گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۱): ۴۹-۷۰

مقاله پژوهشی

اثرهای نانوکمپوزیت بر ویژگی‌های فنولوژیک و مورفو-فیزیولوژیک سوسن (*Lilium* LA Hybrid 'Fangio') در شرایط کم آبیاری

طاهره چامه*، زینب روئین

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

t_chameh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۱۸

چکیده

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های نازیوا (غیر زیستی) است که رشد و نمو گیاهان زینتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از راهکارهای مدیریت رطوبت خاک و تحمل گل‌ها به تنش کم‌آبی، استفاده از فناوری نانو است. این پژوهش با هدف بررسی اثرهای کاربرد نانولوله‌های کربنی عامل‌دار بر تغییرات فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک سوسن تحت شرایط مختلف آبیاری انجام گرفت. برای این منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) و نانولوله‌های کربنی عامل‌دار شده با پلی‌وینیل پیرولیدون در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان پایداری غشاء یاخته ای (۵۹/۹٪) با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد که نسبت به شرایط بدون کاربرد نانو لوله‌های کربنی، افزایش ۱۴٪ داشت. بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ (۷۳/۴۸٪) با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی و کمترین مقدار رطوبت نسبی برگ (۶۴/۶۲٪) در تیمار بدون کاربرد نانو لوله‌های کربنی، به دست آمد. بیشترین تعداد غنچه سوسن (۷ غنچه) در تیمار نانولوله‌های کربنی عامل‌دار با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر تحت شرایط تنش کم‌آبی و کمترین تعداد غنچه سوسن (۵ غنچه) در آبیاری مطلوب به‌دست آمد. تنش کم‌آبی موجب افزایش تعداد سوخک به‌میزان ۵۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید. از طرفی با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر، تعداد سوخک های سوسن به‌میزان ۲/۲ برابر افزایش یافت. همچنین با کاربرد ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم نانو لوله‌های کربنی تعداد ریشه به‌ترتیب ۲۲/۸٪ و ۲۵/۳٪ در مقایسه با شاهد، افزایش یافت. بیشترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۱۳ روز) با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب و کمترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۶ روز) با عدم کاربرد نانو لوله‌های کربن تحت شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شد. به‌طور کلی، آبیاری با نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار (۳۰ میلی گرم بر لیتر) مناسب‌ترین راهکار برای بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک، تعداد غنچه، سوخک، ریشه و ماندگاری سوسن تحت شرایط تنش کم‌آبی است و یک روش قابل اجرا برای حفظ کیفیت شاخساره سوسن است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، فناوری نانو، سوسن، ماده خشک، ماندگاری گل.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

مقدمه

سوسن با نام علمی *Lilium* spp. از مهم‌ترین گل‌های سوخوار متعلق به تیره سوسن[۱] است و بومی نیمکره شمالی در آسیا، اروپا و آمریکای شمالی است (Jamali Moghadam & Hassanpour Asil, 2021). اهمیت اقتصادی و معروفیت سوسن به‌دلیل گل‌های بزرگ، زیبا و رنگارنگ و سازگاری با شرایط محیطی مختلف است (Kumar *et al*., 2018; Omidian *et al*., 2020). به‌طوری‌که در دنیا رتبه سوم تا پنجم به عنوان گل بریدنی و گلدانی را به خود اختصاص داده است (Kumar *et al*., 2018). سوسن از نظر سطح زیرکشت ششمین و از نظر ارزش فروش سومین گل بریدنی کشور به‌شمار می‌رود کـــه بیشتر در گلخانه کشت می‌شود (Hassanpour asil *et al*., 2012).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و جدی‌ترین تنش‌های نازیوا است که رشد گیاه را محدود می‌کند و عملکرد را از لحاظ کمی و کیفی کاهش می‌دهد (Wu *et al*., 2016; Hajibarat *et al*., 2024). بررسی ها نشان داده است که تنش ناشی از کم‌آبی، گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیک مانند کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه و اندام هوایی (Jabbari *et al*., 2023) و نیز کاهش ارتفاع و وزن خشک (El -Shamy *et al*., 2022) می‌کند. کمبود آب، تنش اکسیداتیو در یاخته گیاهان ایجاد می‌کند و از طریق بسته شدن روزنه و در نتیجه کمبود دی‌اکسید کربن، باعث توقف نورساخت و منجر به تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن(ROS)[2] در کلروپلاست می‌شود که در نتیجه باعث آسیب به غشاء در اثر فرآیند پراکسیداسیون لیپید می‌شود (Mohadesi *et al*., 2023). در مطالعه‌ای، برخی از مکانیسم‌های دفاعی دو رقم سوسن در برابر تنش خشکی بررسی و گزارش شد که کاهش میزان آبیاری تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشته است؛ به‌طوری‌که با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع ساقه و تعداد گل کاهش و نسبت وزن تر به خشک گلبرگ افزایش یافت (Bazyar *et al*., 2022). در بررسی اثرهای تنش خشکی بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زیست‌شیمیایی برخی گونه‌های سوسن در شرایط درون شیشه‌ای، مشاهده شد که ارتفاع گیاهچه، تعداد و طول برگ، تعداد سوخک و تعداد ریشه و وزن تر گیاهچه با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (Ahadi Rad *et al*., 2023). همچنین Mohadesi و همکاران (2023) برخی خصوصیات مورفو- فیزیولوژیک گل مغربی[۳] را تحت تنش خشکی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تنش شدید خشکی، سبب افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی، افزایش وزن خشک ریشه، کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی، افزایش مقدار رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد و کاهش نشت یونی نسبت به تیمار شاهد شده است. در پژوهشی که روی بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک سوسن (*Lilium* spp.) در شرایط کم آبیاری انجام شد، تنش شدید کم آبیاری باعث افزایش نشت الکترولیت نسبت به شاهد گردید (Omidian *et al*., 2022).

فناوری نانو یکی از پیشرفت‌های بسیار نوینی است که جایگاه برجسته‌ای در علوم گوناگون مانند علوم گیاهی و کشاورزی پیدا کرده است. در بین نانو ذرات موجود در علوم گیاهی، نانولوله‌های کربنی (CNT)[۴] بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار دارند، زیرا دارای ویژگی‌های منحصر به فرد مانند ساختار شیمیایی، ابعاد ویژه و انعطاف‌پذیری بالا هستند (Tiwari *et al*., 2011).

۱- Liliaceae ۲- Reactive oxygen species (ROS) ۳- *Oenothera biennis* L. ۴- Carbon Nano-Tubes

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

همچنین به‌عنوان یکی از راهکارهای نوین در برابر اثرهای مخرب تنش خشکی در گیاهان، نتایج امیدوارکننده‌ای داشته است. نانو لوله‌های کربنی در تنظیم رشد گیاهان زینتی و گیاهان مورد استفاده در سوخت‌های زیستی، همچنین گیاهانی که به‌طور خاص برای استخراج متابولیت‌ها و پروتئین‌ها تولید می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند (Khodakovskaya *et al*., 2013). اعتقاد بر این است که نانولوله‌های کربنی می‌توانند ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی یاخته‌های گیاهی را تغییر دهند (Lahiani *et al*., 2013) و سرانجام سبب تنظیم رشد گیاه (Haghighi & Silva Da, 2014) و همچنین موجب افزایش رشد محصول شوند (Nel *et al*., 2013).

در حال حاضر نقش مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مورد توجه قر ار گرفته است (Hatami Hatami.(*et al*., 2017; Chegini *et al*., 2017 و همکاران (2017) اثر غلظت‌های مختلف نانو لوله‌های کربنی تک دیواره[۱] را در شرایط تنش خشکی بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی بذرالبنج[۲] بررسی و گزارش کردند که استفاده از غلظت‌های کم نانولوله‌های کربنی باعث کاهش معنی‌دار آسیب‌های ناشی از تنش خشکی (تا سطح متوسط) بر گیاه می‌شود (Hatami *et al*., 2017). همچنین اثر نانولوله‌های کربنی بر ارتفاع بوته، تعداد انشعابات ساقه، وزن تر و خشک بوته، نسبت برگ به ساقه و درصد اسانس گیاه رزماری[۳] معنی‌دار شده است. کاربرد نانولوله‌های کربنی در خاک، ویژگی‌های رشدی رزماری را بهبود بخشید (Kianirad, 2016). Chegini و همکاران (2017) گزارش کردند که تنش خشکی، نانولوله‌های کربنی چند دیواره و برهمکنش آن‌ها در گیاه مریم گلی ایرانی[۴] تأثیر معنی‌داری بر برخی صفات مورد مطالعه از جمله شاخص نشت الکترولیت های یاخته داشته است.

با توجه به اهمیت اقتصادی سوسن در صنعت باغبانی زینتی و سطح تولید بالای آن در ایران، انجام پژوهش‌هایی برای افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت و همچنین مدیریت مصرف آب، ضروری است. بدین منظور در این پژوهش استفاده از نانو لوله‌های کربنی چند دیواره عامل‌دار[۵] (MWCNT) با غلظت‌های مختلف بر پاسخ مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه در زمان تنش خشکی در دوره رشد و نمو سوسن، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی طرح آزمایشی و تیمارها

برای بررسی اثر نانو لوله‌های کربنی چند دیواره عامل‌دار (MWCNT) بر گل‌دهی و رشد سوسن (*Lilium* LA Hybrid 'Fangio') تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی در آبان ماه سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در دو سطح (۱۰۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و استفاده از نانولوله‌های کربنی در سه سطح (۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند.

اجرای آزمایش

۱- SWCNTs ۲- *Hyoscyamus niger* L. ۳- *Rosmarinus officinalis* L. ۴- *Salvia mirzayanii* L.

۵- Multi-Walled Carbon Nanotube

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

برای انجام پژوهش، ابتدا سوخ های دورگه آسیایی سوسن رقم 'Fangio' (LA, longiflorum × Asiatic hybrid) با قطر ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر از شرکت ساعی‌گل تهران تهیه شد و در گلدان‌هایی با ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر و قطر دهانه داخلی ۱۷ سانتی‌متر حاوی پیت، پرلیت و کوکوپیت با نسبت ۱:۱:۱ در عمق پنج سانتی‌متری گلدان کشت شدند. استفاده از پیت، پرلیت و کوکوپیت به جهت دارا بودن قدرت نگهداری بهتر آب، تخلخل پر از هوا، انتشار گاز و ذخایر کربن آلی ، سبب مساعد شدن شرایط جذب مواد غذایی و افزایش میزان توسعه برگ و نورساخت می‌گردد (Nikrazm *et al.,* 2011; Pahlavan *et al*., 2020). همچنین به دلیل بالا بودن خاصیت موئینگی، این بستر به تدریج آب خود را از دست می‌دهد و حالت غرقاب ایجاد نمی‌کند و همین امر سبب رشد بهتر می‌شود (Kharrazi *et al*., 2017; Handari & Kumar, 2016; Zahraei Basir & Asgari, 2024). در هر گلدان یک سوخ در ابتدای آذر ماه کشت گردید. گیاهان در گلخانه تحت شرایط دمای ۵±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۵٪ و میزان نور۱۰ ساعت روشنایی و ۱۴ ساعت تاریکی قرار گرفتند. تا مرحله سبز شدن آبیاری به‌صورت منظم و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی انجام گرفت. بعد از سبز شدن گیاهچه، وقتی که ارتفاع گیاهان حدود هشت تا ۱۰ سانتی‌متر رسید؛ بر اساس سطوح آبیاری(۵۰ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) اقدام به اعمال تنش کم‌آبی گردید. جهت محاسبه درصد وزنی رطوبت بستر کشت در نقطه ظرفیت زراعی، دو گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب و در هر گلدان مقدار مشخصی از بستر کشت ریخته شد و به حد اشباع از آب رسانیده شدند. جهت جلوگیری از تبخیر آب بستر کشت، سطح گلدان‌ها به‌وسیله فویل آلومینیومی پوشانده شد. به‌دنبال آن، گلدان‌ها روی سطوح مشبک قرار داده شدند تا آب اضافه بستر کشت زهکش شده و به ظرفیت زراعی برسد. پس از سپری شدن ۴۸ ساعت یعنی زمانی که وزن گلدان‌ها ثابت ماند، وزن گلدان‌ها ثبت شد. در ادامه بستر کشت درون گلدان‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از گذشت ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بستر کشت‌ها توزین شدند و در صورت ثابت شدن و عدم تغییر وزن بستر کشت، وزن خشک آن‌ها ثبت شد. بدین ترتیب میانگین اعداد به‌دست آمده، معادل ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. ظرفیت زراعی مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$FC\ (\%)=\frac{FW-DW}{FW}\times 100 \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، FW وزن بستر کشت در ظرفیت زراعی، DW وزن بستر کشت خشک شده در آون است. سپس مقدار آب مورد نیاز برای حفظ سطح ۵۰٪ ظرفیت زراعی نیز محاسبه شد. برای اعمال تنش کم‌آبی برای هر سطح از آبیاری دو گلدان شاهد به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شد که کاملاً مشابه گلدان‌های اصلی بودند. وزن گلدان‌ها روزانه بررسی و به محض تغییر در وزن گلدان با اضافه کردن آب به بستر کشت، به حد ظرفیت زراعی موردنظر رسانده شد.

تهیه نانو کامپوزیت پلی‌وینیل‌پیرولیدن بر پایه نانو لوله کربن

در این آزمایش ابتدا ۷۵۰ میلی‌گرم از نانو لوله کربنی چند دیواره عامل‌دار (MWCNT) دارای گروه عاملی کربوکسیل (MWCNT-COOH) ،خریداری شد از شرکت Neutrino ،، با ترازوی استاندارد با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. سپس در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و بعد از نیم ساعت با دستگاه اولتراسیونیک با طول موج ۱۰۰ Hz هم زده شد. سپس مقدار۳۲۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل‌پیرولیدن به آن اضافه شد. مـدت زمان هم‌خوردن (تقریباً یک ساعت) به‌مدت زمانی که پیوند هیدروژنی بین مولکول MWCNT-COOH و گروه کربونیل PVP تشکیل می‌شود، بستگی داشت. بنابراین نانو کمپوزیت (PVP/MWCNT-COOH) که یـک محلول همگن، یکدست و تقریباً سیاه رنگ بود به‌دست آمد (El Achaby *et al*., 2012). با مشاهده اولین

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

نشانه‌های ظهور برگ‌های سوسن آبیاری با محلول نانولوله‌های کربنی چند دیواره در سه سطح ۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار تا مرحله پیری کامل گل انجام گرفت.

صفات مورد ارزیابی

صفات فیزیولوژیک (محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشای)، فنولوژیک (زمان اولین ظهور غنچه، زمان رنگ‌گیری، زمان باز شدن اولین گل، ماندگاری روی بوته) و مورفولوژیک (تعداد غنچه، طول و قطر غنچه، قطر گل، طول گل، قطر ساقه، ارتفاع ساقه گل‌دهنده، تعداد برگ، تعداد سوخک، طول و قطر سوخ، وزن خشک ساقه، سوخ و ریشه) اندازه‌گیری شد.

اندازگیری پایداری غشای یاخته ای

در مرحله گلدهی سوسن از برگ گیاهان تحت تیمارهای مختلف به‌طور جداگانه قطعات مربعی با تعداد یکسان (۱۰ عدد) تهیه شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر قرار گرفتند و هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از EC متر مدل (GLP 31) اندازه‌گیری شد (EC1). به‌منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت در اثر مرگ یاخته‌ها، لوله‌های آزمایش در حمام آبگرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سردشدن لوله‌ها، مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). سپس میزان پایدرای غشای یاخته با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Lutts *et al*., 1996).

$$\text{Cell membrane stability}=(1-\frac{EC1}{EC2})\times 100$$ رابطه (۲)

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

در زمان گلدهی گیاه از برگ‌های میانی ساقه که کاملاً توسعه یافته بود به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد (Omidian *et al*., 2020). بلافاصله در آزمایشگاه وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد (FW). سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس قرار گرفت. در نهایت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری شد (TW)؛ سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد (DW). بدین ترتیب محتوای نسبی آب برگ‌ها از طریق رابطه ۳ محاسبه شد (Ritchie *et al*., 1990).

$$RWC\ (\%) =(\frac{FW-DW}{RW-DW})\times 100$$ رابطه (۳)

صفات فنولوژیک و مورفولوژیک

صفات فنولوژیک در برگیرنده زمان اولین ظهور غنچه، زمان رنگ‌گیری غنچه، زمان باز شدن اولین گل، ماندگاری روی بوته بر اساس تعداد روز از مرحله اولین ظهور غنچه گل تا مرحله بلوغ فیزیولوژیک اندازه‌گیری و تعیین گردید. شمار غنچه‌ها (رنگ‌گیری کامل نخستین غنچه)، تعداد برگ (در زمان برداشت از سطح خاک)، تعداد سوخک (در زمان برداشت) هر گیاه شمارش گردید. ارتفاع ساقه گل‌دهنده، در زمان برداشت با کمک خط‌کش اندازه‌گیری شد. همچنین طول و قطر غنچه، قطر گل، طول گل، قطر ساقه، طول و قطر سوخ با کولیس دیجیتالی مدل (مدل Guanglu با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد (Jamali Moghadam & Hassanpour Asil, 2021).

در مرحله پایان فصل رشد (اواخر بهمن ماه سال ۱۳۹۹) اقدام به برداشت قسمت‌های مختلف گیاه شامل ساقه گل‌دهنده، سوخ و ریشه به‌صورت جداگانه از گلدان شد و سپس وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

خشک ابتدا ساقه گل‌دهنده، سوخ و ریشه به‌طور جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به‌مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و خشک شدند. وزن خشک ساقه گل‌دهنده، سوخ و ریشه با ترازوی با دقت ۰/۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه آماری داده‌ها ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS var 9.2 انجام گرفت. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS var 9.2 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel نسخه (var 13) استفاده گردید.

نتایج و بحث

پایداری غشا یاخته ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای آبیاری، نانولوله‌های کربن و برهمکنش آن‌ها بر پایداری غشاء یاخته ای در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات مورفو-فیزیولوژیک اندام‌های هوایی سوسن.

Table 1- The effect of irrigation and carbon nanotubes on morpho-physiological traits of Lily shoot.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	پایداری غشا یاخته ای Cell membrane stability	رطوبت نسبی برگ RWC	تعداد برگ Number of leaves	طول ساقه Stem length	قطر ساقه Stem diameter	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot fresh weight
آبیاری Irrigation (I)	1	1172.63**	524.82**	2440.17**	3105.37**	3.256**	47.199**
نانو لوله‌های کربن Carbon nanotubes (CNT)	2	75.97**	120.75*	219.04**	245.04**	0.317**	5.139**
آبیاری× نانو لوله‌های کربن I× CNT	2	73.59**	64.17ns	5.29ns	33.87ns	0.084ns	0.6413**
خطا Errors	18	8.20	28.52	9.03	22.65	0.045	0.096
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	5.84	7.76	3.04	7.13	2.28	4.07

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪؛ ns: غیرمعنی‌دار

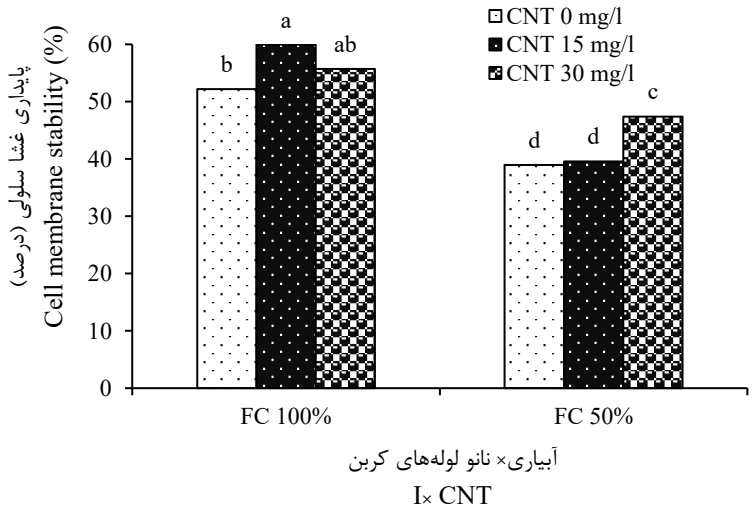
** and *: significant at the probability level of 1 and 5%, respectively; ns: Not significant

بیشترین میزان پایداری غشاء یاخته ای با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۴٪ داشت. همچنین کمترین میزان پایداری غشاء یاخته ای با عدم کاربرد و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربن تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ظرفیت زراعی) مشاهده شد (شکل ۱).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

پایداری غشاء یاخته ای برای حفظ فشار تورژسانس یاخته ای و عملکرد فیزیولوژیک در طول تنش خشکی حیاتی است (Jin *et al*., 2015). در این بررسی میزان پایداری غشاء یاخته ای تحت تنش کم‌آبی در مقایسه با آبیاری مطلوب کاهش یافت. در شرایط تنش کم‌آبی غشای یاخته به‌واسطه پراکسیداسیون لیپیدها در نتیجه تجمع انواع اکسیژن واکنش‌گر دچار صدمات ساختاری می‌شود (Sorkheh *et al*., 2011). کاهش پایداری غشای سلولی در نتیجه تنش کم‌آبی در سوسن گزارش شده است (Omidian *et al*., 2020). کاربرد نانو لوله‌های کربنی موجب افزایش پایداری غشاء در پژوهش حاضر شد؛ با کاربرد نانولوله‌های کربنی چند دیواره میزان پایداری غشای یاخته ای نسبت به شاهد افزایش یافت ؛ به‌طوری‌که کاربرد نانولوله‌ها تأثیر مثبت و بهبود دهنده‌ای در کاهش میزان نشت مواد محلول از غشاء داشت. افزایش پایداری غشا یاخته ای با استفاده از نانولوله‌های کربنی چند دیواره را می‌توان به‌عنوان راهکاری برای افزایش مقاومت به تنش کم آبی در گیاهان دانست که ممکن است با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی برای کاهش خسارت تنش اکسیداتیو همراه باشد. نتایج مطالعه حاضر با گزارش Chegini و همکاران (2017) در کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و نشت الکترولیت‌ها روی گیاه مریم گلی تحت تنش خشکی با استفاده از نانو لوله‌های کربنی چند دیواره مطابقت دارد.



شکل ۱- تأثیر نانولوله‌های کربن بر پایداری غشاء یاخته ای سوسن تحت سطوح مختلف آبیاری، از نظر آماری تفاوت معنی دار با یکدیگر، در سطح احتمال ۱٪ با آزمون LSD دارند.

Figure 1- The effect of carbon nanotubes on the cell membrane stability of Lily under different levels of irrigation. Means are significantly different at the 1% probability level, according to the LSD test.

رطوبت نسبی برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای آبیاری در سطح احتمال ۱٪ و کاربرد نانولوله‌های کربنی در سطح احتمال ۵٪ بر مقدار رطوبت نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ (۷۳/۴۸٪) در شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به‌دست آمد، و در سطوح مختلف کاربرد نانو لوله‌های کربنی نیز بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی حاصل شد. کمترین مقدار رطوبت نسبی برگ (۶۴/۶۲٪) در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۲).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

جدول ۲- مقایسه میانگین‌ها تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات مورفو-فیزیولوژیک اندام‌های هوایی سوسن.

Table 2- The effect of irrigation and carbon nanotubes on morpho-physiological traits of Lily shoot.

آبیاری (ظرفیت زراعی)	رطوبت نسبی برگ (٪)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد برگ	طول ساقه (سانتی‌متر)
Irrigation (FC)	RWC (%)	Stem diameter (mm)	Number of leaves	Stem length (cm)
ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ FC 100%	73.48[a]	9.66[a]	108.7[a]	78.08[a]
ظرفیت زراعی ۵۰٪ FC 50%	64.13[b]	8.92[b]	88.5[b]	55.33[b]
LSD (0.05)	4.5807	0.1823	2.5771	4.0822
نانو لوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر) Carbon nanotubes (mg L^{-1})				
0	64.62[b]	9.16[b]	92.6[b]	60.50[b]
15	69.47[ab]	9.20[b]	101.6[a]	71.12[a]
30	72.31[a]	9.52[a]	101.7[a]	68.50[a]
LSD (0.05)	5.6102	0.2233	3.1562	4.9997

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with common letters are not significantly different based on the least significant difference (LSD) at the 5% probability level.

از دلایل کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ تأخیر در رشد ریشه و فعالیت آن و همچنین افزایش میزان تبخیر و تعرق بیان می‌شود. در این پژوهش بیشترین مقدار رطوبت نسبی برگ در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Omidian و همکاران (2020) مطابقت داشت؛ این پژوهشگران نشان دادند که تنش شدید کم‌آبی باعث کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ در سوسن نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد. گزارش شده است که از بارزترین علائم فیزیولوژیکی کمبود رطوبت خاک، کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها می‌باشد؛ به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، شرایط جذب آب برای گیاهان مشکل‌تر شده و در نتیجه مقدار آب موجود در یاخته‌های گیاهی کاهش می‌یابد. کاهش مقدار رطوبت نسبی باعث تأثیر منفی بر تقسیم یاخته‌ای و رشد و نمو گیاه می‌شود (Ahmadi Azar *et al*., 2015). به‌طور کلی پذیرفته شده است که کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم‌آبی مربوط به بسته شدن روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌باشد؛ به‌طوری‌که این هورمون در شرایط تنش خشکی در ریشه ساخته شده و در یاخته‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Salehi *et al*., 2023). کاربرد نانو لوله‌های کربنی موجب افزایش رطوبت نسبی برگ در پژوهش حاضر شد؛ با کاربرد نانولوله‌های کربنی چند دیواره میزان رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهشی، Garavand و همکارن (2023) به این نتیجه رسیدند که مقدار رطوبت نسبی گلبرگ و ساقه در گل‌های شاخه بریده ژربرا در تیمارهای حاوی نانو کامپوزیت بالاتر است و بیشترین میزان جذب آب مربوط به تیمار نانو کامپوزیت با غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر بوده است.

تعداد برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی بر شاخص تعداد برگ سوسن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی تعداد برگ افزایش نیافت؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی به‌دست آمد. لازم به ذکر است که

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

کمترین تعداد برگ، مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین تعداد برگ تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ظرفیت زراعی) نسبت به شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به‌میزان ۱۸٪ کاهش یافت (جدول ۲).

یکی از اولین نشانه‌های تنش کم‌آبی، کاهش فشار تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و نمو یاخته به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است. بزرگ شدن یاخته، به فشار آماس یاخته بالاتر از یک آستانه بحرانی، به گونه‌ای که دیواره یاخته‌ای قابل گسترش باشد، وابسته است (Rahdari *et al*., 2012). در این بررسی همچنین تعداد برگ تحت شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به‌میزان ۱۸٪ کاهش یافت. کاهش شاخص تعداد برگ در نتیجه تنش کم‌آبی در گل جعفری آفریقایی گزارش شده است (Tavakoli Vala *et al.,* 2023). در این مطالعه با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی تعداد برگ افزایش نیافت؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی به‌دست آمد. لازم به ذکر است که کمترین تعداد برگ، مربوط به تیمار شاهد بود. در پژوهشی که تأثیر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی در مریم گلی مورد بررسی قرار گرفت، مشاهده شد با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی تعداد برگ تولید شده نیز افزایش یافت (Pourbeyrami Hir *et al.,* 2024). همچنین در پژوهشی تأثیر غلظت‌های مختلف نانو لوله‌های کربنی در گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت که در آن بیشترین سطح برگ و تعداد برگ (۴۲ عدد) در غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر گزارش شد (Khodakovskaya *et al.,* 2013).

قطر و طول ساقه

شاخص قطر و طول ساقه به‌طور معنی‌داری تحت اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین تأثیر این ماده بر قطر ساقه نشان داد که با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی قطر ساقه سوسن افزایش یافت؛ به‌طوری‌که کمترین قطر ساقه در شاهد (۹/۱۶ میلی‌متر) و بیشترین مقدار این صفت با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی (۹/۵۲ میلی‌متر) به‌دست آمد. همچنین مقایسه میانگین تأثیر نانو لوله‌های کربن بر طول ساقه نیز نشان داد که بلندترین طول ساقه (۷۱/۱۲ سانتی‌متر) مربوط به غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌کربن و کوتاه‌ترین (۶۰/۵۰ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها، تنش کم‌آبی باعث کاهش قطر و طول ساقه در سوسن شد (جدول ۲).

اولین نشانه تنش کم‌آبی، کاهش فشار تورژسانس است که منجر به کاهش رشد و نمو یاخته‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ می‌شود. یکی دیگر از دلایل کاهش ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی را می‌توان به اختلال در نورساخت به‌واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد نورساختی جهت ارسال به بخش‌های در حال رشد گیاه نسبت داد (Wei *et al.,* 2016). با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول مقایسه میانگین‌ها تنش کم‌آبی باعث کاهش قطر و طول ساقه در سوسن شد (جدول ۲). از طرفی کاهش تعداد برگ به‌واسطه کاهش ارتفاع، می‌تواند اولین خط دفاعی برای رویارویی با تنش خشکی باشد، بنابراین کاهش پتانسیل آب در مدت دوره تنش، سبب کاهش آب بافت‌های گیاه شده که نتیجه آن کاهش سطح برگ، کوچک شدن برگ‌ها و کاهش ارتفاع شاخساره است (Bazyar *et al*., 2022). نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست آمده در گل شب‌بو مطابقت دارد؛ این محققان بیان کردند که تنش کم‌آبی با جلوگیری از رشد یاخته‌ها سبب کاهش ارتفاع شاخساره شب‌بو گردید (Jafari *et al*., 2019). همچنین در پژوهش‌های دیگری نیز تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع در گیاهان گلرنگ و گل‌محمدی و سوسن شد (Islam *et al*., 2017;

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

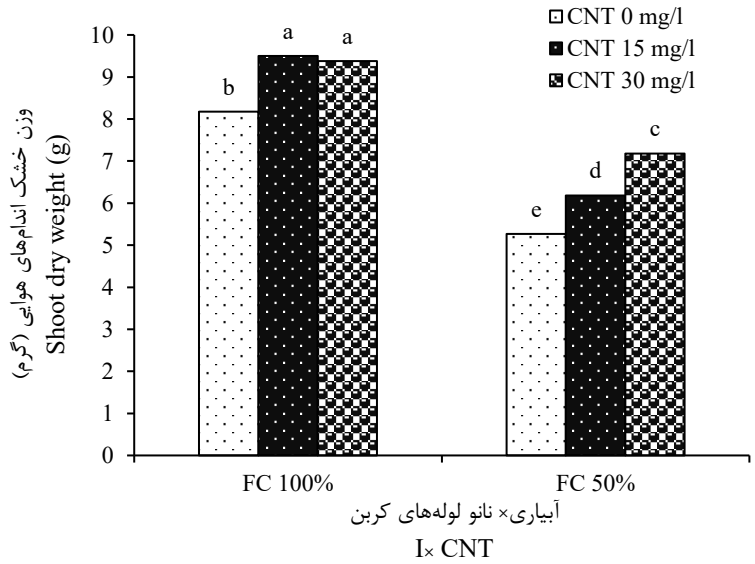
[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

Bazyar *et al*., 2022؛ Chavoushi *et al*., 2020). تنش خشکی در گل مریم[۱] سبب کاهش طول ساقه گل دهنده شد (Salehi & Bahadoran, 2015). نتایج اثر تنش خشکی بر قطر ساقه گل همیشه بهار در تمامی مراحل رشد در تنش ملایم بیشترین مقدار را نشان داد (Ghaemi *et al*., 2020). طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش، کمترین قطر و طول ساقه مربوط به شاهد و بیشترین قطر و طول ساقه مربوط به نانو لوله‌های کربنی است (جدول ۲).

بنابراین جذب نانو لوله‌های کربنی به کمک سیستم آوندی امکان‌پذیر است، به‌طوری‌که همراه آب و مواد غذایی وارد ساقه شده و از طریق تعرق در سراسر گیاه امکان جابه‌جایی آن‌ها فراهم می‌گردد (Line *et al*., 2017). ترکیبات نانوکامپوزیت در بهبود روابط آبی در گل بریدنی آلسترومریا به افزایش حرکت و انتقال آب در آوندها به بخش‌های بالایی گیاه ارتباط دارد. تحقیقات نشان داده که نانو لوله‌های کربنی به‌صورت یک کانال، مسیر را برای عبور به درون یاخته فراهم می‌کنند (Khodakovskaya *et al*., 2009).

وزن خشک اندام هوایی

اثر تیمار نانو لوله‌های کربنی، آبیاری و برهمکنش نانو لوله‌های کربنی × آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌داری بود (جدول ۱). بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به‌دست آمد و کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به شاهد تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) بود (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر نانولوله‌های کربن بر وزن خشک اندام‌های هوایی **سوسن تحت سطوح مختلف آبیاری، از نظر آماری تفاوت معنی دار با یکدیگر، در سطح احتمال ۱٪ با آزمون LSD دارند.**

Figure 2- The effect of carbon nanotubes on the shoot fresh weight of Lily under different levels of irrigation. Means are significantly different at the 1% probability level, according to the LSD test.

۱- *Polianthes tuberosa* L.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

نانو ذرات می‌توانند از راه منافذ دیواره یاخته ای (۲ تا۲۰ نانومتر) به داخل یاخته وارد شوند. پس از ورود به سیتوپلاسم، می‌توانند با اتصال به اندامک‌های مختلف، باعث تغییر عملکرد فیزیولوژیک یاخته‌ها شوند (Rico *et al*., 2011). در این پژوهش، بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی سوسن در تیمار نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد و کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به شاهد تحت شرایط تنش کم‌آبی بود (شکل ۲). مطالعات نشان داد که نانوذرات، به آسانی از طریق برگ یا ریشه جذب شده و در قسمت‌های رویشی مثل برگ‌ها تجمع پیدا کرده و رشد گیاه اتفاق می‌افتد (Samadzadeh, 2017). بنابراین می‌توان گفت کاربرد نانو لوله‌های کربنی باعث افزایش فعالیت نورساختی و سبب افزایش وزن اندام هوایی شده است.

تعداد غنچه

بر اساس نتایج حاصل از نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مربوط به تعداد غنچه اثرهای آبیاری، نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار و برهمکنش آن‌ها بر تعداد غنچه در سوسن معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- تجریه واریانس تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک سوسن.

Table 3- The effect of irrigation and carbon nanotubes on morphological and phenological traits of Lily flower.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	تعداد غنچه Number of buds	طول غنچه Bud length	قطر گل Flower diameter	طول گل Flower stalk length	ماندگاری گل روی شاخه Flower life on plant	زمان ظهور غنچه Bud emergence time	زمان رنگ‌گیری Flower coloring time	زمان باز شدن گل Flower opening time
آبیاری Irrigation (I)	1	2.667**	283.32**	2125.34**	198.95*	84.375**	28.167**	12.041**	10.667**
نانو لوله‌های کربن Carbon nanotubes (CNT)	2	1.042*	5.951ns	242.49**	13.10*	21.375**	1.791*	7.125**	3.167*
آبیاری× نانو لوله‌های کربن I× CNT	2	1.292*	2.030ns	68.67**	3.53ns	4.875*	0.792ns	5.292**	2.167*
خطا Errors	18	0.222	7.327	10.79	3.07	1.208	0.361	0.819	0.556
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	7.44	4.15	3.94	9.43	12.04	1.87	3.68	13.97

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪؛ ns: غیرمعنی‌دار

** and *: significant at the probability level of 1 and 5%, respectively; ns: Not significant

بیشترین تعداد غنچه سوسن (۷ عدد) در تیمار نانولوله‌های کربنی چند دیواره کربن با غلظت۳۰ میلی‌گرم بر لیتر تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) حاصل شد؛ در صورتی‌که کمترین تعداد غنچه سوسن (۵ عدد) در آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) به‌دست آمد (جدول ۴).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر نانولوله‌های کربن بر صفات مورفولوژیک و فنولوژیک سوسن تحت سطوح مختلف آبیاری.

Table 4- The effect of carbon nanotubes on morphological and phenological traits of Lily flower under different levels of irrigation.

آبیاری (ظرفیت زراعی) Irrigation (FC)	نانو لوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر) Carbon nanotubes ($mg\ l^{-1}$)	تعداد غنچه Number of buds	قطر گل (میلی‌متر) Flower diameter (mm)	زمان رنگ‌گیری (روز) Flower coloring time (day)	زمان باز شدن گل (روز) Flower opening time (day)
ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ FC 100%	0	5.50^{d}	90.0^{ab}	23.50^{c}	6.5^{a}
	15	6.25^{bc}	96.2^{a}	26.25^{a}	6.5^{a}
	30	$6.25b^{cb}$	91.7^{b}	26.25^{a}	5.0^{bc}
ظرفیت زراعی ۵۰٪ FC 50%	0	6.75^{ab}	64.5^{d}	23.75^{bc}	5.5^{ab}
	15	6.00cd	79.9^{c}	23.25^{bc}	4.0^{c}
	30	7.25^{a}	77.0^{c}	24.75^{b}	4.5^{bc}
LSD (0.05)		0.7003	4.881	1.3448	1.1073

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, averages with common letters are not significantly different based on the least significant difference (LSD) at the 5% probability level.

در صورت وقوع خشکی پس از آغاز گلدهی مسیر رشد و نمو ممکن است به‌وسیله تنش تسریع شود. تنش خشکی ممکن است همیشه تعداد گل را کاهش ندهد، هر چند تنش ملایم طی گلدهی، تولید گل را افزایش می‌دهد (Salehi *et al*., 2013). گیاهان زینتی چندساله در هنگام گلدهی نسبت به مرحله رویشی به خشکی حساس‌ترند (Islam *et al*., 2017). در این مطالعه بیشترین تعداد غنچه سوسن (۷ عدد) در تیمار نانولوله‌های کربنی چند دیواره کربن تحت شرایط تنش کم‌آبی حاصل شد؛ در صورتی‌که کمترین تعداد غنچه سوسن (۵ عدد) در آبیاری مطلوب به‌دست آمد (جدول ۴). گل‌هایی که متعلق به اقلیم‌های گرمسیری هستند ممکن است گلدهی را قبل از شروع خشکی شدید کامل نموده و سپس تا شروع مجدد بارندگی پاییز در حالت رکود باقی بمانند که توانایی آنها در جهت بهبود سریع یک خصوصیت مهم محسوب می‌شود. چنین گیاهانی باید قادر باشند که در اوایل دوره خشکی ذخایر کربوهیدرات و نیتروژن را به‌صورت پروتئین‌های ذخیره‌ای رویشی انباشته کنند تا قادر به زنده ماندن در تابستان باشند. به‌نظر می‌رسد گیاه سوسن با استفاده از چنین راهکار بیان شده، گلدهی خود را تحت شرایط خشکی نیز حفظ می‌کند (Sarvandi, 2016). Bazyar و همکاران (2022) پژوهشی که روی ارقام سوسن تحت تنش خشکی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تعداد گل تحت تنش کم‌آبی ۸۰٪ بیش از شرایط آبیاری مطلوب بوده است؛ که با پژوهش حاضر مطابقت دارد (Fanaei *et al*., 2015). به نظر می‌رسد مراحل اولیه زایشی در بعضی گیاهان حساس‌ترین مرحله به خشکی باشد. در پژوهشی که اثر افزایش دوره‌های آبیاری بر گلدهی گونه سوسن[۱] انجام گرفت در دوره‌های طولانی آبیاری (۹۹ روز یک‌بار) گلدهی متوقف گردید (Li *et al*., 2020). از طرفی کاهش تعداد گل نرگس[۲] در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد (Naseri Moghadam *et al*., 2020). همچنین تنش خشکی در مرحله گلدهی، سبب کاهش تعداد و قطر گل، در گل همیشه بهار نسبت به تیمار شاهد شد (Ghaemi *et al*., 2020).

۱- *Lilium davidii* ۲- *Narcissus tazetta* L.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

قطر و طول غنچه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای آبیاری، نانو لوله‌های کربنی و برهمکنش آن‌ها بر قطر غنچه سوسن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش کم‌آبی باعث کاهش قطر سوسن گردید. تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ظرفیت زراعی) قطر سوسن با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربنی به‌میزان ۶/۸٪ افزایش یافت. کاربرد ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربنی قطر سوسن تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌ترتیب به‌میزان ۲۳/۸٪ و ۱۹/۳٪ کاهش داد (جدول ۴).

طول غنچه سوسن به‌طور معنی‌داری تحت اثر آبیاری در سطح احتمال ۱٪قرار گرفت (جدول ۳). تنش کم‌آبی (۵۰٪ظرفیت زراعی) باعث کاهش طول غنچه سوسن به‌میزان ۶/۵٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) گردید (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات صفات مورفولوژی و فنولوژی سوسن

Table 5- The effect of irrigation and carbon nanotubes on morphological and phenological traits of Lily flower

آبیاری (ظرفیت زراعی)	طول غنچه (سانتی‌متر)	طول گل (سانتی‌متر)	زمان ظهور غنچه (روز)
Irrigation (FC)	Bud length (cm)	Flower stalk length (cm)	Bud emergence time (day)
ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ FC 100%	68.65[a]	21.48[a]	33.16[a]
ظرفیت زراعی ۵۰٪ FC 50%	61.78[b]	15.72[b]	31.00[b]
LSD (0.05)	2.3216	1.505	0.5154
نانو لوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر) Carbon nanotubes (mg L^{1})			
0	64.92[a]	17.12[b]	32.62[a]
15	64.54[a]	19.25[a]	31.87[b]
30	66.19[a]	19.42[a]	31.75[b]
LSD (0.05)	2.8434	1.8432	0.6312

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, averages with common letters are not significantly different based on the least significant difference (LSD) at the 5% probability level.

تنش کم‌آبی باعث کاهش قطر سوسن گردید. به‌طوری‌که تحت شرایط آبیاری مطلوب قطر سوسن با کاربرد نانو لوله‌های کربنی به‌میزان ۶/۸٪ افزایش یافت. در حالی که کاربرد نانو لوله‌های کربنی قطر سوسن را تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش داد (جدول ۴). که نتایج این پژوهش با پژوهش Naseri Moghadam و همکاران (2020) و Salehi و Bahadoran (2015) مطابقت دارد. همچنین تنش کم‌آبی باعث کاهش طول غنچه سوسن به‌میزان ۶/۵٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید (جدول ۵). نتایج Tavakoli vala و همکاران (2023) روی گل جعفری آفریقایی تحت تنش خشکی نشان داد که با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ تا ۲۵٪ ظرفیت مزرعه تعداد گل، طول گل و قطر گل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار آن‌ها در ۲۵٪ ظرفیت مزرعه مشاهده شد.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

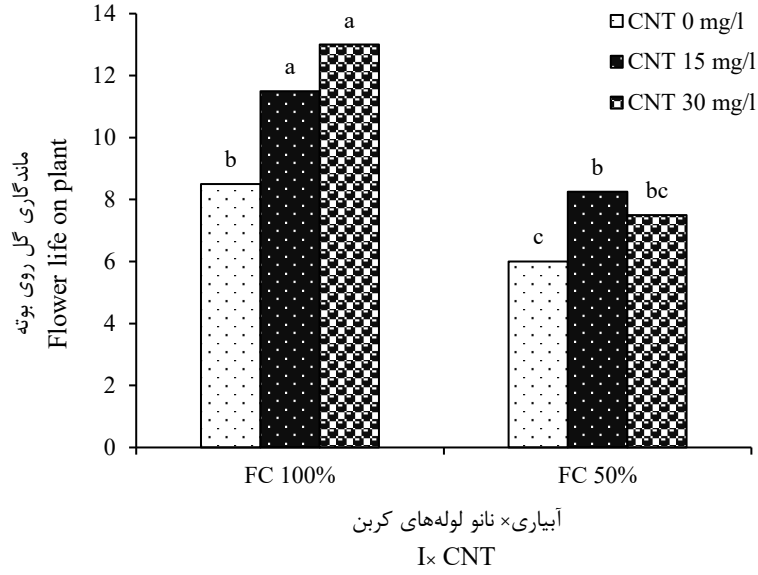
[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

طول گل

طول گل تحت اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۳). اما برهمکنش سطوح آبیاری و نانو لوله‌های کربنی کربن معنی‌دار نشد (جدول ۳). تنش کم‌آبی (۵۰٪ظرفیت زراعی) باعث کاهش طول گل سوسن به‌میزان ۲۰/۹٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) گردید. با کاربرد غلظت نانو لوله‌های کربنی به‌میزان ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر طول گل سوسن به‌طور میانگین ۱۲/۷٪ افزایش یافت (جدول ۵).

ماندگاری گل روی شاخه

ماندگاری گل تحت اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۱٪و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۵٪ قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۱۳ روز) با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده شد. کمترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۶ روز) با عدم کاربرد نانو لوله‌های کربن تحت تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر نانولوله‌های کربن بر ماندگاری گل روی بوته سوسن تحت سطوح مختلف آبیاری، از نظر آماری تفاوت معنی دار با یکدیگر، در سطح احتمال ۱٪ با آزمون LSD دارند.

Figure 3- The effect of carbon nanotubes on the flower life of the Lily plant under different levels of irrigation. Means are significantly different at the 5% probability level, according to the LSD test.

سوسن یکی از گیاهان زینتی با گل‌های زیبا با رنگ‌های متنوع است از نظر اقتصادی پرورش سوسن اهمیت زیادی دارد. بهبود رشد گیاه، کیفیت و ماندگاری گل روی بوته از فاکتورهای مهمی است. که تحقیقات متعددی در مورد آن انجا شده است. در این پژوهش نیز از نانو لوله‌های کربنی برای بررسی صفات مورفوفیزیولوژیک، سوسن استفاده شده است. کاربرد نانولوله‌های کربنی به‌عنوان محلول‌های نگهدارنده موجب افزایش جذب آب، تعادل روابط آبی و افزایش عمر گل می‌شود.

تنش خشکی میزان ترشح هورمون آبسیزیک اسید در گیاهان افزایش می‌یابد که موجب القای ساخت هورمون اتیلن شده و به دنبال آن پیری زودرس گیاه را به همراه دارد. در نتیجه عمر ماندگاری گل به‌شدت کاهش می‌یابد (Hablbl, 2021). اما طبق

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

پژوهش حاضر بیشترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۱۳ روز) با کاربرد تیمار نانو لوله‌های کربنی تحت شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد. کمترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن (۶ روز) با عدم کاربرد تیمار نانو لوله‌های کربن تحت تنش کم‌آبی مشاهده شد (شکل ۳). احتمالاً نانو لوله‌های کربنی مانع تولید اتیلن و پیری گل روی شاخه شده است. ترکیبات نانوکامپوزیت در بهبود بخشیدن روابط آبی در گل بریدنی آلسترومریا به افزایش حرکت و انتقال آب در آوندها به بخش‌های بالایی گیاه ارتباط دارد. تحقیقات نشان داده که نانو لوله‌های کربنی به‌صورت یک کانال، مسیر را برای عبور به درون یاخته فراهم می‌کنند (Khodakovskaya *et al*., 2009). نانو لوله‌های کربنی به کمک سیستم آوندی، به همراه آب و مواد غذایی وارد ساقه شده و از طریق تعرق در سراسر گیاه امکان جابه‌جایی آن‌ها میسر می‌گردد (Line *et al*., 2017).

زمان ظهور اولین غنچه

نتایج نشان داد که اثر آبیاری در سطح احتمال ۱٪ و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۵٪ بر زمان ظهور اولین غنچه سوسن معنی‌دار شد (جدول ۳). با اعمال تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) زمان ظهور اولین غنچه کاهش یافت، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) زمان اولین رویش غنچه سوسن ۳۳ روز طول کشید؛ اما در تیمار تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی)، زمان اولین رویش غنچه روی شاخه سوسن ۳۱ روز طول کشید. با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو لوله‌های کربنی، حدود ۳۱ روز طول کشید که اولین غنچه روی شاخه سوسن رؤیت شود در حالی که در تیمار شاهد ۳۲ روز طول کشید که اولین غنچه روی سوسن نمایان شود (جدول ۵).

زمان رنگ‌گیری

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری زمان رنگ‌گیری اولین غنچه روی شاخه سوسن نشان داد که اثر آبیاری، نانو لوله‌های کربنی و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ بر آن معنی‌دار بود (جدول ۳). زمان رنگ‌گیری اولین غنچه تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) کاهش یافت. تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) با کاربرد ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربنی زمان رنگ‌گیری اولین غنچه سوسن به‌طور میانگین ۱۱/۷٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت؛ اما تحت شرایط تنش کم‌آبی نانو لوله‌های کربنی تأثیری بر زمان رنگ‌گیری اولین غنچه نداشتند (جدول ۴).

زمان باز شدن گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای آبیاری در سطح احتمال ۱٪و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۵٪بر زمان باز شدن سوسن معنی‌دار شد. برهمکنش (آبیاری× نانو لوله‌های کربن) بر زمان باز شدن سوسن در سطح ۵٪معنی‌دار شد (جدول ۳). تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) با کاربرد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربن زمان باز شدن سوسن به‌میزان ۲۳٪در مقایسه با عدم کاربرد آن کاهش یافت. تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) زمان باز شدن سوسن با کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله‌های کربن به‌میزان ۸/۲٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن کمتر بود (جدول ۴).

تعداد سوخک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی بر تعداد سوخک سوسن در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۶).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

جدول ۶- تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات مورفولوژیک سوخ و ریشه سوسن.

Table 6- The effect of irrigation and carbon nanotubes on bulb and root traits of Lily.

وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد ریشه Number of root	وزن خشک سوخ Bulb dry weight	طول پیاز Bulb length	قطر سوخ Bulb diameter	تعداد سوخک Number of bulblet	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variations
2.761**	20.166ns	6.486**	13.127**	244.23**	26.041**	1	آبیاری Irrigation (I)
0.072ns	63.875**	2.247**	3.837ns	4.34ns	40.167**	2	نانو لوله‌های کربن Carbon nanotubes (CNT)
0.039ns	11.541ns	0.894ns	1.509ns	14.82ns	0.667ns	2	آبیاری× نانو لوله‌های کربن I× CNT
0.074	7.388	0.345	1.498	8.33	1.125	18	خطا Errors
18.81	11.57	14.85	4.82	8.09	22.13	-	ضریب تغییرات (٪) CV (%)

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪؛ ns: غیرمعنی‌دار

** and *: significant at the probability level of 1 and 5%, respectively; ns: Not significant

تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) باعث افزایش تعداد سوخک سوسن به‌میزان ۵۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) شد. با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر تعداد سوخک‌های سوسن به‌میزان ۲/۲ برابر افزایش یافت (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر آبیاری و نانولوله‌های کربن بر صفات مورفولوژیکیک سوخ و ریشه سوسن.

Table 7- The effect of irrigation and carbon nanotubes on morphological traits of Lily bulb and root.

وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	تعداد ریشه Number of root	وزن خشک سوخ (گرم) Bulb dry weight (g)	طول سوخ (سانتی‌متر) Bulb length (cm)	قطر سوخ (سانتی‌متر) Bulb diameter (cm)	تعداد سوخک Number of bulblet	آبیاری (ظرفیت زراعی) Irrigation (FC)
1.79a	24.42a	4.47a	26.11a	38.86a	3.75b	ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ FC 100%
1.11b	22.58a	3.43b	24.63b	32.48b	5.83a	ظرفیت زراعی ۵۰٪ FC 50%
0.2337	2.3314	0.504	1.0499	2.4751	0.9097	LSD (0.05)
						نانو لوله‌های کربن (میلی‌گرم در لیتر) Carbon nanotubes (mg L^{-1})
1.56a	20.25b	3.35b	24.61b	34.83a	3.37b	0
1.40a	24.88a	4.21a	25.54ab	36.21a	3.62b	15
1.39a	25.38a	4.31a	25.96a	35.97a	7.37a	30
0.2862	2.8554	0.6172	1.2859	3.0314	1.1142	LSD (0.05)

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, averages with common letters are not significantly different based on the least significant difference (LSD) at the 5% probability level.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

پژوهشگران معتقدند که ترکیبات نانو به‌علت کوچک بودن و حلالیت بالا سریع‌تر توسط گیاهان جذب می‌شوند و بنابراین با کاربرد این مواد شرایط بهینه برای رشد گیاه ایجاد می‌شود و از ایجاد هرگونه شرایط تنشی در گیاه جلوگیری می‌شود (Mohamadipoor *et al*., 2013). در پژوهش حاضر تنش کم‌آبی باعث افزایش تعداد سوخک سوسن به‌میزان ۵۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید. همچنین با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی تعداد سوخک‌های سوسن به‌میزان ۲/۲ برابر افزایش یافت (جدول ۷). Li و همکاران (2020) در پژوهشی گزارش کردند با اعمال تنش کم‌آبی در شرایط مزرعه تعداد سوخک‌های باززایی شده در گونه *Lilium*[۱] کاهش یافته است؛ که احتمالاً سوسن مواد مغذی مورد نیاز برای تولید سوخک یا سوخک را صرف تکمیل چرخه زندگی در شرایط خشکی می‌کند و بدین طریق مقاومت به خشکی را تا حدودی بهبود می‌بخشد، که با یافته به‌دست آمده مطابقت ندارد که احتمالاً تأثیر نانو لوله‌های کربنی بر افزایش تعداد سوخک‌ها در شرایط تنش بوده است. همچنین Ahadi Rad و همکاران (2023) در پژوهشی که روی برخی گونه‌های سوسن در شرایط درون شیشه‌ای تحت شرایط تنش کم‌آبی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تنش کم‌آبی با کاهش طویل شدن و تقسیم یاخته ای و با اثر بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی و هورمونی تعداد سوخک را کاهش داده است که با یافته به‌دست آمده از این پژوهش مطابقت ندارد.

قطر و طول سوخ

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد قطر و طول سوخ سوسن به‌طور معنی‌داری تحت اثرهای آبیاری در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۶). با اعمال تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) قطر و طول سوخ سوسن به‌ترتیب ۱۶/۴ و ۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) کاهش یافت (جدول ۷). غلظت‌های مختلف نانو لوله‌های کربن تأثیر معنی‌داری بر قطر و طول سوخ سوسن نداشتند (جدول ۶). با اعمال تنش کم‌آبی قطر و طول سوخ سوسن به‌ترتیب ۱۶/۴٪ و ۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب کاهش یافت (جدول ۷). ابعاد (قطر و طول) سوخ گونه *Allium*[۲] در تنش متوسط (۵۵٪ ظرفیت زراعی) کاهش یافت، ولی با افزایش تنش (۳۵٪ ظرفیت زراعی) افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان دادند (Rahmanpour *et al*., 2021).

وزن خشک سوخ

وزن خشک سوخ سوسن تحت اثرهای آبیاری و نانو لوله‌های کربنی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۶). با کاربرد ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم نانو لوله‌های کربنی وزن خشک سوخ سوسن به‌ترتیب ۲۵/۷٪ و ۲۸/۷٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت. تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) باعث کاهش وزن خشک سوخ سوسن به‌میزان ۲۳/۳٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) گردید (جدول ۷).

مطالعات نشان داده‌اند وجود اندام سوخ در گیاهان برای تجمع آب و تحمل کم آبی اهمیت زیادی دارد (Rahmanpour *et al*., 2021). خشکی باعث بروز تغییرات مورفولوژیکی در غده‌ها و سوخ ها می‌شود؛ به‌طوری‌که در اثر تنش خشکی، از ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ و سوخ گیاه پیاز خوراکی (Samvati, 2014) وزن غده و زیست توده کل گیاه سیب‌زمینی (Saravia *et al*., 2016) کاسته شد. در پژوهش حاضر با کاربرد تیمار نانو لوله‌های کربنی وزن خشک سوخ سوسن به‌ترتیب

۱- *Lilium davidii*

۲- *Allium vavilovii*

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

۲۵/۷ و ۲۸/۷٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت. تنش کم‌آبی باعث کاهش وزن خشک سوخ سوسن به‌میزان ۲۳/۳٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید (جدول ۷). به‌علاوه افزایش وزن سوخ مشاهده شده در گونه‌های *Allium* نیز یک ویژگی سازشی مهم برای تحمل تنش خشکی شدید بوده و به گیاه اجازه می‌دهد که با ذخیره‌ی آب و ماده غذایی کم آبی را تحمل نماید. این نتیجه در تأیید با گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر تنش کم‌آبی بر افزایش رشد و وزن تر پیاز خوراکی (Addai *et al*., 2014) و افزایش رشد رویشی رقم‌های گل اطلسی (Kamali *et al*., 2018) می‌باشد. تنش خشکی باعث کاهش میزان وزن تر و خشک ریشه، سوخک گل مریم گلی[۱] شد (Zekavati *et al*., 2021). همچنین تأثیر کم آبی بر گل نرگس[۲] نشان داد افزایش تنش خشکی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش حجم و وزن سوخ می‌شود (Naseri Moghadam *et al*., 2020) که با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد که احتمالاً تأثیر نانو لوله‌های کربنی می‌باشد. بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر مقادیر صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه گونه‌های Allium نشان داد که طول ریشه و وزن سوخ با شروع تنش خشکی در شیب ملایم (۷۵٪ظرفیت زراعی) افزایش و سپس با افزایش تنش کاهش یافت (Rahmanpour *et al*., 2021). ولی افزایش وزن خشک سوخ در گونه Allium[۳] تا تنش شدید ادامه یافت به‌طورکلی گیاهان برای کاهش اثرهای منفی خشکی از مکانیسم‌های متنوعی استفاده کرده و در مقابل خشکی از طریق تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی به تنش پاسخ می‌دهند (Rahmanpour *et al*., 2021) که با نتایج این پژوهش مطابقت نشان داد.

تعداد ریشه

کاربرد نانو لوله‌های کربنی بر تعداد ریشه سوسن در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌دار داشت (جدول ۶). با کاربرد ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم نانو لوله‌های کربنی تعداد ریشه به‌ترتیب ۲۲/۸٪ و ۲۵/۳٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت (جدول ۷).
نانو لوله‌های کربنی با توجه به تنش محیطی که ایجاد می‌کنند گیاهان تحت تیمار را وادار به گسترش اندام‌های زیرزمینی خود می‌کنند و بدین ترتیب گیاه شرایط تنش را تحمل می‌کند (Pourbeyrami Hir *et al*., 2024). در سطح خشکی ملایم نانو ذرات با غلظت‌های مختلف توانایی حذف اثر منفی تنش بر رشد ریشه را دارند؛ لیکن با افزایش خشکی غلظت‌های کمتر نانو تأثیر بیشتری بر بازگشت گیاه و کمک به رشد ریشه گیاه در شرایط تنشی دارند. از این‌رو نانو ذرات در شرایط خشکی تیمار اصلاحی مناسبی برای بازگشت رشد ریشه و استفاده مناسب‌تر از شرایط محیطی و به ویژه جذب آب هستند (Ghavam, 2019). با کاربرد تیمار نانو لوله‌های کربنی تعداد ریشه سوسن به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۲۵/۳٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت (جدول ۷). بنابراین نانو لوله‌های کربنی با توجه به تنش محیطی که ایجاد می‌کنند گیاهان تحت تیمار را وادار به گسترش اندام‌های زیرزمینی خود می‌کنند و بدین ترتیب گیاه شرایط تنش را تحمل می‌کند (Pourbeyrami Hir *et al.*, 2024).

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه فقط تحت اثرهای آبیاری در سطح احتمال ۱٪قرار گرفت (جدول ۶). تنش کم‌آبی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) باعث کاهش وزن خشک ریشه سوسن به‌میزان ۳۷/۹٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) گردید (جدول ۷). کاربرد نانولوله‌های کربنی بر وزن خشک ریشه سوسن تأثیر معنی‌داری نداشت.

۱- *Polianthes taberrosel*.cv. Doble ۲- *Narcissus tazetta* L. ۳- *A. rubellum*

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

در شرایط تنش خشکی، برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آن‌ها کمتر می‌شود. در این شرایط ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد و این امر باعث کاهش وزن خشک گیاه در زمان تنش می‌شود که می‌تواند به علت پیری زودرس و عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی باشد (Ghorbani *et al*., 2021). تنش کم‌آبی باعث کاهش وزن خشک ریشه سوسن به‌میزان ۳۷/۹٪در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید (جدول ۷). کاربرد تیمار نانولوله‌های کربنی بر وزن خشک ریشه سوسن در این مطالعه تأثیر معنی‌داری نداشت. در پژوهشی روی فلفل (Iranbakhsh & Ghaderi, 2020) بیان شد که به‌کارگیری نانوذرات موجب افـزایش وزن تـر و خشک ریشه، ساقه و برگ در فلفل شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت نداشت. همچنین در مطالعه‌ای دیگر (Ghorbani *et al*., 2021) گزارش شد که با افزایش شدت تنش خشکی و کاربرد نانو ذرات وزن خشک ریشه گیاه نخود[1] افزایش و با کاربرد بیشتر از این مقدار نانو ذرات وزن خشک ریشه کاهش یافت. کاهش وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تنش خشکی به اختصاص کربن تولیدشده به سایر مسیرهای متابولیک مؤثر در تخفیف اثر تنش مثل فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مرتبط بوده است (Jabbari *et al*., 2023) که در این بررسی نیز با بروز تنش خشکی فعالیت دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان داد. می‌توان علت کاهش وزن خشک ریشه را کاهش تولید ماده خشک و تخصیص آن به هر دو اندام هوایی و زمینی (ریشه) بیان نمود. از طرفی در یک آزمایش نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم با تحریک ریشه گیاه کدو[2] سبب افزایش توانایی جذب آب و مواد غذایی شده است که به دنبال آن وزن تر و خشک گیاه افزایش یافته است (Zhu *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال تنش خشکی و تیمار نانولوله‌های کربنی عامل‌دار و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری بر برخی صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک سوسن داشتند. با توجه به نتایج، سوسن گیاهی متحمل به تنش کم آبیاری است و تا سطح تنش ملایم ۵۰٪ظرفیت زراعی را به خوبی تحمل می‌کند. همچنین، کاربرد نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار موجب افزایش پایداری غشاء و رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد شد. بیشترین ماندگاری گل روی شاخه سوسن ۱۳ روز با کاربرد تیمار نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار تحت شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد. احتمالاً نانو لوله‌های کربنی مانع تولید اتیلن و پیری گل روی شاخه شده است. همچنین در پژوهش حاضر در بخش زیرزمینی سوسن تنش کم‌آبی باعث افزایش تعداد سوخک سوسن به‌میزان ۵۵/۷٪ در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب گردید. افزون بر این، با افزایش غلظت نانو لوله‌های کربنی عامل‌دار تعداد سوخک و ریشه سوسن به ترتیب به‌میزان ۲/۲٪ و ۲۵/۳٪ در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش یافت. احتمالا سوسن مواد مغذی مورد نیاز برای تولید سوخک یا سوخک را صرف تکمیل چرخه زندگی در شرایط تنش خشکی می‌کند. بنابراین، نانو لوله‌های کربنی با توجه به تنش محیطی که ایجاد شده گیاهان تحت تیمار را وادار به گسترش اندام‌های زیرزمینی و حذف اثر منفی تنش بر رشد اندام زیرزمینی می‌کند.

۱- *Cicer arietinum* L.

۲- *Cucurbita maxima*

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

منابع

Addai, I., K., Takyi, H., Oduro, G. (2014). Influence of bulb weight at planting and drought stress on growth and development of onion (*Allium cepa* L.) in the Northern Region of Ghana. *British Journal of Applied Science & Technology*, *4*(14), 2125-2135.

Ahadi Rad, R., Pourbeyrami Hir, Y., Chamani, E., Maleki Lajayer, H., Izadi, N. (2023). The effect of drought stress on morphological and biochemical characteristics of some Lily species. *Journal of Plant Production Research*, *30*(1), 49-65. (In Persian).

Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Imani, A. Feiziasl, V. (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of Mallow *(Malva sylvestris*). *Iranian Journal of Biology*, *28*, 459 - 74. (In Persian).

Bazyar, Z., Salehi Salmi, M., Pakdaman Sardrood, B., Zare, A. (2022). Study of two hybrid lily (Longiflorum× Asiatic) cultivars 'Nashville' and 'Merluza', some defensive mechanisms against drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, *11*(50), 159-172. (In Persian).

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., Angaji, S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108-823.

Chegini, E., Ghorbanpour, M., Hatami, M., Taghizadeh, M. (2017). Effect of multi-walled carbon nanotubes on physiological traits, phenolic contents and antioxidant capacity of Salvia mirzayanii Rech. F. & Esfand. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, *16*(62), 191-207. (In Persian).

El Achaby, M., Arrakhiz, F. E., Vaudreuil, S., el Kacem Qaiss, A., Bousmina, M., Fassi-Fehri, O. (2012). Mechanical, thermal, and rheological properties of graphene-based polypropylene nanocomposites prepared by melt mixing. *Polymer Composites*, *33*(5), 733-744.

El-Shamy, M. A., Alshaal, T., Mohamed, H. H., Rady, A. M., Hafez, E. M., Alsohim, A. S., Abd El-Moneim, D. (2022). Quinoa response to application of phosphogypsum and plant growth-promoting rhizobacteria under water stress associated with salt-affected soil. *Plants*, *11*(7), 872.

Fanaei, H., Noorisadegh, H., Yousefi, T. (2015) Influence of drought stress on some characteristics of plants. *International Journal of Biological Forum*, *7*, 1732-1738.

Garavand, S., Mousavi, S. F. Hekmatara, S. H. (2023). Increasing vase life of cut gerbera cv. rosalin flowers using nanocomposites as preservative solution. *Journal of Horticulture Science*, *37*(1), 261-275.

Ghaemi, M., Zare, Z., Samiee Paghaleh, S. (2020). Effects of drought stress on some morphological characteristics and quercetin production levels of pot marigold at different stages of growth, *Flower and Ornamental Plants*, *5*(1), 37-50. (In Persian).

Ghavam, M. (2019). Effect of silver nanoparticles on tolerance to drought stress in *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. in germination and early growth stages. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(2), 555-566. (In Persian).

Ghorbani, R., Movafeghi, A., Gangeali, A., Nabati, J. (2021). Effects of TiO2 nanoparticles on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 85-98.

Hablbl, L. (2021). Investigation of the effect of different levels of vermicompost and leaf soil on some geranium (*Pelargonium* spp.) characteristics under drought stress. *45*-57.

Haghighi, M., Teixeira da Silva, J. A. (2014). The effect of carbon nanotubes on the seed germination and seedling growth of four vegetable species. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 17, 201-208.

Hajibarat, Z., Saidi, A., Ghaffari, M., Zeinalabedini, M. (2024). Strategies of barley improvement under water stress: responses, approaches and management. *Crop Biotechnology*, 13(45), 77-98. (In Persian).

Handari, N. S. and Kumar, R. S. S. (2016). Effect of growing sub effect of growing substrates on performance of test on performance of lilium (*Lilium longiflorum* L.) cv. bach". Bioscan, 11 (2): 1291-1293.

Hassanpour Asil, M., Hatamzadeh, A., Elahinia, S., Samizadeh Lahiji, H., Karimi, V. (2012). Evaluation of the effects of calcium nitrate and calcium sulfate on the resistance of gray mold (*Botrytis cinerea*) on two cultivars of lily cut flower (*Lilium* sp.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *43*(2), 313-322. (In Persian).

Hatami, M., Hadian, J., Ghorbanpour, M. (2017). Mechanisms underlying toxicity and stimulatory role of single-walled carbon nanotubes in *Hyoscyamus niger* during drought stress simulated by polyethylene glycol. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 306-320.

Iranbakhsh, A., Ghaderi, A. (2020). The effect of nano-iron oxide on growth, physiology, and callogenesis in pepper in vitro. *Nova Biologica Reperta*, 7(2), 219-227.

Islam, M. S., Roni, M. Z. K., Shimasaki, K. (2017). Factors affecting bulblet growth of *Lilium sp*. *in vitro* and *in vivo*. *Plant Omics*, *10*, 263-268.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

Jabbari, H., Gholamhoseini, M., Valipour, M. B., Nazari, M. R., Omidi, A. H., & Tashakori Meymand, H. (2023). Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crops Improvement*, *25*(3), 557-573.

Jabbari, H., Gholamhoseini, M., Valipour, M. B., Nazari, M. R., Omidi, A. H., Tashakori Meymand, H. (2023). Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crops Improvement*, *25*(3), 557-573. (In Persian).

Jafari, S., Garmdareh, S. E. H., Azadegan, B. (2019) Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, *253*, 128-133.

Jamali Moghadam, H., Hassanpour Asil, M. (2021). Improving morpho-physiological characteristics and extending vase life of Lily (*Lilium* LA Hybrid) cv. Original Love using gibberellic acid and humic acid. *Flower and Ornamental Plants*, *6*(1), 49-70. (In Persian).

Jin, R., Shi, H., Han, C., Zhong, B., Wang, Q., Chan, Z. (2015). Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*. *194*, 215-221.

Kamali, M., Shoor, M., Neamati, S. H., Lakzian, A., Khazaei, H. R. (2018). Effect of irrigation deficit on water relations, growth and physicochemical changes in Petunia (*Petunia garandiflora*) cultivars. *Iranian Journal Process and Function of Organic*, *7*(23), 283-296. (In Persian).

Kharrazi, M., Tehranifar, A., Nemati, H., Bagheri, A. (2017). Effect of scale position and medium type on bulblet production of Hippeastrum (*Hippeastrum* × *johnsonii*) with twin scaling method. *Journal of Horticultural Science*, *31*(1), 190-200. (In Persian).

Khodakovskaya, M. V. (2013). Impact of carbon nanotubes exposure to seeds of valuable crops. *American Chemical Society Applied Materials & Interfaces*, *5*(2), 7965-7973.

Khodakovskaya, M. V., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., Cernigla, C. E. (2013). Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community. *Small*, *9*(1), 115-123.

Kianirad, M. (2016). Effect of multi-walled carbon nanotubes on growt characteristics and essential oil of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under salt stress. MS.c. Thesis, University of Islamic Azad University, Sabzevar. (In Persian).

Kumar, S., Malik, A., Dahiya, D. S., Kaur, M. (2018). Appraisal of Asiatic hybrid lilium cultivars under polyhouse growing condition in semi-arid Haryana, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*, 3389-3394.

Lahiani, M. H., Dervishi, E., Chen, J., Nima, Z., Gaume, A., Biris, A. S., Khodakovskaya, M. V. (2013). Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *5*(16), 7965-7973.

Li, W., Wang, Y. and Zhang, Y. (2020). Impacts of drought stress on the morphology, physiology, and sugar content of Lanzhou lily (*Lilium davidii* var. unicolor). *Acta Physiologiae Plantarum*, *42*, 127-133.

Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Journal of Annals of Botany*, *78*, 389 -398.

Mohadesi, A., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Gholamnezhad, J. (2023). Evaluation of biochar and vermicompost application on some morphophysiological characteristics of *Oenothera biennis* under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *33*(1) 35-51. (In Persian).

Mohamadipoor, R., Sedaghathoor, Sh., Mahboub-Khomami, A. (2013). Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of *Spathyphyllum illusion*. *European Journal of Experimental Biology*, *3*, 232-240.

Naseri Moghadam, A., Bayat, H., Aminifard, M. H., Moradinezhad, F. (2020). Effects of drought and salinity stresses on some morphological and physiological characteristics of *Narcissus tazetta* L. flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(1), 79-90. (In Persian).

Nel, A., Xia, T., Meng, H., Wang, X., Lin, S., Ji, Z., Zhang, H. (2013). Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening. *Accounts of Chemical Research*, *46*(3), 607-621.

Nikrazm, R., Ajirlou, S. A., Khaligy, A. Tabatabaei, S. J. (2011). Effects of different media on vegetative growth of two Lilium cultivars in soilless culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *2*(6), 1-9. (In Persian).

Omidian, M., Roein, Z., Shiri, M. A. (2020). Improvement of some physiological parameters of lily (*Lilium* spp.) under deficit irrigation conditions using foliar application of spermidine. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(36), 315-330. (In Persian).

Pahlavan, M., Chalavi, V. Karimi, M. (2020). The effect of scale position and type of growing medium on bulblet production in hybrid *Lilium* Cv. Serrano. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *11*(3), 85-97. (In Persian).

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

Pourbeyrami Hir, Y. P., Chamani, E., Ahadzadeh, M., Shaker, S., Sanjbod, R. N. (2024). Investigation on the effects of carbon nanotubes and kinetin on growth and regeneration of *Salvia nemorosa* under in vitro conditions. *Journal of Horticultural Science*, *38*(2), 353-366.

Rahdari, P., Hosseini, S. M., Tavakoli, S. (2012). The studying effect of drought stress on germination, proline, sugar, lipid, protein and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*, 1539-1547.

Rahmanpour, A., Vaziri, A., Salehi Shanjani, P., Rabie, M., Asri, Y. (2021). The effect of drought stress on morphological traits and proline values of five medicinal species of *Allium* L. in Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(2), 1-12.

Rico, C. M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59*(8), 3485-3498.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas -exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111.

Salehi, A., FarahVash, F., Akbari, G. A., Soltani, E., Mirashkari, B. (2023). Effect of foliar application of titanium dioxide nanoparticles in water deficit irrigation on some morphological and physiological traits and wheat yield. *Plant Process and Function*, *12*(53), 25-33.

Salehi, H., Bahadoran, M. (2015). Growth and flowering of two tuberoses (*Polianthes tuberosa* L.) cultivars under deficit irrigation by saline water. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*(2), 415-426.

Salehi, M. R., Salehi, H., Niazi, A., Ghobadi, C. (2013) Convergence of goals: phylogenetical, morphological, and physiological characterization of tolerance to drought stress in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Molecular Biotechnology*, *56*, 248-257.

Samadzadeh, H. (2017). Effects of silver and calcium nanoparticles on vase life and some physiological traits of، Konst Coco، Alstroemeria cut flower. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *8*(3), 75-89. (In Persian).

Samvati, H. A. (2014). Effects of drought stress on some physiological indices in three varieties of onion (*Allium cepa* L.). First National Conference on Sustainable Agricultural Development with the Use of Crop Pattern. 13 February, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian).

Saravia, D., Farfan-vignolo, E. R., Gutierrez, R., De Mendiburu, F., Schafleitner, R., Bonierbale, M., Khan, M. A. (2016). Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *The American Journal of Potato Research*, *93*, 288-295.

Sarvandi, Sh. (2016) Effect of water stress and salinity on some morphological and physiological characteristics of some Iris cultivars. M.Sc. thesis, Lorestan University, Khoram-Abad, Iran. (In Persian).

Sorkheh, K., Shiran, B., Khodambshi, M., Rouhi, V., Ercisli, S. (2011). In vitro assay of native Iranian almond species (*Prunus* L. spp.) for drought tolerance. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *105*(3), 395-404.

Tavakoli Vala, M., Nazari, F., Babaei, S. (2023). The ameliorative effect of rice husk biochar on morpho-physiological and biochemical characteristics of African marigold (*Tagetes erecta* L.) under drought stress. *Flower and Ornamental Plants*, *8*(1), 21-46. (In Persian).

Tiwari, D. K., Dasgupta-Schubert, N., Villasenor Cendejas, L. M., Villegas, J., Carreto Montoya, L., Borjas Garcia, S. E. (2014). Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture. *Applied Nanoscience*, *4*, 577-591.

Wei, Ch., Cui, Q., Zhang, X., Zhao, Y., Ji, G. (2016). Three *P5CS* genes including a novel one from *Lilium regale* play distinct roles in osmotic, drought and salt stress tolerance. *Journal of Plant Biology*, *59*, 456-466.

Wu, X., Yuan, J., Luo, A., Chen, Y., Fan, Y. (2016). Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in *Dendrobium moniliforme*. *Industrial Crops and Products*, *94*, 385-393.

Zahraei Basir, M. T., Asgari, D. (2024). Effect of Growth Media on Morphological Traits of One-year Hyacinth Bulblet (*Hyacinthus orientalis* L.). *Plant Production Technology*, *15*(2), 85-92. (In Persian).

Zekavati, H. R., Mansouri, N., Fatemi, S. R. (2021). Effect of *Trichoderma harzianum* fungus on the physiological traits and some vegetative and reproductive characteristics of tuberose (*Polianthes tuberose* L. cv. Double) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(4), 1017-1026.

Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., Jin, Y. (2008). Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*, *10*, 713-717.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(1): 49-70
Research article

Effects of nanocomposites on phenological and morpho-physiological traits of Lily (*Lilium* LA Hybrid 'Fangio') under deficit irrigation conditions

Tahereh Chameh*, Zeynab Roein

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam
t_chameh@yahoo.com
Received: 2024/11/26, Revised: 2025/03/15, Accepted: 2025/04/07

Abstract

The floriculture industry is one of the main branches of modern agriculture. On the other hand, water deficit stress is one of the most important abiotic stresses that affects the growth and development of ornamental plants. One of the solutions for managing soil moisture and tolerating flowers to water deficit stress is the use of nanotechnology. This study aimed to investigate the effects of using functionalized carbon nanotubes on changes in the phenology, morphology, and physiology of the Lilium under different irrigation conditions. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ilam University in 2020. The experimental factors included irrigation at two levels (50 and 100% of field capacity) and polyvinyl pyrrolidone-functionalized carbon nanotubes at three levels (0, 15, and 30 mg L^{-1}). The results showed that the highest level of cell membrane stability (59.9%) was achieved with the application of 30 mg L^{-1} of carbon nanotubes under well-watered conditions, which was an increase of 14% compared to the control treatment. The highest leaf relative water content (73.48%) was achieved with the application of 30 mg L^{-1} of carbon nanotubes, and the lowest leaf relative water content (64.62%) was achieved in the treatment without the application of carbon nanotubes. The application of carbon nanotubes increased the dry weight of the Lilium shoot under both water-deficient and well-watered conditions. The highest number of Lilium florets (7 florets) was achieved in the treatment of functionalized carbon nanotubes with a concentration of 30 mg L^{-1} under water deficit stress conditions, and the lowest number of Lilium florets (5 florets) was achieved in well-watered conditions. Water deficit stress increased the number of bulblets by 55.7% compared to optimal irrigation conditions. On the other hand, increasing the concentration of carbon nanotubes to 30 mg L^{-1} increased the number of lily bulblets by 2.2 times. Also, using 15 and 30 mg of carbon nanotubes increased the number of roots by 22.8 and 25.3%, respectively, compared to not using them. The longest flower longevity on the plant (13 days) was observed with the application of 30 mg L^{-1} of carbon nanotubes under well-watered conditions, and the shortest flower longevity on lily branches (6 days) was observed with the application of no carbon nanotubes under water deficit stress conditions. In general, irrigation with functionalized carbon nanotubes (30 mg L^{-1}) is the most appropriate solution for improving physiological indices, number of florets, bulblets, roots, and flower longevity of lily under water deficit stress conditions, and is a feasible method for maintaining the quality of lily shoots.

Keywords: Drought stress, Dry matter, Flower longevity, Lilium, Nanotechnology.

[Downloaded from flowerjournal.org on 2026-11-01]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.49]