گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۳)، ۹(۲): ۳۵۹-۳۷۴
مقاله پژوهشی

تأثیر نورهای LED و الیسیتور بر شاخص‌های فتوسنتزی گل میمون

سحر سرداری، یونس پوربیرامی هیر*، اسماعیل چمنی
گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی،دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Younes-ph62@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۹

چکیده

گل میمون، متعلق به تیره گل میمون می‌باشد. این گیاه چند ساله بوده که به‌صورت یکساله کشت می‌شود. در واقع باید این گیاه را در مناطق با زمستان سرد به صورت یکساله و در نواحی با زمستان نه چندان سرد (حداقل دمای زمستان ۱۰ درجه سلسیوس) به صورت دو ساله کشت کرد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر ترکیبی طیف‌های مختلف نور LED و غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه گل میمون انجام شد. آزمایش در شرایط کنترل شده و به صورت فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل نور LED سفید، آبی، قرمز و ترکیبات مختلف آنها،۸۰ درصد نور آبی + ۲۰ درصد نور قرمز، ۶۰ درصد نور آبی + ۴۰ درصد نور قرمز، ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی و ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی و سه غلظت مختلف (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نانولوله‌های کربنی بودند. پارامترهای مورد ارزیابی شامل میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل بودند. نتایج نشان داد که هم طیف‌های نور LED و هم نانولوله‌های کربنی تأثیر معنی‌داری بر رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه گل میمون داشتند. طیف‌های مختلف نور LED تأثیرات متفاوتی بر میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس داشتند. ترکیب نور قرمز و آبی اغلب نتایج مثبتی را به همراه داشت. نانولوله‌های کربنی، به‌ویژه در غلظت‌های بالاتر، بر هدایت روزنه‌ای و فلورسانس تأثیر گذاشتند. تعامل آن‌ها با تیمارهای نوری، پاسخ‌های گیاه را بیشتر تعدیل می‌کرد. میزان کلروفیل به‌عنوان شاخص اصلی کارایی فتوسنتز، تحت تأثیر معنی‌دار هر دو تیمار نور و نانولوله قرار گرفت. همچنین هدایت روزنه‌ای نیز تحت تأثیر قرار گرفت. اندازه‌گیری فلورسانس نیز نتایجی را در مورد کارایی استفاده از انرژی نور در فتوسنتز ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، فلورسانس، نانولوله‌های کربنی، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

گل میمون از تیره گل میمون[۱] می‌باشد. این گیاه چند ساله بوده که به‌صورت یک‌ساله کشت می‌شود. یکی از روش‌هایی که برای بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی در گیاهان استفاده می‌شود، تغییر کیفیت نور می‌باشد (Dehkhodi *et al.*, 2018). نور

۱- *Scrophulariaceae*

یکی از فاکتورهایی است که در رشد و گلدهی گیاهان تأثیر بسزایی دارد و گیاهان در تمام مراحل زندگی خود از جوانه‌زنی تا تولید گل و بذر به نور نیاز دارند (Yeh & Chung, 2009). با این وجود، گیاهان رفتارهای متفاوتی را در شدت‌های گوناگون از خود نشان می‌دهند (Mani, 2015). استفاده از نورهای مصنوعی در صنعت کشاورزی به‌خصوص در چند سال اخیر در حال گسترش بوده است. برای تحریک رشد در گیاهان در شرایطی که نور کم است از نورهای مصنوعی استفاده می‌شود (Maroow, 2008). Wang و همکاران (2021) در آزمایشی برای بررسی دیود ساطع نور (LED)[1] قرمز و آبی بر رشد و ویژگی‌های فتوسنزی خیار چنبر[2]، از سه طیف نور ۱۰۰ درصد نور آبی، ۱۰۰ درصد نور قرمز و ۱۰۰ درصد نور سفید با شدت ۵۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه استفاده کردند. نتایج نشان داد که در مقایسه با نور سفید، به‌طور قابل توجهی قطر ساقه در نور آبی بیشتر شد و افزایش جوانه‌زنی، ارتفاع گیاهچه و محتوای قند محلول در نور قرمز اتفاق افتاد. اندازه‌گیری ویژگی‌های فتوسنتزی نشان داد که تیمارهای قرمز و آبی می‌توانند در افزایش هدایت روزنه‌ای برگ مؤثر باشند. بنابراین، چنین پیشنهاد شد که خیار چنبر به‌طور معمول یک گیاه آفتاب‌دوست با مقدار Dr[3] پائین‌تر می‌باشد. به‌طور خلاصه، نتیجه‌گیری شد که نور آبی تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، بروز جنسیت و بهبود عملکرد فتوسنتزی دارد و کمک می‌کند ارتباط بین کیفیت نور در بروز جنسیت روشن شود. در پژوهشی تأثیر طیف‌های نوری بر برخی شاخص‌های رشد و ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه بابونه گیلانی[4] بررسی شد و از سه طیف نوری سفید، قرمز + آبی و قرمز دور استفاده شد. نتایج نشان داد که طیف نوری قرمز + نور آبی در مقایسه با سایر طیف‌های نوری باعث افزایش وزن‌تر، وزن خشک، محتوای نسبی آب و طول ریشه شد. همچنین بیشترین میزان پراکسید هیدروژن در این طیف و کمترین میزان پراکسید در طیف نوری نور قرمز + نور آبی مشاهده شد، اما در بین طیف‌های نوری در میزان محتوای پراکسید هیدروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین طول ساقه در گیاهچه‌های تیمار شده توسط نور قرمز دور مشاهده شد با اینکه در طیف نوری سفید حداکثر فعالیت آنتی اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئیدی ثبت شد اما کاهش رشد در گیاهچه‌های تحت تیمار با نور سفید در گیاه گزارش شد که به‌علت منبع کربن و انرژی برای بیوسنتز ترکیبات آنتی اکسیدانی بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده مناسب‌ترین طیف نوری برای کشت گیاه بابونه گیلانی، طیف ترکیبی نور قرمز + نور آبی گزارش شد (Soltani *et al*., 2020).

نانو مولکول‌ها، موادی نوظهور هستند که با بهره‌گیری از فناوری نانو تولید شده‌اند. این ساختارها قابلیت انجام تغییرات و دستکاری در مقیاس نانومتری را فراهم ساخته و در تسهیل و تسریع واکنش‌های شیمیایی نقش مؤثری ایفا می‌کنند در این میان، نانولوله‌های کربنی به عنوان یکی از دگرشکل‌های اتم‌های کربن، طی سال‌های اخیر شناسایی و معرفی شده‌اند (Pourbeyrami Hir *et al*., 2024). نانولوله‌های کربن[5] یکی از این مواد پرکاربرد در جنبه‌های مختلف علوم کشاورزی از جمله جوانه‌زنی و رشد گیاهان مختلف است (Pezhohan *et al*., 2015). اکتشافات جدید در حوزه‌ی نانو تکنولوژی به عنوان پلتفرم‌های پیشرفت برای تعدادی از برنامه‌های کاربردی در علوم پزشکی، هوا فضا، الکترونیک و صنایع دفاعی را فراهم کرد (Liu *et al*., 2006؛Sing, 2010) نانولوله کربن از صفحات کربن به ضخامت یک اتم و به شکل استوانه‌ی تو خالی ساخته شده است که توسط ایجیما (Iijima, 1991) کشف شد و به دلیل خواص ویژه و منحصر به فرد آن از جمله خواص عالی الکتریکی و استحکام کششی خوب از یک طرف و از طرف دیگر طبیعت کربنی بودن نانولوله‌ها (کربن ماده‌ای است کم وزن،

۱- *Light emitting diode* ۲- *Momordica charantia L.* ۳- *Dark respiration* ۴- *Anthemis gilanica*

۵- Carbon nanotube

بسیار پایدار و ساده برای انجام فرآیندها که برای تولید نسبت به فلزات دیگر ارزان‌تر است) باعث شده که در دهه گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارآیی و پر باری روش‌های رشد نانو لوله‌ها باشیم (Li *et al.*, 2005) توانایی نانو ذرات در نفوذ به سلول‌های گیاهی باعث ایجاد علاقه در امکان استفاده از نانو ذرات به عنوان روشی در سیستم درمانی هوشمند در گیاهان شده است (Khodakovkaya *et al.*, 2013). یافته‌های محققان حاکی از آن است که نانو ذرات، هم اثر مثبت و هم اثر منفی روی رشد و نمو گیاهان دارند و این تأثیر در گیاهان بستگی به ترکیب، غلظت، اندازه و خواص فیزیکی و شیمیایی نانو ذرات و همچنین گونه گیاهی، مرحله‌ی رشدی گیاه، روش و مدت زمان قرار گرفتن در معرض آن‌ها دارد (Gorbanpour & Hatami, 2014؛ Opara, 2004). نانو ذرات در دزهای پایین قادر به فعال‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی موجود در گیاهان هستند (Khodakovkaya *et al.*, 2013) که این نانو موادها می‌توانند به عنوان ترکیبات سیگنال برای واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژی عمل کنند، اما اساس مکانسیم آن‌ها بطور کامل مشخص نشده است (Gorbanpour & Hatami, 2014). انواع مختلف نانو مواد اعم از نانو مواد فلزی و نانو مواد بر پایه کربنی قادر به ایجاد تنش در گیاهان هستند، اما اثرات مثبت نانو لوله های کربنی در سیستم‌های زیستی و گیاهی بیشتر گزارش شده است، بطوری که از نانو لوله‌های کربنی در تنظیم رشد گیاهان زینتی و سایر گیاهان مورد استفاده در سوخت‌های زیستی، همچنین گیاهانی که بطور خاص برای استخراج متابولیت‌ها و پروتئین‌ها تولید می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند (Khodakovkaya *et al.*, 2013).

پژوهشی تحت عنوان اثر نورهای LED بر شاخص مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه مرزنگوش[1] توسط Khalili و Khangoli (۲۰۱۹) انجام گرفت که تیمارها شامل نور قرمز ۱۰۰ درصد، نور آبی ۱۰۰ درصد، ۷۰ درصد نور قرمز ۳۰ + درصد نور آبی و فلورسنت (شاهد) بود. پس از گذشت ۱۲۰ روز داده‌برداری از نمونه انجام شد. نتایج حاصل از داده‌برداری نشان داد که افزایش در تعداد برگ، وزن تر و وزن خشک ریشه و طول ریشه در گیاهچه‌های تحت تیمار در نور قرمز ۱۰۰ درصد مشاهده شد. همچنین نور قرمز منجر به افزایش ۱۶/۵۳ درصد ماده خشک در مقایسه با نور شاهد شد. بیشترین سطح برگ، وزن اندام هوایی و عملکرد وزن برگ در گیاهچه‌های تحت تیمار با نور آبی ۱۰۰ درصد گزارش شد. در طیف‌های نوری آبی ۱۰۰ درصد، نور قرمز ۱۰۰ درصد و فلورسنت (شاهد) منجر به افزایش نسبت وزن‌تر ریشه به وزن خشک ریشه شد. افزایش ارتفاع در گیاهچه‌های تحت تیمار طیف ترکیبی نوری قرمز + نور آبی بود، همچنین در مقایسه با نور شاهد منجر به افزایش ۲۶/۵۸ درصد قطر ساقه شد.

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر هفت طیف مختلف نوری (نورسفید، نورقرمز، نور آبی، ۸۰ درصد نور آبی+ ۲۰ درصد نور قرمز، ۶۰ درصد نور آبی + ۴۰ درصد نور قرمز، ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی و ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی) به همراه تیمار نانولوله کربن تک جداره روی خصوصیات رشدی گل میمون بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش بذر گل میمون از شرکت پاکان بذر تهیه شده وآزمایش در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای این منظور ابتدا بذرها در سینی نشاء کاشته شده و در مرحله ۴ برگی به گلدان سایز۴ با خاک به نسبت ۱:۱:۱ (مواد آلی، ماسه، خاک باغچه) انتقال داده شدند. همچنین مواد نانو لوله‌کربن تک جداره تهیه و در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی توسط دستگاه اولتراسونیک خشک حل شد. تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش طیف خاصی از نورهای (LED نورسفید، نورقرمز، نور آبی، ۸۰ درصد نور آبی+ ۲۰ درصد نور قرمز، ۶۰ درصد نور آبی+ ۴۰ درصد نور قرمز، ۸۰ درصد نور قرمز+ ۲۰

۱- Origanum vulgare L

درصد نور آبی و ۶۰ درصد نور قرمز+ ۴۰ درصد نور آبی) و سه غلظت از نانو لوله‌کربن (شاهد، ۵۰ میلی گرم در لیتر و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود که در ۴ مرحله بصورت محلول‌پاشی بر روی گیاهچه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ۷ عدد باکس مربعی شکل با اضلاع ۱۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متر با تنه ترکیبی از چوب و آلومینیوم تهیه شد. پوشش سطح درونی و بیرونی باکس‌ها به رنگ سفید و از جنس پارچه با پوشش PVC بود. داخل هر باکس ۴ عدد لامپ LED بصورت موازی نصب گردید. به دلیل کنترل دمای داخل باکس فنی تعبیه شد که بصورت خودکار از ساعت ۱۰ صبح الی ۱۷ عصر روشن بود. همه صفات بیوشیمیایی با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENWEAY 6705 uv/vis قرائت شد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل

برای سنجش میزان کلروفیل از برگ‌های تازه گیاه‌چه‌ها استفاده شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از بافت تر گیاهی در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده و محلول حاصل به‌طور کامل به لوله‌های سانتریفوژ منتقل گردید. لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و محاسبه مقدار کلروفیل در محلول رویی صاف شده با کاغذ صافی براساس روش Dors و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل JENWEAY 6705 uv/vis مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید طبق رابطه ۱ تا ۳ محاسبه گردید.

1. Chlorophyll a =12.25 A663 – 2.79 A645
2. Chlorophyll b = 21.5 A645 – 5.1 A663
3. Carotenoides = (1000A470 – 1.82 chl a- 85.25 chl b)/198

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر (Prometer SC-1 (Meter Group, Inc. Washington, USA اندازه‌گیری شد. بدین منظور از هر تکرار سه برگ فعال و کاملاً توسعه یافته به طور تصادفی انتخاب شد به طوری که ۳۰ ثانیه پس از قرار گرفتن برگ گیاه بین گیره‌های دستگاه، هدایت روزنه‌ای خوانده شد. مقادیر به طور معمول بین ساعات ۰۸:۳۰ و ۱۱:۳۰ و در دمای اتاق ثبت شد.

اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، ابتدا برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب شده از هر گیاه، توسط دستگاه فلوریمتر (Hansatech Instruments Ltd. King's Lynn، انگلستان) اندازه‌گیری شد. این دستگاه برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل حاوی گیره‌هایی می‌باشد که از قبل بر روی برگ‌های انتخابی بسته شده و حدود ۳۰ ثانیه قسمت مشخص برگ داخل این گیره‌ها با تاریکی سازگار شد، سپس دیود ساطع‌کننده نور (LED) به گیره متصل شد تا فلورسانس اندازه‌گیری شود و پس از گذشت زمان تعیین‌شده، گیره باز شد و داده‌ها خوانده شد.

برای تجزیه آماری از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد، مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامن‌های دانکن و رسم نمودار با استفاده از اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که تأثیر نور و اثر متقابل نور × نانولوله کربن، بر میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین، اثر متقابل نور × نانو لوله کربن بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱).

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص Fv/F0 بطور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثر ساده نور قرار گرفت اما اثر ساده نانو لوله کربن و همچنین اثر متقابل نور×نانو لوله کربن معنی‌دار نشد (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر نور و نانولوله کربن بر شاخص‌های بیوشیمیایی در گل میمون.

table 1. Analysis of variance for the effect of light and carbon nanotubes on biochemical indices in Snapdragon.

	میانگین مربعات Ms					
منابع تغییرات Sources of change	درجه آزادی dF	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoids	Fv/F0
نور Light	6	17.78**	5.57*	20.27**	2.48*	1.25**
نانو لوله کربن Carbon nanotubes	2	3.64 ns	3.39*	12.87*	3.005*	0.37 ns
نور×نانو لوله کربن Carbon nanotubes×Light	12	13.09**	2.53**	18.38**	1.37 ns	0.44 ns
خطای آزمایش Error	42	3.64	0.96	4.5	0.95	0.27
ضریب تغییرات cv	_	11.2	12.51	9.91	11.29	12.21

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** are non-significant and significant at the five percent, one percent probability level, respectively

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) صفت هدایت روزنه‌ای زیر تاثیر اثر ساده نور و اثر متقابل نور× نانو لوله کربن قرار گرفت اما اثر ساده نانو لوله کربن معنی‌دار نشد. همچنین، بر پایه تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص F0 به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثر ساده نور و اثر متقابل نور × نانو لوله کربن قرار گرفت اما در اثر ساده نانو لوله کربن معنی‌دار نشد(جدول۲).

هدایت روزنه‌ای

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین شاخص هدایت روزنه‌ای در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور آبی در کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیترنانولوله کربن مشاهده شد. کمترین شاخص هدایت روزنه‌ای تیمار نوری ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی و عدم کاربرد نانو لوله کربن مشاهده شد (شکل ۱).

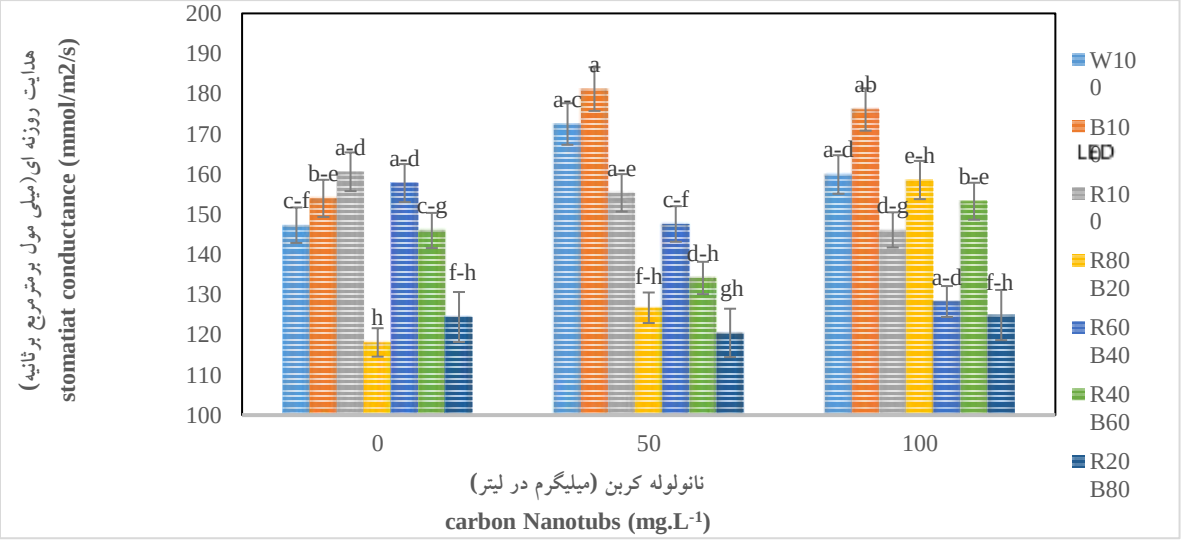
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر نور و نانولوله کربن بر شاخص‌های بیوشیمیایی در گل میمون.

table 2. Analysis of variance for the effect of light and carbon nanotubes on biochemical indices in Snapdragon.

میانگین مربعات MS				
هدایت روزنه‌ای stomatal conduction	F0	F0/Fm	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of change
2240.99**	3311.83**	0.0007**	6	نور the light
185.41 ns	476.92 ns	0.0009**	2	نانو لوله کربن Carbon nanotubes
560.25**	2734.43**	0.0005 ns	12	نور×نانو لوله کربن light×Carbon nanotubes
191.56	666.12	0.0003	42	خطای آزمایش Error
9.39	7.27	10.44	_	ضریب تغییرات cv

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** are non-significant and significant at the five percent, one percent probability level, respectively

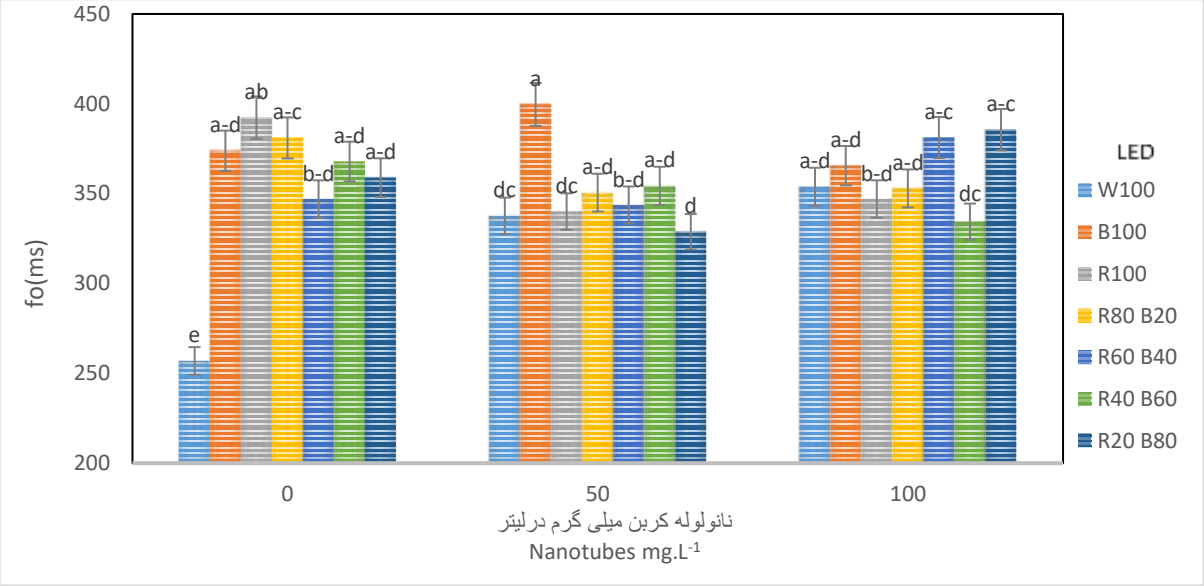


شکل ۱- مقایسه میانگین تیمارهای نوری و نانولوله کربن (میلی‌گرم در لیتر) بر هدایت روزنه‌ای. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 1. Comparison of means for light treatments and carbon nanotube concentrations (mg.L^{-1}) on stomatal conductance. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

F0

بیشترین مقدار فلورسانس حداقل (F0)در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور آبی در کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد.کمترین میزان شاخص F0 در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور سفید و عدم کاربرد نانو لوله کربن مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین تیمارطیف‌های مختلف نوری و نانولوله کربن (میلی‌گرم در لیتر) بر F0. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

"Figure 2. Comparison of Means for Light Treatments and Carbon Nanotube Concentrations (mg.L^{-1}) on F0"The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

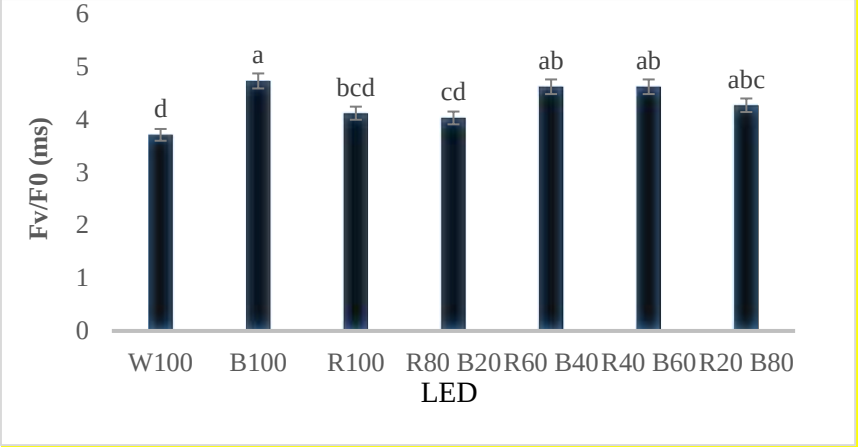
Fv/F0

مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بیشترین شاخص Fv/F0 در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی، ۲۰ درصد نور قرمز + ۸۰ درصد نور آبی و ۴۰ درصد نور قرمز + ۶۰ درصد نور آبی نداشت. کمترین شاخص Fv/F0 تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور سفید مشاهده شد (شکل ۳).

F0/Fm

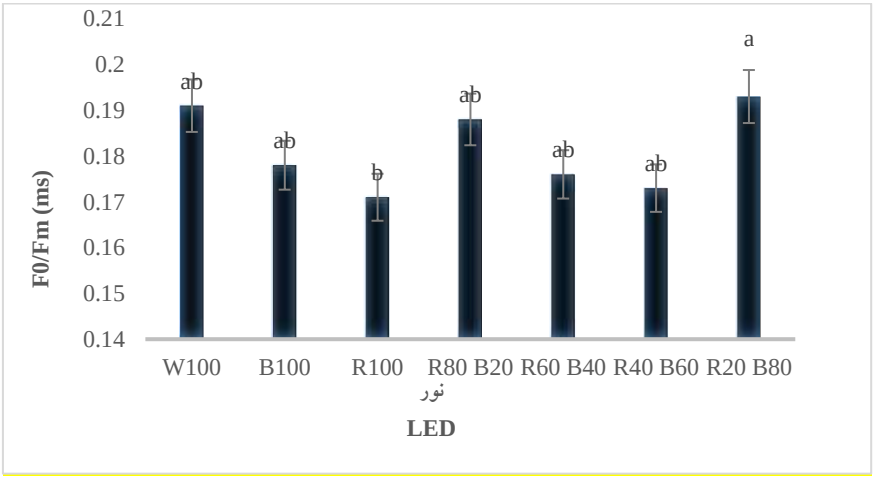
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین شاخص F0/Fm در تیمار نوری ۲۰ درصد نور قرمز + ۸۰ درصد نور آبی حاصل شد. کمترین شاخص F0/Fm در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز مشاهده شد (شکل ۴).

تیمار نانو لوله کربن باعث افزایش شاخص F0/Fm شد؛ به‌طوری که بیشترین شاخص F0/Fm در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربن مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربن نداشت. کمترین شاخص F0/Fm در تیمار شاهد (عدم کاربرد نانو لوله کربن) مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۳- تأثیر تیمارطیف‌های مختلف نوری بر میانگین شاخص Fv/F0. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 3. Effect of Light Treatments on Mean Fv/F0 Index. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



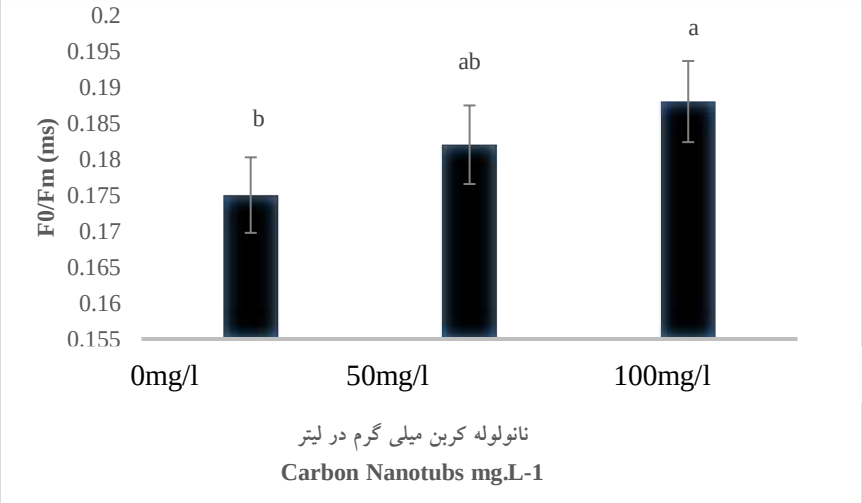
شکل ۴- تأثیر تیمارطیف‌مختلف نوری بر میانگین شاخص F0/Fm. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 4. Effect of different light treatments on mean F0/Fm index. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

کارتنوئید

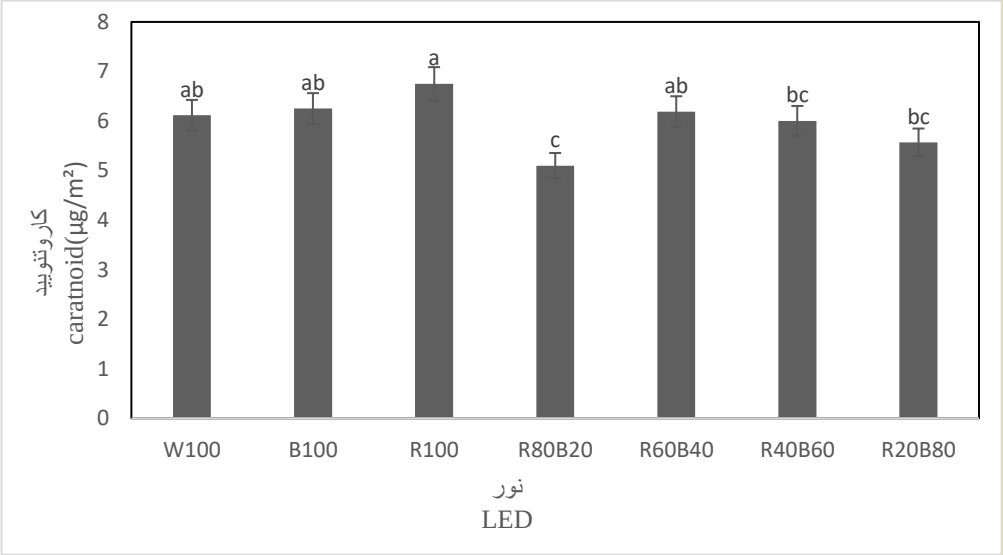
طبق نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز و کمترین میزان کارتنوئید در نور ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی مشاهده ش (شکل ۶).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان کارتنوئید در ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نانو لوله کربن و کمترین میزان کارتنوئید در ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربن حاصل شد (شکل ۷).



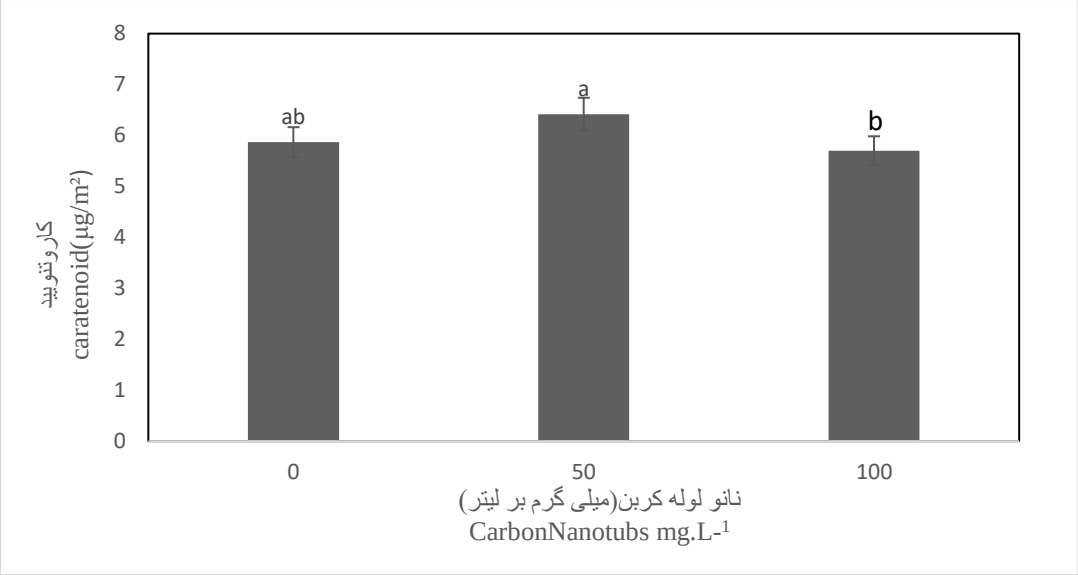
شکل ۵- تأثیر تیمار نانو لوله کربن بر میانگین شاخص F0/Fm. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 5. Effect of Carbon Nanotube Treatment on Mean F0/Fm Index. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



شکل ۶-تأثیر تیمار طیف‌های مختلف نوری بر میزان شاخص کارتنوئید. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 6. Effect of Light Treatments on Mean Carotenoid Index. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test



شکل ۷-**تأثیر تیمارطیف‌های مختلف نوری بر میزان شاخص کارتنوئید. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجودنداشتن اختلاف معنادار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهند.**

Figure 7. Effect of Carbon Nanotube Treatment on Mean Carotenoid Index. The values are the mean values of tree repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

میزان سنجش کلروفیل

بر اساس نتایج به‌دست آمده در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز بیشترین میزان کلروفیل a و کمترین میزان آن در تیماری نوری ۱۰۰ درصد نور سفید مشاهده شد (جدول ۳). همچنین طبق نتایج حاصل میزان کلروفیل b و میزان کلروفیل کل بیشترین مقدار هر دو شاخص در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور آبی در عدم کاربرد نانو لوله کربن، و کمترین میزان هر دو شاخص در تیمار نوری ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی در کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربن مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارهای نوری و نانولوله کربن (میلی‌گرم در لیتر) بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل

Table 3. Comparison of Means for Light Treatments and Carbon Nanotube Concentrations (mg/L) on Chl a Chl b.T chl.

LED نور LED	Carbon nanotubes نانولوله کربن	Chlorophyll total µg/L کلروفیل کل	Chlorophyllb µg/L b کلروفیل	Chlorophylla µg/L a کلروفیل
نورسفید	0	۱۸/۸۸±۱/۳۶	۵/۲۷±۰/۷۲	13/63 ± 1/24
White100				
	50	۱۹/۴۴±۱/۷۴	۴/۱۸±۰/۶۴	15/258 ± 1/098
	100	۲۲/۰۶±۱/۸۷	۴/۶۳±۰/۸۴	۱۷/۴۲±۱/۰۹
نورآبی	0	۲۶/۵۱±۰/۵۲	۶/۰۲۰±۱/۲۹	۲۰/۳۱±۱/۰۷
Bolu100				
	50	۲۲/۸۸±۲/۴۲	۴/۶۸±۰/۳۸	۱۸/۱۹±۲/۰۷
	100	۲۲/۲۰±۳/۴۴	۳/۰۲±۱/۷۵	۱۹/۱۸±۲/۰۰۴
Red100 نور قرمز	0	۱۹/۶۳±۳/۵۲	۳/۹۵±۰/۷۹	۱۵/۶۵±۲/۷۶

	50	۲۶/۷۴±۰/۴۲	۴/۹۶±۰/۱۸	۲۱/۷۸±۰/۲۴
	100	۲۰/۳۰±۱/۲۷	۳/۸۴±۰/۵۶	۱۶/۴۵±۱/۸۳
R80B20 نورقرمز۸۰نورآبی۲۰	0	۲۲/۲۹±۲/۸۹	۴/۰۴±۰/۶۴	۱۸/۲۴±۲/۵۱
	50	۱۹/۴۷±۱/۶۰	۳/۷۸±۱/۰۲	۱۵/۶۹±۲/۲۶
	100	۱۷/۲۴±۰/۴۸	۲/۷۵±۱/۴۷	۱۴/۴۹±۱/۵۰
R60B40 نورقرمز۶۰نورآبی۴۰	0	۱۹/۳۹±۲/۳۰	۳/۸۲±۰/۵۶	۱۵/۵۷±۲/۱۳
	50	۲۲/۴۶±۱/۳۴	۴/۷۰±۰/۵۴	۱۷/۷۶±۰/۸۷
	100	۲۲/۳۵±۴/۱۰	۴/۱۰±۰/۶۳	۱۸/۲۵±۳/۵۷
R40B60 نورقرمز۴۰نورآبی۶۰	0	۲۰/۳۲±۱/۳۴	۳/۳۱±۱/۹۷	۱۷/۰۰۷±۲/۳۴
	50	۲۴/۴۱±۲/۲۰	۴/۸۰±۱/۰۰۳	۱۹/۶۰±۱/۵۹
	100	۲۲/۰۹±۲/۱۵	۵/۴۰±۰/۵۳	۱۶/۶۸±۲/۰۰۴
R20B80 نورقرمز۲۰نورآبی۸۰	0	۲۲/۲۰±۱/۲۹	۴/۵۸±۱/۰۸	۱۷/۶۱±۰/۲۲
	50	۲۰/۱۳±۱/۵۹	۵/۸۲±۱/۲۴	۱۴/۱۳۱/۹۴±
	100	۱۸/۳۶±۱/۷۸	۳/۶۶±۰/۴۱	۱۴/۶۹±۲/۱۰

بحث

این مطالعه تأثیر نورهای LED و نانولوله‌های کربنی را بر شاخص‌های فتوسنتزی گل میمون بررسی کرد و نشان داد که هر دو عامل به‌طور قابل‌توجهی بر رشد و پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاه تأثیر دارند. نتایج آزمایش‌های ما نشان داد که نور ۱۰۰ درصد قرمز باعث افزایش میزان کلروفیل a و کارتنوئیدها شد، در حالی که نور ۱۰۰ درصد آبی بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل را در شرایط بدون کاربرد نانولوله کربنی به همراه داشت. این یافته‌ها با نتایج بیات و همکاران (۲۰۱۸) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند نور قرمز باعث افزایش جذب انرژی و کارایی فتوسنتزی در گل رز رقم سامورایی[1] می‌شود (Bayat *et al.*, 2018). همچنین، وانگ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی خیار چنبر نشان دادند که نور قرمز باعث افزایش محتوای قند محلول و بهبود عملکرد فتوسنتزی می‌شود، که با نتایج ما درباره تأثیر مثبت نور قرمز بر کلروفیل a و کارتنوئیدها هم‌راستاست (Wang *et al.*, 2021). با این حال، نتایج ما در مورد کارتنوئیدها با یافته‌های ماری (۲۰۱۷) متفاوت است. او گزارش کرد که بیشترین میزان کارتنوئید در نور سفید در گل داودی[2] مشاهده شده، در حالی که در مطالعه ما، نور ۱۰۰ درصد قرمز بیشترین کارتنوئید را نشان داد (Marie, 2017). با این تفاوت ممکن است به دلیل گونه‌های گیاهی مختلف (گل میمون در مقابل گل داودی) یا شرایط آزمایشی متفاوت باشد. شاخص هدایت روزنه‌ای نیز تحت تأثیر نور و نانولوله‌های کربنی قرار گرفت. بیشترین هدایت روزنه‌ای در نور ۱۰۰ درصد آبی با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربنی مشاهده شد، که نشان‌دهنده بهبود تبادل گازی و کارایی فتوسنتزی است. این نتیجه با یافته‌های سلطانی و همکاران (۲۰۲۰) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند ترکیب نور قرمز و آبی در بابونه گیلانی باعث بهبود رشد و کاهش استرس اکسیداتیو می‌شود (Soltani *et al.*, 2021). همچنین، وانگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که نور آبی و قرمز می‌توانند هدایت روزنه‌ای را در خیار چنبر افزایش دهند، که با نتایج ما هم‌خوان است (Wang *et al.*, 2021). با این حال، کمترین هدایت روزنه‌ای در نور ۸۰ درصد قرمز + ۲۰ درصد آبی بدون کاربرد نانولوله

۱- *Rosa hybrida L. 'Samurai'* ۲- *Chrysanthemum* (*Dendranthema*) ۳- *Lactuca sativa* L

کربنی مشاهده شد، که ممکن است به دلیل عدم تعادل در طیف نوری و کاهش کارایی فتوسنتزی باشد. این نتیجه با یافته‌های جوهکان و همکاران (۲۰۱۰) متفاوت است که گزارش کردند نور قرمز به‌تنهایی باعث افزایش سطح برگ و رشد در کاهوی قرمز[۳] می‌شود (Johkan *et al.*, 2010). این تفاوت می‌تواند به دلیل نیازهای نوری خاص گل میمون در مقایسه با کاهو باشد. در مورد فلورسانس کلروفیل، شاخص Fv/F0 در نور ۱۰۰ درصد آبی بیشترین مقدار را داشت، که نشان‌دهنده کارایی بالای استفاده از انرژی نور در فتوسنتز است. این نتیجه با یافته‌های کائو و همکاران (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند نور آبی باعث حفظ فعالیت فتوسیستم‌های I و II در خیار می‌شود (Cao *et al.*, 2013). همچنین، شاخص F0/Fm در ترکیب ۲۰ درصد نور قرمز + ۸۰ درصد نور آبی و با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربنی به بیشترین مقدار رسید، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تعامل نور و نانولوله‌ها بر کارایی فتوشیمیایی است. این یافته با نتایج خیرخواه و همکاران (۲۰۲۱) هم‌راستاست که نشان دادند نانولوله‌های کربنی در دزهای پایین می‌توانند فرآیندهای فیزیولوژیکی را در نعناع فعال کنند (Khazaei *et al.*, 2021). با این حال، کمترین F0/Fm در نور ۱۰۰ درصد قرمز مشاهده شد، که ممکن است به دلیل کاهش کارایی فتوسیستم II در این طیف نوری باشد، نتیجه‌ای که با مطالعه جونگ و همکاران (۲۰۱۳) متفاوت است. آن‌ها گزارش کردند که نور قرمز باعث بهبود متابولیت‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برنج می‌شود (Jung *et al.*, 2013).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از نورهای LED در ترکیب با نانولوله‌های کربنی تأثیر معنی‌داری بر بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گل میمون داشت. ترکیب طیف‌های نور قرمز و آبی، به ویژه در افزایش میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای مؤثر بود که با یافته‌های (Khalili and Khangoli, 2019) در گیاه مرزنگوش همخوانی دارد. آن‌ها گزارش کردند که نور قرمز موجب افزایش ماده خشک و نور آبی باعث رشد بهتر اندام‌های هوایی گردیده است. علاوه بر این، استفاده از نانولوله‌های کربنی، به خصوص در غلظت‌های بالاتر، به طور معنی‌داری موجب بهبود میزان فلورسانس کلروفیل و هدایت روزنه‌ای گردید. این نتایج با یافته‌های (Pourbeyrami Hir *et al.*, 2024) در گیاه مریم گلی[۱] مطابقت دارد که نشان دادند نانولوله‌های کربنی باعث افزایش کلروفیل a و b، محتوای فنل و فلاونوئید شدند. همچنین، (Khosravi Majdari *et al.*, 2024) در پژوهشی روی گیاه رزماری[۲] به این نتیجه رسیدند که کاربرد نانولوله‌های کربنی در شرایط درون شیشه‌ای سبب افزایش میزان کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و شاخص‌های رشد گردیده است. تأثیر نانولوله‌های کربنی نیز در این مطالعه قابل‌توجه بود. کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربنی باعث افزایش کارتنوئیدها و هدایت روزنه‌ای شد، اما در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان کارتنوئیدها کاهش یافت. این نتیجه با یافته‌های گوران‌پور و حاتمی (۲۰۱۴) هم‌خوانی دارد که گزارش کردند نانولوله‌های کربنی در دزهای پایین اثرات مثبت دارند، اما دزهای بالاتر می‌توانند تنش ایجاد کنند (Gorbanpour & Hatami, 2014). همچنین، خیرخواه و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که نانولوله‌های کربنی می‌توانند به‌عنوان سیگنال‌دهنده‌های متابولیکی عمل کنند، که با تأثیر مثبت دز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مطالعه ما هم‌خوان است (Khazaei *et al.*, 2021) با این حال، کاهش کارتنوئیدها در دز ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ممکن است به دلیل استرس ناشی از غلظت بالای نانولوله‌ها باشد، که با نتایج اوپارا (۲۰۰۴) درباره اثرات منفی نانومواد در دزهای بالا هم راستا ست (Opara, 2004).

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که کیفیت نورهای LED و نانولوله‌های کربنی تأثیر قابل‌توجهی بر رشد، ویژگی‌های بیوشیمیایی و کارایی فتوسنتزی گل میمون دارند. برهم‌کنش بین این دو عامل پیچیده است و ترکیبات مختلف آن‌ها منجر به نتایج متفاوتی در صفات مورد بررسی شده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که اثر متقابل نور و نانولوله کربن بر میزان کلروفیل a،

۱- *Salvia nemorosa* L.
۲- *Rosmarinus officinalis* L.

کلروفیل b، و کلروفیل کل معنی‌دار است. به‌طوری‌که بیشترین مقدار کلروفیل a (به‌عنوان شاخص کلیدی فتوسنتز) در تیمار نور ۱۰۰ درصد قرمز همراه با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن مشاهده شد. این افزایش احتمالاً به دلیل تأثیر نور قرمز بر تحریک سنتز کلروفیل و جذب بهتر نور توسط نانولوله‌های کربنی است که می‌توانند به‌عنوان ناقل انرژی عمل کنند. در مقابل، بیشترین مقدار کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمار نور ۱۰۰ درصد آبی به‌دست آمد، در حالی که کمترین مقدار این صفات در تیمار ترکیبی ۸۰ درصد نور قرمز + ۲۰ درصد نور آبی با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن ثبت شد. این کاهش ممکن است ناشی از تجمع بیش‌ازحد نانولوله‌ها باشد که می‌تواند استرس اکسیداتیو را در گیاه افزایش دهد و به ساختار کلروفیل آسیب بزند. همچنین، اثر مثبت تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور آبی همراه با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن بر رشد و کارایی فتوسنتزی گل میمون مشاهده شد. نور آبی به‌طور کلی با تحریک رشد رویشی و افزایش بازده فتوسنتزی شناخته می‌شود، و به نظر می‌رسد که نانولوله‌های کربنی در این غلظت نقش مکمل را در بهبود انتقال انرژی نوری ایفا کرده‌اند. از سوی دیگر، بیشترین مقدار شاخص فلورسانس متغیر(Fv) که نشان‌دهنده سلامت سیستم فتوسنتزی است، در تیمار نوری ۱۰۰ درصد نور قرمز با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن ثبت شد. این نتیجه نشان می‌دهد که نور قرمز در این شرایط بهینه، همراه با نانولوله‌ها، می‌تواند کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش دهد. همچنین، بیشترین مقدار شاخص فلورسانس حداکثر(Fm) در تیمار ترکیبی ۴۰ درصد نور قرمز + ۶۰ درصد نور آبی مشاهده شد، و این تیمار از نظر آماری با تیمارهای ۱۰۰ درصد نور قرمز، ۱۰۰ درصد نور آبی، و ۶۰ درصد نور قرمز + ۴۰ درصد نور آبی اختلاف معنی‌داری نداشت. این شباهت آماری نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری گل میمون در پاسخ به طیف‌های نوری مختلف است، اما نقش نانولوله‌ها در تعدیل این پاسخ‌ها نیز قابل‌توجه است.

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که تأثیر نور قرمز در شرایط عدم کاربرد نانولوله کربن بیشتر است، که احتمالاً به دلیل تحریک مستقیم مسیرهای فتوسنتزی توسط این طیف نوری است. بااین‌حال، در شرایط کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربن، اثر ترکیبی نور آبی + نور قرمز بر رشد و کارایی فتوسنتزی گل میمون بیشتر بود. این تفاوت می‌تواند به دلیل تعامل نانولوله‌ها با نورهای ترکیبی باشد که باعث بهبود جذب و انتقال انرژی در گیاه می‌شود. به‌طور کلی، این مطالعه نشان داد که ترکیب نورهای LED و نانولوله‌های کربنی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای بهبود رشد و کارایی فتوسنتزی گل میمون استفاده شود. بااین‌حال، انتخاب دقیق طیف نوری و غلظت نانولوله‌ها اهمیت زیادی دارد، زیرا غلظت‌های بالا (مانند ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) ممکن است اثرات منفی مانند کاهش محتوای کلروفیل یا استرس اکسیداتیو را به دنبال داشته باشد.

پیشنهاد برای تحقیقات آینده

با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده روی مکانیسم‌های دقیق تعامل نانولوله‌های کربنی با فرآیند فتوسنتز، به‌ویژه نقش آن‌ها در انتقال انرژی و تأثیرشان بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی متمرکز شوند. همچنین، بررسی تأثیرات بلندمدت کاربرد نانولوله‌ها بر رشد، چرخه زندگی، و سلامت گیاهان زینتی می‌تواند به درک بهتر پتانسیل این فناوری کمک کند. علاوه‌براین، مطالعه اثرات نانولوله‌ها در ترکیب با طیف‌های نوری مختلف و در گونه‌های دیگر گیاهان زینتی می‌تواند راه گشای توسعه روش‌های نوین در بهبود صفات زینتی و عملکردی این گیاهان باشد.

منابع

Adams, S. R., Valdes, V. M., Langton, F. A. (2008). Why does low intensity, long-day lighting promote growth in petunia, impatiens, and tomato? *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *83*(5), 609–615.

Ahmadi, T., Shebani, L., Sabzealian, M. (2016). Investigating the effect of different LED light spectrums on growth indicators and rosmarinic acid content in *Melissa officinalis* L. *Journal of Plant Process and Function*, *6*(21), 213–222. (In Persian)

Arnon, D. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1–15.

Bayat, L., Arab, M., AliNiyaifard, S. (2018). The effectiveness of different light spectrums on inhibiting intense light stress in samurai roses. *Plant Process and Function*, 9(36), 93–103. (In Persian)

Canas, J. E., Long, M., Nations, S., Vadan, R., Dai, L. (2008). Effects of functionalized and nonfunctionalized single-walled carbon nanotubes on root elongation of select crop species. *Nanomaterials in the Environment*, 27(9), 1922–1931.

Cao, G., Zhang, G., Yu, J., Ma, Y. (2013). Effects of different LED light qualities on cucumber seedling growth and chlorophyll fluorescence parameters. *Scientia Agricultura Sinica*, *46*(6), 1297–1304.

Chia, P. L., Kubota, C. (2010). End-of-day far-red light quality and dose requirements for tomato rootstock hypocotyl elongation. *Horticultural Science*, *45*(10), 1501–1506.

Ghasemi Ghasare, M., Kafi, M. (2011). *Scientific and practical floriculture*. Razavi Publishing. (In Persian)

Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. H., Kang, K. K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, *30*(1), 6–12.

Hernández, R., Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, *121*, 66–74.

Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Sabzealian, M. (2013). The effect of LED light on plant performance, percentage of essential oil and activity of antioxidant enzymes in peppermint (*Mentha piperita*). *Plant Process and Function*, *3*(8), 13–24. (In Persian)

Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, *354*(6348), 56–58.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, *45*(12), 1809–1814.

Jung, E. S., Lee, S., Lim, S. H., Ha, S. H., Liu, K. H., Lee, C. H. (2013). Metabolite profiling of the short-term responses of rice leaves (*Oryza sativa* cv. Ilmi) cultivated under different LED lights and its correlations with antioxidant activities. *Plant Science*, *210*, 61–69.

Khalili, M., Khangoli, S. (2019). The effect of LED light on morphological and physiological indices in *Marrubium vulgare* plant. *Journal of Ornamental Plants*, 9(2), 359–376. (In Persian)

Khazaei, M., Rafii, F., Sabzealian, M., Smart, S. (2021). The effect of different LED light spectrums on the morphophysiological traits of three types of mint. *Journal of Horticultural Sciences of Iran*, *52*(2), 461–471. (In Persian)

Khodakovskaya, M. V., de Silva, K., Nedosekin, D. A., Dervishi, E., Biris, A. S., Shashkov, E. V., Zharov, V. P. (2013). Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(2), 803–808.

Khosravi Majdari, M., Torabi Gigloo, M., Chamani, E., Maleki Lajayer, H., Pourbeyrami Hir, Y., Ahadzadeh, M. (2024). Investigation on the effects of carbon nanotubes application on regeneration of *Rosmarinus officinalis* plants under in vitro conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *24*(1), 95–110. (In Persian)

Koksal, N., İncesu, M., Teke, A. (2015). Supplemental LED lighting increases pansy growth. *Horticultura Brasileira*, *33*(4), 428–433.

Kreslavski, V. D., Lyubimov, V. Y., Shirshikova, G. N., Shmarev, A. N., Kosobryukhov, A. A., Schmitt, F. J., Friedrich, T., Allakhverdiev, S. I. (2013). Preillumination of lettuce seedlings with red light enhances the resistance of photosynthetic apparatus to UV-A. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *122*, 1–6.

Lanoue, J., Leonardos, E. D., Grodzinski, B. (2018). Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 756.

Li, W. Z., Wen, J. Z., Zhang, Y. F. (2005). Growth of carbon nanotubes by chemical vapor deposition. *Carbon*, *43*(7), 1475–1483.

Liu, J., Fan, S., Dai, H. (2006). Carbon nanotubes: Synthesis, properties, and applications. *Materials Today*, *9*(12), 46–52.

Mahdavifard, M., Rezainejad, A. H., Mousavifard, S. (2016). Effect of light intensity on morphophysiological characteristics and flowering of African and French parsley in late cultivation. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*, 32(2), 311–325. (In Persian)

Mani, R. (2015). The effects of LEDs on plants. *Maximum Yield*. Available at (visited 12 January 2018).

Marie, A. (2017). Effects of light spectrum on carotenoid content in chrysanthemum. *Journal of Horticultural Studies*, 5(3), 123–130.

Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, *43*(7), 1951–1956.

Miao, Y. X., Wang, X. Z., Gao, L. H., Chen, Q. Y., Qu, M. (2016). Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(1), 87–100.

Morrow, R. C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortScience*, *43*(7), 1947–1950.

Noorbakhsh, S., Ahmadi, M. (2011). *Carbon nanotubes: Structure and applications*. Tehran University Press. (In Persian)

Opara, E. C. (2004). Effects of nanomaterials on plant growth: A review. *Journal of Agricultural Nanotechnology*, *1*(1), 12–18.

Pezhohan, A., Jalali, G. A., Etbati, H., Zarafshar, M., Satarian, A. (2015). Comparison of carbon nanotube treatments with chemical and physical treatments for seed dormancy breaking in *Myrtus communis* L. *Plant Research Journal*, *29*(2), 300–308. (In Persian)

Pourbeyrami Hir, Y., Chamani, E., Ahadzadeh, M., Shaker, S., Nabipour Sanjbod, R. (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. (In Persian)

Runkle, E. S., Heins, R. D. (2001). Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *126*(3), 275–282.

Sage, L. C. (1992). *Pigment of the imagination: A history of phytochrome research*. Academic Press.

Sing, A. (2010). Applications of nanotechnology in agriculture: A review. *Journal of Nanoscience and Agriculture, 2*(1), 34–40.

Soltani, F., Hassanpour, H., Hekmati, M. (2021). Study of light spectrum effects on some growth parameters and antioxidant capacity of *Anthemis gilanica*. *Space Science and Technology*, *14*(1), 15–22. (In Persian)

Son, K. H., Oh, M. M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience*, 48(8), 988–995.

Song, J. X., Meng, Q. W., Du, W. F., He, D. X. (2017). Effects of light quality on growth and development of cucumber seedlings in controlled environment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(3), 312–318.

Tajpileh, G., Mahmoudzadeh, A., Ishaghi, A. (2013). Investigating the effect of carbon nanotubes on the germination and growth characteristics of chicory plant (*Cichorium intybus* L.). *Proceedings of the Second National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture*, 1–12. (In Persian)

Wang, G., Chen, Y., Fan, H., Huang, P. (2021). Effects of light-emitting diode (LED) red and blue light on the growth and photosynthetic characteristics of *Momordica charantia* L. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, *10*(1), 1–15.

Yeh, N., Chung, J. P. (2009). High-brightness LEDs—energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(8), 2175–2180.

Flower and Ornamental Plants (2024), 9(2): 359-374
Research article

Effect of LED lights and elicitors on photosynthesis indices of snadpdragon (*Antirrhum majus*)

Sahar Sardari, Younes pourbeyrami Hir*, Esmaeil chamani
department of Horticulture Sciences, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran
Younes-ph62@uma.ac.ir
Received: Revised: Accptd:

Abstract:
Snapdragon (*Antirrhinum majus*) belongs to the *Plantaginaceae* family. While it is a perennial plant, it is often cultivated as an annual, especially in regions with cold winters. This study aimed to investigate the combined effects of different LED light spectra and carbon nanotube concentrations on the physiological characteristics of snapdragon plants. This experiment was conducted under controlled conditions using a CRD based factorial design with 4 replications. Treatments included various LED light combinations (white, blue, red, and their 80% blue light + 20% red light, 60% blue light + 40% red light, 40% blue light + 60% red light and 20% blue light + 80% red lightcombinations) and 3 concentrations of carbon nanotubes (control, 50 and 100 mg/liter). Evaluated parameters were chlorophyll content, stomatal conductivity, and chlorophyll fluorescence. Results indicated that both LED light spectra and carbon nanotubes, significantly influenced the growth and physiological responses of snapdragon plants. Specific findings include: LED light spectra had varying effects on chlorophyll content, stomatal conductance, and fluorescence. Generally, blue light enhanced vegetative growth, while red light influenced flowering and biomass accumulation. The combination of red and blue light often yielded optimal results. Carbon nanotubes, particularly at higher concentrations, affected stomatal conductance and fluorescence. Their interaction with light treatments further modulated plant responses. Chlorophyll content, a key indicator of photosynthetic efficiency, was significantly affected by both light and nanotube treatments. Stomatal conductance, which regulates gas exchange, was also influenced. Fluorescence measurements provided insights into the efficiency of light energy utilization in photosynthesis. Overall, this study demonstrated that the combination of LED lights and carbon nanotubes can be an edfficient tool for manipulating plant growth and physiology. The optimal light spectrum and carbon nanotube concentration varied depending on the parameter being investigated. These findings contribute to a better understanding of the complex interactions between light, nanomaterials, and plant growth, and have potential applications in controlled environment agriculture and plant biotechnology.
Keywords: Carbon nanotubes, Chlorophyll, Fluorescence, LED lights, Stomatal Conductance.