مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴

شاپای چاپی: ۰۶۳۲ – ۲۷۱۷، شاپای الکترونیکی: ۹۸۰۴ - ۲۷۱۶

اثر شدت نور و نور قرمز دور بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو اکوتیپ مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) با رویکرد ایمنی زیستی در شرایط کشت کنترل شده

نوع مقاله: پژوهشی 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5

زهره رفیعی[۱]، سید احمد سادات نوری[۱*]، سید محمد مهدی مرتضویان[۱]، حسین رامشینی[۱]، هادی کلانتری خلیل آباد[۲]

۱. گروه زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. گروه بیوتکنولوژی، پژوهشکده گیاهان دارویی، جهاد دانشگاهی

noori@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۲

صفحه ۸۱-۶۲

چکیده

مرزه تابستانه گیاهی دارویی است که رشد و تولید زیست‌توده آن تحت تأثیر شرایط نوری قرار می‌گیرد. این پژوهش با هدف بررسی اثر شدت نور، نور قرمز دور و اکوتیپ بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک دو اکوتیپ ایرانی مرزه تابستانه (برگ‌پهن و اصفهانی) در شرایط کنترل‌شده انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور شامل اکوتیپ، شدت نور در سه سطح ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و حضور یا عدم حضور نور قرمز دور اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شدت نور مهم‌ترین عامل مؤثر بر صفات مورد بررسی بود و بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، زیست‌توده، طول ریشه، سطح برگ، کلروفیل a و RWC اثر معنی‌داری داشت. نور قرمز دور و اکوتیپ نیز بر برخی صفات اثر معنی‌دار نشان دادند. اکوتیپ برگ‌پهن در بیشتر صفات میانگین بالاتری نسبت به اصفهانی داشت. بیشتر برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه معنی‌دار نبودند و اثر متقابل شدت نور و نور قرمز دور تنها برای برخی صفات از جمله سطح برگ و قطر ساقه معنی‌دار شد. شدت ۲۰۰ میکرومول بیشترین مقادیر بسیاری از صفات رشد را ایجاد کرد. شدت نور عامل اصلی تعیین‌کننده رشد مرزه تابستانه بود.

واژه‌های کلیدی: شدت نور، صفات مورفولوژیک، طیف نور LED، مرزه تابستانه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

مقدمه

مرزه تابستانه با نام علمی *Satureja hortensis* L. گیاهی دارویی یک‌ساله از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که به دلیل خواص دارویی متنوع خود از جمله اثرات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد قارچی و ضد التهابی شناخته می‌شود (Adiguzel *et al*., 2007; Wesolowska *et al*., 2015). همچنین، این گیاه خاصیت ضد اسپاسم دارد و می‌تواند دردهای ناشی از گرفتگی عضلات و قاعدگی را تسکین دهد. در طب سنتی، از دم‌کرده آن برای درمان اسهال، تهوع و گلودرد استفاده می‌شود (Hajhashemi *et al*., 2000). علاوه بر این، مرزه به دلیل طبع گرم و خشک خود، در کاهش بلغم و رفع سستی بدن مؤثر است و به عنوان یک چاشنی در غذاها استفاده شود. ارزش درمانی این گیاه عمدتاً به ترکیبات اسانس آن نسبت داده می‌شود که تیمول و پیش‌سازهای آن به عنوان کلیدی‌ترین ترکیبات فعال زیستی مطرح هستند (Hashim *et al*., 2021). افزایش تقاضای جهانی برای ترکیبات طبیعی و ایمن، مرزه تابستانه را به گزینه‌ای ارزشمند برای صنایع دارویی و غذایی تبدیل کرده است (Fierascu et al., 2018; Ejaz *et al*., 2023).

با این حال، تولید گیاهان دارویی با کیفیت بالا و دارای مقادیر یکسان متابولیت‌های ثانویه با چالش‌های قابل توجهی مواجه است. کشت در فضای باز اغلب تحت تأثیر تنش‌های غیرقابل کنترل محیطی و محدودیت‌های فصلی قرار دارد که می‌تواند هم بر عملکرد زیست‌توده و هم بر غلظت ترکیبات فیتوشیمیایی تأثیر منفی بگذارد (Ncube *et al*., 2012). بنابراین، توسعه سیستم‌های کشت در محیط کنترل‌شده مانند گلخانه‌های مدرن یا مزارع عمودی، راه‌حلی امیدوارکننده برای تولید در تمام فصول سال همراه با بهینه‌سازی رشد و تجمع متابولیت‌ها فراهم می‌کند (Dsouza *et al*., 2025).

نور به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی، از طریق شبکه‌های سیگنال‌دهی نوری نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم فرایندهای فتومورفوژنز، توسعه اندام‌های رویشی و تجمع زیست‌توده در گیاهان دارد (Paradiso and Proietti, 2022). در گیاهان دارویی تیره نعناعیان (Lamiaceae)، از جمله مرزه تابستانه، دستکاری کیفیت و شدت نور (مانند استفاده از نسبت‌های مختلف طیف‌های قرمز و آبی) می‌تواند به عنوان یک محرک (Elicitor) کارآمد برای هدایت پلاستیسیته فنوتیپی و بهبود صفات مورفولوژیک عمل کند (Pennisi *et al*., 2020). با این وجود، به دلیل تنوع ژنتیکی بالا و تاریخچه سازگاری‌های بومی در زیستگاه‌های مختلف، اکوتیپ‌های گوناگون این گونه گیاهی، پاسخ‌های مورفولوژیک و رشدی کاملاً متمایزی از خود بروز می‌دهند (Hadian *et al*., 2008). بر این اساس، ارزیابی دقیق برهم‌کنش اکوتیپ و محیط (G×E) در اکوتیپ‌های مختلف مرزه تابستانه تحت شرایط نوری متغیر، برای درک مکانیسم‌های سازگاری و بهینه‌سازی تولید در سیستم‌های کشت کنترل‌شده ضروری است (Massa *et al*., 2008).

نور یک عامل محیطی حیاتی است که نه تنها به عنوان منبع انرژی برای فتوسنتز عمل می‌کند، بلکه به عنوان یک مولکول پیام‌رسان قوی، رشد گیاه و متابولیسم ثانویه را از طریق فوتومورفوژنز تنظیم می‌نماید (Humbal and Pathak, 2023). ظهور دیودهای نشر نور (LED) انقلابی در کشاورزی محیط کنترل‌شده ایجاد کرده است و امکان تنظیم دقیق کیفیت نور (طیف)، شدت نور (چگالی شار فوتون فتوسنتزی) و فتوپریود را فراهم می‌سازد (Ghobadi *et al*., 2016). در میان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

طیف‌های مختلف نوری، طول موج‌های قرمز (۶۶۰ نانومتر) و آبی (۴۵۵ نانومتر) به دلیل کارایی بالای فوتون فتوسنتزی و نقش تنظیمی در بیان ژن‌های مرتبط با بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه، مؤثرترین هستند (Terashima *et al*., 2009; Choi *et al*., 2017). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که نسبت‌های مشخص قرمز به آبی می‌توانند تجمع ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و اسانس را در گیاهان دارویی مختلف از جمله آویشن و ریحان به طور معنی‌داری افزایش دهند (Tohidi *et al*., 2020; Ali and Tong, 2023; Sheikhi *et al*., 2024).

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اعمال طیف‌ها و شدت‌های مختلف نوری، تغییرات چشمگیری در صفات مورفولوژیک گیاهان تیره نعناعیان (Lamiaceae) ایجاد می‌کند؛ با این حال، شدت این تغییرات کاملاً وابسته به اکوتیپ گیاه است. به عنوان مثال، داو و همکاران (Dou *et al*., 2018) در بررسی ارقام مختلف ریحان (*Ocimum basilicum*) گزارش دادند که افزایش شدت نور به طور معنی‌داری باعث افزایش زیست‌توده، ضخامت ساقه و تعداد برگ‌ها می‌شود، اما میزان این پاسخ مورفولوژیک در ارقام مختلف، متفاوت است. در پژوهشی دیگر، سلوکی و همکاران (Solouki *et al*., 2023) نشان دادند که استفاده از نسبت‌های مختلف نورهای ال‌ای‌دی (LED) قرمز و آبی، تاثیر مستقیمی بر ارتفاع گیاه، سطح برگ و توسعه اندام‌های هوایی دارد. همچنین، سعیدی و همکاران (Saeedi *et al*., 2024) با بررسی گونه‌های مختلف دارویی ثابت کردند که واکنش گیاهان به طیف‌های نوری کاملاً اختصاصیِ گونه و حتی اکوتیپ است و نمی‌توان یک فرمول نوری یکسان را برای تمامی گیاهان این خانواده تجویز کرد. با وجود این یافته‌ها، بررسی دقیق اثر متقابل شدت و طیف نور بر شاخص‌های مورفولوژیک در اکوتیپ‌های بومی مرزه تابستانه تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است که این امر ضرورت انجام پژوهش حاضر را برجسته می‌سازد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد

بذرهای دو اکوتیپ ایرانی مرزه تابستانه شامل اکوتیپ‌های «اصفهانی» و «برگ‌پهن» از شرکت پوپونیک تهران تهیه شدند. بذرها ابتدا در سینی‌های نشا حاوی بستر کشت متشکل از کوکوپیت و پرلیت کشت شدند و تا زمان ظهور برگ‌های حقیقی تحت آبیاری منظم قرار گرفتند. پس از رسیدن نشاها به مرحله چهاربرگی، بوته‌ها به گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر، حاوی مخلوط کوکوپیت و پرلیت با نسبت حجمی ۱:۲، منتقل شدند. آزمایش در اتاقک رشد تحت شرایط کنترل‌شده شامل دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب و رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد انجام شد. آبیاری و تغذیه گیاهان هر سه روز یک‌بار با محلول غذایی هوگلند با غلظت نصف انجام گرفت. تیمارهای نوری از زمان انتقال نشاهای چهاربرگی، ۲۱ روز پس از کاشت بذر، آغاز شد و تا پایان دوره رشد رویشی در روز ۷۰ پس از کاشت، به مدت هفت هفته، ادامه یافت.

تیمارهای نوری و طرح آزمایشی

تیمارهای نوری با استفاده از سامانه LED رشد گیاه انجام شد. طیف پایه نور شامل ۷۰ درصد نور قرمز با پیک طیفی ۶۶۰ نانومتر و ۳۰ درصد نور آبی با پیک طیفی ۴۵۵ نانومتر بود. نور قرمز دور (Far-Red, FR) با استفاده از دیودهای LED با طول موج ۷۳۰ نانومتر به‌صورت هم‌زمان با دوره روشنایی ۱۶ ساعته اعمال شد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (Randomized Complete Block Design, RCDB) با سه فاکتور شامل اکوتیپ، شدت نور و نور قرمز دور انجام شد. اکوتیپ در دو سطح شامل اصفهانی و برگ‌پهن، شدت نور در سه سطح شامل ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و نور قرمز دور در دو سطح شامل حضور و عدم حضور نور قرمز دور در نظر گرفته شد. آزمایش در سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ گلدان پلاستیکی بود و در هر گلدان سه بوته مرزه کشت شد. بنابراین، در مجموع ۳۶ واحد آزمایشی شامل ۲ اکوتیپ × ۳ سطح شدت نور × ۲ سطح نورقرمز دور در ۳ تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

اعمال شدت و کیفیت نور

در تیمارهای دارای FR، شدت نور قرمز دور به‌گونه‌ای تنظیم شد که نسبت فوتون‌های قرمز (R) به قرمز دور (R/FR) برابر با ۱/۲ باشد. شدت FR در این تیمارها حدود ۳۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه بود. در تیمارهای فاقد FR، نسبت R/FR بیشتر از ۱۰ بود.

شدت نور فتوسنتزی بر اساس چگالی شار فوتون فتوسنتزی (Photosynthetic Photon Flux Density, PPFD) در محدوده ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در سه سطح ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه تنظیم شد. شدت نور در سطح تاج‌پوش گیاهان اندازه‌گیری و تنظیم گردید. در تیمارهای دارای FR، فوتون‌های ۷۳۰ نانومتر در محاسبه PPFD نور زمینه لحاظ نشدند.

فاصله منبع نور تا تاج‌پوش گیاهان در طول آزمایش حدود ۳۵ سانتی‌متر حفظ شد. یکنواختی توزیع نور در سطح بستر آزمایشی بیش از ۹۲ درصد بود که با چیدمان متراکم LEDها تأمین شد. شدت نور با استفاده از پارمتر کالیبره Li-COR 190R (USA) اندازه‌گیری و تنظیم شد.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

در این پژوهش، صفات اندازه‌گیری‌شده بر اساس ماهیت شاخص مورد بررسی به دو گروه صفات مورفولوژیک شامل صفات رشدی، معماری اندام هوایی و ریشه و صفات فیزیولوژیک شامل محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content, RWC) و کلروفیل a تقسیم شدند. در پایان دوره اعمال تیمارهای نوری، صفات مورفولوژیک گیاهان اندازه‌گیری شدند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، سطح برگ، طول ریشه، وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر و خشک ریشه بود.

ارتفاع گیاه از سطح بستر کشت تا انتهای بلندترین بخش شاخساره با استفاده از خط‌کش مدرج بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ و تعداد شاخه‌های جانبی به‌صورت شمارش مستقیم ثبت شدند. قطر ساقه در قسمت مشخصی از ساقه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن تر شاخساره و ریشه، پس از برداشت گیاهان، شاخساره از ریشه جدا شد و وزن تر هر بخش به‌صورت جداگانه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. ریشه‌ها پس از جداسازی از بستر کشت، به‌آرامی شست‌وشو داده شدند تا بقایای بستر از سطح آن‌ها حذف شود و سپس وزن تر ریشه ثبت شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌های شاخساره و ریشه پس از اندازه‌گیری وزن تر، در شرایط خشک‌کردن مناسب تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها ثبت شد. طول ریشه پس از خارج‌کردن ریشه از بستر کشت، از محل طوقه تا انتهای بلندترین ریشه اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش شد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

سطح برگ در پایان دوره آزمایش با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج Delta-T، UK اندازه‌گیری شد. برای این منظور، برگ‌های برداشت‌شده از هر واحد آزمایشی به‌صورت جداگانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و سطح برگ بر حسب میلی‌متر مربع (mm^2) گزارش شد. غلظت کلروفیل a به روش آرنون (۱۹۴۹) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ پس از برداشت و آماده‌سازی، برای استخراج رنگیزه‌های فتوسنتزی مورد استفاده قرار گرفتند و مقدار کلروفیل a بر اساس روش مذکور محاسبه شد. غلظت کلروفیل a بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ($mg\ g^{-1}\ FW$) بیان شد.

محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخص وضعیت آب گیاه اندازه‌گیری شد. برای این منظور، برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و سالم در پایان دوره اعمال تیمارها برداشت و بلافاصله وزن تر اولیه (Fresh Weight, FW) آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های برگ در ظروف حاوی آب دیونیزه قرار داده شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شدند تا به حالت تورژسانس کامل برسند. پس از پایان دوره آبگیری، آب اضافی سطح برگ‌ها با کاغذ صافی به‌آرامی حذف و وزن تورژسانس (Turgid Weight, TW) ثبت شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و پس از رسیدن به وزن ثابت، وزن خشک (Dry Weight, DW) اندازه‌گیری شد. مقدار RWC با استفاده از رابطه استاندارد زیر محاسبه گردید:

$$RWC(\%) = \frac{TW - DW}{FW - DE} * 100$$

که در آن FW نشان‌دهنده وزن تر اولیه، TW وزن نمونه در حالت تورژسانس کامل و DW وزن خشک نمونه است. روش اندازه‌گیری با استفاده از روش گزارش‌شده برای مرزه تابستانه توسط (Rasouli *et al.*, 2023) تنظیم شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل از آزمایش پس از بررسی و آماده‌سازی، با استفاده از تجزیه واریانس فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. عوامل مورد بررسی شامل اکوتیپ، شدت نور، نور قرمز دور و برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بودند.

معنی‌داری اثرات اصلی و برهم‌کنش عوامل بر اساس آزمون F در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد ارزیابی شد. در مواردی که اثر شدت نور، به‌عنوان عامل سه‌سطحی، معنی‌دار بود، مقایسه میانگین سطوح شدت نور با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای عوامل دو سطحی شامل اکوتیپ و نور قرمز دور، مقایسه سطوح بر اساس آزمون F انجام شد و نیازی به مقایسه چندگانه میانگین‌ها نبود.

نتایج

بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل «شدت نور × نور قرمز دور» در صفات سطح برگ و قطر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود ($p < 0.05$) و بر سایر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اثر معنی‌داری نداشت. همچنین، اثرات متقابل دوگانه «شدت نور × اکوتیپ»، «نور قرمز دور × اکوتیپ» و اثر متقابل سه‌گانه «شدت نور × نور قرمز دور × اکوتیپ» بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود.

بنابراین، تفسیر داده‌ها صرفاً بر اساس اثرات اصلی فاکتورها انجام شد. در مورد قطر ساقه، شدت نور و نور قرمز دور به ترتیب در سطوح معنی‌داری ۱ و ۵ درصد اثرگذار بودند. ارتفاع گیاه نیز تحت تأثیر شدت نور به شکل بسیار معنی‌دار ($F^{**}=450.997$) قرار گرفت، در حالی که نور قرمز دور و اکوتیپ

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

تأثیر معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد داشتند. وزن تر برگ و وزن خشک برگ بیشتر به شدت نور و اکوتیپ وابسته بودند و اثر نور قرمز دور نیز معنی‌دار گزارش شد. این نتایج نشان می‌دهد که تغییر شدت نور و تفاوت در اکوتیپ و نور قرمز دور به طور قابل توجهی بر رشد و صفات مورفولوژیک گیاه اثر می‌گذارند. به طور کلی، می‌توان گفت که شدت نور مهم‌ترین عامل مؤثر بر صفات مورفولوژیک بوده و تفاوت‌های ژنتیکی (اکوتیپ) و تعاملات آن با نور قرمز دور نیز نقش قابل توجهی دارند. تأثیر شدید نور بر رشد و صفات مورفولوژیک گیاهان دارویی در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، پژوهش انجام شده توسط زوبای و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی اثر شدت نور بر گیاه مرزه تابستانه گزارش شده است که شدت نور به طور قابل توجهی بر صفات مورفولوژیک از جمله وزن خشک و ارتفاع گیاه تاثیرگذار بوده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه تابستانه. MS) میانگین مربعات، ns) غیرمعنی‌دار؛ * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند

صفات / منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ریشه (MS)	وزن خشک ریشه (MS)	طول ریشه (MS)	سطح برگ (MS)	کلروفیل a (MS)	RWC (MS)
بلوک	۲	۲/۰۸۷**	۰/۳۱۵**	۶۶/۷۷۸*	۱۶۰/۱۶۰	۰/۹۵۸	۱۰/۷۲۰*
شدت نور	۲	۱/۸۴۵*	۰/۶۳۳**	۲۵۵/۹۳**	۹۶۴/۶۶**	۱/۴۲۸**	۲۷۴/۴۷**
نور قرمز دور	۱	۳/۷۹۰**	۰/۰۹۶**	۰/۲۱۸ns	۷۹۶/۹۳**	۱/۴۷۶**	۳۳/۶۴۰**
اکوتیپ	۱	۲/۳۲۱*	۰/۱۱۶**	۱۱۲/۳۶**	۳۳۹/۶۶۵*	۰/۵۱۸**	۵۲/۸۰۴**
شدت نور* نور قرمز دور	۲	۰/۴۲۱ns	۰/۰۰۷ns	۸/۴۷۰ns	۲۱۲/۰۲۶*	۰/۲۷۱ns	۱/۹۰۸ns
شدت نور*اکوتیپ	۲	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۳ns	۳/۵۱۶ns	۳/۱۴۶ns	۰/۰۰۱ns	۱/۳۹۵ns
نور قرمز دور*اکوتیپ	۱	۰/۰۰۸ns	۰/۰۰۱ns	۱/۶۰۴۰ns	۴۳/۶۰۴ns	۰/۰۰۴ns	۰/۲۱۸ns
شدت نور* نور قرمز دور*اکوتیپ	۲	۰/۰۰۳ns	۰/۰۰۴ns	۲/۹۵۴ns	۱۱/۹۴۰ns	۰/۰۳۰ns	۱/۳۰۴ns
اشتباه آزمایشی	۲۲	۰/۳۱۵	۰/۰۰۹	۱۱/۰۶۴	۴۸/۰۳۵	۰/۱۰۸	۳/۵۹۴
ضریب تغییرات (CV%)		۲۳/۶۴	۱۲/۲۲	۱۲/۱۷	۲۱/۹۶	۲۲/۲۹	۲/۶۶

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه تابستانه

صفات / منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد ساقه فرعی (MS)	تعداد برگ (MS)	قطر ساقه (MS)	ارتفاع گیاه (MS)	وزن تر برگ (MS)	وزن خشک برگ (MS)	وزن تر ساقه (MS)	وزن خشک ساقه (MS)
بلوک	۲	۵/۵۳^{ns}	۲۷۹۷	۰/۶۳۳	۱۵۱/۶۶۱^{ns}	۱۱/۸۴**	۰/۵۳۱	۳۷/۹۷۰	۰/۴۳۳*
شدت نور	۲	۸۳/۵۳**	۱۹۳۰۸۱**	۴/۲۳۷**	۴۵۰/۹۹۷**	۲۵/۴۹**	۰/۴۴۴**	۲۳/۸۱**	۵/۴۴۰**
نوقرمز دور	۱	۱/۷۷۸^{ns}	۱۰۶۲۷۶**	۴/۱۲۸**	۳۴۲/۸۶۷**	۱۴/۱۴**	۰/۸۵۶**	۱۴/۷۹۷*	۱/۴۴۸**
اکوتیپ	۱	۳۶/۰۰**	۵۶۰۱۱**	۲/۵۲۳**	۳۴۱/۶۳۴**	۷/۳۲۶**	۰/۸۳۱**	۱۸/۳۱۸*	۲/۳۶۱**
شدت نور* نور قرمز دور	۲	۱/۰۲۸^{ns}	۱۰۸۹۰/۶^{ns}	۰/۹۶۱*	۲۵/۶۵۴^{ns}	۰/۰۵۰^{ns}	۰/۰۲۴^{ns}	۰/۷۵۰^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}
شدت نور*اکوتیپ	۲	۱/۵۸۳^{ns}	۲۰۶/۰^{ns}	۰/۱۶۷^{ns}	۳۵/۰۰۰^{ns}	۰/۶۵۵^{ns}	۰/۰۶۳^{ns}	۰/۷۰۸^{ns}	۰/۰۹۳^{ns}
نور قرمز دور*اکوتیپ	۱	۱/۰۰۰^{ns}	۱۱۳۴/۴^{ns}	۰/۰۸۳^{ns}	۲۲/۲۴۷^{ns}	۰/۶۳^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۰۹۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
شدت نور* نور قرمز دور*اکوتیپ	۲	۱/۷۵۰^{ns}	۲۹۰۹/۷^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۱۰/۹۶۲^{ns}	۰/۵۱۲^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۱/۳۴۴^{ns}	۰/۰۵۴^{ns}
اشتباه آزمایشی	۲۲	۲/۰۷۳	۶۳۸۹/۹	۰/۲۷۱	۱۷/۳۱۵	۱/۰۳۶	۰/۰۴۲	۲/۴۹۸	۰/۰۷۰
ضریب تغییرات (CV%)		۸/۱۲	۱۸/۹۳	۷/۶۴	31/10	۱۹/۵۸	۱۴/۳۴	۲۰/۳۱	۱۱/۲۳

مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک

نتایج مقایسه میانگین سطوح شدت نور با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد (جدول ۲) نشان داد که شدت نور ۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه در بسیاری از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی، بالاترین میانگین را به خود اختصاص داد. با افزایش شدت نور از ۲۰۰ به ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، میانگین بسیاری از صفات کاهش یافت. به‌عنوان مثال، ارتفاع گیاه از ۴۶/۶۳ سانتی‌متر در شدت ۲۰۰ به ۴۰/۰۶ و ۳۴/۳۸ سانتی‌متر در شدت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه کاهش یافت. تعداد برگ نیز از ۵۸/۵۵۷ برگ در شدت ۲۰۰ به ۴۰۲/۳۳ و ۳۰۶/۹۲ برگ در شدت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ کاهش نشان داد. همچنین، سطح برگ از ۴۱/۲۵ به ۲۹/۸۳ و ۲۳/۵۷ و کلروفیل a از ۱/۸۷ به ۱/۳۷ و ۱/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شدت‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

مترمربع بر ثانیه کاهش یافت. حروف متفاوت در جدول ۲ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح شدت نور بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد است.

در مورد RWC، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت نور، مقدار RWC به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میانگین آن از ۷۵/۱۵ درصد در شدت ۲۰۰ به ۷۱/۰۶ و ۶۶/۵۹ درصد به‌ترتیب در شدت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه کاهش پیدا کرد. حروف متفاوت در جدول ۲ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح شدت نور بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد است. بنابراین، افزایش شدت نور در دامنه مورد بررسی با کاهش معنی‌دار وضعیت آب نسبی برگ همراه بود.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات متقابل شدت نور × اکوتیپ، نور قرمز دور × اکوتیپ و اثر متقابل سه‌گانه شدت نور × نور قرمز دور × اکوتیپ برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مورد بررسی معنی‌دار نبودند. همچنین، اثر متقابل شدت نور × نور قرمز دور نیز برای اغلب صفات غیرمعنی‌دار بود و تنها برای سطح برگ و قطر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. بنابراین، برای صفاتی که برهم‌کنش‌های مربوط به آن‌ها معنی‌دار نبود، تفسیر نتایج بر اساس اثرات اصلی فاکتورها انجام شد. از آنجا که شدت نور دارای سه سطح بود، مقایسه میانگین سطوح آن با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت (جدول ۲). در مقابل، اکوتیپ و نور قرمز دور هرکدام دارای دو سطح بودند و اختلاف بین سطوح این دو عامل مستقیماً بر اساس آزمون F در تجزیه واریانس ارزیابی شد و نیازی به آزمون مقایسه میانگین چندگانه نداشت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، نور قرمز دور بر تعداد ساقه‌های جانبی و طول ریشه اثر معنی‌داری نداشت، اما بر تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برگ و ساقه، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ، کلروفیل a و RWC اثر معنی‌دار داشت. همچنین، اکوتیپ بر بیشتر صفات مورد بررسی اثر معنی‌دار نشان داد و RWC نیز بین دو اکوتیپ تفاوت معنی‌داری داشت. در مقابل، معنی‌دار نبودن اثر اکوتیپ در برخی صفات نشان‌دهنده نبود اختلاف آماری بین دو اکوتیپ برای آن صفات است. در مجموع، نتایج نشان داد که شدت نور دامنه وسیع‌تری از تغییرات صفات مورفولوژیک را توضیح داد، در حالی که نور قرمز دور و اکوتیپ نیز به‌صورت مستقل بر تعدادی از صفات، از جمله RWC، اثرگذار بودند.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه تابستانه در سطوح مختلف شدت نور

تیمارهای آزمایشی		تعداد ساقه فرعی	تعداد برگ	قطر ساقه	ارتفاع گیاه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه
شدت نور	۲۰۰	۲۰/۵۰[a]	۵۵۷/۵۸[a]	۷/۴۹[a]	۴۶/۶۳[a]	۶/۸۷[a]	۱/۶۴[a]	۹/۴۱[a]	3/۰۵[a]
	۳۰۰	۱۷/۴۲[b]	۴۰۲/۳۳[b]	۶/۵۵ [b]	۴۰/۰۶[b]	۴/۴۸[b]	۱/۳۵[b]	۷/۰۹[b]	۲/۳۰[b]
	۴۰۰	۱۵/۲۵[c]	۳۰۶/۹۲[c]	۶/۳۹ [b]	۳۴/۳۸[c]	۴/۲۳[b]	۱/۲۸[b]	۶/۸۵[b]	۱/۷۱[c]

میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند؛ میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

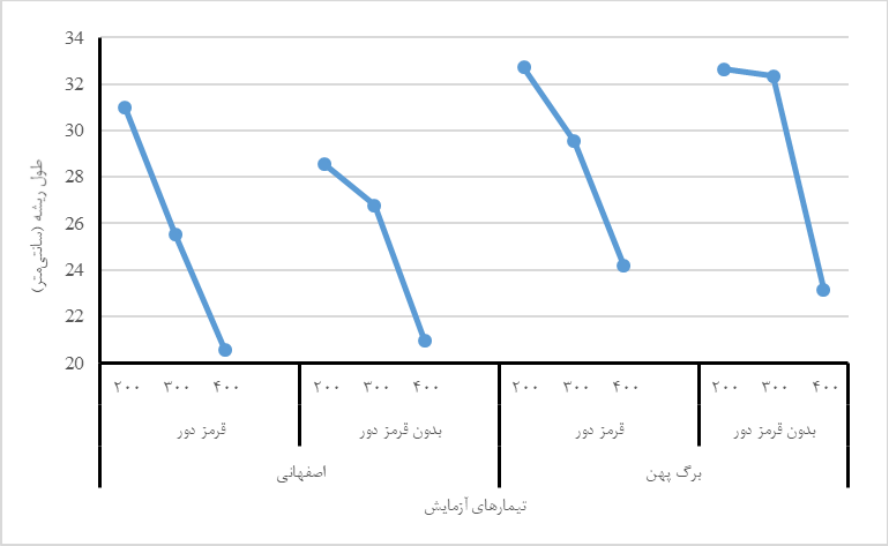
[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

ادامه جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرزه تابستانه در سطوح مختلف شدت نور

تیمارهای آزمایشی		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول ریشه	سطح برگ	کلروفیل a	RWC
شدت نور	۲۰۰	۲/۷۷[a]	۰/۹۹[a]	۳۱/۲۱[a]	۴۱/۲۵[a]	۱/۸۷[a]	۷۶/۱۵[a]
	۳۰۰	۲/۳۵[ab]	۰/۷۶[b]	۲۸/۵۴[a]	۲۹/۸۳[b]	۱/۳۷[b]	۷۱/۰۶[b]
	۴۰۰	۱/۹۹[b]	۰/۵۳[c]	۲۲/۲۲[b]	۲۳/۵۷[c]	۱/۲۰[b]	۶۶/۵۹[c]

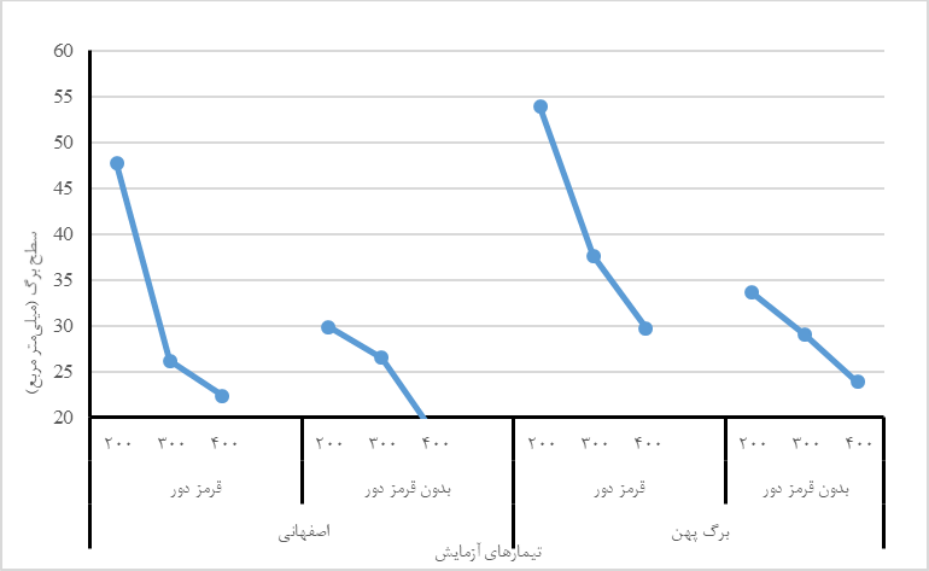
میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند؛ میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



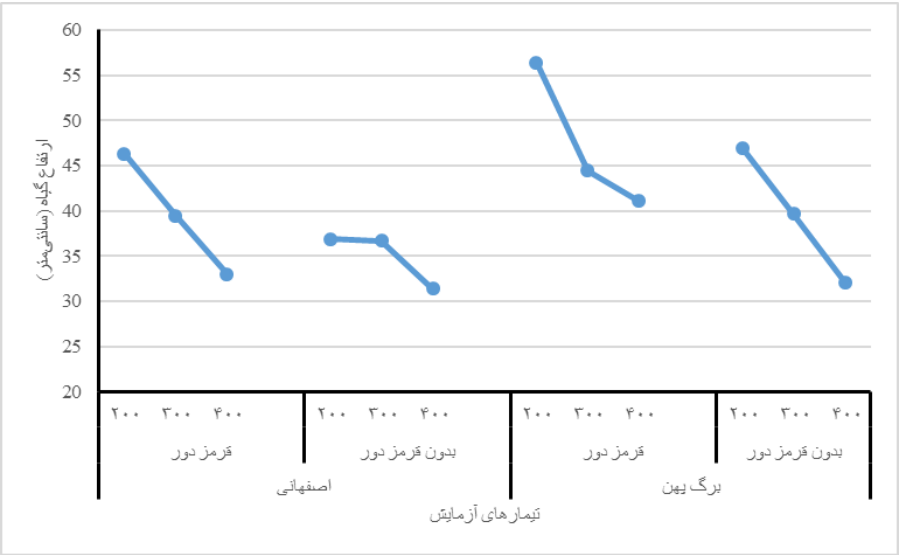
شکل ۱. مقایسه طول ریشه در تیمارهای مختلف نوری. کاهش طول ریشه در اثر شدت نور برای هر دو رقم و در هر دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز دور دیده می‌شود.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]



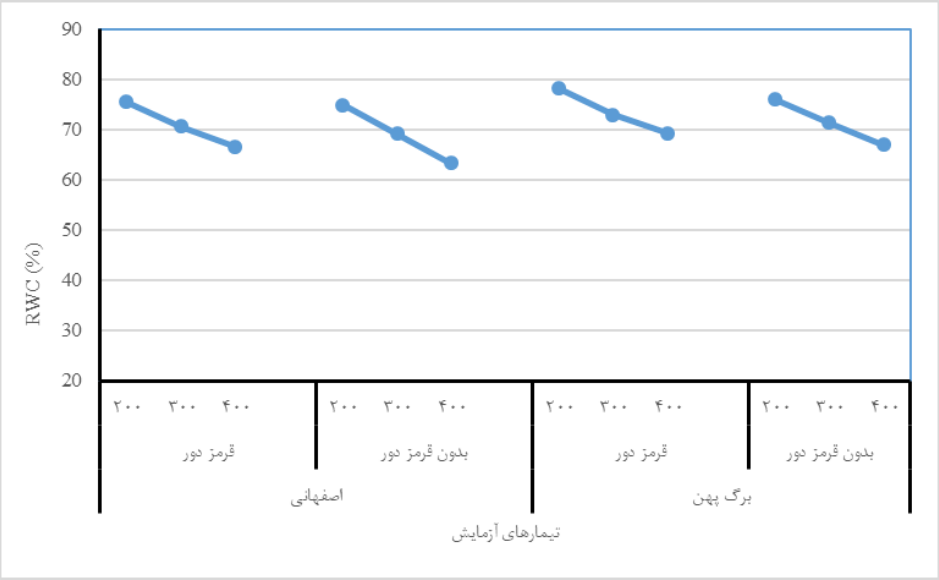
شکل ۲. مقایسه سطح برگ در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز



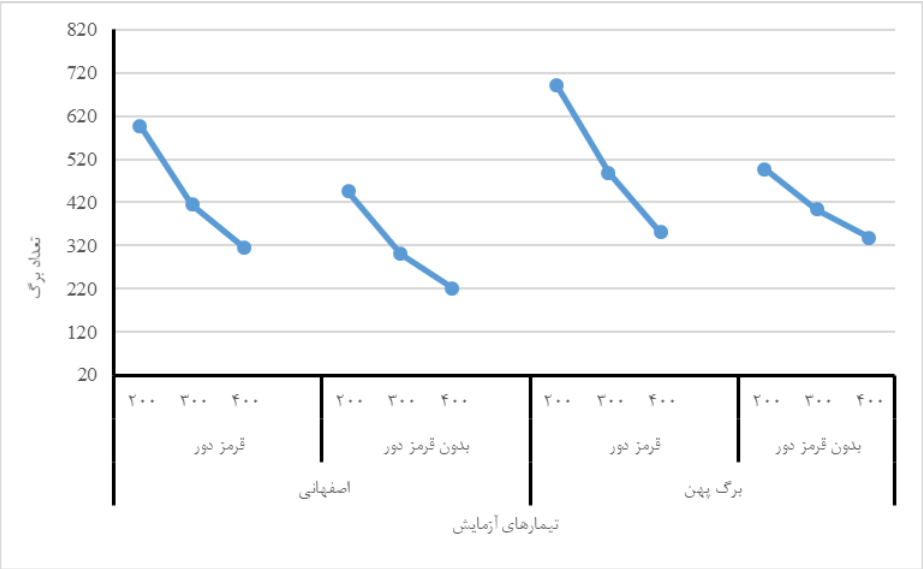
شکل ۳. مقایسه ارتفاع گیاه در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]



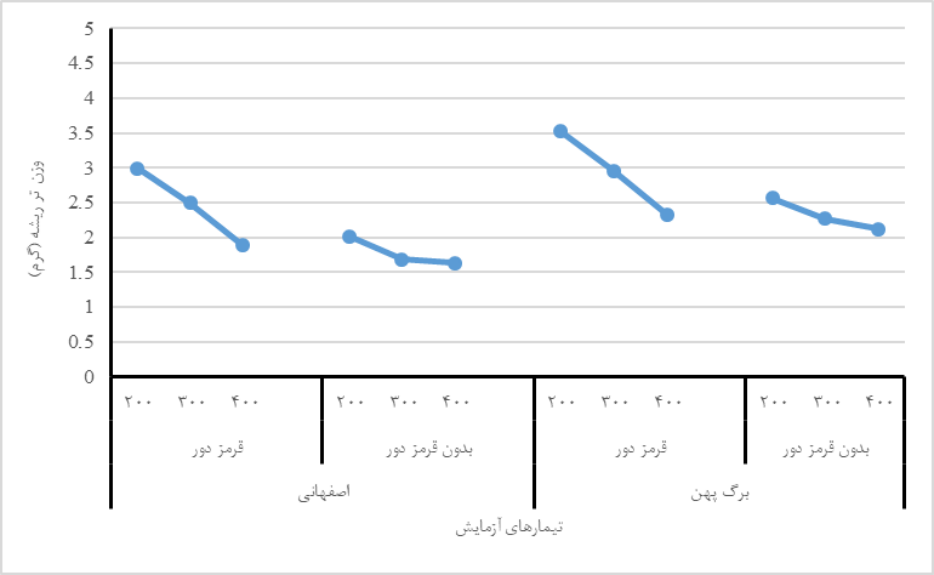
شکل ۴. مقایسه درصد RWC در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز



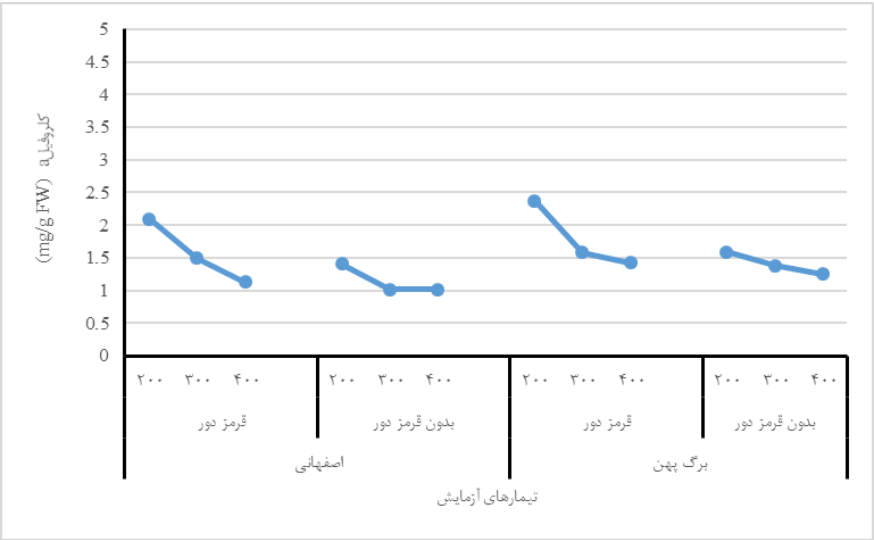
شکل ۵. مقایسه تعداد برگ در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]



شکل ۶. مقایسه وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز



شکل ۷. مقایسه کلروفیل a در تیمارهای مختلف نوری در دو رقم برگ‌پهن و اصفهانی در دو حالت حضور و عدم حضور نور قرمز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط کشت کنترل‌شده، شدت نور (PPFD) مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و رشد رویشی مرزه تابستانه در دامنه شرایط مورد مطالعه بود، در حالی که نور قرمز دور و تفاوت بین اکوتیپ‌ها نیز برای تعدادی از صفات اثر معنی‌دار داشتند. نکته قابل توجه آن است که برهم‌کنش شدت نور × اکوتیپ و نور قرمز دور × اکوتیپ برای صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود و برهم‌کنش شدت نور با نور قرمز دور تنها برای سطح برگ و قطر ساقه معنی‌دار شد و برای سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. بنابراین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس از وجود یک پاسخ گسترده و پیچیده ناشی از برهم‌کنش شدت و کیفیت طیفی نور حمایت نمی‌کند، بلکه نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش حاضر، شدت نور عمدتاً به‌عنوان عامل اصلی و نور قرمز دور و اکوتیپ به‌عنوان عوامل مؤثر بر برخی صفات، الگوی رشد گیاه را تعیین کردند. در این میان، افزایش شدت نور از ۲۰۰ به ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه با کاهش معنی‌دار بسیاری از صفات رشدی همراه شد. ازاین‌رو، مهم‌ترین یافته پژوهش حاضر را می‌توان در تعیین دامنه شدت نور مناسب برای رشد رویشی مرزه در شرایط کنترل‌شده و در کنار شناسایی اثرات مستقل نور قرمز دور و تفاوت بین اکوتیپ‌ها دانست، نه در کشف یک الگوی پیچیده از برهم‌کنش‌های طیفی.

این نتیجه با گزارش خلیقی و همکاران (۲۰۲۱) درباره مرزه تابستانه که نشان دادند شدت نور می‌تواند به‌طور معنی‌داری صفات مورفوفیزیولوژیک و تولید اسانس این گیاه را تغییر دهد، در جهت اهمیت بالای شدت نور برای رشد این گونه همخوانی دارد. همچنین، یافته حاضر با مطالعات انجام‌شده روی سایر گیاهان دارویی و معطر در سامانه‌های کشت کنترل‌شده مطابقت دارد که نشان داده‌اند پاسخ رشد به شدت و کیفیت نور به گونه، مرحله رشد و زمینه طیفی نور وابسته است (Hashim *et al*., 2021; Paradiso and Proietti, 2022) برای مثال در *Scrophularia kakudensis*، تغییر کیفیت نور LED موجب تغییر معنی‌دار طول ساقه، قطر ساقه، رشد ریشه و وزن تر و خشک گیاه شد و پاسخ صفات مختلف به نور قرمز و آبی یکسان نبود (Lobiuc *et al*., 2017). این موضوع نشان می‌دهد که افزایش مقدار نور به‌تنهایی الزاماً به بیشینه‌شدن تمام مؤلفه‌های رشد منجر نمی‌شود و نوع پاسخ می‌تواند به ویژگی‌های فیزیولوژیک و ژنتیکی گیاه وابسته باشد (Dou *et al*., 2018; Pennisi *et al*., 2020). بااین‌حال، از آنجا که در پژوهش حاضر برهم‌کنش اغلب عوامل نوری معنی‌دار نبود، یافته‌های حاضر بیشتر بر نقش غالب شدت نور در مقایسه با اثرات تعاملی طیف و شدت تأکید دارند.

کاهش شدید ارتفاع گیاه از ۴۶/۶۳ سانتی‌متر در شدت ۲۰۰ به ۳۴/۳۸ سانتی‌متر در شدت ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، همراه با کاهش تعداد برگ و سطح برگ، نشان داد که افزایش شدت نور در محدوده مورد بررسی با تغییر در معماری اندام هوایی مرزه همراه بود. این الگو با نتایج برخی مطالعات روی گیاهان دارویی و زراعی در محیط‌های کنترل‌شده مطابقت دارد (Paradiso and Proietti, 2022)، اگرچه جهت و شدت پاسخ در گونه‌های مختلف یکسان نیست. برای نمونه، در گیاه دارویی *Nepeta nuda*، شدت و کیفیت نور آبی–قرمز موجب تغییر هم‌زمان سطح برگ، ضخامت مزوفیل و زیست‌توده شد و تیمارهای نوری با شدت متفاوت، پاسخ‌های متفاوتی در ارتفاع و توسعه سطح برگ ایجاد کردند (Zhiponova *et al*., 2025). به‌طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهند که پاسخ مورفولوژیک گیاه به محیط نوری می‌تواند حاصل تغییر در مقدار انرژی دریافتی و تنظیم فرآیندهای رشد باشد و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

بنابراین نمی‌توان یک رابطه عمومی و ثابت بین افزایش شدت نور و تمام صفات رشدی گیاهان مختلف در نظر گرفت. در پژوهش حاضر نیز کاهش ارتفاع و تعداد برگ در شدت‌های بالاتر نشان می‌دهد که افزایش PPFD فراتر از سطح ۲۰۰ میکرومول در شرایط آزمایش الزاماً به افزایش رشد رویشی منجر نشد.

کاهش سطح برگ در شدت‌های ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول نیز از یافته‌های مهم پژوهش حاضر بود. سطح برگ از ۴۱/۲۵ میلی‌متر مربع در شدت ۲۰۰ به ۲۳/۵۷ میلی‌متر مربع در شدت ۴۰۰ کاهش یافت. از نظر فیزیولوژیک، تغییر سطح برگ می‌تواند یکی از پاسخ‌های مورفولوژیک گیاه به تغییر شرایط نوری باشد و بر ظرفیت دریافت نور و تبادل گاز اثر بگذارد، بااین‌حال، در پژوهش حاضر اندازه‌گیری مستقیم فتوسنتز یا سایر شاخص‌های فتوسنتزی انجام نشده است و بنابراین نمی‌توان کاهش سطح برگ را مستقیماً به آسیب فتوسیستم یا محدودیت فتوسنتزی نسبت داد. مطالعات انجام‌شده در شرایط کنترل‌شده نیز نشان داده‌اند که پاسخ سطح برگ به شدت و طیف نور به گونه و ژنوتیپ وابسته است (Paradiso and Proietti, 2022). برای مثال، در گیاهان برگی از جمله کاهو و ریحان، تغییر شدت یا نسبت نور قرمز و آبی می‌تواند موجب تغییر در سطح برگ و معماری بوته شود (Pennisi *et al*., 2020; Sheikhi *et al*., 2024). با توجه به معنی‌دار شدن برهم‌کنش شدت نور و نورقرمز دور برای سطح برگ در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد این صفت در مقایسه با بسیاری از صفات دیگر حساسیت بیشتری به ترکیب شدت و کیفیت نور داشته است؛ بااین‌حال، این نتیجه باید محدود به همین صفت و دامنه تیمارهای آزمایش حاضر تفسیر شود.

کاهش کلروفیل a از ۱/۸۷ به ۱/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر با افزایش شدت نور از ۲۰۰ به ۴۰۰ میکرومول نیز نشان داد که پاسخ رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرزه با افزایش شدت نور الزاماً افزایشی نیست. کاهش غلظت برخی رنگیزه‌ها در شرایط شدت نور بالا در مطالعات مختلف گزارش شده است (Dou *et al*., 2018; Pennisi *et al*., 2020)، هرچند پاسخ رنگیزه‌های فتوسنتزی به شدت نور به گونه، مرحله رشد و ترکیب طیفی وابسته است. برای مثال، در گیاهانی که تحت شرایط مختلف LED رشد کرده‌اند، تغییر شدت و کیفیت نور می‌تواند موجب تغییر محتوای کلروفیل شود (Ali and Tong, 2023; Lobiuc *et al*., 2017; Saeedi *et al*., 2024)، بدون آنکه این تغییر الزاماً به کاهش مستقیم ظرفیت فتوسنتزی منجر شود. بنابراین، تغییر غلظت کلروفیل به‌تنهایی شاخص قطعی تنش نوری یا کاهش عملکرد فتوسنتزی نیست. در پژوهش حاضر نیز، با توجه به نبود داده‌های مستقیم فتوسنتزی، بهتر است کاهش کلروفیل a صرفاً به‌عنوان یک پاسخ رنگیزه‌ای به افزایش شدت نور تفسیر شود و از نسبت دادن قطعی آن به فتواکسیداسیون، تولید گونه‌های فعال اکسیژن یا آسیب فتوسیستم II اجتناب شود.

در مقابل، کاهش رشد ریشه نیز با افزایش شدت نور مشاهده شد. وزن تر ریشه از ۲/۷۷ گرم در شدت ۲۰۰ به ۱۹/۹۹ گرم در شدت ۴۰۰ و طول ریشه از ۳۱/۲۱ به ۲۲/۲۲ سانتی‌متر کاهش یافت. از آنجا که رشد ریشه به وضعیت رشد اندام هوایی، تخصیص مواد فتوسنتزی و سیگنال‌های نوری و هورمونی وابسته است، تغییر شرایط نوری می‌تواند به‌طور غیرمستقیم معماری و رشد ریشه را نیز تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات انجام‌شده روی گیاهان دارویی در شرایط کنترل‌شده نیز نشان داده‌اند که کیفیت نور می‌تواند بر تشکیل و توسعه ریشه اثرگذار باشد (Lobiuc *et al*., 2017; Saeedi *et al*., 2024). برای مثال، در *S. kakudensis*، نور قرمز و آبی موجب تغییر معنی‌دار رشد ریشه شد و نور قرمز در شرایط آن مطالعه بیشترین رشد ریشه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

را ایجاد کرد. تفاوت میان آن نتایج و پژوهش حاضر می‌تواند ناشی از تفاوت گونه، شدت نور، ترکیب طیفی، شرایط کشت و مرحله رشدی باشد. بااین‌حال، در پژوهش حاضر از آنجا که برهم‌کنش شدت نور با FR و اکوتیپ برای طول ریشه معنی‌دار نبود، کاهش طول و وزن ریشه را می‌توان عمدتاً در ارتباط با اثر اصلی افزایش شدت نور در دامنه مورد بررسی تفسیر کرد.

یکی دیگر از یافته‌های مهم پژوهش حاضر، برتری اکوتیپ برگ‌پهن نسبت به اکوتیپ اصفهانی در بخش قابل توجهی از صفات بود. اکوتیپ برگ‌پهن از نظر تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ و RWC میانگین بیشتری داشت. این نتیجه با شواهد مربوط به تنوع مورفولوژیک در جمعیت‌ها و دسترسی‌های مختلف مرزه تابستانه مطابقت دارد. فاتی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی دسترسی‌های مختلف مرزه تابستانه، تنوع قابل توجهی را در صفات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گزارش کردند و نشان دادند که دسترسی‌های این گونه از نظر ارتفاع بوته، عملکرد خشک، طول برگ و ترکیب اسانس با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، اختلاف مشاهده‌شده بین دو اکوتیپ در پژوهش حاضر نشان‌دهنده تفاوت در عملکرد رشدی مواد گیاهی مورد مطالعه در شرایط محیطی یکسان است و می‌تواند با تفاوت‌های ژنتیکی و پیشینه سازگاری آن‌ها مرتبط باشد؛ بااین‌حال، از آنجا که در پژوهش حاضر ارزیابی ژنتیکی یا آزمون اختصاصی سازگاری انجام نشده است، نمی‌توان این تفاوت فنوتیپی را مستقیماً به یک سازوکار ژنتیکی یا فیزیولوژیک مشخص نسبت داد.

نکته قابل توجه این است که با وجود تفاوت معنی‌دار بین دو اکوتیپ، برهم‌کنش شدت نور × اکوتیپ در هیچ‌یک از صفات مورفولوژیک معنی‌دار نشد. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه دو اکوتیپ از نظر مقدار مطلق صفات رشد با یکدیگر تفاوت داشتند، الگوی کلی پاسخ آن‌ها به افزایش شدت نور مشابه بود. به عبارت دیگر، اکوتیپ برگ‌پهن در شرایط مورد مطالعه عملکرد مورفولوژیک بالاتری داشت، اما شواهد آماری کافی برای اختصاصی‌بودن پاسخ آن به شدت نور مشاهده نشد. این یافته از نظر کاربردی اهمیت دارد، زیرا نشان می‌دهد انتخاب اکوتیپ بر سطح عملکرد کلی اثرگذار است، در حالی که تغییر شدت نور در دامنه مورد بررسی، الگوی پاسخ متفاوتی در دو اکوتیپ ایجاد نکرد. تفاوت این نتیجه با مطالعاتی که اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را گزارش کرده‌اند، می‌تواند به تفاوت مواد ژنتیکی، دامنه شدت نور، مدت اعمال تیمار و شرایط محیطی آزمایش مربوط باشد.

اثر نور قرمز دور نیز در تعدادی از صفات، از جمله ارتفاع، تعداد برگ، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، کلروفیل a و RWC معنی‌دار بود؛ بااین‌حال، اثر آن در همه صفات یکسان نبود. این موضوع با مطالعات جدید درباره نور قرمز دور در سامانه‌های کشت کنترل‌شده همخوانی دارد (Liu and van Iersel 2022). نشان دادند که افزودن نور قرمز دور به نور زمینه در کاهو می‌تواند رشد و وزن خشک شاخساره را افزایش دهد، اما شدت این پاسخ به رقم وابسته بود؛ به‌طوری‌که برخی ارقام افزایش وزن خشک نشان دادند و یک رقم پاسخ معنی‌داری نداشت. همچنین، در گیاه کلم چینی، افزودن نور قرمز دور موجب افزایش ارتفاع، طول میان‌گره، قطر ساقه، سطح برگ و وزن تر و خشک بخش خوراکی شد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که FR صرفاً یک عامل مؤثر بر تأمین انرژی فتوسنتزی نیست، بلکه می‌تواند از طریق مسیرهای فتومورفوژنیک، به‌ویژه سامانه فیتوکروم، معماری گیاه را تغییر دهد.

بااین‌حال، نتیجه پژوهش حاضر در مورد نور قرمز دور با همه مطالعات قبلی یکسان نیست. برای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

مثال، در *Artemisia annua*، افزودن FR موجب افزایش ارتفاع، اما کاهش سطح برگ و وزن تر و خشک شد؛ در همان مطالعه نیز نویسندگان بر وجود موازنه بین تغییر معماری گیاه و تولید زیست‌توده تأکید کردند. همچنین، مطالعات انجام‌شده روی ریزسبزی‌ها نشان داده‌اند که پاسخ به افزودن FR می‌تواند بین گونه‌ها متفاوت باشد و در برخی گونه‌ها افزایش ارتفاع همراه با کاهش زیست‌توده یا تغییر در ترکیبات فنلی مشاهده شود (Lobiuc *et al.*, 2017). بنابراین، افزایش یا کاهش یک صفت در حضور FR را نمی‌توان به‌صورت مستقل از گونه، شدت FR، نسبت R/FR، شدت نور زمینه و مدت تیمار تفسیر کرد. در پژوهش حاضر نیز FR در برخی صفات اثر معنی‌دار داشت، اما نبود برهم‌کنش معنی‌دار FR با اکوتیپ نشان می‌دهد که تفاوت دو اکوتیپ موجب تغییر اساسی در پاسخ صفات به FR نشده است.

در پژوهش حاضر، اثر متقابل شدت نور × نور قرمز دور فقط برای سطح برگ معنی‌دار بود و برای بیشتر صفات، برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه معنی‌دار نشدند. این الگو نشان می‌دهد که پاسخ بسیاری از صفات مرزه به FR، در محدوده شدت‌های نوری مورد مطالعه، عمدتاً مستقل از تغییر شدت نور بود؛ بااین‌حال، سطح برگ از این قاعده مستثنی بود و به ترکیب شدت و کیفیت نور پاسخ متفاوتی نشان داد. بنابراین، برای صفاتی که برهم‌کنش شدت × FR در آن‌ها معنی‌دار نبود، تفسیر اثر FR را می‌توان بر اساس اثر اصلی آن انجام داد، اما برای سطح برگ، بررسی میانگین‌های ترکیبی شدت نور و FR ضروری است. ازاین‌رو، نمی‌توان اثر FR را در کل آزمایش به‌عنوان عاملی وابسته به شدت نور معرفی کرد؛ بلکه شواهد آماری موجود نشان می‌دهد که وابستگی پاسخ به شدت نور عمدتاً به سطح برگ محدود بوده است.

RWC نیز در پژوهش حاضر تحت تأثیر شدت نور قرار گرفت و با افزایش شدت نور کاهش معنی‌داری نشان داد. بر اساس جدول ۲، میانگین RWC از ۱۵/۷۶ درصد در شدت ۲۰۰ به ۰۶/۷۱ درصد در شدت ۳۰۰ و ۵۹/۶۶ درصد در شدت ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه کاهش یافت. بنابراین، برخلاف آنچه ممکن است از بررسی مستقل نمودارهای مربوط به تیمارها برداشت شود، اثر اصلی شدت نور بر RWC از نظر آماری معنی‌دار بود. بااین‌حال، از آنجا که برهم‌کنش شدت نور با نور قرمز دور و همچنین برهم‌کنش شدت نور با اکوتیپ معنی‌دار نشد، شواهد آماری کافی برای آنکه این کاهش را به‌صورت یک پاسخ اختصاصی برای یک اکوتیپ یا یک وضعیت حضور/عدم حضور FR تفسیر کنیم وجود ندارد. کاهش RWC در شدت‌های بالاتر می‌تواند با تغییر تعادل آب گیاه در شرایط دریافت نور بیشتر مرتبط باشد، اما با توجه به اینکه تبخیر-تعرق، هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب در این آزمایش اندازه‌گیری نشده‌اند، نمی‌توان مسیر فیزیولوژیک مشخصی را برای این تغییر اثبات کرد. از سوی دیگر، اثر معنی‌دار FR و اکوتیپ بر RWC نشان می‌دهد که هر دو عامل نیز در تنظیم وضعیت آب نسبی برگ در شرایط آزمایش حاضر نقش داشتند، اگرچه نبود برهم‌کنش‌های معنی‌دار نشان می‌دهد که اثر آن‌ها وابسته به شدت نور نبوده است. مطالعات جدید نشان داده‌اند که FR می‌تواند بر رفتار روزنه‌ای و تبادل آب نیز اثر بگذارد (Solouki *et al.*, 2023)؛ برای نمونه، در ریحان شیرین، نور قرمز دور بر بازشدن روزنه و تبادل آب اثرگذار گزارش شده است. بنابراین، بررسی هم‌زمان RWC با شاخص‌های تبادل گاز در مطالعات آینده می‌تواند درک دقیق‌تری از رابطه میان محیط نوری و وضعیت آبی مرزه فراهم کند (Solouki *et al.*, 2023).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

از منظر کاربردی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در تولید مرزه تابستانه در سامانه‌های کشت کنترل‌شده، افزایش شدت نور لزوماً راهبرد مناسبی برای افزایش زیست‌توده نیست. در شرایط آزمایش حاضر، شدت ۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، در مقایسه با ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول، عملکرد مطلوب‌تری از نظر مجموعه‌ای از صفات رویشی داشت. این نتیجه برای طراحی سامانه‌های تولید گیاهان دارویی اهمیت دارد، زیرا انتخاب شدت نور باید علاوه بر پاسخ زیستی، بر مبنای بهره‌وری مصرف انرژی نیز انجام شود (Pennisi *et al.*, 2020). مطالعات مربوط به کشاورزی محیط کنترل‌شده نیز بر ضرورت بهینه‌سازی هم‌زمان رشد گیاه و مصرف انرژی در سامانه‌های LED تأکید کرده‌اند. بنابراین، در شرایط مشابه آزمایش حاضر، استفاده از شدت‌های بالاتر از ۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه لزوماً مزیت رشدی ایجاد نمی‌کند و ممکن است بدون افزایش متناظر در زیست‌توده، مصرف انرژی سیستم را افزایش دهد.

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که شدت نور مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات صفات مورفولوژیک و رشد رویشِ مرزه تابستانه در دامنه شرایط مورد مطالعه بود. افزایش شدت نور از ۲۰۰ به ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه با کاهش معنی‌دار بسیاری از صفات رشدی همراه شد، در حالی که نور قرمز دور و تفاوت بین اکوتیپ‌ها نیز برای تعدادی از صفات اثر معنی‌دار داشتند. با وجود این، برهم‌کنش شدت نور × اکوتیپ و نور قرمز دور × اکوتیپ برای صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود و و برهم‌کنش شدت نور در FR نیز تنها برای سطح برگ و قطر ساقه معنی‌دار شد و برای سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. بنابراین، نتایج حاضر از وجود یک پاسخ گسترده و پیچیده ناشی از برهم‌کنش شدت و کیفیت طیفی نور حمایت نمی‌کند؛ بلکه نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش حاضر، شدت نور عمدتاً به‌عنوان عامل اصلی، و FR و اکوتیپ به‌عنوان عوامل مؤثر بر برخی صفات، الگوی رشد گیاه را تعیین کردند. برتری اکوتیپ برگ‌پهن نیز نشان‌دهنده عملکرد رشدی بالاتر این اکوتیپ در شرایط آزمایش بود، بدون آنکه بتوان بر اساس داده‌های موجود علت این تفاوت را به یک سازوکار ژنتیکی مشخص نسبت داد.

از دیدگاه ایمنی‌زیستی و تولید پایدار در محیط‌های کنترل‌شده، اهمیت این یافته‌ها در امکان استانداردسازی شرایط رشد و کاهش تغییرپذیری ناشی از عوامل محیطی است. استفاده از شدت نور مناسب و ماده گیاهی مطلوب می‌تواند به تولید زیست‌توده یکنواخت‌تر و قابل پیش‌بینی‌تر کمک کند؛ بااین‌حال، از آنجا که در پژوهش حاضر ترکیب اسانس، بار میکروبی، شاخص‌های فیزیولوژیک تنش و کیفیت شیمیایی زیست‌توده اندازه‌گیری نشده است، نمی‌توان درباره افزایش مستقیم ایمنی یا کیفیت دارویی محصول نتیجه‌گیری کرد. در نتیجه، برای تکمیل ارزیابی ایمنی‌زیستی این سامانه، مطالعات آینده باید علاوه بر صفات مورفولوژیک، شاخص‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل، وضعیت اکسیداتیو و آنتی‌اکسیدانی، ترکیب اسانس و متابولیت‌های ثانویه و همچنین شاخص‌های کیفی و میکروبیولوژیک محصول را در شرایط مختلف نوری بررسی کنند. چنین رویکردی امکان تعیین یک رژیم نوری بهینه را نه‌فقط بر اساس تولید زیست‌توده، بلکه بر مبنای کیفیت، یکنواختی و قابلیت اطمینان تولید مرزه در سامانه‌های کشت کنترل‌شده فراهم خواهد کرد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

منابع

Adiguzel A, Ozer H, Kilic H, Cetin B. (2007) Screening of antimicrobial activity of essential oil and methanol extract of *Satureja hortensis* on foodborne bacteria and fungi. ***Czech Journal of Food Sciences.*** *25*(2): 81–89. https://doi.org/10.17221/753-CJFS.

Ali HE, Tong Y. (2023) Volatile oil concentration and growth of thyme (*Thymus vulgaris* L.) plants responded to red to blue light ratios. ***Technology in Horticulture***. *3*(1): 2. https://doi.org/10.48130/TIH-2023-0002.

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

Choi JH, Kim SW, Yu R, Yun JW. (2017) Monoterpene phenolic compound thymol promotes browning of 3T3-L1 adipocytes. ***European Journal of Nutrition***. *56*: 2329-2341. https://doi.org/10.1007/s00394-016-1273-2.

Dou H, Niu G, Gu M, Masabni JG. (2018) Responses of sweet basil to different daily light integrals in photosynthesis, morphology, yield, and nutritional quality. ***HortScience***. *53*(4): 496-503. https://doi.org/10.21273/HORTSCI12785-17.

Dsouza A, Dixon M, Shukla M, Graham T. (2025). Harnessing controlled-environment systems for enhanced production of medicinal plants. ***Journal of Experimental Botany***. *76*(1): 76–93. https://doi.org/10.1093/jxb/erae248.

Ejaz A, Waliat S, Arshad MS, Khalid W, Khalid MZ, Suleria HAR, Luca MZ, Mironeasa C, Batariuc A, Ungureanu-Luga M, Coţovanu L, Mironeasa S. (2023) A comprehensive review of summer savory (*Satureja hortensis* L.): Promising ingredient for production of functional foods. ***Frontiers in Pharmacology***. *14*: 1198970. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1198970.

Fathi R, Mohebodini M, Chamani E, Sabaghnia N. (2021) Morphological and phytochemical variability of *Satureja hortensis* L. accessions: An effective opportunity for industrial production. ***Industrial Crops and Products***. *162*: 113232. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113232.

Fierascu I, Dinu-Pirvu CE, Fierascu RC, Velescu BS, Anuta V, Ortan A, Jinga V. (2018) Phytochemical profile and biological activities of *Satureja hortensis* L.: A review of the last decade. ***Molecules***. *23*(10): 2458. https://doi.org/10.3390/molecules23102458.

Ghobadi S, Marouf IA, Majd M. (2016) Differential expression of the key genes involved in the biosynthesis of monoterpenes in different tissues and in response to abiotic elicitors in summer savory (*Satureja hortensis*). ***Cell and Tissue Journal***. *7*(3): 275-291. [In Persian]

Hadian J, Tabatabaei SMF, Naghavi MR, Jamzad Z, Ramak-Masoumi T. (2008) Genetic diversity of Iranian accessions of Satureja hortensis L. based on horticultural traits and RAPD markers. ***Scientia Horticulturae***. *115*(2): 196–202. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.007.

Hajhashemi V, Sadraei H, Ghannadi AR, Mohseni M. (2000) Antispasmodic and anti-diarrhoeal effect of *Satureja hortensis* L. essential oil. ***Journal of Ethnopharmacology***. *71*(1–2): 187–192. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00209-3.

Hashim M, Ahmad B, Drouet S, Hano C, Abbasi BH, Anjum S. (2021) Comparative effects of different light sources on the production of key secondary metabolites in plants in vitro cultures. ***Plants***. *10*(8): 1521. https://doi.org/10.3390/plants10081521.

Humbal A, Pathak B. (2023) Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review ("VSI: secondary metabolites"). ***Plant Stress***. *8*: 100166. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166.

Khalighi S, Zare Mehrjerdi M, Aliniaeifard S. (2021) Light quality affects phytochemicals content and antioxidant capacity of *Satureja hortensis*. ***South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment***. *12*(2): 99-117.

Liu J, van Iersel MW. (2022) Far-red light effects on lettuce growth and morphology in indoor production are cultivar specific. ***PLANTS***. *11*(20): 2714. https://doi.org/10.3390/plants11202714.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

Lobiuc A, Vasilache V, Oroian M, Stoleru T, Burducea M, Pintilie O, Zamfirache MM. (2017) Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. ***Molecules***. *22*(12): 2111. https://doi.org/10.3390/molecules22122111.

Massa GD, Kim HH, Wheeler RM, Mitchell CA. (2008) Plant productivity in response to LED lighting. ***HortScience***. *43*(7): 1951-1956. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951.

Paradiso R, Proietti S. (2022) Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. ***Journal of Plant Growth Regulation***. *41*: 742–780. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y.

Pennisi G, Pistillo A, Orsini F, Cellini A, Spinelli F, Nicola S, Fernandez JA, Crepaldi A, Gianquinto G, Marcelis LFM. (2020) Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. ***Scientia Horticulturae***. *275*: 109508. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109508.

Ncube B, Finnie JF, Van Staden J. (2012) Quality from the field: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. **SOUTH AFRICAN JOURNAL OF BOTANY**. 82: 11–20. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.05.009.

Rasouli F, Amini T, Skrovankova S, Asadi M, Hassanpouraghdam MB, Ercisli S, Buckova M, Mrazkova M, Mlcek J. (2023) Influence of drought stress and mycorrhizal (*Funneliformis mosseae*) symbiosis on growth parameters, chlorophyll fluorescence, antioxidant activity, and essential oil composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. ***Forentiers in Plant Science***. *14*: 1151467. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1151467.

Saeedi SA, Vahdati K, Aliniaeifard S, Sarikhani S, Dianati S, Davarzani M, Fakhari S. (2024) Enhancing growth and morpho-physiological traits of tissue-cultured explants of Persian walnut through manipulation of in vitro lighting spectra. ***Journal of Nuts***. *15*(1): 71-80.

Sheikhi H, Delshad M, Aliniaeifard S, Haghbeen K, Bababalar M, Nasiri R. (2024) Enhancing growth and nutritional quality in greenhouse-grown 'Little Gem' lettuce using LED supplemental lighting. ***International Journal of Horticultural Science and Technology***. *11*(3): 353-368. https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.364300.690.

Solouki A, Mehrjerdi MZ, Aliniaeifard S, Azimi R. (2023) Postharvest light and temperature elicitors improve chemical composition and level of essential oils in basil (*Ocimum basilicum* L.) through boosting antioxidant machinery. ***Postharvest Biology and Technology***. *199*: 112279. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112279.

Terashima I, Fujita T, Inoue T, Chow WS, Oguchi R. (2009) Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green. ***Plant and Cell Physiology***. *50*(4): 684-697. https://doi.org/10.1093/pcp/pcp034.

Tohidi B, Rahimmalek M, Arzani A, Sabzalian MR. (2020) Thymol, carvacrol, and antioxidant accumulation in Thymus species in response to different light spectra emitted by light-emitting diodes. ***Food Chemistry***. *307*: 125521. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125521.

Wesolowska A, Grzeszczuk M, Jadczak D. (2015) Influence of distillation method on the content and composition of essential oil isolated from summer savory (*Satureja hortensis* L.). ***Journal of Essential Oil Bearing Plants***. *18*(1): 215-221. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.9312.

Zubay P, Ruttner K, Ladányi M, Deli J, Németh Zámboriné É, Szabó K. (2021) In the shade – Screening of medicinal and aromatic plants for temperate zone agroforestry cultivation. ***Industrial Crops and Products***. *170*: 113764. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113764.

Zhiponova M, Zehirov G, Rusanov K, Rusanova M, Stefanova M, Ganeva T, Paunov M, Ganeva V, Mishev K, Dobrev PI, Vaculíková R, Motyka V, Yordanova Z, Chaneva G, Vassileva V. (2025) Blue–red LED light modulates morphophysiological and metabolic responses in the medicinal plant *Nepeta nuda*. ***Plants***. *14*(15): 2285. https://doi.org/10.3390/plants14152285.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]

Effects of Light Intensity and Far-Red Light on the Morphological and Physiological Traits of Two Ecotypes of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Controlled Cultivation Conditions

Zohreh Rafiee[1], Seyed Ahmad Sadat-Noori[1], Seyed Mohammad Mahdi Mortazavian[1], Hossein Ramshini[1], Hadi Kalantari Khalilabad[2]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding Science, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran

noori@ut.ac.ir

Abstract

Summer savory (*Satureja hortensis* L.) is a medicinal plant whose growth and biomass production are influenced by light conditions. This study was conducted under controlled conditions to investigate the effects of light intensity, far-red (FR) light, and ecotype on the morphological and physiological traits of two Iranian summer savory ecotypes (Broad-leaf and Esfahani). The experiment was performed as a factorial arrangement in a randomized complete block design with three factors: ecotype, light intensity at three levels (200, 300, and 400 µmol photons m^{-2} s^{-1}), and the presence or absence of FR light. Analysis of variance showed that light intensity was the most influential factor affecting the evaluated traits, with significant effects on plant height, number of leaves and lateral branches, stem diameter, biomass, root length, leaf area, chlorophyll a, and relative water content (RWC). FR light and ecotype also had significant effects on several traits. The Broad-leaf ecotype exhibited higher mean values than the Esfahani ecotype for most traits. Most two- and three-way interactions were not significant, whereas the interaction between light intensity and FR light was significant for some traits, including leaf area and stem diameter. The 200 µmol photons m^{-2} s^{-1} light intensity resulted in the highest values for several growth-related traits. Overall, light intensity was the primary factor determining the growth performance of summer savory under the controlled conditions of this study.

Keywords: Light Intensity, Morphological Traits, LED Light Spectrum, *Satureja hortensis* L

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-10-21]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1404.18.4.4.5]