rostam-Abad, Guilan province). *Iranian J. of Forest and Poplar Research.* 22: 4. 738-748. (In Persian)
21. Mokhtari, J., and Modir-Rahmati, A.R. 2006. Determination of suitable poplar clones in short rotation system in Chamestan. *Iranian J. of Forest and Poplar Research.* 14: 2. 135-147. (In Persian)
22. Naderi, M.R., and Danesh Shahraki, A. 2013. Na nofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *Agriculture and Crop Sciences International J.* 19: 2222-2232.
23. Naghipoor, S., Ali-Arab, A.R., and Sadati, S.E. 2019. Effects of soil moisture content and urea fertilizer on survival, growth and some physiological attributes of Mediterranean cypress seedling. *J. of Forest and Wood Products.* 71: 4. 315-324. (In Persian)
24. Polite, E., Karuca, M., Demire, H., and Onus, N. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Fruit and Ornamental Plant Research J.* 12: 183-189.
25. Rennenberg, H., Loreto, L., Polle, A., Brill, F., Fares, S., Beniwal, R.S., and Gessler, A. 2006. Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant Biology J.* 8: 556-571.
26. Rezai, A. 2002. Concepts of probability and statistics. Mashhad Press. 444p. (In Persian)
27. Rood, S.B., Braatne, J.H., and Hughes, F.M.R. 2003. Ecophysiology of riparian cottonwoods: stream flow dependency, water relations and restoration. *Tree Physiology J.* 23: 1113-1124.
28. Rooki, M., Tabari Kouchaksaraei, M., and Sadati, S.E. 2019. The Role of rhizobacteria *Pseudomonas fluorescens* in improving morphological traits of *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* seedling under water deficit. *J. of Forest and Wood Products.* 72: 3. 205-213. (In Persian)
29. Sadati, S.E., Ahangari, M., and Jafarzadeh, H. 2014. Physiological and morphological response of *P. alba* under dehydrated soil conditions. 13th Iranian Soil Science Congress. Ahvaz, 28-30 Jan. 2014: 110-114. (In Persian)
30. Sadati, S.E., and Tabari Kouchaksaraei, M. 2018. Response of survival, growth and some morpho-physiological and biochemical characteristics of *Populus caspica* Bornm, Seedling to Salinity. *J. of Forest and Wood Products.* 71: 2. 95-104.
31. Sadati, S.E., Mokhtari, J. and Asadi, F. 2019. Study of drought tolerant of one-yaer- old seedlings 5 clones of *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. *Iranian J. of Forest and Poplar Research.* 27: 4. 365-376. (In Persian)
32. Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., and papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America J.* 50: 1031-1036.
33. Sharifan, H., Mokhtari, P., and Hezarjaribi, A. 2013. The effect of super absorbent A200 on the infiltration parameters Kostikov-Lewis equation in furrow irrigation. *J. of Water and Soil.* 27: 1. 205-212. (In Persian)
34. Tavakoli, A., Pourreza, M., and Khodakarami, Y. 2011. Preliminary investigation on possibility of rooting of Manna oak (*Quercus brantii* Lindl.) by layering in Zagros forests. *Iranian J. of Forest and Poplar Research.* 19: 3. 432-440. (In Persian)
35. Yang, F., Xu, X., Xio, X., and Li, C. 2009. Responses to drought stress in two poplar species originating from different altitudes. *Biologia Plantarum J.* 53: 3. 511-516.
36. Yousefian, M., Jafari, M., Tavili, A., Arzani, H., and Jafarian, Z. 2018. The effects of superabsorbent polymer on *Atriplex lentiformis* growth and soil characteristics under drought stress (Case study: Desert research station, Semnan, Iran). *Rangeland Science J.* 8: 1. 65-76.



Effects of nanozeolite on some characteristics of *P. euramericana triplo* seedling under watering regimes

*S.E. Sadati¹, J. Mokhtari², M. Yousefian¹ and F. Asadi³

¹Assistant Prof., Forests and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran,

²Senior Research Expert, Forests and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran,

³Associate Prof., Forests and Rangelands Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

Received: 04.11.2020; Accepted: 04.27.2020

Abstract

Background and Objectives: *Populus euramericana triplo* is one of the most important tree species for wood production in north of Iran. Regarding the climate change and limitation of water resources, the seedling production and establishment of this species has become problematic particularly in some areas including east of Mazandaran and Golestan region under dryland farming conditions. This study was conducted to identify drought tolerant of *Populus euramericana triplo* seedlings under water stress using nanozeolite in rhizosphere soil, for the first time, in different watering regimes to find the best method and technique for production of seedling in nurseries and successful wood production. The aim of this investigation was the growth evaluation of one of the poplar clone in water stress conditions.

Materials and Methods: In this study, 180 seedlings of hybrid clone of *Populus euramericana triplo* of the same size were used for experiment of applying nanozeolite treatment under drought stress (four watering regimes). The experiment was conducted with two treatments (nanozeolite including, 0, 1% and 5% w/w) (0, 10, 50 g/kg soil) and different watering levels (3, 6, 9 and 12 days) nearly three months in growing season in Ghaemshahr Horticultural Research Station in green house so that the survival rate, growth and some morphological traits were investigated. Therefore the experiment was conducted as a factorial, using a randomized complete block design in green house condition with three replication.

Results: The results of this study showed that triplo clone seedlings under drought treatment suffered from significant water loss and displayed decline in growth. So that increasing the watering period (water stress) caused significantly decrease in the survival, diameter growth, height growth, morphological characteristics including leaf number, leaf area, leaf biomass, shoot biomass, root biomass, root length, root volume and total chlorophyll content. While, the mentioned growth parameters were greater in seedlings inoculated with adding 1% nanozeolite (10 g/kg soil), compared to control seedlings and it was the best effect on drought tolerance so that this increase for the seedlings in severe water stress (12 days of irrigation interval) for properties such as height growth, leaf number, leaf area, leaf dry biomass, shoot dry biomass and root dry biomass was 50, 54, 155, 188, 40 and 47%, respectively.

*Corresponding author: sadati10@yahoo.com

Conclusion: In this study it can be concluded that *Populous euramericana triplo* species is rather drought tolerant and the addition of 1% nanozeolite is suitable to decrease the effects of water stress on seedlings and to improve growth. Survival rate of seedlings were up to 80% in watering intervals of 9 and 12 days. Therefore irrigations interval seems to be appropriate for seedling production of this hybrid clone in nurseries and its establishment in the field. Moreover, for initial establishment of seedlings and to enhance the tolerance of the seedlings in drought conditions (watering regimes) the nanozeolite application (1% w/w) is recommended.

Keywords: Watering regimes, Seedling biomass, *Populous euramericana triplo*, Nanozeolite, Chlorophyll content

