

## تأثیر سیلیکون درشت‌دانه و نانوذره بر افزایش مقاومت به خشکی در نونهال‌های دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv.)

شادی تشکری<sup>۱</sup>، نسرین سیدی<sup>۲\*</sup>، عباس بانج شفیعی<sup>۳</sup> و ناصر عباس پور<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران. پست الکترونیک: n.seyedi@urmia.ac.ir

۳- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

### چکیده

سیلیکون در افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، نقش بسزایی دارد. در پژوهش پیش‌رو، تأثیر سیلیکون در شرایط تنش خشکی بر نونهال‌های دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv.) بررسی شد. نونهال‌ها از نهالستان جنگلی اداره منابع طبیعی شهرستان میوان به دانشگاه ارومیه منتقل شدند. سپس، آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. نونهال‌ها در ابتدا با دی‌اکسیدسیلیکون در دو نوع درشت‌دانه و نانوذره به صورت پیش‌تیمار با غلظت‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و برابر با ظرفیت زراعی به مدت ۳۰ روز آبیاری شدند. سپس، تنش خشکی در سه سطح شامل قطع آبیاری (تنش شدید)، آبیاری براساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و آبیاری براساس ظرفیت زراعی (شاهد) بر نونهال‌های پیش‌تیمار شده به مدت ۲۱ روز اجرا شد. نتایج نشان داد که اثرات مستقل نوع سیلیکون بر سیلیس، تنش خشکی بر پرولین و غلظت سیلیکون بر مقدار پرولین و سیلیس نونهال‌ها معنی‌دار بودند، اما معنی‌داری اثرات متقابل تنش خشکی با نوع سیلیکون و نیز تنش خشکی با غلظت سیلیکون فقط بر مقدار پرولین تأیید شد. هیچ‌یک از اثرات مستقل و متقابل عوامل مورد بررسی بر پارامترهای رویشی و مقدار هیدرات‌های کربن معنی‌دار نبودند. اعمال تیمار سیلیکون فقط در شرایط تنش شدید خشکی، تأثیر معنی‌داری بر کاهش مقدار پرولین داشت، اما تفاوت معنی‌داری از نظر استفاده از سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره مشاهده نشد. البته جذب سیلیس در حالت نانوذره بیشتر بود. به‌طورکلی در شرایط تنش شدید خشکی، اعمال سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر توانست تحمل نونهال‌های دارمازو را در برابر تنش خشکی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش، سیلیس، هیدرات کربن.

### مقدمه

بهره‌برداری شدید از این جنگل‌ها و آسیب‌های مختلف در طی مدت طولانی به کاهش سطح اراضی جنگلی در بخش‌هایی از آن و سیر قهقراپی در قسمت‌های دیگر منجر شده است (Sagheb Talebi et al., 2014). در این میان،

جنگل‌های زاگرس حدود ۴۰ درصد از سطح کل جنگل جنگل‌های کشور را به خود اختصاص داده و نقش مهمی در تأمین آب، تعدیل آب‌وهوا و حفاظت آب‌و خاک ایفا می‌کنند.

منجر به افزایش میزان پرولین و قندهای محلول در اکالیپتوس (*Eucalyptus occidentalis*) شد (Shariat *et al.*, 2010). بی‌شک درک سازوکار گیاهان در مقابل تنش خشکی، اهمیت فراوانی دارد، اما دستیابی به روش‌هایی که بتوانند مقاومت گیاهان به این تنش را افزایش دهند، مهم‌تر است (Sacala, 2009). امروزه تأثیر مثبت سیلیکون بر مقاومت گیاه در برابر تنش‌های متعدد مانند خشکی، شوری، سرما و سمیت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی به اثبات رسیده است، بنابراین کاربرد آن برای افزایش سازگاری گیاهان نسبت به تنش‌های زنده و غیرزنده در حال گسترش است (Liang *et al.*, 2005). سیلیکون به عنصر سیلیس گفته می‌شود. منظور از سیلیکا نیز ترکیبی است که در آن هر مولکول سیلیکون از نظر شیمیایی به دو مولکول اکسیژن محدود شده باشد (دی‌اکسید سیلیکون:  $\text{SiO}_2$ ). در محلول خاک، سیلیکون بیشتر به صورت اسیدسیلیسیک ( $\text{Si(OH)}_4$ ) و در گیاه بیشتر به صورت دی‌اکسید سیلیکون یافت می‌شود (Epstein, 1994). کمبود سیلیکون در گیاه در برخی مواقع سبب عدم تعادل در جذب عناصر دیگر شده و در نهایت، کاهش رشد گیاه و یا حتی مرگ را در پی دارد (Rafi & Epstein, 1999). سیلیکون به‌عنوان یک مانع فیزیکی - مکانیکی با رسوب روی دیواره‌های اپیدرمی و بافت‌های آوندی در ساقه، غلاف برگ و پوست قرار گرفته و باعث سفتی، سختی و زبری دیواره سلول‌های گیاهی می‌شود، بنابراین این ماده با نگهداری آب، رطوبت گیاه را حفظ کرده و باعث می‌شود که گیاه کمتر در شرایط کم‌آبی قرار بگیرد (Bao-shan *et al.*, 2004). سیلیکون علاوه بر اثرات مکانیکی که در افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش نقش دارد، با تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌تواند از سلول‌های گیاهی در برابر خسارت‌های ناشی از تنش‌های اکسیدکننده نیز محافظت کند، زیرا سیلیکون باعث تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی و افزایش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Balakhnina & Borkowska, 2013). اعمال سیلیکون بر گیاه هم در شرایط نرمال و هم تحت

توجه جدی به احیای مناطق تخریب‌شده و یا حتی غنی‌سازی این جنگل‌ها، یکی از راهکارهای مقابله با تخریب کمی و کیفی به‌شمار می‌آید. ازجمله پایدارترین و مناسب‌ترین روش‌ها به‌منظور احیا و غنی‌سازی این ناحیه رویشی می‌توان به استفاده از گونه‌های بومی و چندمنظوره اشاره کرد، اما برخی شرایط محدودکننده محیطی و غیرمحیطی ممکن است سبب عدم موفقیت این روش شوند.

در بین عوامل بازدارنده محیطی، خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش تولید گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است (Ludlow & Muchow, 1990). تنش خشکی نسبت به تنش‌های دیگر به‌عنوان مخرب‌ترین تنش محیط‌زیستی در زاگرس به‌شمار می‌آید که موجب کاهش رشد گیاهان می‌شود (Nazari *et al.*, 2013). در طی تنش خشکی، گیاهان باید با جذب و حفظ محتوای آبی اندک بتوانند به زندگی خود ادامه دهند. برای سازش با این شرایط، فرایندهایی در گیاه با مصرف انرژی انجام می‌شود که الگوی رشد و محتوای بیوشیمیایی گیاهان را تغییر می‌دهد، بنابراین گیاه به‌منظور ادامه جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی ازجمله کربوهیدرات‌های محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد تا تنظیم اسمزی انجام شود (Nayyar & Walia, 2003). در واقع، در شرایط تنش، نگهداری فشار آماس سلول‌ها به‌وسیله تنظیم اسمزی حاصل از تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در سیتوپلاسم انجام می‌شود (Nayyar & Walia, 2003). تجمع پرولین، اولین پاسخ به تنش خشکی به‌منظور کاهش خسارت به سلول است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی با مقاومت در شرایط تنش ارتباط دارد. به‌طور کلی، غلظت پرولین در گیاهان مقاوم نسبت به گیاهان حساس بیشتر است. این ماده در حفظ و پایداری ساختارهای زیرسلولی و حذف رادیکال‌های آزاد نقش دارد (Ashraf & Foolad, 2007). به‌عنوان مثال، گزارش شده است که تنش خشکی باعث تغییر معنی‌دار پرولین در افاقیا (*Robinia pseudoacacia* L.) می‌شود (Norouzi Haroni & Tabari Koochksaraee, 2015; Kordrostami *et al.*, 2017). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که افزایش کادمیوم،

در شرایط تنش، کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Mateos-Naranjo *et al.*, 2013). در این زمینه، نتایج دو پژوهش نشان داد که در نهال‌های زالک (*Crataegus aronia L.*) و گلابی وحشی (*Pyrus boissieriana Buhse.*) که تحت پیش‌تیمار نانوسیلیکون قرار گرفته بودند، مقدار هیدرات‌کربن و پرولین تحت تنش خشکی افزایش نیافت (Ashkavand *et al.*, 2015; Zarafshar *et al.*, 2018). در واقع، نانوذرات سیلیکون با نگهداری آب باعث می‌شوند که با وجود شرایط کم‌آبی، گیاه آن را احساس نکرده و ناچار به افزایش میزان پرولین و هیدرات‌کربن نباشد (Ashkavand *et al.*, 2015; Zarafshar *et al.*, 2018).

دارمازو (*Quercus infectoria Oliv.*) یکی از سه گونه اصلی بلوط در جنگل‌های زاگرس شمالی است که در خاک‌های با آهک کمتر، غنی و عمیق به‌فراوانی یافت می‌شود (Sagheb Talebi *et al.*, 2014). در پژوهش پیش‌رو، تأثیر سیلیکون به‌صورت درشت‌دانه و نانوذره در غلظت‌های مختلف بر افزایش مقاومت به خشکی نونهال‌های دارمازو بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

نونهال‌ها در اوایل فصل رویش از نهالستان جنگلی اداره منابع طبیعی شهرستان مریوان برای انجام آزمایش به دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. ابتدا آبیاری نونهال‌ها به‌مدت چند روز مطابق مدیریت رایج نهالستان انجام شد. سپس، آن‌ها از گلدان‌های پلاستیکی خارج شده و در گلدان‌های شش لیتری بازکاشت شدند. پس از گذشت ۲۰ روز از بازکاشت نونهال‌ها، نمونه‌ها برای اجرای آزمایش آماده شدند.

تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش در دو مرحله جداگانه اعمال شد. در مرحله اول برای ارزیابی اثرات سیلیکون در دو مقیاس درشت‌دانه و نانوذره بر گیاه از روش کوددهی به‌همراه آبیاری استفاده شد. به‌این‌ترتیب، سوسپانسیون‌هایی با غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر (Ashkavand *et al.*, 2015) از هر ماده

استرس می‌تواند رشد گیاه را بهبود ببخشد، اما میزان این تأثیر برحسب غلظت‌های مختلف سیلیکون و نوع گونه متفاوت است (Parveen & Ashraf, 2010). به‌طور کلی، سیلیکون می‌تواند باعث بهبود کیفیت و تولید محصول، کاهش تبخیر و تعرق، افزایش تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش حساسیت به برخی از قارچ‌ها شود (Tavakol Norabadi *et al.*, 2014). هنگامی که گیاه در معرض استرس‌های محیطی و غیرمحیطی قرار می‌گیرد، سیلیکون می‌تواند فرایندهای متابولیک، فیزیولوژیک و حتی ساختاری گیاه را تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین به‌نظر می‌رسد زمانی که یک گیاه از این عنصر سودمند برخوردار باشد، در مقابل تنش‌های محیطی و غیرمحیطی تا حدودی مقاومت بیشتری نشان می‌دهد (Shen *et al.*, 2010). به‌رغم فراوان بودن سیلیکون در سطح کره زمین، به‌دلیل همراه بودن با عناصر دیگر، این عنصر از دسترس گیاه خارج است. در واقع، یکی از راهکارهای کاهش اثرات زیان‌بار تنش‌های غیرزیستی، استفاده از روش‌های تغذیه معدنی از جمله سیلیکون است. گیاهانی که در خاک‌های با سیلیکون کم رشد می‌کنند، به‌طور معمول از نظر ساختاری و رشد در حالت غیرنرمال هستند (Rafi & Epstein, 1999).

برخی پژوهشگران معتقدند که استفاده از کودهای گیاهی و عناصر غذایی به‌صورت نانو به‌جذب آسان‌تر آن‌ها توسط گیاه کمک می‌کند (Braunack, 1995). ذرات نانو به ذرات اولیه‌ای گفته می‌شود که ابعاد آن‌ها کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند. اندازه کوچک این مواد باعث می‌شود که از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، خصوصیات ویژه و جدیدی را از خود نشان دهند و فرایندها و اثرات متفاوتی نسبت به ذرات درشت‌دانه ایجاد کنند (Monica & Cremonini, 2009). این تفاوت از زیاد بودن نسبت سطح به حجم ناشی می‌شود، زیرا بخش واکنش‌پذیر یک ذره در سطح آن قرار گرفته است، بنابراین افزایش نسبی سطح باعث افزایش واکنش‌پذیری آن ماده خواهد شد (Ju-Nam & Lead, 2008).

بررسی سابقه پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه به گیاهان زراعی مانند برنج، گندم و جو معطوف شده است، به‌طوری‌که استفاده از سیلیکون در گیاهان خودرو به‌ویژه

(نوع سیلیکون × غلظت سیلیکون × تنش خشکی) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در هر تکرار سه پایه اعمال شد، به طوری که برای هر یک از سطوح سیلیکون، نانوذرات سیلیکون و تیمار کنترل، سه سطح تنش خشکی شامل تنش شدید (قطع آبیاری)، متوسط (آبیاری به اندازه ۵۰ درصد ظرفیت زراعی هر سه روز یک‌بار) و شاهد (آبیاری به اندازه ظرفیت زراعی هر سه روز یک‌بار) در نظر گرفته شد.

برابر با ظرفیت زراعی به صورت پیش‌تیمار و به مدت ۳۰ روز بر نونهال‌ها اعمال شد. در این مرحله، به جز غلظت صفر که در واقع بدون سیلیکون بود، تیمار کنترل (بدون سیلیکون) نیز به طور جداگانه در نظر گرفته شد. در مرحله دوم آزمایش، تنش خشکی بر تعدادی از نونهال‌های پیش‌تیمار شده با سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره و نیز تیمار کنترل در قالب طرح فاکتوریل سه‌عامله

جدول ۱- سطوح مختلف تیمارهای مورد استفاده در آزمایش

مرحله اول آزمایش: سطوح تیمارها و غلظت‌ها	مرحله دوم آزمایش: سطوح تنش خشکی
شاهد (بدون سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره)	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
۵۰ میلی‌گرم در لیتر	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
سیلیکون درشت‌دانه	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
سیلیکون نانوسیلیکون	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
۵۰ میلی‌گرم در لیتر	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	بدون تنش
	تنش متوسط
	تنش شدید

سیلیکون درشت‌دانه از شرکت مهندسی آزمون تجهیز مهرگان اصفهان و سیلیکون نانوذره از شرکت پیشگامان نانومواد مشهد خریداری شد. مشخصات نانوذرات مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

باتوجه به تیمار خشکی شدید و شروع علایم پپچش، پژمردگی و ریزش برگ‌ها، مدت اعمال تنش خشکی ۲۱ روز بود. سطوح هریک از عوامل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات نانوسیلیکون مورد استفاده در آزمایش

ساختمان نانو	نانوذرات سیلیکون
فرمول شیمیایی	SiO <sub>2</sub>
رنگ	سفید
ریخت‌شناسی	کروی
متوسط اندازه ذرات (نانومتر)	۱۱ تا ۱۳
درصد خلوص	۹۹

#### شاخص‌های مورد بررسی

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی در انتهای دوره تنش، نمونه‌های برگ از یک پنجم بالایی نونهال‌ها جدا شده و در آزمایشگاه محتوای پرولین آزاد در نمونه‌های برگ بر طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل PD-303 UV، شرکت Apel، ژاپن) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. همچنین، با استفاده از دستگاه مذکور در طول موج ۴۸۵ نانومتر، اندازه‌گیری قند بر اساس روش Dubois و همکاران (۱۹۵۶) انجام شد. درصد سیلیس برگ با استفاده از روش Yoshida و Hoshii (۱۹۸۰) سنجیده شد. همچنین، قطر یقه با استفاده از کولیس تا دقت یک‌دهم میلی‌متر و ارتفاع نونهال‌ها با استفاده از خط‌کش تا دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، اندازه‌گیری وزن خشک برگ‌ها و ساقه هریک از نونهال‌ها با ترازوی دیجیتالی (تا دقت ۰/۰۰۱ گرم) انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 انجام شد. برای بررسی اثر عوامل مورد مطالعه و برهم‌کنش آن‌ها بر متغیرهای مختلف از تجزیه واریانس

سه‌طرفه و برای مقایسات میانگین از آزمون دانکن استفاده شد.

#### نتایج

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که هیچ‌کدام از تیمارهای مورد بررسی، اثرات مستقل یا متقابل معنی‌داری بر صفات رویشی نونهال‌ها نداشتند (جدول ۳). اثرات مستقل غلظت‌های مختلف سیلیکون و سطوح مختلف تنش خشکی و اثرات متقابل نوع سیلیکون با تنش خشکی و نیز غلظت سیلیکون با تنش خشکی بر میزان پرولین معنی‌دار بودند. همچنین، معنی‌داری اثرات مستقل نوع و غلظت سیلیکون بر سیلیس برگ در سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد، اما هیچ‌یک از اثرات مستقل و متقابل تیمارهای مورد بررسی بر هیدرات‌های کربن معنی‌دار نبود (جدول ۴).

نتایج آزمون دانکن نشان داد که مقدار سیلیس برگ در تیمار نانوسیلیکون به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار سیلیکون درشت‌دانه بود، در حالی‌که کمترین مقدار آن در تیمار کنترل مشاهده شد (شکل ۱). همچنین، مقدار سیلیس برگ نونهال‌های دارمازو با زیاد شدن غلظت

سیلیکون افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار این ماده در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد (شکل ۲).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات مستقل و متقابل نوع سیلیکون، غلظت آن و تنش خشکی بر صفات رویشی

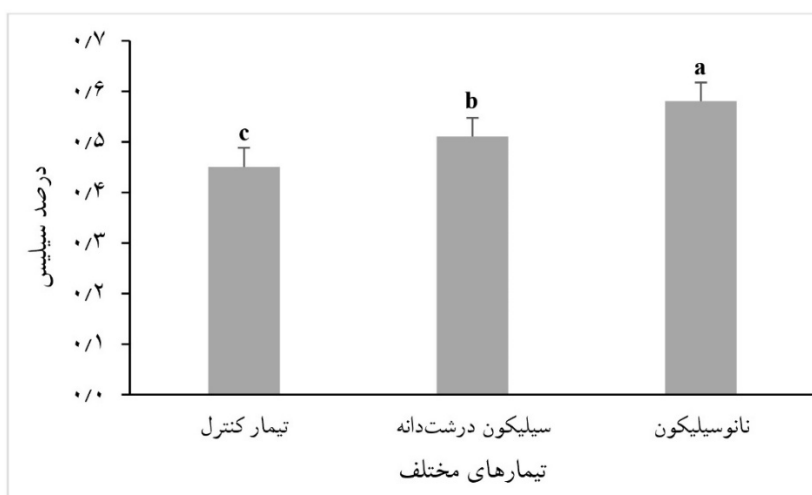
میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	ارتفاع	قطر یقه		
۱/۵۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۵۲ <sup>ns</sup>	۱۹/۴۵۶ <sup>ns</sup>	۲/۳۶۷ <sup>ns</sup>	۲	نوع سیلیکون
۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۲۸۱ <sup>ns</sup>	۱/۳۴۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۴ <sup>ns</sup>	۳	غلظت سیلیکون
۰/۰۳۳ <sup>ns</sup>	۱/۴۵۳ <sup>ns</sup>	۲۱/۲۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۶۸۱ <sup>ns</sup>	۲	تنش خشکی
۱/۱۷۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۵ <sup>ns</sup>	۲۰/۳۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۱۱ <sup>ns</sup>	۶	نوع سیلیکون × غلظت سیلیکون
۰/۳۴۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۱ <sup>ns</sup>	۲۵/۳۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۵۸۴ <sup>ns</sup>	۴	نوع سیلیکون × تنش خشکی
۰/۸۴۱ <sup>ns</sup>	۰/۳۶۲ <sup>ns</sup>	۵۲/۹۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۶۹۴ <sup>ns</sup>	۶	غلظت سیلیکون × تنش خشکی
۰/۱۷۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۸۷ <sup>ns</sup>	۶/۲۷۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۸۹ <sup>ns</sup>	۱۲	نوع سیلیکون × غلظت سیلیکون × تنش خشکی
۱/۵۸۳	۱/۰۳۳	۷۷/۴۸۸	۱/۹۷۸	۲۸	خطا

<sup>ns</sup> غیر معنی‌دار

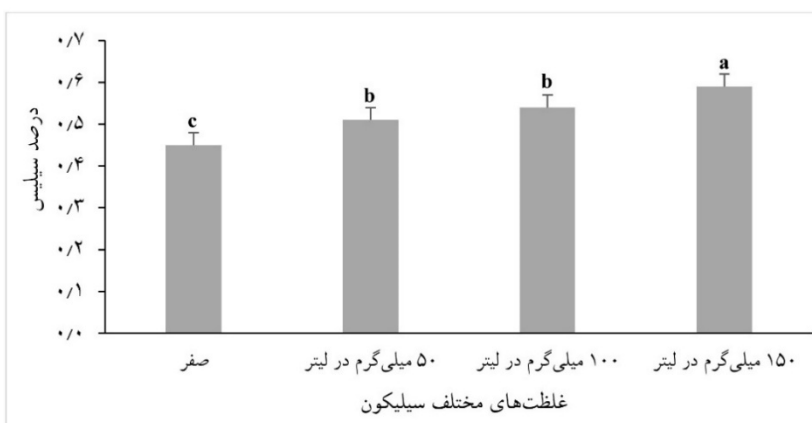
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرات مستقل و متقابل نوع سیلیکون، غلظت آن و تنش خشکی بر پارامترهای بیوشیمیایی

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
سیلیس	هیدرات‌کربن	پرولین		
۰/۰۳۸ <sup>**</sup>	۳۲/۶۵۳ <sup>ns</sup>	۱/۱۱۵ <sup>ns</sup>	۲	نوع سیلیکون
۰/۰۱۸ <sup>**</sup>	۳۸/۵۰۳ <sup>ns</sup>	۲۷/۰۹۴ <sup>*</sup>	۳	غلظت سیلیکون
۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۳۹/۶۳۸ <sup>ns</sup>	۳۵۴/۶۰۳ <sup>**</sup>	۲	تنش خشکی
۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۱/۴۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۳۵۱ <sup>ns</sup>	۶	نوع سیلیکون × غلظت سیلیکون
۰ <sup>ns</sup>	۱۱/۸۴۳ <sup>ns</sup>	۲۴/۳۶۱ <sup>*</sup>	۴	نوع سیلیکون × تنش خشکی
۰ <sup>ns</sup>	۳۶/۶۷۹ <sup>ns</sup>	۲۲/۴۵۲ <sup>*</sup>	۶	غلظت سیلیکون × تنش خشکی
۰ <sup>ns</sup>	۴/۲۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۴۷۶ <sup>ns</sup>	۱۲	نوع سیلیکون × غلظت سیلیکون × تنش خشکی
۰/۰۰۳	۶۲/۴۰۹	۸/۸۰۱	۲۸	خطا

<sup>\*\*</sup> معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ <sup>\*</sup> معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار



شکل ۱- مقایسه میانگین ( $\pm$  اشتباه معیار) مقدار سیلیس برگ نونهال‌های دارمازو در تیمارهای مختلف نوع سیلیکون با استفاده از آزمون دانکن. حروف انگلیسی غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.



شکل ۲- مقایسه میانگین ( $\pm$  اشتباه معیار) مقدار سیلیس برگ نونهال‌های دارمازو در غلظت‌های مختلف سیلیکون با استفاده از آزمون دانکن. حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

شرایط بدون تنش و تنش متوسط، اثر غلظت‌های مختلف سیلیکون بر مقدار پرولین معنی‌دار نبود. در شرایط تنش شدید خشکی، کمترین مقدار پرولین در غلظت ۵۰ میلی‌گرم سیلیکون در لیتر به دست آمد که به طور معنی‌داری با مقدار پرولین در غلظت‌های صفر و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت داشت، اما اختلاف معنی‌داری با مقدار پرولین در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم سیلیکون در لیتر نشان نداد (جدول ۶).

نتایج آزمون دانکن برای اثرات متقابل تنش خشکی و نوع سیلیکون نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در شرایط تنش شدید خشکی و تیمار شاهد به دست آمد. اثر تنش شدید خشکی زمانی که با تیمارهای سیلیکون همراه بود، به مقدار کمتری باعث افزایش پرولین شد (جدول ۵).

نتایج آزمون دانکن براساس اثرات متقابل تنش خشکی و غلظت سیلیکون نشان داد که بیشترین مقدار پرولین مربوط به شرایط تنش شدید خشکی و بدون سیلیکون بود. در

جدول ۵- میانگین  $\pm$  اشتباه‌معیار پرولین براساس اثرات متقابل تنش خشکی  $\times$  نوع سیلیکون

پرولین (mg/g)	تیمار	سطح تنش خشکی
$0.83 \pm 0.05^d$	شاهد	بدون تنش
$2 \pm 0.27^{cd}$	سیلیکون درشت‌دانه	
$1.42 \pm 0.18^d$	نانوسیلیکون	
$3.31 \pm 0.17^{cd}$	شاهد	متوسط
$2.72 \pm 0.36^{cd}$	سیلیکون درشت‌دانه	
$2.01 \pm 0.26^{cd}$	نانوسیلیکون	
$14.95 \pm 2.1^a$	شاهد	شدید
$5.41 \pm 0.99^{bc}$	سیلیکون درشت‌دانه	
$7.44 \pm 1.66^b$	نانوسیلیکون	

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

جدول ۶- میانگین  $\pm$  اشتباه‌معیار پرولین براساس اثرات متقابل تنش خشکی  $\times$  غلظت سیلیکون

پرولین (mg/g)	غلظت سیلیکون	سطح تنش خشکی
$0.83 \pm 0.05^d$	صفر	بدون تنش
$1.97 \pm 0.48^d$	۵۰ میلی‌گرم در لیتر	
$1.4 \pm 0.05^d$	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	
$1.77 \pm 0.2^d$	۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	متوسط
$3.31 \pm 0.17^{cd}$	صفر	
$2.24 \pm 0.39^{cd}$	۵۰ میلی‌گرم در لیتر	
$2.6 \pm 0.51^{cd}$	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	شدید
$2.26 \pm 0.35^{cd}$	۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	
$14.95 \pm 1.81^a$	صفر	
$4.08 \pm 0.79^{cd}$	۵۰ میلی‌گرم در لیتر	شدید
$5.44 \pm 0.36^c$	۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	
$9.76 \pm 1.21^b$	۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	

حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

## بحث

سیلیس در برگ نونهال‌های تقویت‌شده با سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره مشخص شد که نه تنها مقدار سیلیس در نونهال‌های شاهد کم بود (کمتر از ۰/۵ درصد وزن برگ)، بلکه حتی با در اختیار قرار دادن کود سیلیکون، مقدار جذب این

به‌طور کلی، گیاهان قادرند بین یک تا ۱۰ درصد زی‌توده خشک خود را به سیلیس اختصاص دهند (Richmon & Sussman, 2003). در پژوهش پیش‌رو، پس از آنالیز عنصر



گیاهان سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف محیطی می‌شود. تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش باعث کاهش خسارت در غشای سلولی و پروتئین‌ها می‌شود (Farooq *et al.*, 2012). در شرایط تنش، گلوتامات که پیش‌ساز سنتز کلروفیل و پرولین است، به‌سمت تولید پرولین پیش می‌رود. به‌طور کلی، هنگامی که گیاهان تحت تأثیر خشکی و عوامل دیگری قرار می‌گیرند که باعث کاهش پتانسیل آب شیره سلولی می‌شوند، باید غلظت اسمولیت‌های خود را افزایش دهند تا جذب آب تحت شرایط تنش ادامه پیدا کند. در واقع، باید تنظیم اسمزی انجام شود.

نتایج پژوهش پیش‌رو حاکی از آن بود که مقدار پرولین در نونهال‌های دارمازو با اعمال تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد افزایش این پارامتر به‌عنوان تعدیل اسمزی در این گیاه رخ می‌دهد. همچنین، بیشترین مقدار این پارامتر در نونهال‌هایی وجود داشت که بیش‌تیمارهای سیلیکون در آن‌ها اعمال نشده بود. اثرات متقابل نوع سیلیکون با تنش خشکی و نیز غلظت سیلیکون با تنش خشکی حاکی از آن بود که سیلیکون در شرایط بدون تنش و تنش متوسط، تأثیر معنی‌داری بر مقدار پرولین نداشت. این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین مبنی بر عدم تأثیر سیلیکون در شرایط مطلوب مطابقت دارد (Hanafy Ahmed *et al.*, 2008). در تنش شدید خشکی، اثر سیلیکون بر مقدار پرولین معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در تیمارهای سیلیکون، مقدار پرولین افزایش چندانی نداشت. در واقع، سیلیکون با حفظ حداقل مقدار آب از طریق جذب و نگهداری آن در تنش شدید خشکی، مقدار تجمع پرولین را در نونهال‌های بلوط دارمازو کاهش داد. در نتیجه، با وجود شرایط کم‌آبی، گیاه آن را احساس نکرده و ناچار به افزایش پرولین نمی‌شود. به‌عبارت دیگر، با اعمال سیلیکون، گیاه کمتر دچار تنش کم‌آبی شده و پرولین افزایش نمی‌یابد. گزارش شده است که تحت تنش خشکی در گونه‌های زالزالک و گلایی وحشی نیز تیمار سیلیکون به افزایش پرولین منجر نشد (Ashkavand *et al.*, 2015; Zarafshar *et al.*, 2018). در پژوهش پیش‌رو، سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره باعث جذب بیشتر سیلیس در برگ شدند. همچنین، تأثیر نانوذرات به‌واسطه سطح ویژه

عنصر توسط نونهال‌های مورد مطالعه بسیار ضعیف بود، به‌طوری‌که در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم سیلیکون در لیتر فقط ۰/۶ درصد وزن برگ نونهال‌ها به این عنصر اختصاص داشت. بیشتر گیاهان از جمله دولپه‌ای‌ها، توانایی ذخیره سیلیکون با غلظت زیاد را در بافت‌های هوایی خود ندارند (Ma *et al.*, 2004). نتایج پژوهش Ashkavand و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که نونهال‌های زالزالک می‌توانند حدود چهار درصد سیلیس را در برگ خود ذخیره کنند. از سوی دیگر، براساس یافته‌های پژوهش Zarafshar و همکاران (۲۰۱۵)، میزان جذب سیلیس در نونهال‌های گلایی وحشی حدود ۱۵ درصد وزن خشک برگ است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توانایی گونه دارمازو در جذب سیلیس بسیار ضعیف است.

طبق نظر Braunack (۱۹۹۵)، قدرت جذب عناصر غذایی به‌صورت نانوذرات آسان‌تر و بیشتر می‌شود. در راستای تأیید این نظر، نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که میزان جذب نانوذرات سیلیکون در مقایسه با سیلیکون درشت‌دانه کمی بیشتر است. در صورتی که یک گیاه بتواند سیلیکون زیادی را جذب کند، از مزیت‌های فراوان آن بهره خواهد برد. بدون شک این موضوع با توانایی جذب توسط ریشه گیاه مرتبط است (Ma *et al.*, 2004). سیلیکون توسط ریشه‌های جانبی و موئین جذب شده و در ادامه از طریق ساقه به برگ انتقال می‌یابد. در صورتی که به‌جای ذرات ماکرو و میکرو از نانوذرات استفاده شود، جذب و انتقال نانو سیلیکون افزایش می‌یابد، بنابراین سیلیکون به مقدار بیشتری در برگ انباشته می‌شود (Suriyaprabha *et al.*, 2012). یافته‌های Navarro و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که برخی از نانوذرات می‌توانند به‌واسطه سطح ویژه زیاد، مواد مغذی را به سطح خود چسبانده و با جذب بیشتر آن‌ها سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها شوند.

یکی از مهم‌ترین راهکارهای گیاهان در پاسخ به تنش خشکی، تجمع مواد محلول در داخل سلول تحت عنوان اسمولیت‌ها است که از جمله آن‌ها می‌توان به قندها، اسیدهای آمینه پرولین و بتائین اشاره کرد. پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، مواد تنظیم‌کننده اسمزی هستند که مقدار زیاد آن‌ها در

سطح آبیاری بود. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش شدید خشکی، اعمال تیمار سیلیکون هم به‌صورت درشت‌دانه و هم به‌صورت نانوذره با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند مقاومت دارمازو را در شرایط کم‌آبی افزایش داده و اثرات مخرب خشکی بر آن را کاهش دهد.

### منابع مورد استفاده

- Ashkavand, P., Tabari, M., Zarafshar, M., Tomášková, I. and Struve, D., 2015. Effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles on drought resistance in hawthorn seedlings. *Forest Research Papers*, 76(4): 350-359.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 206-216.
- Balakhnina, T. and Borkowska, A., 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*, 27(2): 225-232.
- Bao-shan, L., Shao-qi, D., Chun-hui, L., Li-jun, F., Shu-chun, Q. and Min, Y., 2004. Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. *Journal of Forestry Research*, 15(2): 138-140.
- Bates, L., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Braunack, M.V., 1995. Effect of aggregate size and soil water content on emergence of soybean (*Glycine max*, L. Merr.) and maize (*Zea mays*, L.). *Soil and Tillage Research*, 33(3-4): 149-161.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3): 350-356.
- Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 11-17.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. and Siddique, K.H.M., 2012. Drought stress in plants: An overview: 1-33. In: Aroca, R. (Ed.). *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*. Berlin, Heidelberg, Springer, 466p.
- Hanafy Ahmed, A.H., Harb, E.M., Higazy, M.A. and Morgan, Sh.H., 2008. Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. *International Journal of Agricultural Research*, 3: 1-26.
- Ju-Nam, Y. and Lead, J.R., 2008. Manufactured

زیاد و جذب بیشتر توسط گیاه، مشهودتر از سیلیکون درشت‌دانه بود. در این پژوهش در ابتدا فرض شد که با افزایش غلظت سیلیکون، تأثیر آن بیشتر می‌شود، درحالی‌که بیشترین کاهش پرولین در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط تنش شدید خشکی مشاهده شد. البته واضح است که جذب سیلیس در غلظت‌های بیشتر سیلیکون و در حالت نانوذره بیشتر می‌شود، اما در مقاومت گیاه به خشکی تفاوتی نداشت. درکل، از این نظر، عملکرد غلظت ۵۰ میلی‌گرم سیلیکون در لیتر بهتر بود.

کاربرد سیلیکون ممکن است تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Bao-Shan *et al.*, 2004)، اما براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، پارامترهای رویشی تحت تأثیر استفاده از سیلیکون قرار نگرفتند. این یافته می‌تواند به‌دلیل کم بودن طول مدت تنش باشد. با توجه به اینکه این پژوهش در فضای باز انجام شد و شرایط اقلیمی محیط تحت کنترل نبود، احتمال اینکه دمای محیط و عوامل جوی دیگر بر نتایج آزمایش تأثیرگذار بوده باشد، وجود دارد. پژوهش پیش‌رو با اعمال سیلیکون جزء اولین پژوهش‌هایی است که در رابطه با گونه جنگلی دارمازو در ایران انجام شده است، بنابراین از نتایج آن می‌توان به‌عنوان مرجعی برای پیش‌بینی اثرات سیلیکون‌های درشت‌دانه و نانوذره بر گیاهان تحت تنش خشکی استفاده کرد. بی‌شک پژوهش‌های جامع‌تر درمورد استفاده از سیلیکون درشت‌دانه، نانوسیلیکون و یا نانوذرات دیگر در یک دوره زمانی طولانی‌تر می‌توانند نتایج دقیق‌تری ارائه داده و سازوکار درختان در پاسخ به نانوذرات در شرایط تنش‌های محیطی و غیرمحیطی را آشکار کنند. همچنین، انجام پژوهش‌های کامل‌تر برای درک سازوکار مولکولی به‌ویژه پاسخ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانسی پیشنهاد می‌شود.

براساس نتایج این پژوهش، مهم‌ترین شاخص در بین صفات مورد بررسی، مقدار پرولین برگ بود. این ماده می‌تواند به‌عنوان شاخص زودهنگام برای بررسی اثرات تنش خشکی و سیلیکون بر نهال‌های دارمازو استفاده شود. همچنین، در شرایط تنش شدید خشکی، اعمال سیلیکون باعث کاهش مقدار پرولین در برگ نهال‌ها شد. در نتیجه، اثر سیلیکون مانند افزایش

- growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pakistan Journal of Botany, 42(3): 1675-1684.
- Rafi, M.M. and Epstein, E., 1999. Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and Soil, 211: 223-230.
  - Richmond, K.E. and Sussman, M., 2003. Got Silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinion in Plant Biology, 6: 268-272.
  - Sacala, E., 2009. Role of silicon in plant resistance to water stress. Journal of Elementology, 14(3): 619-630.
  - Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, 152p.
  - Shariat, A., Assareh, M.H. and Ghamari-Zare, A., 2010. Effects of cadmium on some physiological characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Water and Soil Science, 14(53): 145-154 (In Persian).
  - Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E. and Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. Journal of Plant Physiology, 167(15): 1248-1252.
  - Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Rajendran, V. and Kannan, N., 2012. Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays* L.) seeds under hydroponic conditions. Current Nanoscience, 8(6): 902-908.
  - Tavakol Norabadi, M., Sahebani, N. and Etebarian, H.R., 2014. Management of tomato wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* with silicon and *Pseudomonas fluorescens* (CHAO) and assaying activity of phenylalanine ammonia lyase (PAL). Research in Plant Pathology, 2(3): 13-26 (In Persian).
  - Yoshida, M. and Hoshii, H., 1980. Nutritive value of spirulina, green algae, for poultry feed. Japanese Poultry Science, 17(1): 27-30.
  - Zarafshar, M., Akbari Nia, M., Hosaini, S.M., Sattarian, A. and Niyakan, M., 2018. The effects of TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles on wild pear seedlings under drought condition. Applied Biology, 31(2): 101-118 (In Persian).
  - Zarafshar, M., Akbarinia, M., Askari, H., Hosseini, S.M., Rahaie, M. and Struve, D., 2015. Toxicity assessment of SiO<sub>2</sub> nanoparticles to pear seedlings. International Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 11(1): 13-22.
  - nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. Science of the Total Environment, 400(1-3): 396-414.
  - Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P. and Khoshnevis, M., 2017. Physiological responses of *Robinia pseudoacacia* seedlings to drought stress. Forest and Wood Products, 70(3): 393-400 (In Persian).
  - Liang, Y., Wong, J.W.C. and Wei, L., 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere, 58(4): 475-483.
  - Ludlow, M.M. and Muchow, R.C., 1990. A critical evaluation of traits in proving crop yields in water-limited environments. Advances in Agronomy, 43: 107-153.
  - Ma, J.F., Mitani, N., Nagao, S., Konishi, S., Tamai, K., Iwashita, T. and Yano, M., 2004. Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. Plant Physiology, 136(2): 3284-3289.
  - Mateos-Naranjo, E., Andrades-Moreno, L. and Davy, A.J., 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. Plant Physiology and Biochemistry, 63: 115-121.
  - Monica, R.C. and Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
  - Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N.B., Filser, J., Miao, A.J., ... and Sigg, L., 2008. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. Ecotoxicology, 17: 372-386.
  - Nayyar, H. and Walia, D.P., 2003. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. Biologia Plantarum, 46(2): 275-279.
  - Nazari, M., Zolfaghari, R. and Fayyaz, P., 2013. Variations of the secondary compounds under drought stress in *Quercus brantii*, *Q. infectoria* and *Q. libani* seedlings. Journal of Forest and Wood Products, 66(1): 1-14 (In Persian).
  - Norouzi Haroni, N. and Tabari Koochksaraee, M., 2015. Morpho-physiological responses of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) seedlings to drought stress. Journal of Forest and Wood Products, 68(3): 715-727 (In Persian).
  - Parveen, N. and Ashraf, M., 2010. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on

## The effect of coarse and nano particles of silica on increasing drought resistance in seedlings of gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.)

Sh. Tashakori <sup>1</sup>, N. Seyedi <sup>2\*</sup>, A. Banj Shafiei <sup>3</sup> and N. Abbaspour <sup>4</sup>

1- M.Sc. Graduated of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2\*- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: n.seyedi@urmia.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

4- Associate Prof., Department of Biology., Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 15.04.2020

Accepted: 16.06.2020

### Abstract

Silicon plays an important role in increasing plant resistance to drought-stress. In this study, the effect of silicon on drought-stress in seedlings of gall oak (*Quercus infectoria* Oliv.) was investigated. The seedlings were transferred from forest nursery of Marivan Natural Resources Office to Urmia University and were subject to an experiment as a factorial design based on complete randomized blocks in three replications. Seedlings were irrigated by two types of silicon (coarse and nanoparticles) in different concentrations (0, 50, 100 and 150 mg L<sup>-1</sup>) pre-treatment during a 30-day period based on field capacity. Then, drought stress was imposed on three levels, which consisted of control (based on field capacity), moderate stress (based on 50% field capacity) and severe stress (water withholding) for 21 days. The results showed significant and main effects of silicon type on the amount of silica, drought stress on proline and silicon concentration on proline and silica. However, the interaction effects of drought stress with silicon type and drought stress with silicon concentration were significant only on the proline. None of independent and interaction effects of the fixed factors on growth parameters and the amount of carbohydrate were significant. Generally, silicone application had only a significant effect on severe drought stress in reducing proline content, but there no difference was observed between coarse and nanoparticles. The absorption of silica was obviously higher in the nanoparticle type. Finally, the application of silicon at a concentration of 50 mg L<sup>-1</sup> in severe drought stress conditions was concluded to enable increasing the tolerance of *Q. infectoria* seedlings against drought stress.

**Keywords:** Carbohydrate, proline, silica, stress.