تغییرات مورفو فیزیولوژی نهال‌های محلب (*Prunus mahaleb L.*) تحت تیمار نانوذرات سیلیکون (SiO2 NPs)

پیمان اشکاوند[۱]، مسعود طبری کوچکسرایی[۲*]، مهرداد زرافشار[۳]، احسان قنبری[٤]

تاریخ دریافت: ۹۳/٤/۱۹
تاریخ تصویب: ۹٤/۱۲/۱۱

چکیده

به منظور ارزیابی اثر نانوذرات سیلیکون در بهبود صفات رویشی و فیزیولوژیک نهال‌های محلب (Prunus mahaleb L.) آزمایشی به صورت طرح کاملا تصادفی در ۴ سطح تیمار با ۳ تکرار و در هر تکرار ۹ پایه اجرا گردید. تیمارهای اعمال شده شامل آبیاری با غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون و شاهد به صورت آبیاری با آب معمولی

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲* استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس. (نویسنده مسئول mtabari@modares.ac.ir)
این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای پیمان اشکاوند که به راهنمایی دکتر مسعود طبری کوچکسرایی در دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.
۳ استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی،مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس،سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی ،شیراز، فارس
٤ دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

بود که هر سه روز یکبار بر اساس ظرفیت زراعی صورت گرفت. در همه غلظت‌های نانوذرات سیلیکون با افزایش طول دوره آزمایش نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق افزایش یافتند. با افزایش غلظت نانوذره سیلیکون پتانسیل آبی نهال‌های محلب کاهش (منفی‌تر) یافت، ولی محتوای نسبی رطوبت برگ در بین تیمارها تغییری نکرد. اگرچه با افزایش نانوذرات سیلیکون رویش قطری و ارتفاعی در نهال‌ها فرقی نکردند ولیکن سایر شاخص‌های رویشی افزایش یافتند. در مجموع، می‌توان بیان داشت که در این پژوهش استفاده از نانوذرات سیلیکون به ویژه غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب بهبود فعالیت‌های رویشی و فیزیولوژیک نهال محلب گردید.

واژه های کلیدی: *بیوماس، پتانسیل آبی، تبادلات گازی، سیلیکون، محلب، نانوذرات*

مقدمه

سیلیسیوم (سیلیکون) دومین عنصرِ بسیار فراوان در خاک است که تقریباً ۲۸ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. با این‌حال خاک ۵-۱ درصد از اشکال فعال سیلیکون را شامل می‌شود، که بخش بزرگ آن از دی‌اکسید سیلیکون بی‌شکل می‌باشد (Bocharnikova et al. (2011)). به دلیل این که سیلیکون در دسته عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار نگرفته، توجه زیادی به نقش بیولوژیکی آن در گیاه نشده است (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۷). درحالی‌که اثرات مفید آن از جمله بر عملکرد رشد و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیره زنده در طیف گسترده‌ای از گونه‌های گیاهی به اثبات رسیده است (Siddiqui and Al-Whaibi (2013); Pei et al. (2010); Chen et al. (2011); Wang et al. (2011)).

سیلیکون به عنوان یک مانع فیزیکومکانیک و رسوب بر روی دیواره‌های اپیدرمی و بافت‌های آوندی در ساقه، غلاف برگ و پوست قرار گرفته Siddiqui and Al-Whaibi (2013); Ma and Yamaji (2006); Ashraf and Parveen (2010) و همچنین در تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان نقش مهمی دارد (Bao-shan et al. (2004). سیلیکون به‌صورت کود شیمیایی و در مقیاس درشت دانه اثرات مثبتی بر گیاهان از قبیل بهبود ایستادگی برگ و ساقه، مقاومت به یخزدگی، بهبود مصرف آب Yuvakkumar et al. (2011)، بهبود اثرات مخرّب تنش‌های زنده (Ma (2004) و غیرزنده Iwasaki et al. (2002) دارد. سیلیکون می‌تواند افزایش مقاومت به خشکی را به همراه داشته باشد، ولی با این وجود هنوز سازوکار این فرآیند با ابهام همراه است Hattori et al. (2005). هرچند اثرات مثبت سیلیکون بر گیاهان به‌صورت درشت دانه اثبات شده است، با این‌حال اثر بهتر این ماده به صورت نانوذرات نسبت به ذرات درشت دانه در نتایج تحقیقات Suriyaprabha et al (2012b) کاملا مشهود است. آنها در آزمایشات خود تاثیر نانوذرات سیلیکون در مقایسه با سیلیکون درشت دانه روی رشد و فیزیولوژی بذرهای ذرت (*Zea mays* L.)، را بررسی کردند و دریافتند که مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در تیمار نانوذرات سیلیکون نسبت به سطوح سیلیکون درشت دانه و تیمار کنترل عملکرد بهتری داشته و آن را به عنوان کود برای کشاورزی پیشنهاد داده‌اند. از جمله پژوهش‌های دیگر در این زمینه می‌توان به مطالعه Yavak-kumar et al (2011) بر گیاه ذرت اشاره کرد که اعمال نانوسیلیکون به‌صورت پودر و مخلوط با خاک گلدان‌ها باعث افزایش درصد جوانه زنی (۲ تا ۱۱ درصد)، ضریب

بهره‌بری آب (بیشتر از ۵۳ درصد) و میزان کلروفیل (۱۳ تا ۱۷ درصد) شد و تمامی شاخص‌های کمی گیاه نسبت به کنترل و تیمار سیلیکون درشت دانه افزایش داشت. در تحقیقی دیگر Haghighi et al (2012) با اعمال نانوسیلیکون بر گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری، نانوسیلیکون توانست اثرات منفی و مخرب شوری را بر درصد جوانه‌زنی و طول و وزن ریشه بهبود بخشد. در بررسی‌های دیگر همچنین معلوم شد که نانوذرات سیلیکون قادر است موجب افزایش میانگین ارتفاع، قطر یقه، میانگین طول ریشه و تعداد ریشه‌های اصلی Bao-shan et al. (2004) و همچنین باعث بهبود اثرات مخرب تنش غرقاب Suriyaprabha et al. (2012) و افزایش جوانه‌زنی بذر Haghighi et al. (2012); Siddiqui and) Al-Whaibi (2013) شود.

کاربرد نانوتکنولوژی در کشاورزی، در سطح جهانی، یک مرحله نوپا و جدید است. علوم نانو منجر به توسعه طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی برای افزایش رشد گیاه شده است Nair et al. (2010). اگرچه استفاده از نانوذرات در علوم کشاورزی در سطح جهانی روز به روز در حال افزایش است با این‌حال، با توجه به اثرات سمّی آن‌ها در غلظت‌های بالا در گیاهان، تحقیقات در این زمینه باید با احتیاط انجام گیرد. شایان ذکر است که تحقیقات Slomberg and Schoenfisch (2012) نشان داد که نانوذرات سیلیکون تا غلظت 1000 ppm هیچگونه اثر سمّی روی گیاه *Arabidopsis thaliana* نداشته است. لذا در این تحقیق اثرات نانوذرات سیلیکون روی شاخص‌های رویشی و فعالیت‌های فیزیولوژیکی نهال‌های محلب بررسی شده است. شایان ذکر است که محلب یکی از گونه‌های مهم جنگل‌های زاگرس بوده و در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران در فعالیت‌های باغبانی به عنوان پایه برای گیلاس و آلبالو و همچنین در جنگلکاری شهری استفاده می‌شود (قارونی و همکاران. (۱۳۹۱).

مواد و روش ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر نانوذرات سیلیکون روی رشد نهال‌های یکساله محلب اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل نانوذرات سیلیکون در غلظت‌های مختلف بود که روی گونه محلب به‌صورت طرح کامل تصادفی در ٤ سطح تیمار شامل سطوح شاهد (آبیاری با آب معمولی هر سه روز یک بار بر اساس ظرفیت زراعی)، تیمار ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نانو ذرات سیلیکون (آبیاری با سوسپانسیون نانو ذره سیلیکون هر سه روز یک بار بر اساس ظرفیت زراعی) در ۳ تکرار و در هر تکرار ۹ پایه، در یک مکان مسقف اجرا شد. شروع اعمال تیمارها در اواخر تیر

ماه و طول دوره آزمایش ٤٥ روز بود.

در طول آزمایش در روزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٥ برای هر تکرار ٦-۳ برگ از بالغترین و توسعه یافتهترین برگ از یک پنجم بالایی نهال انتخاب و میزان تعرق برگ ، هدایت روزنهای و نرخ فتوسنتز خالص توسط دستگاه پرتابلِ اندازهگیریِ تبادلات گازی (Model LCpro+, ADC BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) ثبت شد. در پایان دوره آزمایش از هر تکرار یک نهال برای بررسی شاخصهای فیزیولوژیک از جمله پتانسیل آبی آوند چوبی و محتوی نسبی رطوبت برگ انتخاب شد. پتانسیل آبی آوند چوبی با استفاده از دستگاه Pressure Chamber, Skye, SKPM 1400, UK اندازهگیری شد. برای اندازهگیری محتوای نسبی رطوبت برگ (Relative Water Content) از هر نهال سه برگ سالم و توسعه یافته از یک پنجم بالایی هر نهال انتخاب و پس از توزین (FW) به مدت ٢٤ ساعت در شرایط تاریکی در داخل آب مقطر قرار داده شدند تا به حالت آماس (SW) در آیند. آنگاه برگهای آماس شده با کاغذ صافی خشک شده و توزین گردیدند. سپس آنها را در دمای ۷۰ درجه به مدت ٢٤ ساعت نگهداری کرده تا خشک شدند. وزن برگها پس از خشک شدن اندازهگیری شدند (DW) و میزان نسبی آب (RWC) از رابطه زیر محاسبه گردید Yang et al. (2007).

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} \times ۱۰۰$$

همچنین در پایان دوره، پارامترهای مورفولوژیک از قبیل قطر، ارتفاع، و تغییرات آن در سطح تیمار، میانگین قطر و ارتفاع محاسبه شد. قطر با میکرومتر تا دقت یک صدم میلیمتر از محل یقه نهال و ارتفاع نهالها با استفاده از خطکش مدرّج با دقت یک میلیمتر از سطح خاک تا محل جوانه انتهایی اندازهگیری شد. سپس از هر تیمار سه نهال از خاک خارج کرده و پس از شستشوی کامل خاک اطراف ریشه، عمق ریشهدوانی با استفاده از خطکش مدرج تا دقّت میلیمتر و حجم آنها با استفاده از تغییر حجم استوانه مدرّج اندازهگیری شد. سپس هر یک از اندامهای نهال (ریشه، ساقه و برگ) در دمای ۷۰ درجه به مدت حداقل ٤٨ ساعت خشک شد و بیوماس کل، بیوماس ریشه، ساقه و برگ تعیین شد. پس از جمعآوری نمونههای برگ از نهالهای مورد مطالعه در انتهای آزمایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید مطابق روش(1949) Arnon اندازهگیری گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

در پایان، دادههای بهدست آمده در محیط نرم افزار EXCEL سازماندهی و

نمودارهـای مربوطـه ترسـیم شـد. تجزیـه و تحلیل‌هـای آمـاری بـا اسـتفاده از نـرم افـزار SPSS انجـام شـد. داده‌هـای تبـادلات گازی کـه در طـول آزمایـش و در روزهـای مختلـف ثبـت شـده بودنـد، تحـت یـک طـرح تکـرار در زمـان مـورد بررسـی قـرار گرفتنـد. داده‌هـای رشـد و پتانسـیل آبـی پـس از آزمـون نرمالیته و همگنـی واریانـس بـا اسـتفاده از آزمـون تجزیـه واریانـس یـک طرفـه تجزیـه و تحلیـل شـد و بـرای مقایسـه میانگین‌هـا از آزمـون Dunnett's T3در سـطح اطمینـان ۵ درصـد اسـتفاده گردیـد.

نتایج

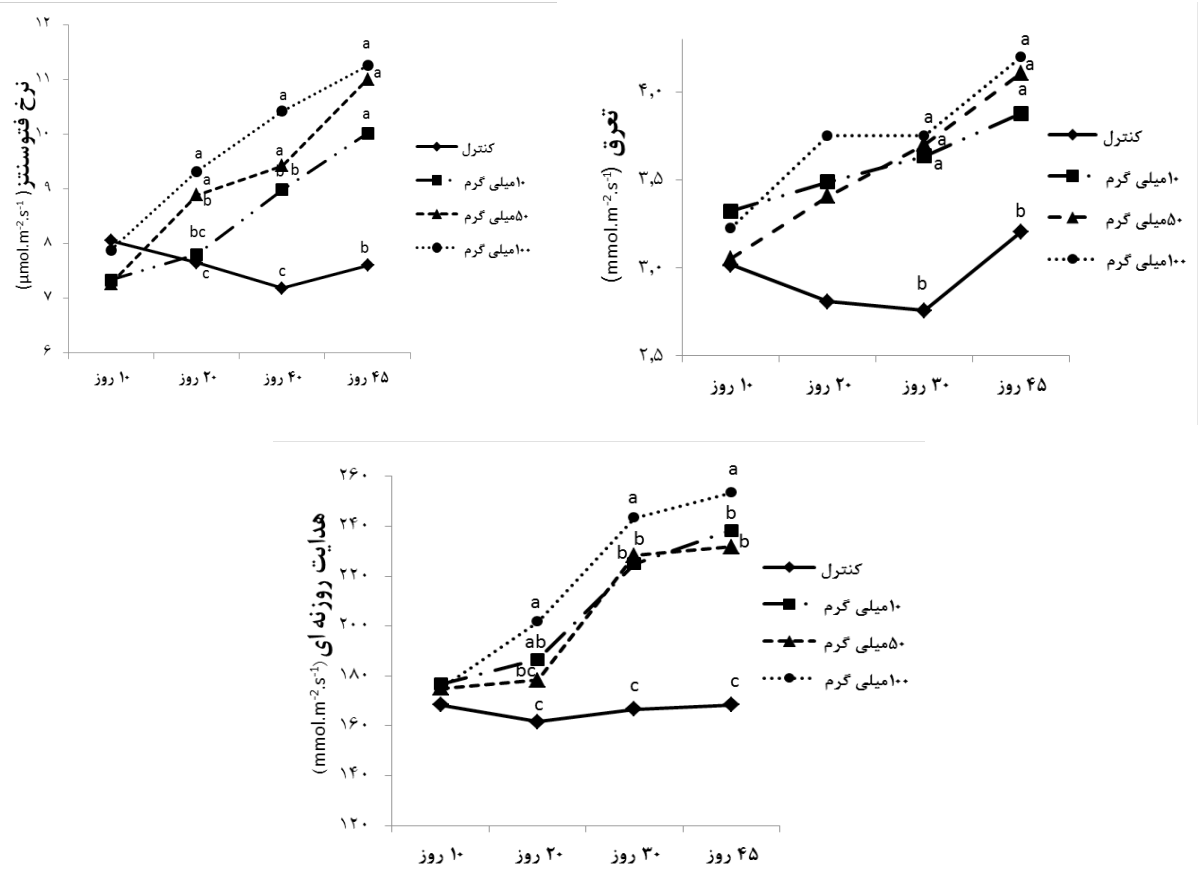
بررسـی رونـد تغییـرات در پارامترهـای تبـادلات گازی در طـول دوره مطالعـه نشـان داد کـه بـا گذشـت زمـان مقادیـر فتوسـنتز، تعـرق و هدایـت روزنه‌ایـی بـا افزایـش میـزان غلظـت نانـوذرات یـک رونـد افزایشـی داشـته اسـت (شـکل۱). آزمـون تکـرار در زمـان حاکـی از آن اسـت کـه پارامترهـای فتوسـنتز، هدایـت روزنه‌ایـی و تعـرق تحـت تاثیـر نانـوذرات سـیلیکون اعمـال شـده (اثـر اصلـی) و زمـان آزمایـش (اثـر درونـی) قـرار گرفته‌انـد. اگرچـه اثـر متقابـل ایـن دو عامـل تاثیـر معنـی‌داری در میـزان تعـرق نداشـت، اما تقابـل ایـن دو اثـر در فاکتورهـای فتوسـنتز و هدایـت روزنـه‌ای معنـی‌دار بـود (جـدول۱).

جـدول ۱: تاثیـر نانـوذره سـیلیکون و گذشـت زمـان بـر تبـادلات گازی نهال‌هـای محلـب در قالـب آزمـون تکـرار در زمـان.

	فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تعرق ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
اثرات اصلی			
نانو ذرات	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
اثرات درونی			
زمان	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
زمان× نانوذرات	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۰*	۰/۶۰۲ns

توضیح: اعداد گزارش شده مرتبط با P-value می‌باشد، * معنی‌داری در سطح ۵٪

نتایج آنالیز واریانس(جدول ۲) آشکار ساخت که از میان پارامترهای فیزیولوژی نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و پتانسیل آبی آوند چوبی و از میان پارامترهای رویشی طول و حجم ریشه همچنین وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک ریشه تحت تاثیر نانوذرات سیلیکون قرار گرفتند. در پایان آزمایش، بیشترین میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق تعلق به تیمارهای نانوذرات داشته است به‌طوری که همواره میزان تبادلات گازی در شاهد کمتر از تیمار نانوذرات بوده است (شکل ۱).



شکل ۱: تاثیر نانوذرات سیلیکون با غلظت‌های مختلف بر روند تبادلات گازی نهال‌های محلب

حروف مختلف در هر دوره مبین معنی‌دار بودن میانگین‌ها بین غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیکون و شاهد است.

نتایج آماری حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد که اثر نانوذرات سیلیکون بر روی پتانسیل آبی آوند چوبی معنی‌دار است (جدول ۲) و با افزایش غلظت نانوذرات میزان پتانسیل آبی آوند چوبی منفی‌تر شد، بیشترین و کمترین کاهش پتانسیل آبی به ترتیب در غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌گرم و شاهد اتفاق افتاد، با این وجود محتوای نسبی رطوبت برگ تحت تاثیر نانوذرات سیلیکون قرار نگرفت (جدول ۳).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه پارامترهای رویشی و پتانسیل آبی آوند چوبی در سطوح مختلف تیمار نانوذرات سیلیکون

	صفات	d.f.	F- value	P - value
پارامترهای فیزیولوژی	پتانسیل آبی (Mpa)	۳	۹/۹۹۳	۰/۰۰۴ **
	محتوای نسبی آب برگ (٪)	۳	۲/۶۱۸	۰/۰۹۹ ns
	فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۳	۱۱/۶۸	۰/۰۰۰ **
	هدایت روزنه ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۳	۶۰/۶۲	۰/۰۰۰ **
	تعرق ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	۳	۷/۷۷۲	۰/۰۰۱ **
پارامترهای رشد و مورفولوژی	قطر (mm)	۳	۱/۰۹۱	۰/۳۵۸ ns
	ارتفاع (cm)	۳	۰/۸۶۴	۰/۴۶۳ ns
	طول ریشه (cm)	۳	۶/۶۷۰	۰/۰۰۷ **
	حجم ریشه (g)	۳	۴/۷۹۴	۰/۰۲۰ *
	وزن خشک ساقه (g)	۳	۹/۹۲۳	۰/۰۰۵ **
	وزن خشک ریشه (g)	۳	۴/۸۲۴	۰/۰۲۰ *
	وزن خشک برگ (g)	۳	۱۱/۳۵۲	۰/۰۰۳ **
	وزن خشک کل (g)	۳	۶/۵۹۰	۰/۰۱۵ *

**: اثر معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns عدم معنی‌داری.

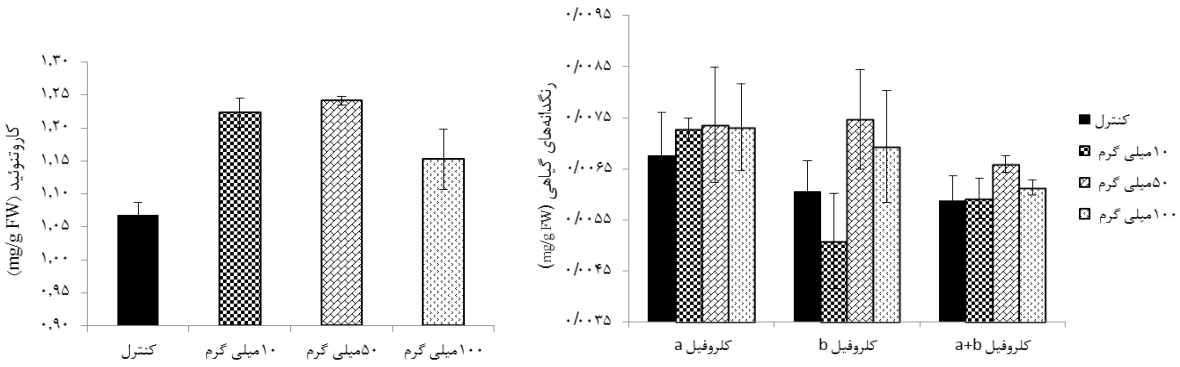
نتایج نشان می‌دهد که زی‌تودهٔ برگ در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم دارای بیشترین مقدار بود و کمترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین از بین پارامترهای رویشی، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک کل نهال، طول ریشه و حجم ریشه از اندازه بزرگتری در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم برخوردار بودند. این در حالی است که ارتفاع نهال و قطر یقه در بین سطوح مختلف نانوذرات سیلیکون و شاهد تغییری نکردند.

جدول ۳: تاثیر نانوذرات سیلیکون روی صفات رویشی، محتوای نسبی رطوبت برگ و پتانسیل آبی آوند چوبی در نهال‌های محلب در انتهای آزمایش

پارامتر	کنترل	۱۰ mgL^{-1}	۵۰ mgL^{-1}	۱۰۰ mgL^{-1}
ارتفاع نهال (cm)	۲/۹۷± ۰/۹۰	۳/۴۱± ۰/۸۵	۳/۲۹± ۰/۷۰	۳/۶± ۰/۴۶
قطر یقه (mm)	۰/۳۵± ۰/۰۵	۰/۴۲± ۰/۰۳	۰/۴۱± ۰/۰۶	۰/۴۶± ۰/۰۷
وزن خشک برگ (g)	$۱/^{c}۸۰ \pm ۰/۱۲$	$۲/۲۷^{b} \pm ۰/۱۳$	$۲/۵۷^{ab} \pm ۰/۱۰$	$۲/۶۷^{a} \pm ۰/۰۹$
وزن خشک ساقه (g)	$۵/۹۵^{b} \pm ۰/۱۴$	$۶/۸۲^{b} \pm ۰/۵۱$	$۸/۳۶^{a} \pm ۰/۳۸$	$۸/۴۴^{a} \pm ۰/۴۰$
وزن خشک ریشه (g)	$۱۰/۵۰^{b} \pm ۱/۰۲$	$۱۴/۶۹^{ab} \pm ۰/۵۷$	$۱۶/۶۵^{a} \pm ۱/۵۲$	$۱۶/۰۱^{a} \pm ۱/۶۲$
وزن خشک کل نهال (g)	$۱۸/۲۵^{b} \pm ۱/۵۴$	$۲۳/۵۴^{ab} \pm ۱/۲۲$	$۲۷/۸۵^{a} \pm ۱/۶۷$	$۲۶/۷۹^{a} \pm ۲/۱۳$
طول ریشه (cm)	$۳۶/۷۵^{b} \pm ۰/۷۵$	$۴۲/۵۰^{a} \pm ۱/۲۵$	$۴۵/۲۵^{a} \pm ۱/۹۳$	$۴۴/۷۵^{a} \pm ۱/۷۹$
حجم ریشه (ml)	$۳۵/۰۰^{b} \pm ۳/۵۳$	$۳۸/۵۰^{ab} \pm ۰/۸۶$	$۴۵/۰۰^{a} \pm ۲/۰۴$	$۴۵/۵۰^{a} \pm ۲/۱۰$
محتوای نسبی رطوبت برگ (٪)	۹۱/۶۹ ± ۶/۲۲	۷۹/۶۰ ± ۳/۶۳	۸۱/۲۶ ± ۲/۸۵	۸۵/۰۱ ± ۱۰/۷۷
پتانسیل آبی آوند چوبی (Mpa)	$-۱/۱۹^{a} \pm ۰/۰۹$	$-۱/۴۴^{b} \pm ۰/۰۶$	$-۱/۴۶^{bc} \pm ۰/۰۲$	$-۱/۶۴^{c} \pm ۰/۰۳$

اعداد نشان دهنده میانگین± اشتباه معیار می‌باشند. حروف مشابه در هر ردیف بر اساس آزمون دانت در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

اگرچه آنالیز آماری وجود اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارهای نانوذرات در نرخ کلروفیل‌ها و کاروتنوئید نشان نداد اما یک روند افزایشی در تغییرات این شاخص‌ها بین تیمارها مشاهده شد. طوری که بیشترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۲: تاثیر نانوذرات سیلیکون با غلظت‌های مختلف روی شاخص‌های کلروفیل و کاروتنوئید نهال‌های محلب در انتهای آزمایش

بحث و نتیجه گیری

کاربرد نانوتکنولوژی روی رشد گیاهان در سطح جهانی، یک مرحله نوپا و جدید است. مرور منابع نشان می‌دهد که بیشترِ مطالعات در این زمینه روی گونه‌های زراعی انجام شده است. در این مطالعات ثابت شده است علوم نانو منجر به توسعه طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی برای افزایش رشد گیاه خواهد شد (2012) .Khot et al. همچنین نانوذرات و نانوکپسول‌ها با تضمین کاهش خسارت یک راه کارآمدتری برای کم‌کردن استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی را ارائه می‌دهد (2010) .Nair et al

در مطالعه حاضر، نرخ تبادلات گازی در طول مدت آزمایش نرخ افزاینده‌ای داشته و نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. Bao-shan et al (2004)مشاهده کردند که نانوذرات SiO2، سنتز کلروفیل برگ نهال‌های *Larix olgensis* را افزایش داده است، در حقیقت، چنین فرآیندی در تحقیق ما روی گونه محلب نیز مشاهده شد. افزایش نرخ فتوسنتز ممکن است نتیجه تسهیل جذب مواد معدنی از جمله منیزیم و نیتروژن باشد که باعث توسعه تشکیل کلروفیل و فعال‌سازی آنزیم‌های کلیدی برای تثبیت کربن می‌شود .Bao-shan et al (2004). Haghighi and Pessarakli (2013) نیز در مطالعه خود روی *Solanum lycoper-sicum* به افزایش نرخ فتوسنتز تحت تاثیر نانو سیلیکون اشاره نمودند. همچنین، در مطالعه آنها نانوذرات سیلیکون باعث کاهش هدایت روزنه و افزایش نرخ تعرق گردید. با توجه به اینکه نانوذرات سیلیکون تاثیر مثبتی روی نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه و تعرق داشته است، این فرایند می‌تواند در تنظیم رشد گیاه موثر باشد. فتوسنتز اساس ماده و انرژی برای تولید گیاه است

که نرخ رشد و تولید گیاه به ویژه تجمع وزن خشک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Zheng et al ., (2005 .

برخلاف یافته‌های Haghighi and Pessa-rakli (2013)، نتایج این تحقیق نشان داد نانوذرات سیلیکون تاثیری بر میزان محتوای نسبی رطوبت برگ نداشت. در منابع گزارش شده است که نانوذرات سیلیکون می‌تواند رشد گیاه را به ویژه وزن خشک را بهبود بخشد که این امر ممکن است به دلیل افزایش جذب عناصر غیرآلی و فرایند فتوسنتز باشد (Bao-shan et al. (2004); Siddiqui and Al-Whaibi (2013). به عبارت دیگر، برخی نانوذرات می‌توانند پتانسیل گیاه را برای جذب آب و مواد غذایی افزایش داده و موجب توسعه کارایی سیستم ریشه و فعالیت نیترات ردوکتاز شده و تجزیه مواد آلی را برای آمینواسیدهای ضروری تسریع بخشند Harrison. (1996).

در این تحقیق، نانوذرات سیلیکون تاثیر معنی‌دار روی قطر و ارتفاع نهال‌های محلب در مدت آزمایش نگذاشت. این در حالی است که Bao-shan et al (2004) در آزمایشی به اثرات مثبت نانوذرات SiO2 روی توسعه رشد و بهبود کیفیت نهال‌های *Larix olgensis* دست یافتند. آنها گزارش کردند که نانوذرات SiO2 در غلظت $500\mu L.L^{-1}$ موجب افزایش ارتفاع و قطر یقه نهال‌ها شد.

در مطالعه Siddiqui and Al-Whaibi (2013) روی گیاه گوجه فرنگی گزارش کردند که نانو ذرات سیلیکون با غلظت ۸ گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد اگرچه در بعضی سطوح نانوذرات سیلیکون، وزن خشک ریشه و ساقه نسبت به شاهد افزایشی نشان نداد، اما وزن خشک نهال افزایش یافت. به طوری‌که وزن خشک کل نهال در تیمارهای ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۲۲، ۳٤ و ۳۲ درصد افزایش نشان داد که با نتایج سایر محققان همانند Zheng et al. (2005); Haghighi et al. (2012); Siddiqui and Al-Whaibi. (2013)مطابقت دارد.

در رابطه با تاثیر سیلیکون بر نرخ کلروفیل گزارش‌های متناقضی وجود دارد. در این رابطه تحقیقات گذشته اثبات کرده‌اند که بکاربردن نانوذرات سیلیکون نرخ کلروفیل را در ذرت (*Zea mays* L.) (Yuvakku-mar et al. (2011)؛ Suriyaprabha et al. 2012b) و نهال‌های لاریکس *Larix olgen-sis*) (Bao-shan et al. (2004) افزایش داده است. با این حال در گزارش دیگری Wei et al (2010)نشان دادند که نانوذرات سیلیکون نرخ کلروفیل را در *Scened-esmus obliquus*کاهش داده است. در این مطالعه اگرچه نانوذرات سیلیکون سبب

افزایش نرخ کلروفیل و کاروتنوئید شد اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. در ارتباط با تنش‌های محیطی Haghighi and Pessarakli (2013) گزارش کردند که اعمال نانوذرات سیلیکون اندکی نرخ کلروفیل را در شرایط تنش شوری افزایش می‌دهد.

درنهایت، اگرچه در تحقیق ما نانوذرات سیلیکون تاثیر مثبت به‌ویژه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم روی نرخ تبادلات گازی و برخی پارامترهای رویشی داشته است با این وجود، برای تحصیل در قوّت این نتایج، استفاده از این نانوذره و نیز دیگر نانوذرات (از قبیل نانو ذرات تیتانیم، نانو لوله‌های کربنی و نقره) می‌تواند در قالب دوره‌های طولانی‌تر روی این گونه یا دیگر گونه‌های جنگلی و مثمره، مورد پژوهش توسط محققین آتی قرار گیرد.

سپاسگزاری

از حمایت‌های تشویقی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

طالع احمد، س. و حداد، ر. (۱۳۸۷). تاثیر سیلیکون بر تحمل به خشکی در گندم. مجله آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۸(۱):۱۵۹- ۱۷۰.

قارونی، ت.، زمانی، ذ.ا. و بوذری، ن. (۱۳۹۱). تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های محلب (*Prunus mahaleb L.*) بر اساس صفات مورفولوژیکی و نشانگرهای RAPD. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۸(۱): ۷۱۷-۷۲۱.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-15.

Bao-shan, L. shao-qi, D. Chun-hui, L. Li-jun, F. Shu-chun, Q. Min, Y. (2004). Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. Journal of Forestry Research. 15(2): 138-140.

Bocharnikova, E. A. Matichenkov, V. V. Pogorelov, A. G. (2011). Methodology for testing of the silicon fertilizer quality. On Silicon in Agriculture. 11.

Chen, W. Yao, X. Cai, K. Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological Trace Element Research. 142(1): 67-76.

Haghighi, M. Afifipour, Z. Mozafarian, M. (2012). The Effect of N-Si on Tomato

Seed Germination under Salinity Levels. Journal of Biology Environmental Sciences. 6(16): 87-90.

Haghighi, M. Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae. 161: 111–117.

Harrison, C.C. (1996). Evidence for intramineral macromolecules containing protein from plant silicas. Phytochemistry. 41: 37–42.

Hattori, T. Inanaga, S. Araki, H. Morita, A. P. Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. Physiologia Plantarum. 123(4): 459-466.

Iwasaki, K. Meier, P. Fecht, M. 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.). planty and soil. 238(2): 281-288.

Khot, L. R. Sankaran, S. Maja, J. M. Ehsani, R. Schuster, E. W. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. Crop Protection. 35(1): 64-70.

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.

Ma, J. F. Yamaji N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science. 11(8): 392-397.

Nair, R. Varghese, S.H. Nair, B.G. Maekawa, T. Yoshida, Y. Kumar, D.S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science. 179: 154–163.

Parveen, N. Ashraf, M. (2010). Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. Pakistan Journal of Botany. 42(3): 1675-1684.

Pei, Z. F. Ming, D. F. Liu, D. Wan, G. L. Geng, X. X. Gong, H. J. Zhou, W. J. (2010). Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Journal of

Plant Growth Regulation. 29(1): 106-115.

Siddiqui, M.H. Al-Whaibi, M.H. (2013). Role of nano-SiO2 in the germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). Saudi Journal of Biological Sciences, 1-12. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs. 2013.04.005.

Slomberg, D. L. Schoenfisch, M. H. (2012). Silica nanoparticle phytotoxicity to Arabidopsis thaliana. Environmental Science & Technology. 46(18): 10247-10254.

Suriyaprabha, R. Karunakaran, G. Yuvakkumar, R. Rajendran, V. Kannan, N. (2012a). Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays* L) seeds under hydroponic conditions. Current Nanoscience. 8(6): 902-908.

Suriyaprabha, R. Karunakaran, G. Yuvakkumar, R. Prabu, P. Rajendran, V. Kannan, N. (2012b). Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. Journal of Nanoparticle Research. 14(12): 1-14.

Wang, X. Wei, Z. Liu, D. Zhao, G. (2011). Effects of NaCl and silicon on activities of antioxidative enzymes in roots, shoots and leaves of alfalfa. African Journal of Biotechnology. 10(4): 545-549.

Wei, C. Zhang, Y. Guo, J. Han, B. Yang, X. Yuan, J. (2010). Effects of silica nanoparticles on growth and photosynthetic pigment contents of *Scenedesmus obliquus*. Journal of Environmental Sciences. 22: 155-160

Yang, Y. Liu, Q. Han, C. Qiao, Y.Z. Yao, X.Q. Yin, H.J. (2007). Influence of water stress and low irradianceon morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. Photosynthetica. 45(4): 613-619

Yuvakkumar, R. Elango, V. Rajendran, V. Kannan, N.S. 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.

Zheng, L. Hong, F. Lu, S. Liu, C. (2005). Effects of nano-TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research. 104: 83–92.