فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۴۱۳-۴۲۸
https://doi.org/10.22034/13.60.413

مقاله پژوهشی

اثر کم آبیاری (تکنیک PRD و SDI) و محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم در گیاه پرچینی برگ نو (*Ligustrum vulgare* L.)

زینب محمد عباس ال واوی ، یحیی سلاح ورزی *، محمود شور، مریم کمالی
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳)

چکیده

امروزه تنش خشکی یکی از موارد محدودکننده توسعه فضای سبز محسوب می‌شود. یکی از راهکارها برای کاهش اثرات تنش خشکی برای گیاهان محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم است. به منظور بررسی کاهش اثرات نامطلوب کم آبیاری با کاربرد سیلیکات پتاسیم بر گیاه پرچینی برگ‌نو (*Ligustrum vulgare* L.) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. آزمایش به صورت کشت گلدانی در سه سطح کم آبیاری (شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی)، ۵۰٪ ظرفیت زراعی (SDI)، ۵۰٪ ظرفیت زراعی با تکنیک PRD و سه سطح محلول‌پاشی برگی با سیلیکات‌پتاسیم (صفر، ۲ و ۴٪) در چهار تکرار انجام شد. طبق نتایج بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی برگی با سیلیکات پتاسیم ۴٪ (۶۸/۵ سانتی‌متر) در گیاه و کمترین ارتفاع گیاه در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی (۲۹ سانتی‌متر) بود. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۲٪ در گیاه (۶۷٪)، همچنین در تنش خشکی PRD 50 و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم (۶۹٪) و در محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۴٪ (۷۲٪) و بیشترین فنل کل در تیمارهای تنش خشکی PRD50 و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۴٪ (۱۱/۱۶ mg/gfw) در گیاه بود. کربوهیدرات کل در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۴٪ (۰/۹۳ mg/gfw) در گیاه و پرولین در تیمارهای تنش خشکی PRD 50 و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم (۴/۰۶ mg/gfw) از بقیه تیمارها بیشتر بود. نتایج نشان داد تنش خشکی با ۵۰٪ ظرفیت زراعی با تکنیک PRD نسبت به تنش خشکی با ۵۰٪ ظرفیت زراعی رشد بهینه گیاه را مختل کرده اما در ترکیب با محلول‌پاشی سلیکات پتاسیم رشد و بقای گیاه بهبود یافت. بر اساس نتایج این آزمایش، در تیمار آبیاری با ۵۰٪ ظرفیت زراعی، وضعیت گیاه با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، فنل کل، کربوهیدرات، گیاه پرچینی

مقدمه

برگ نو یا ترون با نام علمی *Ligustrum vulgare* L. متعلق به تیره Oleaceae است. این گیاه بومی مناطق گرم، کشورهای اروپایی، آفریقا، استرالیا و آسیایی از جمله ایران است (Starr *et al*., 2003). برگ نو به صورت درختچه‌ای با ارتفاع دو الی چهار متر و دارای برگ‌های خزان‌کننده می‌باشد، اما به دلیل آنکه در فصل زمستان همواره تعدادی از برگ‌ها روی تنه گیاه، باقی می‌مانند، گیاه ظاهری همیشه سبز از خود نشان

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Selahvarzi@um.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

می‌دهد. رنگ برگ‌ها در فصل زمستان قرمز – قهوه‌ای بوده که از این نظر، ظاهری زیبا به گیاه می‌دهد. لذا به لحاظ زیبایی فرم و شکل کاربرد زیادی در فضای سبز شهری دارد (Feyzi *et al.*, 2014).برگ نو توانایی رشد در خاک‌های متقاوت را دارد و قادر به حفظ بقای خود HSJ و به راحتی از طریق گل‌های سفیدرنگ قابل شناسایی‌اند (Selahvarzi *et al.*, 2020). معمولاً این گیاه به دلیل هرس‌پذیری، شکل‌پذیری، زیبایی و دوام از ارزش بالایی در فضای سبز برخوردار است (Ghasemi, 2014).

با وجود اهمیت فضای سبز شهری، به دلیل کمبود منابع آب کافی امکان توسعه این فضاها وجود ندارد. در کشور ما، بخش‌های کشاورزی و فضای سبز، مهمترین مصرف‌کنندگان منابع آبی کشور بوده و حدود ۹۰ ٪ حجم آب در ایران در این دو بخش مصرف می‌شود، درحالی‌که بیشترین تلفات آب هم در این دو بخش گزارش می‌شود. شهر مشهد با ۳۳۵۹ هکتار فضای سبز تحت مدیریت یکی از مصرف‌کنندگان بزرگ آب است (Ghanadzadeh *et al.*, 2015). هم اکنون بخش زیادی از این آب به وسیله منابع آبی و مابقی توسط شبکه آب شرب شهری تأمین می‌شود. علیرغم تلاش‌های انجام‌شده به منظور تأمین آب مورد نیاز فضای سبز، هنوز برای آبیاری، بیش از ۱۳۱ لیتر در ثانیه کمبود آب وجود دارد که با روش‌های کم آبیاری مدیریتی تا حدی قابل جبران است. با توجه به سیستم‌های تصمیم‌گیری در خصوص میزان افزایش سرانه فضای سبز به ۱۵ مترمربع تا سال ۱۴۱۵ به نظر می‌رسد نیاز آبی به بیش از ۵۰ میلیون مترمکعب افزایش یابد (Ghanadzadeh *et al.*, 2015). در شرایط بحران آب، به کارگیری تکنیک‌های جدید آبیاری جهت استفاده مؤثر و کارآمد از منابع آبی موجود، ضرورت دارد. کم آبیاری یک روش سودمند اقتصادی در وضعیت موجود و با هدف حداکثر استفاده از واحد آب مصرفی، مطرح می‌باشد. تکنیک‌های کم آبیاری عبارتند از: کم آبیاری تنظیم شده ((Regulated Deficit irrigation (RDI) و خشک‌شدن جزئی ریشه ((Partial Root Drying (PRD). این تکنیک‌ها بر اساس واکنش گیاهان به خشکی انتخاب می‌شود (FAO, 2002). خشک‌شدن جزئی ریشه (PRD) یک شکل اصلاح‌شده برای کاهش نقص کم آبیاری است (English *et al.*, 1990). PRD یک راهبرد جدید آبیاری است که در آن، ریشه به دو قسمت تقسیم شده و در هر نوبت تنها یک قسمت از ناحیه ریشه آبیاری می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2010). به این طریق بخشی از ریشه که خشک مانده است، به عنوان یک پاسخ فیزیولوژیکی در برابر خشکی، مقداری هورمون شیمیایی به نام آبسزیک اسید تولید می‌کند که انتقال این ماده به ریشه گیاه باعث قلیایی‌شدن آن و کاهش میزان بازشدن روزنه شده و موجبات کاهش هدررفت آب را فراهم می‌آورد (Gong *et al.*, 2005). اثرات آبیاری محدود (RDI) و خشک‌شدن جزئی ریشه (PRD) بر رشد و فعالیت دیواره سلولی پراکسیداز مورد بررسی قرار گرفت. RDI به‌طور قابل‌توجهی قطر میوه را کاهش داد، اگر چه PRD وزن تازه را کاهش داد ولی تأثیر قابل توجهی بر قطر میوه نداشت. فعالیت پراکسیداز در گیاهان تحت تیماردهی RDI و PRD به‌طور قابل توجهی بیشتر از گیاهان شاهد بود (Savic *et al.*, 2008).

در زرشک زینتی با افزایش شدت خشکی ارتفاع بوته کاهش یافت اما بین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تعداد شاخه جانبی، وزن تر و خشک و ارتفاع بلندترین شاخه در ۶۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار با ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت (Setayesh *et al.*, 2017).

در مطالعه مربوط به چهار گونه فضای سبز (چمن لولیوم، فرانکینیا، شبدر سفید، پتنتیلا) نتایج نشان داد در تیمار ۷۵٪ ظرفیت زراعی گونه فرانکینیا بیشترین محتوای پرولین و گونه‌های لولیوم پرنه و شبدر سفید به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر کربوهیدرات را داشتند. دو گونه فرانکینیا و پتنتیلا توانستند با تولید پرولین بیشتر تحت شرایط تنش خشکی نسبت به سایر گونه‌ها پتانسیل اسمزی خود را پایین نگه داشته و نسبت به خشکی تحمل بیشتری را نشان دهند (Samieiani *et al.*, 2017).

تغذیه مطلوب گیاهی یکی دیگر از روش‌های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط خشکی معرفی شده است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

سیلیسیم بعد از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در خاک است. در بافت ریشه همه گیاهان در خاک، مقداری سیلیکون وجود دارد. باوجود اینکه این عنصر در کره زمین فراوان است، همراه‌بودن آن با سایر عناصر علت خارج‌شدن این ماده از دسترس گیاه بوده و گیاهان قادر به استفاده از فرم سیلیسیک هستند و به علت این که در زمره عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار ندارد توجه زیادی به نقش بیولوژیکی آن در گیاه نمی‌شود (Hajiboland, 2013). جداره یاخته‌های اپیدرمی که با لایه محکمی از سیلیکون آغشته می‌شود از دست‌دادن آب به وسیله تعرق کوتیکولی و نیز در برابر بیماری‌های قارچی جلوگیری می‌کنند (Broadly *et al*., 2012).

پتاسیم نیز به عنوان یک عنصر ضروری در گیاه برای افزایش تولید و بهبود کیفیت گیاه محسوب می‌شود. پتاسیم هم از نظر حضور در بافت‌های گیاهی و هم از نظر وظایف فیزیولوژیکی وبیوشیمیایی عنصر مهمی است. پتاسیم در داخل بافت‌های گیاهی فعال بوده و جهت عمده حرکت آن به سمت بافت‌های مریستمی گیاه است (Hajiboland, 2013). علاوه بر تحرک پتاسیم در گیاه، غلظت فراوان آن در داخل گیاه این امکان را به پتاسیم می‌دهد که در فیزیولوژی گیاهی مؤثر باشد (Hajiboland, 2013). مطالعات متعدد نشان داده است که این عناصر آثار مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد. سیلیسیم توسط گیاه به شکل باردار $Si(OH)_4$ جذب و در نهایت به صورت رسوب حل نشدنی (سالیسیلیک اسید) در گیاه تجمع می‌یابد. از اثرات مثبت این عنصر می‌توان به ایجاد مقاومت در گیاهان در برابر تنش‌های خشکی، شوری، فلزات سنگین، اشعه UV و پاتوژن‌ها اشاره کرد. به علاوه این عنصر به استقرار عمودی برگ‌ها و جلوگیری از سایه‌اندازی گیاه، قابلیت ارتجاعی و استحکام جدار سلولی و کاهش تعرقی کوتیکولی نیز کمک می‌کند (Hajiboland, 2013). تأثیر سیلیسیم در کاهش آثار خشکی، روی ژنوتیپ‌های «برگ موجی» و «برگ صاف» گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) بررسی شد (Mehrgan *et al*., 2017). تیمار سیلیسیم در سه سطح صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار و تنش خشکی در سه سطح ۹۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی اعمال شد. نتایج نشان داد افزایش خشکی به طور معناداری بر تمامی صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، قطر ساقه و قطر ریشه)، رویشی و فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب برگ، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه) و بیوشیمیایی (کلروفیل a، b و کل، پرولین و آنتوسیانین) تأثیر داشت. درحالی‌که کاربرد سیلیسیم آثار تنش را تعدیل کرد، به‌طوری‌که در همه سطوح خشکی تیمار سیلیسیم به‌ویژه با غلظت ۲ میلی‌مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. در این مطالعه نشت یونی که شاخصی از یکپارچگی غشاء سلولی است با کاربرد سیلیسیم در سطوح بالای تنش خشکی کاهش یافت. طی مطالعه‌ای بر روی نقش سیلیسم در تنظیم فتوسنتز و رویدادهای متابولیک مرتبط با آن در کنتاکی بلوگرس تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت. تنش خشکی در چهار سطح (صفر، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سیلیسم ($Na_2SiO_3.9H_2O$) بر گیاهان یک‌ساله‌ای که از مزرعه حذف شده و در گلخانه کشت داده شدند اعمال شد. پس از ۲۰ روز تنش خشکی، گیاهان مجدداً آبیاری شدند تا به ظرفیت زراعی خاک برای بررسی بهبود در روزهای دوم و هفتم برسند. هدایت روزنه‌ای، محتویات کلروفیل، فعالیت روبیسکو و حالت فعالسازی روبیسکو در بلوگراس کنتاکی ۷۸، ۶۱ و ۴۸ درصد افزایش فتوسنتز، فعالیت اولیه روبیسکو و فعالیت کلی روبیسکو به ترتیب در ۲۰ روز خشکسالی ثبت شد (Saud *et al*., 2016). اثر سیلیکون بر هدایت روزنه‌ای در سورگوم نشان داد این ماده سبب افزایش پتانسیل آبی برگ از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی در شرایط تنش آبی می‌گردد (Hattori *et al*., 2007). گیاهانی که از مقدار پتاسیم کافی برخوردارند برای ساخت ترکیبات آلی پیچیده به مقدار آب کمتری نیاز دارند. در گیاهان دارای مقدار پتاسیم کافی میزان تعرق به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. نقش اصلی در این خصوص تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌هاست. از طرف دیگر با افزایش پتاسیم در برگ‌ها میزان نگه‌داری آب افزایش پیدا می‌کند. پتاسیم باعث افزایش هیدراسیون پروتوپلاسم شده و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

افزایش هیدراسیون باعث مقاومت گیاه به خشکی می‌شود. در صورت کمبود پتاسیم، میزان نیتروژن محلول در گیاه افزایش پیدا کرده و تقسیم سلولی و رشد گیاه متوقف می‌شود. بنابراین هر چه میزان نیتروژن محلول در گیاه زیاد باشد نشان‌دهنده عدم تعادل غذایی بیشتر است. کاهش تقسیم سلولی و عدم رشد گیاه در حضور ناکافی پتاسیم نتیجه عدم ساخت پروتئین و هیدرات‌های کربن در این شرایط است (Karimi Moridani, 2014). در آزمایش میدانی، اثر سیلیکات پتاسیم بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل رز در شرایط تنش کمبود آب مورد بررسی قرار گرفت. تیمارها در چهار سطح کاربرد آب آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز به آب گیاه (PWR) و سیلیکات پتاسیم با سه میزان صفر درصد (فقط آب خالص)، ۰/۲ و ۰/۴ درصد، یک‌بار در (بهار یا تابستان) یا دو بار (یک بار در بهار و یک بار در تابستان) در طول رشد گیاه اعمال شدند. نتایج این بررسی نشان داد که با آبیاری ۷۵ درصد آب مورد نیاز گیاه، غلظت کلروفیل a (۱۷۰ درصد)، کلروفیل b (۱۶۳ درصد) و کاروتنوئیدها (۹۱ درصد)، میزان نسبی آب برگ (۱۴/۸ درصد)، عملکرد کل گل (۲۰ درصد) در مقایسه با شاهد شد. در پاسخ به استرس اکسیداتیو ناشی از تنش کمبود آب، فعالیت کاتالاز برگ (۵۹/۵ درصد) و غلظت پرولین (۶۴/۸ درصد) در مقایسه با شاهد افزایش یافت. محلول‌پاشی سیلیسیم در دو غلظت ۰/۲ و ۰/۴ درصد در بهار و تابستان منجر به غلظت بالاتری از کلروفیل a (۵۷/۳ و ۶۱/۷ درصد) کلروفیل b (۳۱ و ۲۴/۶ درصد) و مقدار کاروتنوئید در مقایسه با شاهد شد. به ترتیب افزایش غلظت پرولین و فعالیت بیشتر CATدر گیاهان عرضه‌شده با سیلیسیم منجر به افزایش RWC برگ و شدت کمتر آسیب اکسیداتیو، یعنی نشت یون شد. با توجه به نتایج، با پاشش سیلیکات پتاسیم در ۰/۲ یا ۰/۴ درصد هم در فصل بهار و تابستان در سطح آبیاری معادل ۵۰ درصد، عملکرد مطلوب گل حاصل شد (Farahani *et al.*, 2020). با توجه به تأثیر سیلیکات پتاسیم در افزایش مقاومت به تنش و با هدف مقایسه دو تیمار آبیاری کم آبیاری تنظیم شده و آبیاری به شیوه خشک‌شدن جزیی ریشه در گیاه برگ نو آزمایش فوق طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی اثرات کم آبیاری با کاربرد سیلیکات پتاسیم بر گیاه پرچینی برگ نو (*Ligustrum vulgare* L.) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل دو عاملی (کم آبیاری و سیلیکات پتاسیم) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. میانگین دمای روز و شب گلخانه به ترتیب ۱۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰-۶۵٪ بود. آزمایش به صورت کشت گلدانی با بستر ۵۰ درصد خاک و ۵۰ درصد ماسه در سه سطح کم آبیاری (شاهد (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی)، ۵۰٪ ظرفیت زراعی (SDI) و ۵۰٪ ظرفیت زراعی با تکنیک PRD روز در میان، و سه سطح محلول‌پاشی برگی با سیلیکات پتاسیم (صفر، ۲ و ۴٪) در چهار تکرار در گلدان سایز ۴ کشت شد. گلدان‌های مورد استفاده برای آزمایش PRD با تیغه‌های نازک کارتن پلاست به دو قسمت مساوی تقسیم شد. ته گلدان‌ها (ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر با دهانه ۱۲ سانتی‌متر)، به ارتفاع ۲ سانتی‌متر شن ریز به‌عنوان فیلتر زهکش ریخته شد. ۵ سانتی‌متر بالای گلدان‌ها برای اعمال آبیاری، خالی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از نشست آب از دیواره‌ها، داخل گلدان‌ها با پلاستیک نازک پوشانده شد. بعد از پرشدن گلدان‌ها با خاک، به منظور رفع شوری خاک، دو دفعه با آب اشباع شد و اجازه داده شد تا زهکشی انجام شود. به منظور تعیین نیاز آبی، قبل از هر آبیاری از عمق مؤثر ریشه، نمونه خاک تهیه و رطوبت وزنی آن تعیین شد. سپس حجم آب برای رسانیدن خاک به حد ظرفیت زراعی محاسبه شد. برای آبیاری تیمارهای PRD با تیغه و بدون تیغه، ۵۰٪ حجم آب تیمار کامل در هر نوبت آبیاری در نظر گرفته شد.

کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم به شیوه محلول‌پاشی برگی در چهار نوبت به فواصل هفت روز یکبار، دو نوبت قبل از اعمال تنش خشکی و دو نوبت پس از شروع تنش بود.

نمونه‌برداری از خاک مورد استفاده برای تحقیق انجام و به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک گلدان‌ها

هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته کل اشباع	شن	لای	رس	بافت خاک
		(٪)			
۱/۲	۷/۹	۲۹	۳۰	۴۱	لومی رسی

آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. ویژگی‌های خاک در جدول ۱ ارائه شده است

اندازه گیری صفات مورفولوژیکی: صفات مورفولوژیک مورد نظر شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، طول شاخه جانبی، تعداد برگ، سطح برگ، قطر ساقه، وزن‌تر اندام هوایی، وزن‌تر ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی، وزن خشک ریشه، طول ریشه اصلی و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری این صفات مثل ارتفاع گیاهان با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه با کولیس دیجیتال، سطح برگ با دستگاه سطح برگ‌سنج و حجم ریشه‌ها به روش ارشمیدس اندازه‌گیری شد. قبل از اندازه‌گیری وزن ریشه، خاک و گل‌لای اطراف ریشه شسته شد. وزن تر و خشک گیاهان با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه گرفتن میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در گیاهان، ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه خرد شده و در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد با یک هاون چینی ساییده تا یک توده به‌صورت یکنواخت به‌دست آمد. سپس مخلوط حاصله در لوله‌های فالکون ۲۰ میلی‌لیتر ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۳۵۰۰ سانتریفیوژ شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب نور محلول رویی در طول‌موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۵۲، ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر خوانده شد و در نهایت با استفاده از روابط زیر غلظت کلروفیل محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{Total Chl} = [20.2\,(A645) + 8.02(A663)] \times [V / 1000 \times W]$$
$$\text{Chl a} = [12.7\,(A663) - 2.69(A645)] \times [V / 1000 \times W]$$
$$\text{Chl b} = [22.9\,(A645) - 4.68(A663)] \times [V / 1000 \times W]$$

V = حجم استون مصرف‌شده (۱۰ میلی‌لیتر)، W= حجم نمونه استفاده‌شده (۰/۲۵ گرم)

تهیه عصاره متانولی: از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته ۰/۲ گرم (۲۰۰ میلی‌گرم) برگ تازه جدا شد و در هاون چینی عصاره‌گیری با ۲۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹ درصد انجام شد و به مدت پنج دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه عمل سانتریفیوژ انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، عصاره شفاف قسمت فوقانی آن جدا شد.

کربوهیدرات محلول: برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول، از عصاره تهیه‌شده ۰/۲ میلی‌لیتر با ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون مخلوط و در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. هر یک از نمونه‌ها پس از سردشدن در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر، میزان جذب نور آن‌ها اندازه‌گیری شد (Sadasivam and Manickam, 2008).

تعیین میزان فنل کل: میزان فنل کل با استفاده از ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره متانولی تهیه‌شده با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیکالتو اندازه‌گیری شد (Singleton and Rossi, 1965). با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر مقدار جذب محلول خوانده شد. برای استاندارد از اسید گالیک استفاده شد و مقدار ترکیبات فنلی کل بر اساس معادل میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن خشک محاسبه شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل: فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌ها به روش فسفومولیبدات DPPH آنالیز شد (Singh *et al.*, 2002). ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره با ۳ میلی‌لیتر معرف (سدیم فسفات ۲۸ میلی‌مولار، سولفوریک اسید ۰/۶ مولار و آمونیوم مولیبدات ۴ میلی‌مولار) ترکیب شده به مدت ۹۰ دقیقه در حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان جذب نمونه‌ها در ۶۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. رسم منحنی استاندارد با استفاده از اسید آسکوربیک انجام شد. وزن خشک نمونه با فعالیت آنتی‌اکسیدان کل به‌صورت میلی‌گرم آسکوربیک اسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

بر گرم ارزیابی شد.

میزان فلاونوئید کل: با روش آلومینیوم کلرید فلاونوئید کل سنجش شد. ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰٪ در اتانول (۱۰ گرم آلومینیوم کلرید ۱۰٪ در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول و آب مقطر)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار (۲/۴۱ گرم در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. در نمونه شاهد از متانول خالص به جای عصاره متانولی، استفاده شد. مخلوط آماده شده نیم ساعت در تاریکی گذارده شد. سپس جذب آن بلافاصله در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر یادداشت شد. برای استاندارد از غلظت‌های مختلف کوئرستین استفاده و مقدار فلاونوئیدها بر اساس mg quercetin g^{-1} FW مورد محاسبه قرار گرفت (Chang *et al*., 2002).

نشت الکترولیت برگ (Electrolyte leakage): با استفاده از روش لوتس Lutts و همکاران (۱۹۹۶) این آزمایش انجام شد. در این روش ابتدا قطعات برگی با اندازه یک سانتی‌متر آماده شد. پس از شستشوی این قطعات آن‌ها را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، در داخل شیشه‌های ۵۰ میلی‌لیتری، به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفت. در این مرحله (EC1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج (ECمتر) اندازه‌گیری میزان نشت اولیه انجام شد. سپس شیشه‌ها جهت کشته‌شدن سلول‌های برگی به اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. پس از سردشدن محتویات داخل بطری‌ها، میزان نشت ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد. محاسبه نشت الکترولیت از طریق رابطه زیر به دست آمد.

$$EL = (EC1/EC2) \times 10$$

محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content): برای بررسی وضعیت آب گیاه، محاسبه محتوای نسبی آب برگ (RWC) انجام شد. ابتدا وزن‌تر نمونه‌های برگی تهیه‌شده از گیاه (FW) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور و محاسبه وزن آماس (TW) آن‌ها، انجام شد. در نهایت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و اندازه‌گیری وزن خشک (DW) آن‌ها انجام شد (Siddique *et al*., 2000).

برای تعیین محتوای آب نسبی برگ از فرمول زیر استفاده شد:

$$RWC\% = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100$$

محاسبه میزان پرولین: مقدار پرولین به روش ارائه شده توسط بیتس Bates و همکاران (۱۹۷۳) تعیین شد. جهت این ارزیابی به ۰/۵ گرم از برگ تازه و له‌شده ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسلیک اسید سه درصد اضافه شد. لوله‌های فالکون محتوای مخلوط در ۷۵۰۰ دور به مدت ۳۰ دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد و مواد اضافی از محلول جدا شد. به ۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده، ۲ میلی‌لیتر اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه و پس از بن‌ماری ۴ میلی‌لیتر تولوئن به آن اضافه و عدد جذب در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار JMP8 استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج

بررسی صفات مورفولوژیک گیاه برگ نو تحت تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم: با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تمامی صفات مورفولوژیک در اثرات ساده تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند. در اثر متقابل، تمامی صفات بجز طول برگ، تعداد برگ، قطر ساقه و فاصله میانگره در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند.

ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، حجم و طول ریشه: با توجه به نتایج جدول ۳ بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی برگی با سیلیکات پتاسیم ٪۴ (۶۸/۵ سانتی‌متر) در گیاه و کمترین ارتفاع گیاه در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی (۲۹ سانتی‌متر) بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات مورفولوژیکی گیاه برگ نو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول ریشه	فاصله میان‌گره	قطر ساقه	تعداد برگ	عرض برگ	طول برگ	ارتفاع
خشکی	۲	۲۸۹/۳۳**	۴/۷۴**	۱۵/۱۱**	۱۴۷۱۴**	۲/۴۵**	۹/۷۳**	۱۹۵۸/۱۱**
سیلیکات پتاسیم	۲	۱۹۶/۳۳*	۵/۴۱**	۷/۶۹**	۲۳۸۵**	۰/۲۵**	۲/۰۹**	۴۱۷/۶۳**
تنش× محلول‌پاشی	۴	۴۹۵/۹۱**	۰/۴۴ ns	۰/۷۳۳ns	۱۳۴/۴۹ns	۰/۰۵۹*	۰/۰۲۷ns	۱۱۴/۴۶**
خطا	۲۷	۴/۲۵	۰/۲۰	۰/۴۴	۹/۸	۰/۰۱	۰/۰۳۹	۳/۸۷

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک هوایی	وزن تر هوایی	سطح برگ	حجم ریشه
خشکی	۲	۱۰۱/۷۱**	۵۳۰/۸۸**	۹۵/۷۸**	۷۹۶/۶۱**	۸۵۱۸۵۱**	۸۹۳/۰۲**
سیلیکات پتاسیم	۲	۲۹/۱۰**	۱۶۶/۴۲**	۳۸/۱۹**	۲۵۷/۰۳**	۱۰۸۵۹۵**	۱۵۳/۰۲**
تنش × محلول‌پاشی	۴	۷/۸۰**	۳۷/۱۳**	۳/۳۵۷**	۱۴۳/۵۵**	۳۴۲۱۲**	۱۵۸/۵۲**
خطا	۲۷	۰/۳۱	۴/۱۶	۰/۳۳	۵/۰۸	۸/۷	۱۰/۸۸

ns، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر صفات مورفولوژیکی گیاه برگ نو

تنش خشکی	سیلیکات پتاسیم	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی	سطح برگ	حجم ریشه	طول ریشه	عرض برگ	ارتفاع
	(٪)	(g)				(cm^2)	(cm^3)		(cm)	
FC٪۱۰۰	۰	۴/۹۶c	۷/۹۳c	۱۵/۳۷b	۱۸/۷۸b	۴۴۵/۴۶c	۱۸c	۴۲c	۱/۱۷۲b	۴۴/۵۰c
	۲	۶/۵۲b	۹/۲۲b	۱۷/۹۵b	۲۰/۱۳b	۷۲۲/۸۹b	۲۳b	۵۴/۷۵b	۱/۲۵b	۵۵/۲۵b
	۴	۱۱a	۱۳/۲۹a	۲۸/۷۵a	۳۹/۳۸a	۸۳۲/۲۵a	۳۷/۵a	۳۹e	۱/۶۵a	۶۸/۵۰a
FC٪۵۰	۰	۱/۷۰f	۴/۶۰e	۷/۱۸de	۱۱/۳۱de	۱۹۱/۵۰f	۹/۷۵ef	۴۱d	۰/۵۱de	۳۲/۸۷f
	۲	۲/۹۰de	۵/۲۲e	۹/۰۵cde	۱۲/۵۹cd	۲۷۳/۲۵e	۱۴/۷۵cd	۵۸/۷۵ab	۰/۶۵cd	۳۶/۶۲de
	۴	۳/۲۵d	۶/۸۲d	۱۰/۸۷c	۱۳/۵۰c	۳۱۲d	۱۰/۷۵def	۶۵/۲۵a	۰/۸۱c	۳۸/۲۵d
PRD٪۵۰	۰	۱/۵۷f	۳/۵۷f	۶/۵۶e	۱۰/۸۹def	۱۴۲/۷۵h	۹f	۵۵/۵b	۰/۴e	۲۹g
	۲	۲/۱۲ef	۴/۷۹e	۹/۸۷cd	۱۱/۵۰cde	۱۶۰g	۱۴cde	۴۲c	۰/۵۵de	۳۳/۲۵f
	۴	۳/۲۰d	۶/۴۶d	۱۱/۵۱c	۱۳/۶۱c	۱۹۵/۲۵f	۹/۲۵ef	۵۷/۵ab	۰/۵۳de	۳۵ef

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ به‌ترتیب ۳۹/۳۸

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

گرم و ۱۳/۲۹ گرم در گیاه و کمترین وزن تر اندام هوایی در تنش خشکی ۵۰٪ و بدون محلول‌پاشی (۱۰/۸۹ گرم) در گیاه حاصل شد. این در حالی است که کمترین وزن خشک اندام هوایی در تنش خشکی ٪۵۰ و محلول‌پاشی۲٪ در گیاه مشاهده شد (جدول ۳). مطابق با جدول ۳ بیشترین وزن تر و خشک ریشه گیاه در تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ بود. همچنین کمترین وزن تر و خشک ریشه در تنش خشکی ٪۵۰ و بدون محلول‌پاشی به میزان ۶/۵۶ و ۳/۵۷ گرم در گیاه به دست آمد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین حجم ریشه در تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ (۳۷/۵ سانتی‌متر مکعب) در گیاه رویت شد و کمترین حجم ریشه در تنش خشکی ۵۰ و بدون محلول‌پاشی (۹ سانتی‌متر مکعب) در گیاه بود (جدول ۳). طبق جدول ۳ بیشترین طول ریشه در تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ (۶۵/۲۵ میلی‌متر) در گیاه مشاهده شد و کمترین طول ریشه در تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ (۳۹ میلی‌متر) در گیاه ایجاد شد.

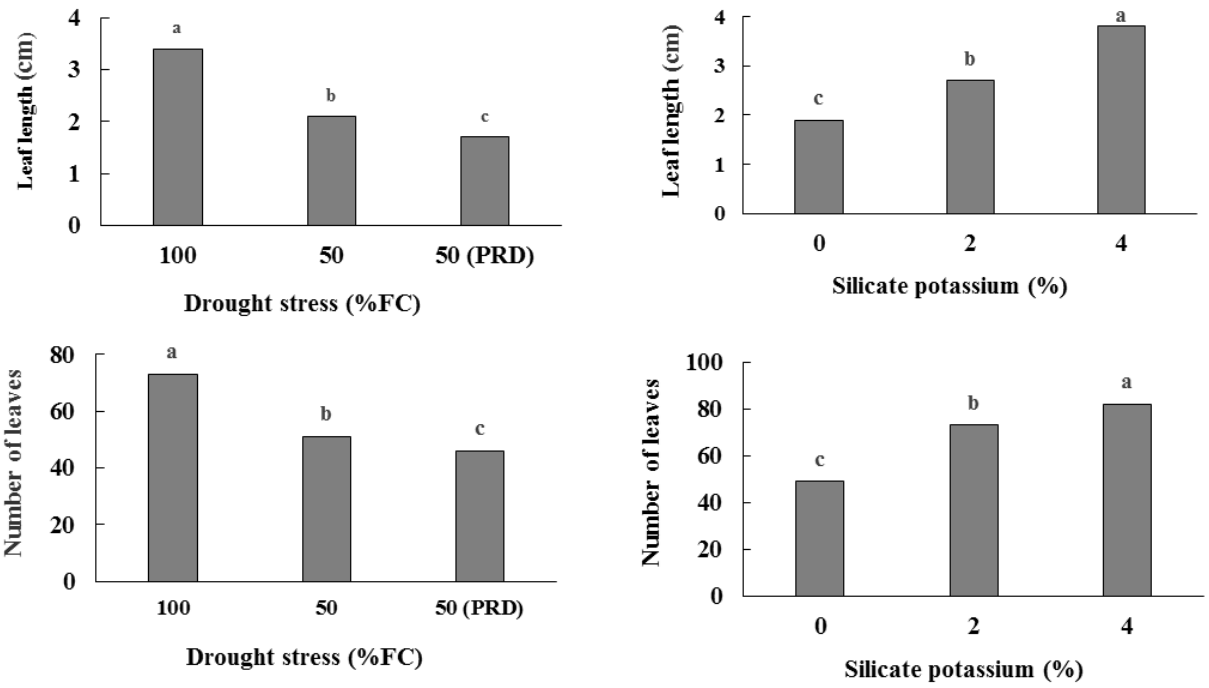
عرض و طول برگ، تعداد برگ، قطر ساقه، فاصله میانگره: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین عرض برگ در تیمار عدم تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ (۱/۶۵ سانتی‌متر) و کمترین عرض برگ در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی (۰/۴ سانتی‌متر) در گیاه بود (جدول ۳). مطابق شکل ۱ اثرات ساده طول برگ در تیمار عدم تنش خشکی رتبه اول را به خود اختصاص داد، همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم ٪۴ باعث ایجاد بیشترین طول برگ شد. این در حالی است که طول برگ در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. با توجه به نتایج شکل ۱، بیشترین تعداد برگ گیاه در تیمار عدم تنش خشکی مشاهده شد، همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم ٪۴ باعث ایجاد بیشترین تعداد برگ شد. کمترین تعداد برگ در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم بود. مطابق شکل ۲ بیشترین قطر ساقه بوته در تیمار ۱۰۰٪ FC بود، همچنین گیاهان تحت تیمار با سیلیکات پتاسیم ٪۴ قطر ساقه بیشتر و گیاهان تیمارشده با تنش خشکی PRD۵۰ و بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم قطر ساقه کمتر داشتند. در تیمار ۱۰۰٪ FC فاصله میانگره کمتر شد، همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم ٪۴ باعث ایجاد بیشترین فاصله میانگره شد. کمترین فاصله میانگره در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم مشاهده شد (شکل ۲).

بررسی صفات فیزیولوژیک گیاه برگ نو تحت تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم: همان‌طور که جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان می‌دهد، در تمامی صفات مورفولوژیک اثرات ساده تنش خشکی و محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم معنی‌دار شده است. در مورد اثر متقابل تمامی صفات به غیر از محتوای آب برگ در سطح احتمال حداقل ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان دادند.

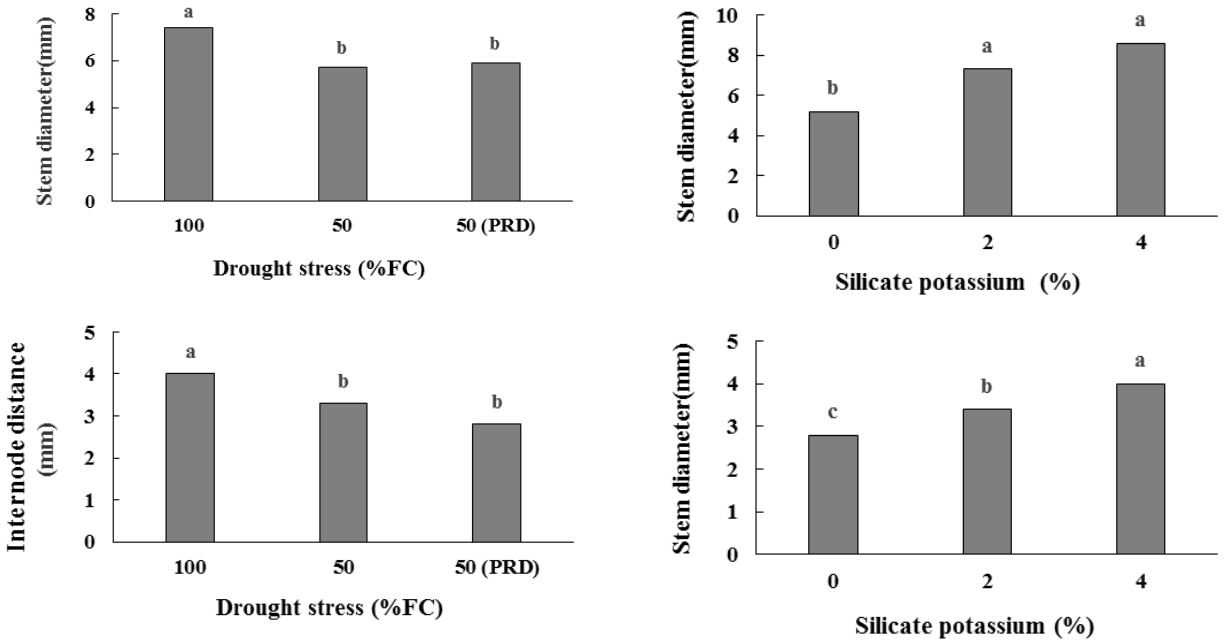
میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به در تیمار ۱۰۰٪ FC و دو سطح محلول‌پاشی ۲ و ۴ ٪ سیلیکات پتاسیم در گیاه بود و کمترین میزان کلروفیل a در تنش خشکی PRD۵۰ و بدون محلول‌پاشی در گیاه ایجاد شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها برای کلروفیل b نشان داد که کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ در تنش خشکی ۵۰ بیشترین کلروفیل b را ایجاد کرد درحالی‌که کمترین کلروفیل b مربوط به تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی در گیاه بود. در مورد کلروفیل کل بیشترین در تیمار تنش خشکی ۱۰۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ مشاهده شد و کمترین مربوط به تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی در گیاه بود.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنل کل: با توجه به نتایج جدول ۵ بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۲ در گیاه، همچنین در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و در محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ ایجاد شد. این در حالی است که کمترین در سطح تنش خشکی ۱۰۰ و بدون کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۱- اثر اصلی تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر طول برگ و تعداد برگ گیاه برگ نو. حروف غیرمشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارها در سطح یک درصد است.



شکل ۲- اثر اصلی تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر قطر ساقه و فاصله میانگره گیاه برگ نو. حروف غیرمشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین تیمارها در سطح یک درصد است.

طبق نتایج جدول ۵، بیشترین فنل کل در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ PRD و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۴٪ در گیاه بود و کمترین فنل کل در سطح تنش خشکی ۱۰۰ و بدون کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بود. از دیگر سو، در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برگ نو

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنویید	پرولین
تنش خشکی	۲	۲۲/۴۶**	۳/۱۱**	۲۴/۲۸**	۵/۴۵**	۱۱/۳۵**
سیلیکات پتاسیم	۲	۲۱/۶۱**	۲۷/۵۷**	۹۷/۶۳**	۱/۳۲^{ns}	۳/۱۹ **
تنش × محلول‌پاشی	۴	۱/۷۴**	*۰/۶۳	۴/۱۲**	۱/۶۷^{ns}	۰/۴۲ *
خطا	۲۷	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۷۴	۰/۰۲

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ادامه جدول ۴-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		فنول کل	محتوای نسبی رطوبت برگ	نشت الکترولیت	کربوهیدرات کل	آنتی اکسیدان
تنش خشکی	۲	۱۰۹/۷۶**	۵۴۵۲/۷۱**	۸۵۱۳/۵۵**	۰/۵۲۷**	۷۴۴۷/۱۵**
سیلیکات پتاسیم	۲	۱۳/۶۹ **	۲۴۸/۱۷**	۳۵۵/۰۱**	۰/۰۶۵**	۲۶۶/۵۰**
تنش × محلول‌پاشی	۴	۰/۶۵*	۰/۷۴۶^{ns}	۲۳/۷۸*	۰/۰۲۵**	۱۶۰/۲۳**
خطا	۲۷	۰/۲۰	۲/۷۵	۳/۷۱	۰/۰۰۱	۲/۸۱

^{ns}، * و ** به ترتیب نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

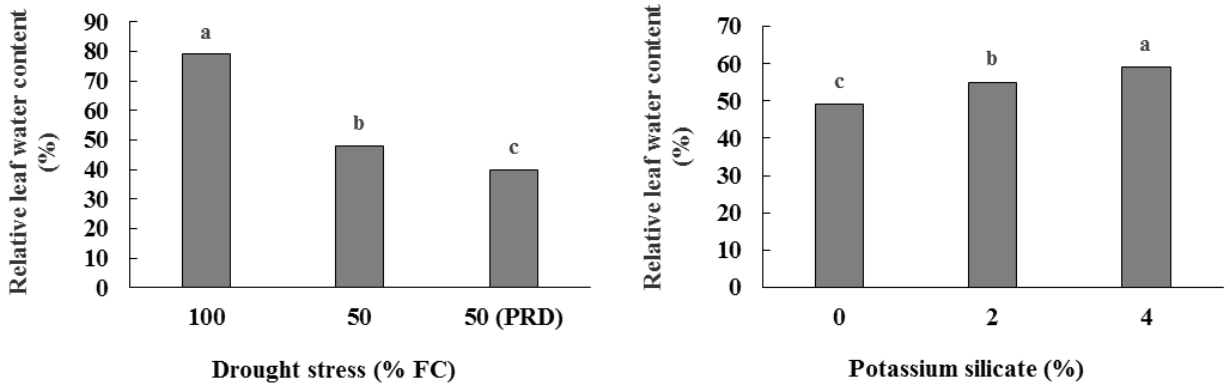
جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه برگ نو

تنش خشکی (FC%)	سیلیکات پتاسیم (٪)	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	آنتی‌اکسیدان	نشت الکترولیت	کربوهیدرات کل	فنل کل	پرولین
		(mg/g FW)			(٪)	(٪)	(mg/g FW)		
۱۰۰	۰	۷/۱۲^{b}	۳/۵۷^{g}	۱۰/۶۹^{e}	۱۳/۰۵^{f}	۱۹/۹۳^{f}	۰/۳۳^{e}	۲/۵۴^{g}	۱/۸۵^{f}
	۲	۸/۵۹^{a}	۵/۶۴^{de}	۱۷/۲۳^{c}	۲۳/۲۵^{e}	۱۷/۳۸^{fg}	۰/۵۷^{de}	۳/۶۰^{f}	۱/۴۶^{g}
	۴	۹/۱۰^{a}	۶/۵۷^{bc}	۱۵/۶۷^{a}	۳۱/۷۷^{d}	۱۴/۶۸^{g}	۰/۶۲^{d}	۴/۵۸^{e}	۱/۱۰^{h}
۵۰	۰	۵/۵۶^{d}	۴/۹۸^{f}	۱۰/۶۲^{e}	۵۹/۳۰^{c}	۵۶/۹۴^{bc}	۰/۸۷^{b}	۸/۲۲^{c}	۳/۵۵^{b}
	۲	۶/۴۰^{c}	۵/۹۸^{cd}	۱۲/۳۸^{d}	۶۷/۵۰^{a}	۴۹/۴۷^{d}	۰/۹۲^{ab}	۹/۳۰^{b}	۲/۸۶^{d}
	۴	۷/۷۵^{b}	۷/۳۸^{a}	۱۵/۱۳^{ab}	۶۵/۷۲^{ab}	۴۰/۶۶^{e}	۰/۹۳^{a}	۱۱/۱۶^{a}	۲/۲۵^{e}
(PRD)۵۰	۰	۳/۸۵^{e}	۳/۳۶^{g}	۷/۲۱^{f}	۶۹/۷۵^{a}	۶۵/۴۸^{a}	۰/۷۹^{c}	۶/۶۷^{de}	۴/۰۶^{a}
	۲	۵/۰۳^{de}	۵/۲۰^{ef}	۱۰/۲۳^{e}	۶۰/۳۰^{bc}	۵۹/۹۴^{b}	۰/۷۶^{c}	۷/۱۵^{d}	۲/۷۳^{d}
	۴	۷/۷۹^{b}	۷/۰۴^{ab}	۱۴/۸۴^{bc}	۷۲/۱۲^{a}	۵۳/۷۵^{cd}	۰/۸۹^{ab}	۸/۰۸^{c}	۳/۲۲^{c}

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شرایط تنش، سنتز فنل جهت حفظ ساختار سلولی در مقابله با استرس اکسیداتیو بهبود می‌یابد. در آزمایش حاضر با بهبود وضعیت رطوبتی خاک که تنش خشکی را برای گیاه کاهش می‌دهد کربوهیدرات‌ها و فنول برگ کاهش یافت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۳- اثر اصلی تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر محتوای رطوبت نسبی برگ گیاه برگ نو. حروف غیرمشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

کربوهیدرات کل و محتوای پرولین: مطابق جدول ۵ بیشترین کربوهیدرات در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ در گیاه، همچنین در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و در محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ ایجاد شد این در حالی است که کمترین در سطح تنش خشکی ۱۰۰ و بدون کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بود. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین پرولین در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در گیاه بود و کمترین پرولین سطح تنش خشکی ۱۰۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ٪۴ بوده است درحالی‌که تیمار ۱۰۰٪ FC و ٪۴ سیلیکات پتاسیم به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای پرولین را در برگ گیاه کاهش داد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت: با توجه به نتایج شکل ۳، با افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم محتوای نسبی آب برگ افزایش پیدا کرده است. در بین سطوح تنش خشکی نیز تنش خشکی ۵۰ PRD عملکرد خوبی نداشته و کمترین میزان آب برگ در این تیمار مشاهده شد.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین نشت الکترولیت در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در گیاه بود و کمترین نشت الکترولیت سطح تنش خشکی ۱۰۰ و بدون کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بود (جدول ۵).

بحث

طبق نتایج بیشترین وزن بوته و تعداد برگ گیاه در تیمار عدم اعمال تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم ٪۴ مشاهده شد. از طرفی میزان کلروفیل در تیمار ۱۰۰٪ FC و دو سطح محلول‌پاشی ۲ و ۴ ٪ سیلیکات پتاسیم در گیاه بیشتر بود و کمترین میزان کلروفیل a و b در تنش خشکی ۵۰PRD و بدون محلول‌پاشی در گیاه ایجاد شد. در واقع سلیسیوم با افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو، تعداد و سطح برگ را افزایش داده و موجب بهبود فتوسنتز می‌شود. در نتیجه، مقدار کربوهیدرات و ذخایر حاصل از فتوسنتزی افزوده می‌شود (Jalilzadeh *et al.*, 2017). با افزایش کربوهیدرات درون یاخته، باعث منفی‌ترشدن پتاسیل اسمزی درون یاخته شده و آب به یاخته وارد می‌شود. افزایش نفوذ آب و توسعه سلول‌ها موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (O'Donoghue *et al.*, 2002). در مطالعه‌ای، کاربرد سیلیسیم در گیاه شمعدانی، گل حنا و بنفشه شاخص کلروفیل و فتوسنتز را افزایش داد (Kamenidou and Cavis, 2008).

در مطالعه‌ای دیگر اعلام شد کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب افزایش میزان کلروفیل در گل رز شد. از طرفی کاهش غلظت کلروفیل در نتیجه تنش خشکی می‌تواند به علت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

تخریب غشا تحت تأثیر تنش‌های اکسیداتیو باشد (Jalilzadeh *et al.*, 2017). تنش خشکی معمولاً از دو طریق روی فرایند فتوسنتز در گیاهان تأثیر می‌گذارد. ابتدا با بستن روزنه‌ها و جلوگیری از ورود دی‌اکسید کربن به ساختمان برگ و ثانیا از طریق کاهش‌دادن پتانسیل آب و صدمات ساختاری به اجزای فتوسنتزی گیاه (Kafi and Mahdavi Damghani, 2000). در شرایط تنش خشکی، از طریق سیگنال‌هایی که از ریشه به روزنه‌ها منتقل می‌شود، یا به وسیله کاهش فشار آماس در سلول‌های محافظ، روزنه‌ها بسته می‌شوند. لذا به دنبال بسته‌شدن روزنه‌ها، افت سریع دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی رخ می‌دهد و در این شرایط ممانعت از فتوسنتز به عمل می‌آید. در شرایط شدت نوری زیاد، به دلیل اینکه تمام انرژی‌های احیاکننده که در سیستم انتقال الکترون وجود داد. به وسیله تنفس نوری نمی‌تواند مصرف شود در نتیجه رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شود و به این طریق بیشترین خسارت تنش خشکی به گیاه وارد می‌شود (Kafi and Mahdavi Damghani, 2000).

طبق مطالعات سیلیکات پتاسیم ضخامت برگ لوبلیا، اطلسی و شاهپسند را افزایش داد (Ma, 2003). سطح برگ گیاه همیشه‌بهار نیز با کاربرد این ماده افزایش یافت (Bayat *et al.*, 2013). مطالعه Khayat Moghadam و همکاران (۲۰۲۱) با عنوان اثر سیلیکات پتاسیم و تنش خشکی بر گیاه کلزا اثرات مفید محلول‌پاشی این کود برای گیاه تحت تنش خشکی را تأیید کردند. در گیاه سیب‌زمینی ترکیب آبیاری پس از ۶۰-۵۵ درصد یا ۷۵-۷۰ درصد FC و محلول‌پاشی ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام سیلیکات پتاسیم مطلوب‌ترین تیمار محسوب شد (Abd El-Gawad *et al.*, 2017). در برگ نو کاهش سطوح آبیاری منجر به کاهش صفات رویشی از جمله وزن تر و خشک، کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت الکترولیت شد (Selahvarzi *et al.*, 2020).

در نتایج ما بر گیاه برگ نو بیشترین نشت الکترولیت در تیمار تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و کمترین نشت الکترولیت سطح تنش خشکی ۱۰۰ و بدون کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم مشاهده شد. در واقع در شرایط خشکی، یکی از نخستین قسمت‌های گیاهی که آسیب می‌بیند، غشای پلاسمایی است (Liang *et al.*, 2003). چون در زمان خشکی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد. این ترکیبات به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه می‌زنند و با تغییر ساختمان غشا، در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها تراوایی غشای سلولی را افزایش می‌دهند (Liang *et al.*, 2003) که باعث نشت الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به سمت بیرون می‌شود و در نتیجه رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همان‌طور که داده‌ها نشان داد بهبود شرایط رطوبتی بستر کاشت با کاهش سطح تنش باعث کاهش نشت الکترولیت گیاهان شد مقادیر نشت یونی از سلول‌های برگ در سطوح رطوبتی پایین بیشتر اتفاق می‌افتد (Inze and Montagu, 2000). شرایط تنش باعث کنترل فعالیت‌های آنزیمی مداخله‌گر در سنتز پلی‌فنول‌ها شده و موجب مهار مؤثر رادیکال‌های سمی می‌شوند و بهبود رشد گیاه را به دنبال دارد (Rabbani and Kazemi, 2015).

با توجه به نتایج جدول ۵ بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانتی در تیمارهای تنش خشکی ۵۰ و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۲٪ در گیاه، همچنین در تنش خشکی ۵۰ PRD و بدون محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و در محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۴٪ ایجاد شد. تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی در ۱۰ رقم اسفناج تحت تنش خشکی مورد آزمایش قرار گرفت (Gunes *et al.*, 2007). نتایج نشان داد که در بعضی ارقام فعالیت آنزیم SOD کاهش و در برخی دیگر افزایش یافت، درحالی‌که در پژوهش آن‌ها فعالیت آنزیم مذکور در تیمار سیلیکون در تمام ارقام افزایش نشان داد. آنان همچنین اعلام کردند که تحت تنش خشکی فعالیت آنزیم CAT به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

صورتی‌که کاربرد سیلیکون منجر به افزایش فعالیت این آنزیم در برخی ارقام اسفناج شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد ٪۵۰ PRD نسبت به تنش ٪۵۰FC رشد بهینه گیاه را مختل کرده اما در ترکیب با محلول‌پاشی سلیکات پتاسیم رشد و بقای گیاه بهبود یافت. اما بالاترین محتوای آب برگ و کلروفیل و کمترین کاروتنوئید، فنول کل، کربوهیدرات برگ و پرولین برگ که نشان‌دهنده پایداری فیزیولوژیکی گیاه را در شرایط تنش است در تیمار ٪۱۰۰ FC و سطح محلول‌پاشی ۴٪ سیلیکات قابل رویت بود. فراهم‌کردن رطوبت مناسب بستر کشت همراه با کاربرد سیلیکات پتاسیم می‌تواند گیاهانی با کیفیت، ویژگی‌های زیبایی‌شناسی مطلوب و مصرف بهینه آب ایجاد کند. پس بر اساس نتایج این آزمایش کاشت گیاه برگ نو در شرایط کم آبی توصیه می‌شود اما در صورتی که میزان آب کافی جهت آبیاری موجود نباشد می‌توان تا ٪۵۰ ظرفیت زراعی گیاه را آبیاری کرد و برای بهبود وضعیت گیاه از محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بهره برد.

سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شـخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع

Abd El-Gawad, H. G., Nashwa, A. I., & Abu El-Azm, Hika, M. S. (2017). Effect of potassium silicate on tuber yield and biochemical constituents of potato plants grown under drought stress conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *6*(3), 718-731.

Ahmadi, S. H., Andersen, M. N, Plauborg, F., Poulsen, R. T., Jensen, C. R., Sepaskhah, A. R., & Hansen, S. (2010). Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management*, *97*, 1486-1494.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teave, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. 10.1007/BF00018060Corpus ID: 8693238

Bayat, H., Alirezaie, M., Neamati, H., & Saadabad, A. (2013). Effect of silicon on growth and ornamental traits of salt-stressed calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Ornamenal Plants*, *4*, 207-214.

Broadly, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z., & Zhao, F., ed. (2012). Beneficial element. In: Marschner, s Mineral Nutrition of Higher Plants. (ed. Marschner, P.) Pp. 249-261. Springer, Verlag.

Chang, C., Yang M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Food and Drug Analysis*, *10*, 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

Donoghue, E. M., Somefield, S. D., & Heyes, J. A. (2002). Vase solution containing sucrose result in changes to cell walls of sandersonia (*Sandersonia aurantica*) flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *26*, 285-294. 10.1016/S0925-5214(02)00045-5

English, M. J., Musick, J. T., & Murty, V. V. N. (1990). Deficit irrigation. In: Management of Farm Irrigation Systems (eds. Hoffman, G. J., Howell, T. A. and Solomon, K. H.) Pp. 1020. American Society of Agricultural Engineers publisher.

FAO. (2002). Deficit Irrigation Practices. Water Reports. Rome.

Farahani, H., Sajedi, N. A., Madani, H., Changizi, M., & Naeini, M. R. (2020). Physiological and biochemical responses of Damask rose (*Rosa damascena* Miller) to potassium silicate application under water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* Cluj-Napoca, *48*(3), 1560-1572. 10.15835/nbha48311808

Feyzi, M., Jafari, A., & Ahmadi, H. (2014). The effect of operation and engine speed on chainsaw vibration. *Journal of Agricultural Machinery*, *6*(1), 90-101.

Ghanadzadeh, M. A., Farid Hsseini, A., Hossein Pouran, S., & Eghbali, H. (2015). Evaluation of water supply and wastewater sources for irrigation. National Irrigation and Drainage Congress of Iran.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

Ghasemi, Z. (2014). Effect of irrigation with refined and unrefined municipal wastewater on growth indices and heavy metal accumulation in rosemary and tron species. M.Sc. thesis, Department of Environment, Yazd University.

Gong, H. Z., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, *169*(2), 313-321.

Gunes, A., et al., (2007). Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. *Scientia Horticulturae*, *113*(2), 113-119. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.009

Hajiboland, R. (2013). Investigating the effect of silicon on the growth and tolerance of stresses in tobacco plants. Master's thesis. Tabriz University (In persian).

Hattori, T., et al., (2007). Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. *Environmental and Experimental Botany*, *60*(2), 177-182. 10.1016/J.ENVEXPBOT.2006.10.004

Inze, D. & Montagu, M. V. (2000). Oxidative Stress in Plants. Cornavall Great Britain.

Jalilzadeh, E., Jabarzadeh, Z., & Nowrozi, P. (2017). The effect of foliar spraying with different sources and concentrations of silicon on some morphological and physiological characteristics of the Beverly Watson rose plant. *Science and Technology of Greenhouse Culture*, *9*(3), 65-77. (In persian)

Kafi, M. & Mahdavi Damghani, M. A. (2000). Mechanisms of Plant Resistance to Environmental Stresses. Ferdowsi University of Mashhad Publications.

Kamenidou, S. & Cavis, T. J. (2008). Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse produced ornamental sunflowers. *Horticulture Science*, *43*(1), 236-239. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.236

Karimi Moridani, M. (2014). Importance of potassium in paddy soil fertility. *Quarterly Journal of Nazan Engineering and Natural Resources of Agriculture*, *12*(44), 33-39. (In Persian)

Khayat Moghadam, M.,Gholami, A., Shirani rad, A. H., BaradaranFiroozabadi, M., & Abbasdokht, H. (2021). The effect of potassium silicate and late-season drought stress on the physiological characters of canola. *Journal of Crop Improvement*, *23*(4), 561-576. (In persian)

Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzymeactivity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, *160*, 1157-1164. 10.1078/0176-1617-01065

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, *78*, 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134

Ma, J. F. (2003). Function of silicon in higher plants. *Progress in Molecular and Subcellular Biology*, *33*, 127-147.

Mehrgan, B., Mousavi Fard, S., & Rezaei Nejad, A. H. (2017). Effect of potassium silicate application on some morphological, physiological and biochemical characteristics of *Alternanthera repens* L. under drought stress. *Crop Improvement*, *1*(20), 314-299. (In persion)

Rabbani, M. & Kazemi, F. (2015). Investigating strategies for optimum water usage in green spaces covered with lawn. *Desert*, *20*(2), 217-230.

Sadasivam, S. & Manickam, A. (2008). Biochemical Methods New Age International (P) Limited. New Delhi.

Samieiani, E., Ansari, H., Azizi, M., Hashemi nia, S. M., & Selahvarzi, Y. (2017). The effect of drought stress on some biochemical traits in four species of cover plants (Lolium Perne grass, Patentilla, White Clover and Frankinia) with the ability to be used in green spaces. *Soil and Plant Intraction*, *4*(15), 101-109.

Saud, S., Yajun, C., Fahad, S., Hussain, S., Na, L., Xin, L., & Alhussien, S. A. A. F. E. (2016). Silicate application increases the photosynthesis and its associated metabolic activities in *Kentucky bluegrass* under drought stress and post-drought recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*(17), 17647-17655. 10.1007/s11356-016-6957-x

Savic, S., Stikic, R., Radovic, B. V., Bogicevic, B., Jovanovic, Z., & Sukalovic, V. H. T. (2008). Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, *117*(1), 15-20. 10.1016/j.scienta.2008.03.009

Selahvarzi, Y., Sarfaraz, S., Zabihi, M., & Kamali, M. (2020). Study on the effect of zeolite and soil texture on quantitative and qualitative characteristics of *Ligustrum vulgare* in different irrigation levels. *Journal of Horticultural Science*, *34*(3), 451-463. (In Persian)

Setayesh, R., Kafi, M., & Nabati, J. (2017). Determining the drought stress tolerance threshold of ornamental barberry shrub in the weather conditions of Mashhad. *Journal of Horticultural Science*, *30*(4),714-722.

Siddique, M. R. B., Hamid, A., & Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *41*, 35-39.

Singh, R. P., Murthy, K. N. C., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 81-86. 10.1021/jf010865b

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic and phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*, 144-158.

Starr, F., Starr, K., & Loope, L. (2003). Ligustrum spp. Overview. United States Geological Survey-Biological Resources Division. Haleakala Field Station, Maui, Hawai.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]

Effect of irrigation with PRD technique and foliar application with potassium silicate in *Ligustrum vulgare* L.

Zeinab Mohammad Abbas Al Wawi, Yahya Selahvarzi *, Mahmoud Shoor, Maryam Kamali

Horticulture department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: 2023/07/26, Accepted: 2023/11/04)

Abstract

Today, drought stress is one of the limiting factors for the development of green space. One of the solutions to reduce the effects of drought stress for plants is foliar spraying with potassium silicate. In order to investigate the reduction of the adverse effects of low irrigation with the application of potassium silicate on ligustrum vulgare L. in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design in 4 replications in 1400-1401. Experiment in the form of pot cultivation in 3 levels of low irrigation (control (100% crop capacity), 50% crop capacity (SDI), 50% crop capacity with PRD technique and 3 levels of foliar spraying with potassium silicate (0, 2 and 4%) It was done in 4 repetitions. According to the results, the highest plant height related to the treatment of no drought stress and foliar spraying with 4% potassium silicate (68.5 cm) and the lowest plant height in the drought stress of 50 PRD and without foliar spraying (29 cm)) was the highest antioxidant activity in the treatments of drought stress 50% + potassium silicate 2% foliar spraying (67%), also in PRD 50 and without potassium silicate foliar spraying (69%) and in potassium silicate foliar spraying 4% (72%) . total phenol was the highest in PRD 50 and 4% potassium silicate foliar treatments (11.16 mg/gfw). Total carbohydrates in 50% drought stress and 4% potassium silicate foliar treatments (0.93 mg/g fw) in plants and proline in treatments of drought stress PRD 50 and without foliar spraying of potassium silicate (4.06 mg/g fw) was higher than other treatments. The results showed that drought stress with 50% FC + PRD technique compared to drought stress with 50% Crop capacity has disturbed the optimal growth of the plant, but in combination with potassium silicate foliar application, the growth and survival of the plant improved. Based on the results of this experiment, in the irrigation treatment with 50% crop capacity, the condition of the plant improved with potassium silicate foliar application.

Keywords: Drought stress, Total phenol, Carbohydrate, Hedge plant

Corresponding author, Email: Selahvarzi@um.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-10-31]