

## اثر کود سیلیکا بر رشد، زی توده و جذب عناصر غذایی در نهال‌های گلدانی (*Quercus brantii* Lindl.) بلوط ایرانی

مهرداد زرافشار<sup>۱\*</sup>، سید کاظم بردبار<sup>۱</sup>، محمد متینی زاده<sup>۲</sup>، علیرضا عباسی<sup>۱</sup>، محمدرضا نگهدار صابر<sup>۱</sup>،

شهرام احمدی<sup>۳</sup>، سعید بهرامی<sup>۳</sup>، حسن رضایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

<sup>۲</sup>بخش تحقیقات جنگل، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

<sup>۳</sup>کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۰

### چکیده

مطالعه فاکتورهای مختلف اثرگذار در جهت ارتقاء رشد نهال‌های موجود در نهالستان و عرصه‌های جنگل‌کاری از اهمیت زیادی برخوردار است. از طرفی، با وجود اینکه سیلیکون به عنوان یک عنصر ضروری در گیاهان شناخته نشده، اما اثرات مفید فراوانی بر گیاهان دارد. به همین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ سطح تیمار برای ارزیابی غلظت‌های مختلف سیلیکا بر برخی پارامترهای رشد و جذب عناصر غذایی در نهال‌های بلوط ایرانی طراحی و اجرا گردید. برای هر تیمار ۱۰ گلدان در نظر گرفته شد و تیمارهای اعمال شده شامل سطوح شاهد و آبیاری با غلظت‌های ۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکا (بر اساس ظرفیت زراعی) صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که اگرچه سیلیکا بر مقدار قطر طوقه نهال‌ها تاثیر معنی‌دار آماری نداشت، اما حجم ریشه و قطر ساقه نهال‌های تیمار شده با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکا تا بیش از ۵۰٪ بیشتر از نهال‌های شاهد بود. از سوی دیگر، نهال‌هایی کوددهی شده با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکا دارای بیشترین زی توده خشک نسبت به شاهد و دیگر تیمارها بودند به طوری که حدود ۶۸ تا ۸۰ درصد افزایش در زی توده برگ، ساقه و ریشه این نهال‌ها نسبت به نهال‌های شاهد مشاهده شد. بیشترین جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و کلسیم مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. با این وجود، سیلیکا در غلظت‌های پایین سبب کاهش جذب عناصر منگنز، مس و روی شد و در کل مقدار جذب آهن در حضور سیلیکا کاهش یافت. در نهایت می‌توان اذعان داشت که استفاده از کود سیلیکا در این پژوهش سبب افزایش زی توده کل نهال‌های بلوط و همچنین افزایش جذب ماکروالمنت‌ها شد که این یافته می‌تواند در نهالستان‌های جنگلی برای تولید نهال مورد عنایت قرار گیرد. با این وجود برای درک مکانیسم آن مطالعات تکمیلی از جمله آنالیز بیان ژن و پروتئین‌ها مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: سیلیکون، نهال جنگلی، جنگل‌های زاگرس، کوددهی، نهالستان.

## مقدمه

در سال‌های اخیر اثرات سیلیکا بر گیاه مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است که عمده تحقیقات مرتبط با گونه‌های زراعی می‌باشد. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های مزرعه‌ای، گلخانه‌ای و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این عنصر بر رشد و عملکرد گیاهانی مانند گندم، گوجه‌فرنگی، ذرت و بسیاری دیگر از گیاهان تأثیر مثبت دارد (Greger et al., 2018). تغذیه سیلیکون موجب تقویت سیستم حفاظتی گیاه در برابر بیماری‌ها، حمله حشرات و شرایط نامساعد محیطی می‌شود (Schaller et al., 2019). Tashakori (۲۰۱۵) طی مطالعه‌ای به بررسی تأثیر سیلیکون در مقیاس درشت‌دانه و نانو روی نهال‌های بلوط دارمازو پرداخت که نتایج این پژوهش نشان داد سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسند و کاهش رادیکال‌های آزاد مانع خسارت به سلول‌های گیاهی شده و سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود. طی مطالعه دیگری Ashkavand و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که پیش تیمار نانو ذرات سیلیکون مشخصه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های محلب و زالزالک را بهبود بخشید و باعث افزایش رشد و زی‌توده نهال‌های مورد بررسی شد به طوری که به ترتیب ۴۰ و ۳۰ درصد افزایش در زی‌توده کل زالزالک و محلب تحت تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. کاربرد نانو ذرات سیلیکون باعث افزایش فتوسنتز، بهبود محتوی نسبی رطوبت، کلروفیل و توسعه سیستم آنتی در نهال‌های گلابی وحشی شده و در نهایت سبب القای رشد ریشه تا حدود ۷۰ درصد در مقایسه با نهال‌های کنترل گشت (Zarafshar, 2014). از سوی دیگر تیمار کردن خاک با ترکیبات حاوی سیلیکون فعال از نظر ژئوشیمیایی سبب بهبود وضعیت آب در خاک، بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی

بی‌شک مرحله نهالی یکی از حساس‌ترین مراحل چرخه زندگی یک گیاه است (Pessaraki, 1999) و در صورتی که یک گیاه این مرحله را با موفقیت پشت سر بگذارد احتمالاً شرایط سخت محیطی در مراحل بعدی را تحمل می‌کند. تولید نهال سالم و مقاوم یکی از چالش‌های پیش‌رو در نهالستان‌ها بوده و امروزه کارشناسان در جهت مقاوم‌سازی نهال‌ها و تولید نهال مناسب جهت انتقال به طبیعت تلاش می‌کنند. یکی از راهکارهای مقاوم‌سازی نهال‌ها در نهالستان استفاده از روش‌های تغذیه معدنی از جمله سیلیکا است که کمتر مورد توجه مدیران نهالستان و تولیدکنندگان نهال قرار گرفته است.

دی‌اکسید سیلیکون ۵۰ تا ۷۰ درصد وزن خاک (Ma and Yamaji, 2006) و بیشتر از ۱۰ درصد وزن گیاهان را تشکیل می‌دهد (Hodson et al., 2005) و از جمله عناصری بوده که در صورت تجمع فزاینده سبب مسمومیت گیاه نمی‌شود (Ma and Yamaji, 2015). سیلیکا به فرم مونوسیلیکات اسید جذب گیاه شده (Schaller et al., 2013) و در نهایت به صورت سیلیس آمورف و برگشت‌ناپذیر ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) در پیگیر گیاه انباشته می‌شود (Schaller et al., 2013).

سیلیس یک عنصر ضروری برای گیاهان محسوب نمی‌شود ولی امروزه تأثیر مثبت آن در مقاوم‌سازی گیاهان در برابر تنش‌های متعدد از قبیل خشکی، شوری، سرما و سمیت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی به اثبات رسیده است (Liang et al., 2005). این عنصر در تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژی گیاهان نقش مهمی ایفا کرده (Greger et al., 2018) و اثرات مخرب تنش‌های زنده و غیره زنده در گیاه را تعدیل می‌کند (Yuvakkumar et al., 2011., Iwasaki et al., 2002., Ma, 2004

کاشت نهال در فضای باز و در داخل گلدان از خاک با بافت مشابه رویشگاه‌های بلوط ایرانی که به‌طور معمول در نهالستان مدنظر قرار می‌گیرد، استفاده شد. برای این منظور از مخلوط ماسه و خاک رس به نسبت ۲ به ۱ و همچنین مقداری خاک‌برگ استفاده شد.

برای اعمال سیلیکا از روش تغذیه گیاه از طریق آبیاری استفاده شد، لذا بعد از باز کاشت نهال‌ها در گلدان‌ها و با شروع فصل بهار، این نهال‌ها به مدت دو ماه و هفته‌ای یک‌مرتبه با غلظت‌های صفر (کنترل)، ۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از کود سیلیکا، با فرمول  $SiO_2$  و ساخت کشور چین، آبیاری شدند (Zarafshar, 2014). برای هر تیمار نیز ۱۰ گلدان در نظر گرفته شد.

بعد از گذشت دو ماه، به نهال‌های تیمار شده فرصت داده شد تا در فضای باز نهالستان و تا آخر فصل رویش رشد کنند. خاطر نشان می‌گردد که بعد از مدت اعمال تیمارها، نهال‌ها توسط سیستم آبیاری بارانی و طبق روش مرسوم نهالستان آبیاری شدند.

#### پارامترهای مورد مطالعه

**مورفولوژی و رشد:** در انتهای آزمایش، ویژگی‌های مورفولوژیکی نهال‌ها از جمله قطر ساقه و قطر طوقه با استفاده از کولیس دیجیتالی (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. در ادامه نهال‌ها از خاک خارج شده و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، حجم آن‌ها با استفاده از اختلاف حجم آب در لوله مندرج تا دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های هر یک از اندام‌های نهال (ریشه، ساقه و برگ) در آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس زی توده خشک ریشه، ساقه و برگ نهال‌ها در همه تکرارها توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

عناصر غذایی برای گیاه شده و از این طریق حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد (Epstein, 1999).

جنگل‌های زاگرس به لحاظ بوم‌شناختی و اقتصادی مهم‌ترین بوم‌سازگان جنگلی کشور محسوب می‌شود که از دیرباز تحت فشارهای زیادی بوده است. به‌منظور احیاء این جنگل‌ها بهتر است از گونه‌های بومی استفاده شود و در جنگل‌های زاگرس جنوبی بین گونه‌های بومی نیز گونه بلوط ایرانی نسبت به سایر گونه‌ها اولویت بیشتری دارد. با این حال در برنامه‌های نهال‌کاری، موفقیت در احیای رویشگاه‌ها به کیفیت نهال‌های تولیدی بستگی دارد. بنابراین با توجه به تأثیرات مثبت سیلیکا در بهبود ویژگی‌های رویشی گیاهان، در مطالعه حاضر برای اولین بار از این عنصر برای بررسی بهبود رشد و زی توده و همچنین جذب عناصر گونه بلوط ایرانی به‌عنوان گونه اصلی جنگل‌های زاگرس جنوبی به‌منظور مقاوم‌سازی و تغذیه آن در مرحله نهالی استفاده شده است. تحقیق حاضر به منظور پاسخ به سوالات ذیل طرح‌ریزی شده است.

- آیا کود سیلیکا می‌تواند جذب عناصر غذایی و در نهایت رشد و زی توده نهال‌های بلوط ایرانی را ارتقاء دهد؟ و کدام غلظت از سیلیکا برای این گونه قابل پیشنهاد است؟

#### مواد و روش‌ها

**مواد گیاهی و اعمال تیمارها:** این تحقیق به‌منظور بررسی اثر سیلیکا روی نهال‌های یک‌ساله بلوط ایرانی اجرا گردید. نهال‌های بلوط ایرانی موردنیاز برای تحقیق حاضر از نهالستان‌های اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس تهیه شد. در همین راستا نهال‌های یک‌ساله همگن از لحاظ قطر و ارتفاع تهیه و در گلدان‌های ۳ لیتری باز کاشت شدند. به‌منظور باز

تمامی اطلاعات به دست آمده در محیط نرم افزار Excel سازمان دهی و نمودارهای مربوطه با استفاده از همان نرم افزار ترسیم گردید. تجزیه و تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. برای تعیین سطح معنی داری داده ها پس از آزمون نرمالیتی و همگنی از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-way-ANOVA) استفاده شد. مقایسه مقادیر میانگین ها نیز توسط آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

### نتایج

نتایج تجزیه واریانس در تیمارهای مختلف سیلیکا بر تمامی مشخصه های رویشی نهال بلوط، به جز قطر طوقه، در طی دوره آزمایش نشان داد که بین تیمار شاهد و تیمارهای سیلیکا اختلاف معنی دار آماری در سطح ۵ درصد وجود دارد (جدول ۱). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک برگ و ساقه در تیمار ۵۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۱۱/۴۷ گرم و ۹/۹۸ گرم مشاهده شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ها نیز نشان داد که میزان وزن خشک ریشه و حجم ریشه در تیمار ۵۰۰ میلی گرم نسبت به تیمار کنترل به ترتیب ۶۸ درصد و ۵۲ درصد افزایش داشته است. بیشترین مقدار قطر ساقه نیز متعلق به تیمار ۵۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکا بود (جدول ۲).

**عناصر غذایی برگ:** جهت اندازه گیری عناصر برگ نمونه های برگ به صورت تصادفی از یک سوم بالایی نهال ها انتخاب و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه های برگ، پس از شست و شو با آب معمولی، با آب مقطر کاملاً تمیز شدند. سپس در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد برای مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا خشک شده و بعد آسیاب گردیدند. مراحل آزمایشگاهی شامل عصاره گیری، تهیه استاندارد و قرائت با استفاده از دستگاه و تعیین غلظت عناصر غذایی بود.

**نیترژن برگ:** برای اندازه گیری نیترژن از دستگاه تمام اتوماتیک کجالدال استفاده گردید و در نهایت مقدار ازت برگ بر حسب درصد بیان شد (Bremner and Mulvaney, 1982).

**عناصر کلسیم، آهن، روی و منگنز در برگ:** بعد از تهیه عصاره گیاهی به روش هضم تر، عناصر کلسیم، آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین و مقدار آنها در برگ به استثناء کلسیم که به درصد بوده، بر حسب پی پی ام بیان شد.

**پتاسیم برگ:** میران پتاسیم با استفاده از روش هضم تر و با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری و مقدار آن بر حسب درصد بیان شد.

**فسفر برگ:** فسفر به روش کالریتری با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری و بر حسب درصد بیان شد.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس یک طرفه پارامترهای رویشی در سطوح مختلف تیمار سیلیکا

صفات	درجه آزادی	F- value	P - value
وزن خشک برگ	۴	۲/۹۴۴	۰/۰۳۳*
وزن خشک ساقه	۴	۳/۴۷۶	۰/۰۱۶*
وزن خشک ریشه	۴	۳/۸۳۶	۰/۰۱۰*
حجم ریشه	۴	۳/۶۴۶	۰/۰۱۳*
قطر ساقه	۴	۴/۱۹۶	۰/۰۰۷**
قطر طوقه	۴	۲/۵۰۸	۰/۰۵۸ <sup>ns</sup>

\*, \*\*, \*\*\* اثر معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns اثر غیر معنی داری را نشان می دهند.

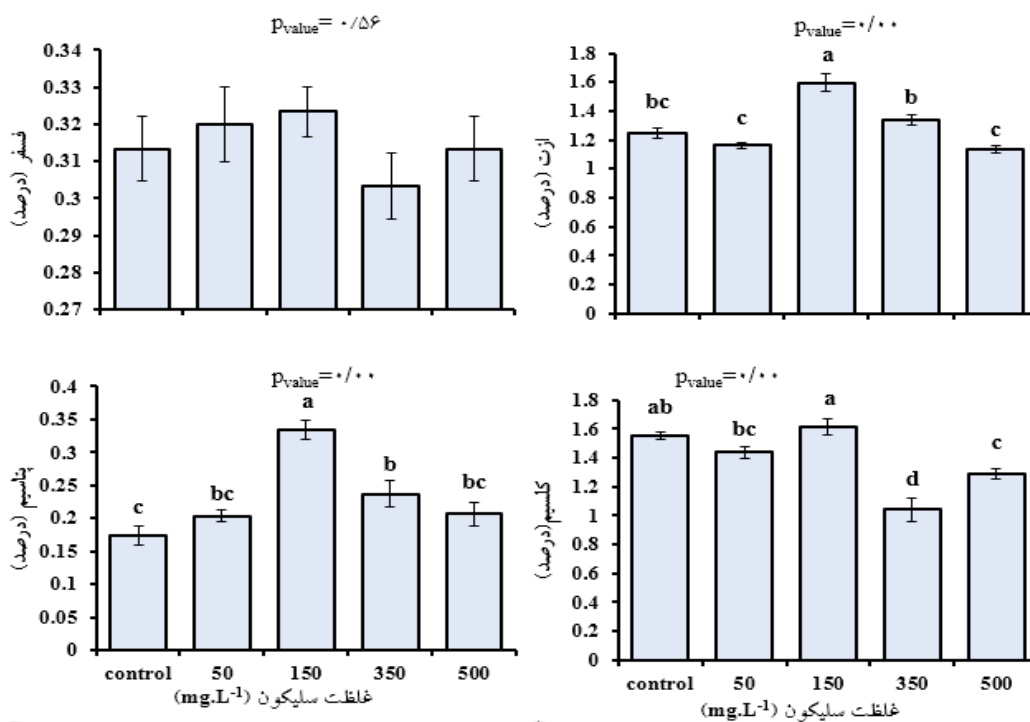
جدول ۲: نتایج مقایسه میانگین پارامترهای رویشی در سطوح مختلف تیمار سیلیکون

غلظت سیلیکا (میلی گرم در لیتر)					صفات
۵۰۰	۳۵۰	۱۵۰	۵۰	کنترل	
۹/۹۸±۲/۳۸ <sup>a</sup>	۵/۳۸±۱/۰۳ <sup>b</sup>	۵/۹۸±۰/۸۸ <sup>b</sup>	۴/۲۶±۰/۶۶ <sup>b</sup>	۵/۵۴±۰/۹۲ <sup>b</sup>	وزن خشک برگ (گرم)
۱۱/۴۷±۲/۸۸ <sup>a</sup>	۵/۷۷±۱/۰۵ <sup>b</sup>	۵/۹۸±۰/۷۶ <sup>b</sup>	۴/۶۷±۰/۵۴ <sup>b</sup>	۶/۸۴±۱/۰۷ <sup>b</sup>	وزن خشک ساقه (گرم)
۳۶/۹۷±۵/۴۱ <sup>a</sup>	۲۳/۲۲±۲/۳۴ <sup>b</sup>	۲۶/۰۹±۳/۱۸ <sup>b</sup>	۱۹/۰۹±۱/۹۹ <sup>b</sup>	۲۱/۹۳±۳/۳۹ <sup>b</sup>	وزن خشک ریشه (گرم)
۲۴/۰۰±۱/۷۰ <sup>a</sup>	۱۵/۵۰±۱/۶۴ <sup>b</sup>	۱۶/۸۰±۲/۳۶ <sup>b</sup>	۱۳/۰۰±۱/۶۹ <sup>b</sup>	۱۵/۷۷±۲/۲۴ <sup>b</sup>	حجم ریشه (سانتی متر مکعب)
۸/۵۳±۱/۲۸ <sup>a</sup>	۶/۶۱±۰/۵۱ <sup>b</sup>	۵/۷۸±۰/۵۱ <sup>b</sup>	۵/۳۰±۰/۴۱ <sup>b</sup>	۵/۳۸±۰/۲۲ <sup>b</sup>	قطر ساقه (میلی متر)
۱۰/۱۳±۰/۶۵ <sup>a</sup>	۹/۸۰±۰/۷۸ <sup>a</sup>	۸/۶۰±۰/۲۴ <sup>a</sup>	۷/۶۱±۰/۷۱ <sup>a</sup>	۸/۹۳±۰/۶۵ <sup>a</sup>	قطر طوقه (میلی متر)

\*توضیح: اعداد نشان دهنده میانگین ± انحراف معیار می‌باشند. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری در سطوح تیمار با استفاده از آزمون Duncan در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

۱). بیشترین مقدار عناصر ازت، پتاسیم و کلسیم در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکا ثبت شد. با افزایش غلظت سیلیکا از ۱۵۰ میلی لیتر به ۵۰۰ میلی لیتر مقدار جذب عناصر ازت، پتاسیم و کلسیم تغییرات قابل ملاحظه ای نداشتند و مقدار آنها مشابه نهال‌های کنترل بود (شکل ۱).

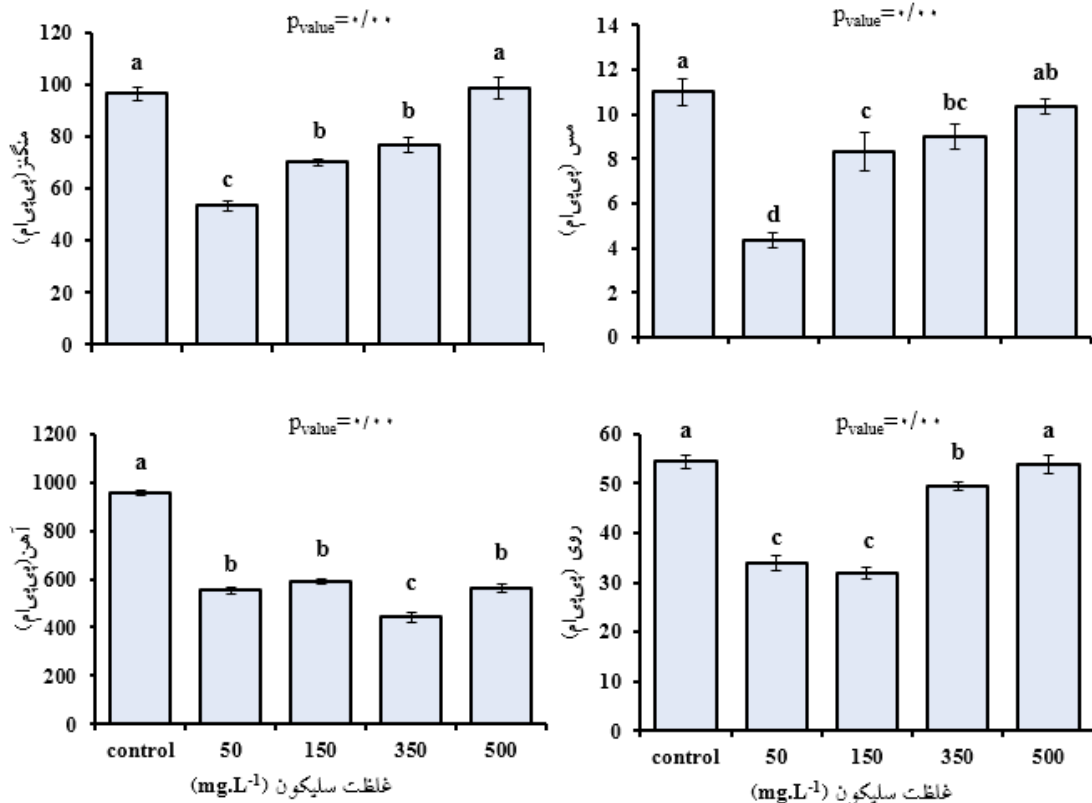
نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که آبیاری نهال‌های بلوط با سیلیکا سبب تغییر معنی‌دار در فسفر برگ نشد، با این حال بیشترین مقدار فسفر در تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکا مشاهده گشت (شکل ۱). از طرف دیگر تجزیه واریانس یک طرفه داده‌ها نشان داد که سیلیکا موجب تغییر در مقدار جذب عناصر ازت، پتاسیم و کلسیم به صورت معنی‌دار شد (شکل



شکل ۱: درصد ازت، فسفر، پتاسیم و کلسیم برگ نهال‌های بلوط ایرانی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکون، نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

سیلیکا کاهش یافته و با افزایش غلظت سیلیکا مقدار این عناصر همانند شاهد بود (شکل ۲). میزان عنصر آهن با اعمال تیمارهای سیلیکا کاهش معنی داری داشت، به طوری که کمترین مقدار این عنصر در تیمار ۳۵۰ میلی گرم در لیتر سیلیکا مشاهده شد (شکل ۲).

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه نشان داد که اثر سیلیکا در میزان جذب عناصر منگنز، مس، آهن و روی برگ نهال‌های بلوط در سطح یک درصد معنی دار بود (شکل ۲). مقدار عناصر منگنز، مس و روی در برگ بلوط در غلظت‌های پایین



شکل ۲: غلظت عناصر منگنز، مس، آهن و روی برگ نهال‌های بلوط ایرانی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکون، نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

اثرات مثبت سیلیکون بر زی توده و رشد گیاهان را نشان می دهند (Mateos-Naranjo et al., 2013). از سوی دیگر می توان بیان کرد که سیلیکون توسط ریشه های جانبی و موئین جذب شده و در ادامه از طریق ساقه به برگ منتقل می شود. همچنین توانایی جذب سیلیکون به نوع گونه، توانایی جذب ریشه و غلظت سیلیکون در دسترس گیاه بستگی دارد (Ma et al., 2004). بنابراین، در صورتی که یک گیاه

بحث در تحقیق حاضر تأثیر سیلیکا بر رشد و زی توده نهال‌های بلوط ایرانی کاملاً مشهود بود، به طوری که با افزایش غلظت سیلیکا مقدار زی توده نهال‌ها و همچنین قطر ساقه آن‌ها افزایش داشت. بررسی سوابق پژوهشی نشان می دهد که بیشتر مطالعات گزارش شده در این زمینه معطوف به گونه‌های زراعی بوده و نتایج اکثر این مطالعات، همسو با نتایج مطالعه حاضر،

ولی در این تحقیق اثر آن بر نهال‌های بلوط در شرایط بهینه رشد (عدم تنش) کاملاً مشهود بود.

در این پژوهش، کوددهی نهال‌های بلوط با سیلیکا تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب فسفر نداشت، در صورتی‌که سبب افزایش جذب عناصر ازت و پتاسیم و همچنین سبب کاهش کلسیم در غلظت‌های بالای تیمار گردید. در ارتباط با تأثیر سیلیکون بر میزان جذب عناصر غذایی نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. به‌عنوان مثال نتایج تحقیقات Greger و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که میزان تجمع فسفر در ریشه و برگ تحت تأثیر سیلیکون کاهش پیدا می‌کند. در صورتی‌که نتایج سایر مطالعات افزایش مقدار فسفر تحت تأثیر سیلیکون را نشان می‌دهند (Neu et al., 2017, Kostic et al., 2017). در این پژوهش، از لحاظ جذب فسفر تغییر معنی‌داری در نهال‌های بلوط ایجاد نشد لذا کود سیلیکا تأثیری بر جذب یا عدم جذب فسفر نداشت.

در این تحقیق همسو با نتایج Ashkavand و همکاران (۲۰۱۸) و Pati و همکاران (۲۰۱۶)، سیلیکا سبب افزایش معنی‌دار نیتروژن به‌ویژه در غلظت‌های بالا شد. در واقع، حضور ذرات سیلیکون سبب افزایش فعالیت ریشه شده (Lu et al., 2002) و در نتیجه سبب افزایش جذب نیتروژن شده است. با این حال Schaller و همکاران (۲۰۱۳) و Zarafshar (۲۰۱۴) گزارش کرده‌اند در حضور سیلیکون، جذب نیتروژن تغییر معنی‌داری نداشته است. این در حالی است که نتایج Greger و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که در ابتدا سیلیکون سبب افزایش غلظت نیتروژن اما با گذشت زمان سبب کاهش غلظت نیتروژن در ریشه و برگ می‌شود. آن‌ها همچنین بیان کردند که کاهش نیتروژن با گذشت زمان ممکن است به دلیل افزایش رشد باشد که اثر رقیق‌سازی دارد. درصد نیتروژن

قادر باشد سیلیکون را به مقدار زیاد جذب کند قطعاً از مزیت‌های زیاد آن بهره خواهد برد. نتایج مطالعات Ashkavand و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بین نهال‌های زالزالک و محلب اختلاف زیادی در جذب نانو ذرات سیلیکا وجود نداشته ولی پاسخ رشد و بهبود زی توده این دو گونه کاملاً متفاوت بود. از سوی دیگر نتایج تحقیقات Zarafshar و همکاران (۲۰۱۵) نیز اثرات مثبت سیلیکا در نهال‌های گلابی وحشی را نشان داد. آن‌ها مشاهده کردند که میزان جذب عنصر سیلیس در نهال‌های گلابی تا حدود ۱۵٪ وزن خشک برگ می‌باشد. در تحقیق حاضر اگرچه درصد عنصر سیلیس در اندام‌های گیاهی بلوط ایرانی اندازه‌گیری نشد ولی اثرات مثبت آن در بهبود رشد و تولید زی توده گیاهی کاملاً مشهود بود. نتایج بطور واضح افزایش حدود ۶۸ تا ۸۰ درصدی در زی توده برگ، ساقه و ریشه این نهال‌ها تحت اثر سیلیکا با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به نهال‌های شاهد را نشان داد. همچنین حجم ریشه و قطر ساقه نهال‌های تیمار شده با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکا تا بیش از ۵۰٪ بیشتر از نهال‌های شاهد بود. بنابراین با توجه به این نتایج، می‌توان ادعا کرد توانایی نهال‌های بلوط در جذب سیلیکا قابل ملاحظه بود. اگرچه اثرات مثبت سیلیکون به بهبود مقاومت مکانیکی کلی و لایه محافظ بیرونی نسبت داده می‌شود (Sun et al., 2016., Wang et al., 2017)، مطالعات گذشته نشان داده‌اند که سیلیکون با تأثیر بر جذب مواد معدنی و افزایش نرخ فتوسنتز سبب افزایش رشد و زی توده گیاهان می‌شود (Gholami and Falah, 2004, Ma et al., 2016., Pati et al., 2013). از سوی دیگر، سیلیکون هیچ‌گونه اثری روی میزان کاهش وزن خشک گیاه تحت شرایط غرقابی نداشته است (Hattori et al., 2005., Sonobe et al., 2010)

(۲۰۱۲) کاهش مقدار جذب کلسیم در حضور سیلیکون را گزارش کرد که با نتایج این تحقیق در غلظت‌های ۳۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مطابقت دارد. نتایج تحقیقات Zarafshar (۲۰۱۴) نشان داد از لحاظ جذب کلسیم تغییر معنی‌داری در نهال‌های گلابی تحت تنش خشکی ایجاد نشد. اگرچه می‌توان جذب کلسیم در گیاه را به سیلیسی شدن دیواره سلولی گیاه نسبت داد (Pati et al., 2016)، اما تأثیر سیلیکون بر کلسیم ممکن است به نوع گونه گیاهی و شرایط رشد گیاه وابسته باشد (Greger et al., 2018).

در این تحقیق، اعمال کود سیلیکا بر نهال‌های بلوط ایرانی تأثیر معنی‌داری بر مقدار جذب عناصر منگنز، مس، روی و آهن داشت. با اعمال سیلیکا جذب عناصر منگنز، مس و روی کاهش یافته اما با افزایش غلظت سیلیکا مقدار جذب این عناصر با کنترل تفاوت چندانی نداشت. نتایج مطالعات Zarafshar (۲۰۱۴) نشان داد که در حضور نانو ذرات سیلیکون جذب منگنز در مقایسه با شاهد ۲۶ تا ۴۰ درصد افزایش داشته و جذب عنصر روی مساعدتر شده است. درحالی‌که Gunes و همکاران (۲۰۰۸) افزایش جذب آهن، مس، منیزیم، منگنز و سدیم در حضور سیلیکون و عدم تأثیر سیلیکون بر جذب عنصر روی را گزارش کردند. طی گزارش دیگری Greger و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند سیلیکون سبب افزایش جذب منگنز و کاهش جذب عناصر مس و روی به مقدار حدود ۲۰ درصد شده است، اما عنصر آهن یک افزایش جزئی تحت تأثیر اعمال سیلیکون داشته است. در مطالعه حاضر مقدار جذب آهن تحت تأثیر سیلیکا کاهش معنی‌داری داشت. همسو با یافته‌های این تحقیق Wallace (۱۹۸۹) نیز کاهش مقدار جذب آهن در حضور سیلیکون را گزارش کردند. علت وجود نتایج متناقض در تحقیقات و گزارش‌های انجام شده روی تأثیر عنصر سیلیکون بر جذب میکرو و ماکروالمنتهای را می‌توان در نوع گونه مورد مطالعه و شرایط رشد آن‌ها

برگ بلوط با افزایش غلظت سیلیکا افزایش یافت به طوری‌که در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، در مقایسه با نهال‌های شاهد، مقدار ازت در برگ نهال‌های بلوط ۲۰ درصد افزایش داشت. دلیل این امر ممکن است به خاطر پتانسیل سیلیکون باشد که با افزایش سیلیکون مقدار نیتروژن در دسترس و جذب آن افزایش پیدا کرده است (Singh et al., 2005., Pati et al., 2016).

در رابطه با تأثیر سیلیکون بر مقدار جذب پتاسیم گزارش‌های متناقضی وجود دارد. در این رابطه تحقیقات گذشته ثابت کرده‌اند که در حضور سیلیکون جذب بهتر پتاسیم نیز در گیاه اتفاق می‌افتد (Ashkavand et al., 2018., Pati et al., 2016., ) (Gunes et al., 2008). با این حال در گزارش دیگری Zarafshar (۲۰۱۴) همسو با نتایج Janislampi (۲۰۱۲) نشان دادند که سیلیکون در غلظت‌های بالا سبب کاهش جذب پتاسیم می‌شود. در مطالعه حاضر اگرچه سیلیکا با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم تا حدود ۴۸ درصد نسبت به شاهد شد ولی در سایر غلظت‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. گونه‌های گیاهی که ظرفیت جذب سیلیکون بالایی دارند همچنین ظرفیت جذب پتاسیم بالایی نیز دارند (Greger et al., 2018). به نظر می‌رسد اعمال کود سیلیکا در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ظرفیت جذب پتاسیم در نهال‌های بلوط می‌شود.

طبق نظر محققین، در حضور سیلیکون جذب بهتر کلسیم در گیاه اتفاق می‌افتد (Miao et al., 2015) که این مورد در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد در حالی‌که با افزایش غلظت سیلیکا جذب فسفر برای نهال‌های بلوط کاهش یافت. همسو با نتایج این پژوهش، تحقیقات Pati و همکاران (۲۰۱۶) و Greger و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که سیلیکون سبب افزایش جذب کلسیم می‌شود. Janislampi



ار کود سیلیکا با غلظت مناسب اثرات مفید آن قابل ملاحظه بوده و می‌تواند در جهت بهبود رشد نهال‌های جنگلی به‌ویژه بلوط ایرانی در نهالستان‌ها مورد توجه قرار گیرد. اگرچه تیمار سیلیکا با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب جذب بیشتر عناصر غذایی نهال‌ها شد ولی غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش زی توده نهال‌ها داشت که احتمالاً این یافته نقش سیلیکا در بهبود رشد و افزایش حجم ریشه را تایید و تاکید می‌نماید.

جستجو کرد. شایان ذکر است که سیلیکون از طریق اتصال عناصر در بافت‌های گیاهی سبب جابجایی آن‌ها از ریشه به ساقه و برگ و یا بلعکس و همچنین انباشت عناصر در بافت‌های گیاهی در آپوپلاست گیاهی (دیواره گیاهی) دخالت کرده (Greger et al., 2018) و این امر هنوز به‌طور کامل توسط محققین اثبات نشده است.

### نتیجه‌گیری نهایی

در نهایت می‌توان اذعان داشت که در صورت استفاده

### References

- Ashkavand, P., Tabari, M., Aliyari, F., Zarafshar, M., Striker, G.G., Shukla, P.K., Sattarian, A. and Misra, P. (2018). Nanosilicon Particle Effects on Physiology and Growth of Woody Plants. In Phytotoxicity of Nanoparticles (pp. 285-299). Springer, Cham.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.
- Epstein, E. (1999). Silicon. Annual Review of Plant Biology. 50(1): 641-664.
- Gholami, Y. and Falah, A. (2013). Effects of two different sources of silicon on dry matter production, yield and yield components of rice, Tarom Hashemi variety and 843 Lines. International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS). 5(3): 227-231.
- Greger, M., Landberg, T. and Vaculík, M. (2018). Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. Plants. 7(2): p.41.
- Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A. and Coban, S. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39:1885-1903.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., Morita, A. P. and Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. Physiologia Plantarum. 123(4): 459-466.
- Hodson, M.J., White, P.J., Mead, A. and Broadley, M.R. (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Annals of Botany, 96(6): 1027-1046.
- Iwasaki, K., Meier, P., Fecht, M. and Horst, W.J. (2002). Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Plant and Soil. 238(2): 281-288.
- Janislampi, K.W. (2012). Effect of silicon on plant growth and drought stress tolerance. Master of thesis in Utah State University.
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Shinwari, Z.K., Kim, D.H., Waqas, M.U.H.A.M.M.A.D., Kamran, M.U.H.A.M.M.A.D. and Lee, I.J. (2012). Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Gopumbyeo') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. Pakistan Journal of Botany. 44(3): 891-897.
- Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J. and Nikolic, M. (2017). Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. Plant and Soil. 419(1-2): 447-455.
- Liang, Y.C., 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. 58:475-483.
- Lu, C. M., Zhang, C. Y., Wen, J. Q., Wu, G. R. and Tao, M.X. (2002). Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. Soybean Science. 21: 168-172.
- Ma, JF and Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. Trends Plant Science. 20 (7):435-442.

- Ma, J. F. and Yamaji, N. (2006).** Silicon uptake and accumulation in higher plants, *Trends in Plant Science*. 11(8): 392-397.
- Ma, J.F. (2004).** Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50 (1): 11-18.
- 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.
- Miao, B.H., Han, X.G. and Zhang, W.H. (2010).** The ameliorative effect of silicon on soybean seedlings grown in potassium-deficient medium. *Annals of Botany*. 105:967-973.
- Neu, S., Schaller, J. and Dudel, E.G. (2017).** Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C: N: P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*. 7: 40829.
- Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G.C. and Mandal, B. (2016).** Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 47(3): 284-290.
- Pessarakli, M. (1999).** Handbook of plant and crop stress, University of Arizona, Tucson, Arizona, New York, 1198 PP.
- Schaller, J., Brackhage, C., Paasch, S., Brunner, E., Bäucker, E. and Dudel, E. G. (2013).** Silica uptake from nanoparticles and silica condensation state in different tissues of *Phragmites australisi*. *Science of Total Environment*. 442(1): 6-9.
- Schaller, J., Faucherre, S., Joss, H., Obst, M., Goeckede, M., Planer-Friedrich, B., Peiffer, S., Gilfedder, B. and Elberling, B. (2019).** Silicon increases the phosphorus availability of Arctic soils. *Scientific Reports*. 9(1): 1-11.
- Singh, A. K., R. Singh, and K. Singh. (2005).** Growth, yield, and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. *Indian Journal of Agronomy*. 50:190-93.
- Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A.E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. and Inanaga, S. (2010).** Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34(1): 71-82.
- Sun, D., Hussain, H.I., Yi, Z., Rookes, J.E., Kong, L. and Cahill, D.M. (2016).** Mesoporous silica nanoparticles enhance seedling growth and photosynthesis in wheat and lupin. *Chemosphere*. 152: 81-91.
- Tashakori, Sh. (2015).** The effect of bulk and nano SiO<sub>2</sub> on drought resistant of *Quercus infectoria*. A master thesis submitted to Urmia university. 83 p.
- Wallace, A. (1989).** Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. *Soil Science*. 147(6): 457-460.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q. and Guo, S. (2017).** Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science*, 8, p.701.
- Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., Kannan, N.S. and Prabu, P. (2011).** Influence of Nanosilica Powder on the Growth of Maize Crop (*Zea Mays* L.), *International Journal of Green Nanotechnology*. 3(3): 180-190.
- Zarafshar, M. (2014).** The response of wild pear seedlings (*Pyrus biosseriana* Buhse) to drought stress and efficiency of TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> nanomaterial in improving deleterious effects of drought stress. A PhD thesis submitted to Tarbiat Modares University. 146 p.
- 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.