دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 2, 2026, Pages 155-169

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Effect of Light Quality and method of Leaf Cutting Preparation on Rooting and Rhizome Generation of *Zamioculcas zamiifolia*

Sohila Naghshara[1], Mansour Matloobi[2]*, Alireza Motallebi Azar[2], Mina Amani[3]

Received: February 13, 2024	Accepted: January 21, 2025

1- Graduated MSc of Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Assoc. Prof. of Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Ph.D, Student of Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Corresponding Author E-mail: mmatloobi@gmail.com

Abstract

Background & Objectives: Foliage palnts as a member of indoor plants are popular for their beautiful leaves. *Zamioculcas zamiifolia* is an important ornamental species with significant economic value which belongs to this group. This study aims to investigate the factors influencing rooting and the production of rapidly growing rhizomes, which are essential for the quick establishment of the plant. Additionally, the role of artificial light in enhancing growth underscores the need for relevant experiments.Application of light quality in propagating leaf cuttings might be helpful in solving this problem.

Materials & Methods: The experiment was conducted factorially in a completely randomized design, evaluating two factors: cutting type (1. complete leaflet cuttings, 2. leaflet cuttings with a 2 cm petiole, 3. half leaflet cuttings) and light quality (red, blue, and purple). Leaflets were taken from middle part of a matured leaf grown on a mother plant. Light intensity in all treatments was set to provide 200 µmol (photos) m^{-2} s^{-1}. Measurements included rhizome length and width, number of rhizomes and roots, average root length, and chlorophyll index at 80, 110, and 140 days post-planting.

Results: The leaflet sample with the petiole showed the greatest rhizome length, increasing from 27.16 mm at 80 days to 42.4 mm at 140 days. Purple light produced the widest rhizome, while the complete leaflet sample yielded the highest number of roots across all light conditions. Half leaflet cuttings resulted in the lowest number of roots and the shortest roots as well. Purple light was found to be the most effective for enhancing propagation efficiency. Followng purple light, the role of red light in propagation was more efficient than the both white and blue light. Chlorophyll index was the highest under white light in the last two measurement periods. However, the lowest chlorophyll indext was observed in the half leaflet cuttings grown under puple light.

Conclusions: This study highlights the significant impact of cutting type and light quality on the growth of *Zamioculcas zamiifolia*. Purple light is recommended to enhance rhizome and root production in this ornamental plant. Half leaflet cuttings showed higher potential in increasing the number of rhizomes and consequently the number of plantlets progagated using this type of cuttings despite of poor rooting quality observed in intial stages of development.

Keywords: Asexual Reproduction, Foliage Plants, Method of Cutting, Artificial Lighting, LED Light

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Mansour Matloobi E-mail: mmatloobi@gmail.com

https://doi.org/ 10.22034/saps.2025.60015.3181

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۱۶۹-۱۵۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر کیفیت نور و روش تهیه قلمه برگی بر ریشه‌زایی و تولید ریزوم گیاه زامیوفیلیا (*Zamioculcas zamiifolia*)

سهیلا نقش آرا [۱]، منصور مطلوبی *[۲]، علیرضا مطلبی آذر [۲]، مینا امانی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-دانشجوی دکتری گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: گیاهان برگساره ای گروه بزرگی از گیاهان آپارتمانی هستند که بخاطر داشتن برگ های زیبا مورد توجه عموم مردم هستند. گیاه زامیوفیلیا (*Zamioculcas zamiifolia*) به‌عنوان یک گیاه زینتی با ارزش از این گروه شناخته می شود. ازدیاد تجاری این گیاه به کمک قلمه های برگی است. طولانی بودن زمان تکثیر یکی از موانع اصلی در ازدیاد تجاری این گیاه به شمار می رود. یافتن راهکارهای مناسب برای رفع این مشکل می تواند بسیار ارزشمند باشد. استفاده از کیفیت مناسب نور در ازدیاد قلمه برگی شاید بتواند به حل این مشکل کمک کند.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتور اول شامل نوع قلمه در سه سطح: ۱- قلمه‌های برگچه‌ای کامل ۲- قلمه‌های برگچه‌ای همراه دو سانتی‌متر از نصف دمبرگ ۳- قلمه برگچه‌ای شامل نصف برگچه با برش طولی از محل رگبرگ اصلی بود. فاکتور دوم کیفیت نور شامل نورهای قرمز (۶۵۰ نانومتر)، آبی (۴۶۰ نانومتر)، بنفش (۴۰۰ نانومتر) و سفید بود. برگچه ها از بخش میانی یک برگ بالغ از گیاه مادری در حال رشد بدست آمدند. شدت نور مورد استفاده در تمامی تیمارها ۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه تنظیم شد. اندازه‌گیری صفات طول و عرض ریزوم، تعداد ریزوم و ریشه، میانگین ریشه، شاخص کلروفیل در زمان‌های ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ روز از کاشت انجام شد.

یافته‌ها: نمونه برگچه با دمبرگ در طول سه زمان بیشترین طول ریزوم را نشان داد که از ۱۶/۲۷ میلی‌متر در ۸۰ روز به ۲۲/۴ میلی‌متر در ۱۴۰ روز رسید. همچنین، نور بنفش و نمونه برگچه کامل بیشترین عرض ریزوم را تولید کردند. نمونه برگچه کامل در تمامی شرایط نوری بیشترین تعداد ریشه را تولید کرد. نمونه نصف برگچه کمترین تعداد و کوتاهترین ریشه ها را تولید کرد. نور بنفش به‌عنوان مؤثرترین نور در افزایش راندمان تکثیر شناسایی شد. بعد از نور بنفش تاثیر نور قرمز در راندمان تکثیر بیشتر از نور سفید و آبی بود. نور سفید بیشترین میزان شاخص کلروفیل را در دو زمان آخر اندازه‌گیری نشان داد.کمترین میزان شاخص کلروفیل در نور بنفش و در نمونه نصف برگچه مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از نور بنفش می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر در افزایش تولید ریزوم و ریشه در این گیاه زینتی مورد توجه قرار گیرد.قلمه های نصف برگچه برای افزایش تعداد ریزوم ها و درنتیجه افزایش شمار گیاهان تولیدی کارآیی بیشتری دارند هرچند در مراحل اول کیفیت ریشه های تولیدی آنها پایین است.

واژه‌های کلیدی: تکثیر غیرجنسی، گیاهان برگساره ای، جهت برش قلمه، نور مصنوعی، نور ال ای دی

مقدمه

گیاهان برگساره‌ای گیاهانی هستند که برگ‌هایشان جذاب‌تر از گل یا میوه‌شان می‌باشد. به‌طورکلی از نظر باغبانی، گیاهانی برگساره‌ای گیاهانی هستند که شاخ و برگ و گل‌های جذاب داشته و قادر به زنده‌ماندن و رشد در داخل خانه یا آپارتمان می‌باشند. از این رو به آن‌ها گیاهان آپارتمانی نیز می‌گویند. زاموفیلیا (*Zamioculcas Zamiifolia*) ظاهر منحصربه‌فردی از نظر زینتی دارد. به‌خاطر برگ‌های براق و زیبایش، توانایی رشد در شرایط نور کم و تحمل آن به تنش خشکی نیز ارزشمند است (سولقی و همکاران ۲۰۲۵). نگهداری زاموفیلیا راحت است و برگ‌ها و ساقه‌های جدید در محیط‌هایی با نور داخلی کم رشد کرده و می‌تواند در محدوده نور کمتر از ۴ میکرومول بر مترمربع در ثانیه تا ۱۶ میکرومول بر مترمربع در ثانیه برای چهار ماه بدون توقع زیاد آبی رشد کرده و زنده بماند. هرچند گیاهان در شدت نور کم آهسته‌تر رشد می‌کنند، ولی فرم کلی و شکل آن از نظر زیبایی‌شناسی جذاب به‌نظر می‌رسد. زاموفیلیا به‌طور عمده به‌صورت رویشی و از طریق تقسیم ریزوم یا قلمه‌های برگ و دمبرگ تکثیر می‌شود. همچنین باتوجه‌به اینکه گلدهی این گیاه و تولید بذر در شرایط خاص رطوبت و دما و رشد مناسب روی می‌دهد. ازجمله روش‌های تکثیر سریع این گیاه استفاده از روش‌های رویشی قلمه‌های برگی و کشت بافت می‌باشد (تونقخام و فاوافوتانون ۲۰۱۸). باتوجه‌به زمان طولانی و پرهزینه کشت بافت برای تکثیر سریع و بازاررسانی اقتصادی‌تر این گیاه در مقیاس‌های تجاری توجه ویژه‌ای به قلمه‌های برگچه‌ای شکل‌های مختلف قلمه‌ها و تیمارهای مختلف جهت افزایش تولید ریشه و ریزوم در این گیاه موردتوجه و بررسی محققان مختلف قرار گرفته است (سنویراتنه و همکاران ۲۰۱۳). در آزمایشی که با هدف بهبود روش سریع تکثیر زاموفیلیا انجام گرفت، ۶ نوع قلمه از این گیاه برداشت شد که شامل برگچه قاعده بدون محور برگ، دو برگچه قاعده با محور برگ، برگچه‌های میانی بدون محور برگ، دو برگچه میانی با محور برگ، برگچه انتهایی بدون محور برگ و دو برگچه انتهایی با محور برگ بودند که نتایج نوع نمونه برگی نشان داد که برگچه‌های قاعده‌ای بدون محور برگ دارای بیشترین میزان کالوس بودند. بیشترین تعداد ریشه نیز از نمونه‌های فاقد محور برگ به دست آمد (سنویراتنه و همکاران ۲۰۱۳). در یک آزمایش مشابه و کامل تر ریشه‌دهی و تشکیل ریزوم از موقعیت‌های مختلف برگچه‌ها که شامل انتهایی، میانی و قاعده‌ای استفاده شد و در این قسمت‌ها نیز برگچه‌ها به صورت کامل، نصف برگچه و کمتر از نصف برگچه مورد استفاده قرار گرفت. هر سه نوع قلمه تهیه شده از قسمت‌های مختلف برگچه ریشه‌دهی و تشکیل ریزوم ۹۰ تا ۱۰۰ درصدی را داشتند و اندازه ریزوم و تعداد ریشه‌ها در قلمه تمام برگچه از بقیه قلمه بیشتر بود (تونگ‌خام و پاواپوتانون ۲۰۱۸).

با نوآوری در تولید لامپ‌های LED، فرصت‌های جدیدی برای کشت گیاهان زینتی در محیط‌های کنترل‌شده و مطالعه تأثیر طول موج‌های نوری بر گیاهان فراهم شده است (سیف و همکاران ۲۰۱۸؛ حیدری‌زاده و همکاران ۲۰۱۴). مزیت‌های این سیستم‌ها شامل کنترل طیف نوری، طول عمر طولانی، سطوح خنک تابشی و اندازه کوچک است (رشیدی و همکاران ۲۰۲۰: مولمان و همکاران ۲۰۲۱). معرفی نور LED به کشاورزی در دهه گذشته تحولی در تولید محصولات باغبانی ایجاد کرده و به‌عنوان منبع نور قابل تنظیم برای کنترل کیفیت دانهال استفاده می‌شود (اکبریان و همکاران ۲۰۱۶). نور آبی و قرمز تأثیر زیادی بر فتوسنتز و رشد گیاهان دارد. گیاهانی که تحت ترکیبی از این دو نور رشد می‌کنند، فتوسنتز بیشتری نسبت به گیاهانی که فقط تحت نور قرمز هستند، دارند (مارتینز-مورنو و همکاران ۲۰۲۱). همچنین، در بررسی‌های مختلف، نشان داده شده است که نور آبی باعث افزایش میزان کلروفیل و رشد بهتر ریشه‌ها می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۲۳؛ لیم و ایم ۲۰۱۳). سینگ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی کارایی فنی و اقتصادی استفاده از لامپ‌های LED در گلخانه‌های آلمان پرداختند و نتیجه گرفتند که این نوع لامپ‌ها در مقایسه با لامپ‌های سدیمی در بلندمدت اقتصادی بوده و هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهند. در گیاه

آنتوریوم کاربرد نور قرمز، القاء توسعه کالوس و نور آبی باززایی شاخساره را نشان داده است (بادیستا و همکاران ۲۰۱۸). در بررسی قلمه‌های گیاه ریحان نشان داده شد که تأثیر نور تک طیف آبی رنگ روی قلمه‌ها وتشکیل ریشه واستقرار سریع گیاه حاصل از قلمه در این گیاه سه برابر بیشتر از تاثیر نور طبیعی بود و همچنین در ادامه گیاهانی که در معرض نور آبی قرار گرفتند باعث شد برگ‌های پیر اتیوله شده رنگ خود را از دست بدهند (لیم و اووم ۲۰۱۳). در آزمایشی که روی گیاه آرتیشو صورت گرفت، تأثیر نورهای LED قرمز و آبی روی نشاءها بررسی شد و نشان داد که نشاءهایی که زیر نور قرمز رشد کرده بودند ۶۰ تا ۱۰۰ درصد وزن خشک و تر ساقه بیشتری داشتند (رابارا و همکاران ۲۰۱۷). با توجه به اهمیت گیاه زاموفیلیا به‌عنوان یک گیاه زینتی و افزایش تقاضای بازار برای آن، نیاز به تحقیق در مورد عوامل مؤثر در ریشه‌زایی و تولید ریزوم‌های سریع‌الاستقرار احساس می‌شود. بنابراین، طراحی و پیشنهاد آزمایش‌های مرتبط با این گیاه به‌منظور استفاده از نورهای مصنوعی، ضروری و جذاب به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش

این آزمایش در آزمایشگاه گل و گیاهان زینتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد.

طرح آزمایشی و فاکتورهای مورد بررسی

این آزمایش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار طراحی شد. که فاکتور اول نوع قلمه در سه سطح قلمه‌های برگچه‌ای کامل – قلمه‌های برگچه‌ای همراه دو سانتی‌متر از دمبرگ که از درازا نصف شده و درنهایت قلمه برگچه‌ای که شامل نصف برگچه با برش طولی از محل رگبرگ اصلی تهیه شده است (شکل ۱) فاکتور دوم کیفیت نور شامل نورهای قرمز، آبی، سفید و بنفش بود.

شکل ۱- قلمه‌های برگچه‌ای با دو سانتی متر از دمبرگ - قلمه‌های برگچه‌ای کامل - قلمه برگچه‌ای شامل نصف برگچه با برش طولی از محل رگبرگ اصلی

ترکیب نوری

منبع نوری مورداستفاده نور LED با شدت ۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه بود. نورها شامل نورهای قرمز، آبی، سفید و بنفش بود. مدت زمان تیمارهای نوری ۱۶ ساعت و ۸ ساعت تاریکی با استفاده از تایمرهای زمان‌بندی شده استفاده گردید. برای تهیه ترکیبات نوری یاد شده از لامپ‌های (شرکت LIGHT SENYANG)با طیف سفید (طول موج نامشخص)، طیف قرمز (۶۵۰ نانومتر)، طیف آبی (۴۶۰ نانومتر) و بنفش (۴۰۰ نانومتر) به تعداد ۴۰۰ عدد استفاده شد که روی صفحات پلکسی گلاس نصب شدند. لامپ‌های LED در محفظه‌های بسته و به ابعاد ۹۰ سانتی‌متر طول و ۸۰ سانتی‌متر عرض مورداستفاده قرار گرفت و شرایطی یکسان از نظر دما در تمامی محفظه‌ها ایجاد شد.

تهیه بستر کشت

در این آزمایش برای کشت قلمه‌ها از بستر کشت حاوی ۵۰ درصد پیت ماس و ۵۰ درصد پرلایت استفاده شد. دمای محیط بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد بود. آبیاری بسته به نیاز بستر روزانه کنترل و در صورت نیاز انجام شد.

صفات موردنظر برای اندازه‌گیری

طول و عرض ریزوم: قطورترین قسمت ریزوم در طول و عرض با استفاده از کولیس در سه تاریخ ۸۰ روز بعد از قلمه‌زنی در مرحله بعدی ۱۱۰ روز بعد از قلمه‌زنی و نهایتاً ۱۴۰ روز بعد از قلمه‌زنی اندازه‌گیری شد.

تعداد ریشه و ریزوم: تعداد ریشه‌های تشکیل شده از هر ریزوم نیز در سه زمان ذکرشده در بالا شمارش شد و همچنین تعداد ریزوم تشکیل شده در همان بازه‌های زمانی شمارش شد.

شاخص کلروفیل: این شاخص با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Minolta. 550, SPAD, Japan) در سه زمان مشخص ۸۰ و ۱۱۰ و ۱۴۰ روزه از قلمه‌زنی اندازه‌گیری و ثبت شد.

طول و تعداد ریشه: قلمه‌ها هر سه روز یکبار مورد بازدید و آبیاری قرار گرفتند و زمان ظهور اولین ریشه و ریزوم ثبت شد. نهایتاً در سه تاریخ مشخص ۸۰ و ۱۱۰ و ۱۴۰ روز بعد از قلمه‌زنی میانگین طول ریشه و تعداد ریشه‌های ایجاد شده از هر ریزوم محاسبه شد. طول ریشه‌ها با استفاده از کولیس از محل اتصال به ریزوم تا نوک ریشه در بازه‌های زمانی ۸۰ و ۱۱۰ و ۱۴۰ روزه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

تجزیه‌و تحلیل داده‌ها

ابتدا آزمون نرمال‌بودن داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.3) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel) استفاده شد.

نتایج و بحث

طول، عرض و تعداد ریزوم

نتایج تجزیه واریانس طول ریزوم پس از ۸۰ روز از کشت و اعمال تیمارهای نوری نشان داد که برهمکنش منبع نوری و نوع نمونه معنی‌دار نشد و از بین اثرات ساده نور و نوع ریزنمونه، فقط نوع ریزنمونه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)، همچنین، نتایج تجزیه واریانس صفت طول ریزوم در زمان‌های ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از کاشت، مشابه نتایج به‌دست‌آمده در ۸۰ روز پس از کاشت بود (جدول ۲ و ۳، شکل ۲). نوع نمونه گیاه زاموفیلیا برای صفت طول ریزوم تشکیل شده تأثیر مستقیم داشت، به‌طوری‌که نمونه برگچه با دمبرگ در طول هر سه زمان اندازه‌گیری شده بیشترین طول را نشان داد و با گذشت زمان از ۱۶/۲۷ میلی‌متر در زمان اول به ۲۲/۴ میلی‌متر در زمان سوم (۱۴۰ روز پس از کاشت) رسید. نمونه برگچه کامل با نصف برگچه نیز با گذشت زمان افزایش طول را در ریزوم نشان دادند. همچنین باتوجه‌به شکل ۲ مشاهده می‌شود که نمونه‌های برگچه کامل با نصف برگچه تفاوت زیادی در طول ریزوم ندارند. در طی آزمایشی که در مورد موقعیت و اندازه برگچه گیاه زاموفیلیا انجام پذیرفت مشخص شد که اندازه ریزوم در قلمه‌های برگچه کامل نسبت به قلمه نصف برگچه بزرگتر بودند که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد، به‌طوری‌که در تحقیق حاضر، نمونه برگچه کامل همراه با دمبرگ به‌عنوان نمونه قلمه‌ای که تاکنون بررسی صورت نپذیرفته بود به‌عنوان نمونه قلمه مناسب برای تولید بهتر ریزوم زاموفیلیا مشخص شد. در مطالعه‌ای مشخص شد که هر سه نوع قلمه تهیه شده دارای میزان تولید ریزوم و ریشه نابجای ۹۰ تا ۱۰۰ درصد بودند که به‌طورکلی یک عدد ریزوم در هر نمونه قلمه ایجاد نمودند .با گذشت زمان از کاشت نمونه‌ها، طول ریزوم‌ها در نوع ریزنمونه به‌طور قابل توجهی از یکدیگر فاصله می‌گیرند. این پدیده نشان‌دهنده تأثیر زمان بر رشد و توسعه ریزوم‌ها است. به‌طوری که در زمان آخر یادداشت‌برداری، تفاوت‌های بیشتری در طول ریزوم‌ها مشاهده می‌شود. این اختلافات می‌تواند ناشی از عوامل

مختلفی باشد، از جمله شرایط محیطی، نوع خاک، میزان آبیاری و نور دریافتی. به‌عنوان مثال، در شرایط بهینه، ریزوم‌ها می‌توانند به‌طور مؤثرتری رشد کنند و طول بیشتری پیدا کنند. در مقابل، در شرایط نامناسب، مانند کمبود نور یا رطوبت، رشد ریزوم‌ها ممکن است محدود شود و فاصله بین آن‌ها کاهش یابد. همچنین، نوع ریزنمونه‌ها نیز می‌تواند بر این روند تأثیر بگذارد، به‌طوری‌که برخی از انواع ریزنمونه‌ها به‌طور طبیعی تمایل به رشد سریع‌تر و تولید ریزوم‌های بلندتر دارند (تونگکام و فاوافوتانون ۲۰۱۸). چنانچه مشاهده می‌شود در تاریخ آخر اندازه‌گیری طول ریزوم در نصف برگچه، برگچه کامل و برگچه با دمبرگ به‌ترتیب ۱۳، ۱۶/۴ و ۲۲/۴ میلی‌متر بودند.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده بعد از ۸۰ روز از کاشت در نورهای مصنوعی مختلف و نوع قلمه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول ریزوم	عرض ریزوم	تعداد ریزوم	تعداد ریشه	طول ریشه	میانگین ریشه	کلروفیل
نور مصنوعی	۳	۴/۵^{ns}	۲۶/۴**	۱/۳^{ns}	۲۴/۹**	۲۷۷**	۸۴**	۱۹۷/۱*
نوع نمونه	۲	۳۱/۷**	۱۷۷/۱**	۱۵/۷**	۱۰۳/۵**	۶۵۱/۶**	۲۱۵/۸**	۶۹/۸^{ns}
نور مصنوعی × نوع نمونه	۶	۳۲/۴^{ns}	۴/۱^{ns}	۱/۳^{ns}	۶/۷**	۷۳/۳**	۲۷/۲**	۱۲۷/۶*
خطا	۴۶	۲۳/۸	۰/۵	۰/۸	۱/۳	۱۶	۸/۷	۴۶/۸
ضریب تغییرات (٪)		۲۶/۸	۳۱/۳	۳۳/۳	۲۴/۶	۲۷/۹	۳۳/۵	۳۰/۳

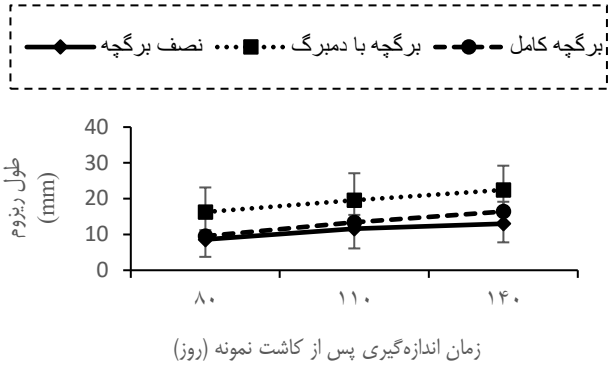
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده بعد از ۱۱۰ روز از کاشت در نورهای مصنوعی مختلف و نوع قلمه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول ریزوم	عرض ریزوم	تعداد ریزوم	تعداد ریشه	طول ریشه	میانگین ریشه	کلروفیل
نور مصنوعی	۳	۶/۵^{ns}	۳۴/۲**	۱/۷^{ns}	۲۸/۳**	۱۱۳۳/۷**	۳۷۶/۲**	۱۸۴/۹*
نوع نمونه	۲	۳۱۵/۵**	۴۸۶/۶**	۱۷/۸**	۸۶/۱**	۳۶۳۱**	۱۲۵۵/۱**	۳۶۶/۷**
نور مصنوعی × نوع نمونه	۶	۲۷/۹*	۱۶/۹*	۱/۷^{ns}	۳/۴^{ns}	۳۲۳/۶*	۵۵/۵^{ns}	۲۶/۱^{ns}
خطا	۴۶	۳۱/۱	۷/۴	۱/۲	۵/۷	۹۳/۱	۳۸/۸	۶/۳
ضریب تغییرات (٪)		۳۱/۳	۲۹/۵	۳۱/۸	۲۷/۲	۳۰/۶	۳۲/۶	۳۱/۶

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده بعد از ۱۴۰ روز از کاشت در نورهای مصنوعی مختلف و نوع قلمه

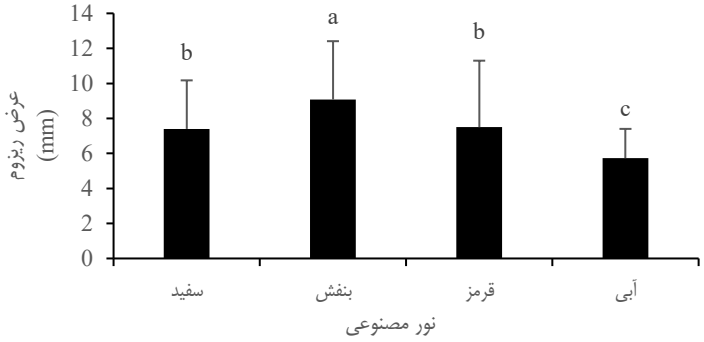
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول ریزوم	عرض ریزوم	تعداد ریزوم	تعداد ریشه	طول ریشه	میانگین ریشه	کلروفیل
نور مصنوعی	۳	۲۶/۹^{ns}	۹۴/۴**	۰/۶^{ns}	۱۳/۲^{ns}	۱۶۲۶**	۸۱۷۷۵۰/۳^{ns}	۱۸۶/۹*
نوع نمونه	۲	۴۲۶/۲**	۹۹۰/۱**	۱۶/۷**	۱۱۳/۷**	۸۷۴۳**	۷۱۷۷۲۲/۵^{ns}	۳۵۶/۶**
نور مصنوعی × نوع نمونه	۶	46^{ns}	۳۱/۱*	۰/۶^{ns}	۸/۴^{ns}	۲۳۷^{ns}	۶۵۹۶۳۶/۵^{ns}	۳۶/۹^{ns}
خطا	۴۶	۲۳/۸	۱۱/۵	۱	۶/۵	۲۳۷/۳	۴۷/۹	۴۷/۹
ضریب تغییرات (٪)		۲۸/۸	۳۱/۱	۳۲/۳	۳۰/۴	۲۹/۷	۳۲/۸	۲۹/۳

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

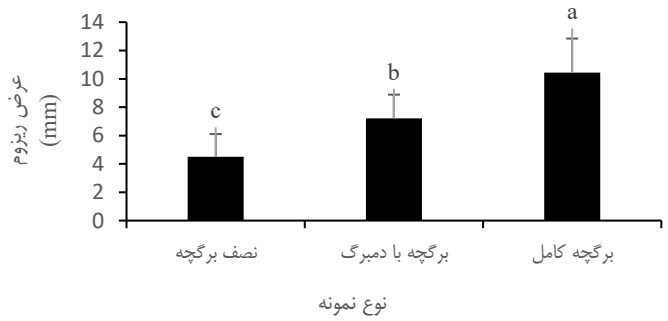


شکل ۲- تأثیر نوع نمونه در طول سه زمان اندازه‌گیری شده بر طول ریزوم

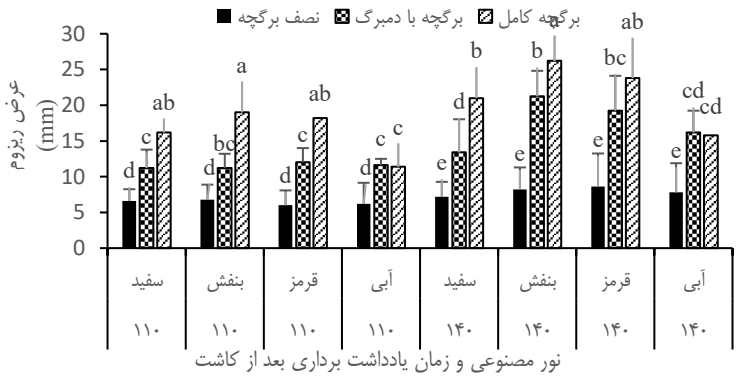
براساس نتایج تجزیه واریانس زمان‌های ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از کاشت نمونه‌های به‌دست‌آمده، که در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند، مشخص شد که صفت عرض ریزوم در زمان اول یادداشت‌برداری (۸۰ روز) در فاکتورهای نور و نوع ریزنمونه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با این حال، اثر متقابل این دو فاکتور در این زمان معنی‌دار نشد. در زمان‌های دوم و سوم (۱۱۰ و ۱۴۰ روز)، نتایج مشابهی مشاهده شد، به‌طوری که علاوه بر فاکتورهای ساده که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، برهمکنش آن‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. این نتایج نشان‌دهنده این است که تأثیرات نور و نوع ریزنمونه بر عرض ریزوم در مراحل مختلف رشد گیاه به‌طور متفاوتی عمل می‌کند. تحلیل اثر نور مصنوعی بر شکل‌گیری عرض ریزوم نشان داد که طیف نور بنفش با میانگین ۹/۰۷ میلی‌متر، بیشترین عرض ریزوم را ایجاد کرد و با سایر نورها تفاوت معنی‌داری داشت. همچنین، نور سفید و قرمز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما با نور آبی که کمترین مقدار عرض ریزوم را داشت، تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (شکل ۳). این یافته‌ها نشان می‌دهد که نور بنفش به‌طور خاص تأثیر مثبتی بر رشد عرض ریزوم دارد و می‌تواند به‌عنوان یک منبع نوری مؤثر در فرآیند رشد گیاهان استفاده شود. در بررسی فاکتور نوع نمونه، که در شکل ۴ نشان داده شده است، هر سه نوع نمونه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار را نشان دادند. در این مورد، نمونه برگچه کامل با میانگین ۱۰/۴۵ میلی‌متر، بیشترین عرض ریزوم را تولید کرد، در حالی که نمونه نصف برگچه کمترین عرض ریزوم را با میانگین ۴/۵۰ میلی‌متر به‌دست آورد. این نتایج نشان‌دهنده این است که نوع ریزنمونه تأثیر قابل توجهی بر رشد ریزوم دارد و نمونه برگچه کامل به‌عنوان بهترین گزینه برای تولید عرض ریزوم شناخته می‌شود. در مقایسه میانگین عرض ریزوم در زمان‌های ۱۱۰ و ۱۴۰ روز بعد از کاشت، مشخص شد که نمونه برگچه کامل همچنان بیشترین عرض ریزوم را نشان می‌دهد، در حالی که نمونه نصف برگچه کمترین عرض را داشت. در زمان ۱۴۰ روز بعد از کاشت، در نمونه برگچه کامل، نور بنفش بیشترین عرض ریزوم را با میانگین ۲۶/۲۰ میلی‌متر تولید کرد، در حالی که در نمونه نصف برگچه، نورهای مختلف مورد استفاده در عرض ریزوم تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. این نتایج به‌وضوح نشان‌دهنده تأثیرات مختلف نور بر روی رشد ریزوم‌ها در زمان‌های مختلف است (شکل ۵). در یک بررسی دقیق‌تر از سه نوع قلمه برگ از سه بخش مختلف (انتها، میانی و قاعده)، مشخص شد که بیشترین عرض ریزوم مربوط به نمونه کل برگچه است. در مقابل، نصف برگچه قسمت بالایی و نصف برگچه قسمت پایینی عرض ریزوم کمتری را نشان دادند. در تحقیق انجام‌شده، عرض ریزوم کل برگچه در هر سه بخش مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و به‌ترتیب در بخش‌های انتها، میانی و قاعده به مقادیر ۱/۲۴، ۱/۳۳ و ۱/۳۶ سانتی‌متر به‌دست آمد. کمترین عرض ریزوم نیز مربوط به نمونه نصف برگچه قسمت بالایی بود که به‌ترتیب در بخش‌های انتها، میانی و قاعده به مقادیر ۰/۷۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۶ سانتی‌متر رسید (تونگکام و فاوافوتانون ۲۰۱۸).



شکل ۳- میانگین عرض ریزوم در زمان ۸۰ روز پس از کاشت نمونه در نورهای مصنوعی



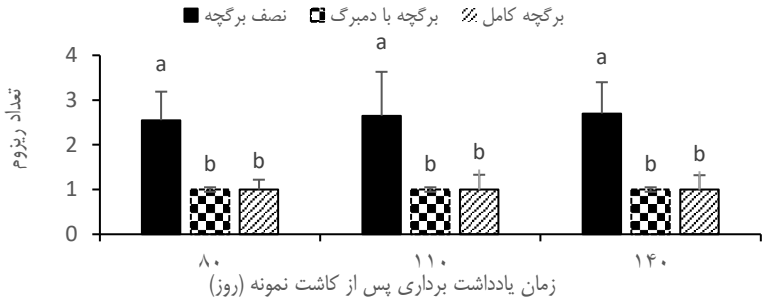
شکل ۴- میانگین عرض ریزوم در زمان ۸۰ روز پس از کاشت در سه نوع نمونه



شکل ۵- متوسط عرض ریزوم در دو زمان ۱۱۰ و ۱۴۰ روز بعد از کاشت سه نوع نمونه زیر نورهای مصنوعی

با تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه واریانس صفت ریزوم در سه زمان یادداشت‌برداری، مشخص شد که تنها فاکتور نوع نمونه دارای تأثیر معنی‌دار بود. در مقابل، اثر ساده نور مصنوعی و همچنین برهمکنش اثرات ساده، هیچ‌یک به‌طور معنی‌دار تأثیر نداشتند (جداول ۱، ۲ و ۳). این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که نوع نمونه در تعیین تعداد ریزوم‌ها نقش کلیدی دارد و شرایط نوری و برهمکنش‌های آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر روی این صفت نداشته‌اند. نتایج مقایسه میانگین نوع نمونه در سه زمان یادداشت‌برداری نشان داد که بیشترین تعداد ریزوم در نمونه نصف برگچه به‌دست آمد. در حالی که نمونه‌های برگچه همراه با دمبرگ و برگچه کامل هرکدام تنها یک ریزوم تولید کردند و بین آن‌ها نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد

که نوع ریزنمونه تأثیر مستقیمی بر تعداد ریزوم‌ها دارد و نمونه نصف برگچه به‌عنوان بهترین گزینه برای تولید ریزوم‌ها شناخته می‌شود. جالب است که با گذشت زمان از ۸۰ روز تا ۱۴۰ روز، افزایش تعداد ریزوم‌ها مشاهده نشد. این امر نشان‌دهنده این است که زمان ۸۰ روز پس از کاشت نمونه‌ها بهترین زمان برای تولید تعداد ریزوم می‌باشد. به‌عبارت دیگر، در این مرحله از رشد، گیاهان به بهترین شکل ممکن به شرایط محیطی پاسخ داده و بیشترین تعداد ریزوم را تولید کردند. در یک مطالعه مشابه در مورد تأثیر فتوپریود و نوع قلمه در گیاه زاموفیلیا، مشخص شد که دوره فتوپریود ۱۶ ساعته زیر نور مصنوعی فلورسنت سفید نسبت به دوره فتوپریود ۹ ساعته، تعداد ریزوم‌های بیشتری را تولید می‌کند. همچنین، قلمه‌های انتهایی نسبت به قلمه‌های قاعده، تعداد ریزوم بیشتری را به‌دست آوردند (لوپز و همکاران، ۲۰۰۷). این نتایج تأکید می‌کند که شرایط نوری و نوع قلمه می‌توانند به‌طور قابل توجهی بر روی رشد و توسعه ریزوم‌ها تأثیر بگذارند.

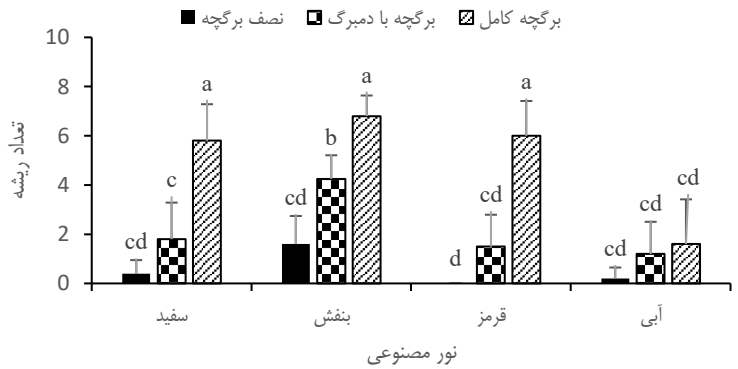


شکل ۶- میانگین تعداد ریزوم در سه زمان ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ روز بعد از کاشت در سه نوع نمونه

تعداد، طول و میانگین ریشه

در زمان یادداشت‌برداری اول (۸۰ روز پس از کاشت)، تعداد ریشه در اثرات ساده و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه شرایط نوری و نوع نمونه بر روی رشد ریشه‌ها در مراحل اولیه رشد گیاه است. با این حال، در یادداشت‌برداری نهایی (۱۴۰ روز پس از کاشت)، تنها فاکتور ساده نوع نمونه معنی‌دار بود (جدول ۳)، که می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در مراحل بعدی رشد، نوع ریزنمونه تأثیر بیشتری بر روی تعداد ریشه‌ها دارد و تأثیرات نوری به‌طور نسبی کاهش یافته است. در اندازه‌گیری صفت ریشه، نمونه برگچه کامل در تمامی نورهای مورد استفاده به‌جز نور آبی، بیشترین تعداد ریشه را تولید کرد (شکل ۷). این یافته‌ها نشان می‌دهد که نمونه برگچه کامل به‌عنوان یک ریزنمونه مؤثر در شرایط نوری مختلف عمل می‌کند و می‌تواند به‌طور بهینه به تولید ریشه‌ها کمک کند. در بررسی تعداد ریشه در دو زمان ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از کاشت نمونه‌ها، مشاهده شد که در هر دو زمان، نمونه برگچه کامل بیشترین تعداد ریشه را ایجاد کرد و در زمان ۱۱۰ روز پس از کاشت، هر سه نمونه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار را نشان دادند. این نتایج تأکید می‌کند که نمونه برگچه کامل به‌عنوان بهترین گزینه برای تولید ریشه‌ها در این شرایط شناخته می‌شود. در یک مطالعه مشابه، مشخص شد که از میان سه نوع نمونه قلمه شامل برگچه کامل، نصف برگچه قسمت بالایی و نصف برگچه قسمت پایینی، قلمه برگچه کامل با تولید شش ریشه در هر نمونه، تعداد ریشه بیشتری نسبت به نصف برگچه قسمت بالایی (سه ریشه در هر نمونه) و نصف برگچه قسمت پایینی (پنج ریشه در هر نمونه) تولید کرد. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد و به‌طور کامل تأیید می‌کند که نمونه برگچه کامل می‌تواند به‌عنوان قلمه مناسب برای تکثیر گیاهان انتخاب شود

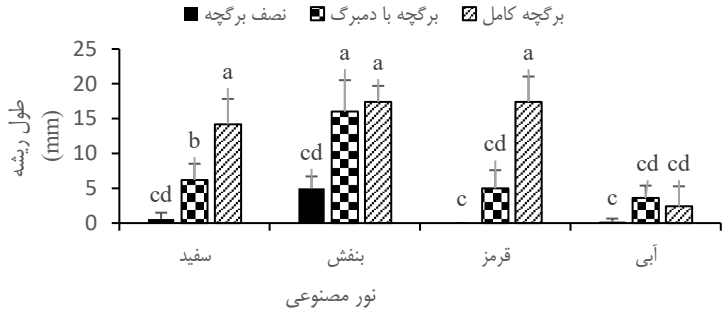
(تونگکام و فاوافوتانون، ۲۰۱۸). در پژوهش حاضر، تأثیر کیفیت نور بر روی نوع قلمه‌های گیاه زاموفیلیا نیز مشخص گردید. نتایج نشان داد که نور بنفش در درجه اول و نورهای قرمز و سفید در گزینه‌های بعدی برای افزایش راندمان تکثیر مناسب هستند. این یافته‌ها اهمیت انتخاب نوع نور مناسب در فرآیند تکثیر گیاهان را تأکید می‌کند و می‌تواند به بهبود روش‌های پرورش گیاهان کمک کند. در یک آزمایش دیگر که تحت شرایط نور مصنوعی و دماهای مختلف برای گیاه کلم قمری انجام شد، مشاهده گردید که نور قرمز دور (۷۳۰ نانومتر) نسبت به سایر نورهای مصنوعی، تأثیر بیشتری بر توسعه برگ‌ها و ریشه‌ها داشت. با این حال، میزان گلوکوزینات در تیمارهای مختلف نوری به‌طور معنی‌دار تغییر نکرد (مولمان و همکاران، ۲۰۲۱). این نتایج نشان‌دهنده این است که نور قرمز می‌تواند به‌عنوان یک منبع نوری مؤثر در رشد و توسعه گیاهان عمل کند، هرچند که تأثیر آن بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی گیاهان ممکن است کمتر باشد.



شکل ۷- میانگین تعداد ریشه در زمان ۸۰ روز بعد از کاشت سه نوع نمونه زیر نورهای مصنوعی مختلف

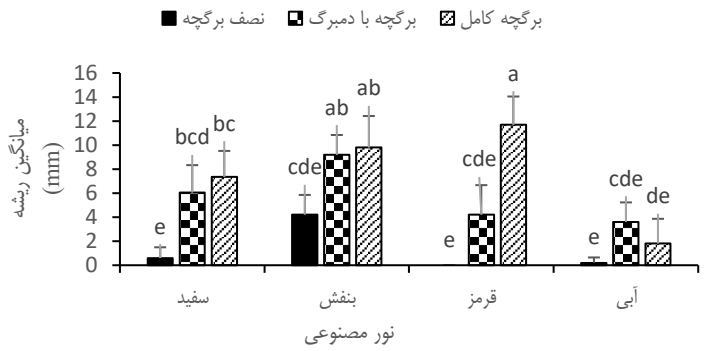
با بررسی جدول‌های تجزیه واریانس ۱ و ۲ که مربوط به زمان‌های اول و دوم یادداشت‌برداری هستند، مشخص شد که فاکتورهای نور و نوع نمونه و همچنین برهمکنش آن‌ها در هر دو زمان معنی‌دار بوده‌اند. اما در زمان یادداشت‌برداری سوم، که ۱۴۰ روز پس از کاشت انجام شد، تنها فاکتورهای ساده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند و برهمکنش آن‌ها به‌طور معناداری تأثیر نداشت (جدول ۳). این تغییرات در نتایج می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در مراحل مختلف رشد گیاه، تأثیرات نور و نوع نمونه بر روی صفات مختلف به‌طور متفاوتی عمل می‌کنند. برهمکنش نور و نوع نمونه در طول ریشه پس از ۸۰ روز از کاشت نمونه‌ها نشان داد که نمونه برگچه کامل در زیر نورهای سفید، بنفش و قرمز، بیشترین طول ریشه را تولید کرد. به‌علاوه، مشابه با نتایج قبلی، نور آبی کمترین تأثیر را در تشکیل اندام‌های زمینی ریشه و ریزوم گیاه پدیلانتوس (Pedilanthus tithymaloides) داشت (شکل ۸). در این شکل، در زیر نور بنفش، بین نمونه‌های برگچه کامل و برگچه همراه با دمبرگ تفاوتی در طول ریشه مشاهده نشد، اما در زیر نورهای سفید و قرمز، تفاوت واضحی بین این دو نمونه وجود داشت. در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ روز پس از اولین یادداشت‌برداری، در طول ریشه نمونه‌های برگچه کامل و برگچه همراه با دمبرگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با این حال، این دو نمونه با نمونه نصف برگچه تفاوت معنی‌دار را نشان دادند، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت نمونه‌های کامل بر رشد ریشه‌ها است. به‌طور کلی، در طول سه زمان یادداشت‌برداری، روند افزایشی در طول ریشه مشاهده شد، که نشان‌دهنده بهبود مستمر در رشد ریشه‌ها در پاسخ به شرایط نوری مختلف است. در یک بررسی دیگر که بر روی تشکیل ریشه گیاه ریحان تحت

شرایط نورهای مصنوعی انجام شد، مشاهده گردید که نور آبی برای تشکیل ریشه تأثیر قابل توجهی دارد. در این مطالعه، مشخص شد که استقرار ریشه‌ها در شرایط نور آبی نسبت به نور طبیعی خورشید سه مرتبه سریع‌تر انجام می‌شود (لیم و ایم، ۲۰۱۳). این نتایج نشان می‌دهد که تأثیر نور بر رشد ریشه‌ها می‌تواند بسته به نوع گیاه و شرایط نوری متفاوت باشد و اهمیت انتخاب نوع نور مناسب در مراحل مختلف رشد گیاهان را تأکید می‌کند.

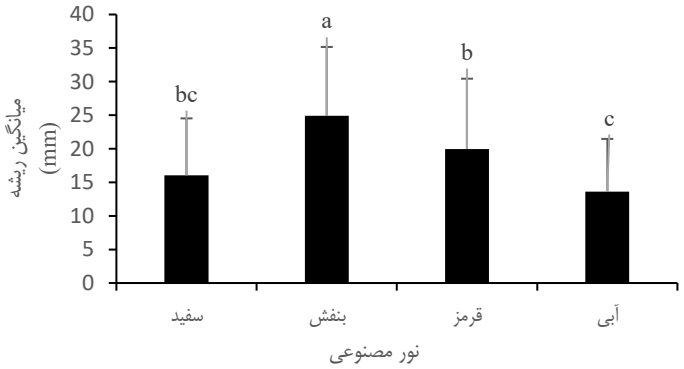


شکل ۸- میانگین طول ریشه در زمان ۸۰ روز بعد از کاشت سه نوع نمونه زیر نورهای مصنوعی مختلف

میانگین ریشه در ۸۰ روز پس از کاشت برای تجزیه واریانس فاکتور نور، نوع ریزنمونه و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه نور و نوع ریزنمونه بر رشد ریشه‌ها در این مرحله از رشد گیاه است. در ۱۱۰ روز پس از کاشت، فاکتورهای نور و نوع ریزنمونه نیز به‌طور معنی‌دار تأثیرگذار بودند، اما اثر متقابل آن‌ها در این مرحله معنی‌دار نشد (جدول ۲). این امر ممکن است نشان‌دهنده این باشد که در این زمان، تأثیر نور بر نوع ریزنمونه‌ها مستقل از یکدیگر عمل می‌کند. در زمان ۱۴۰ روز پس از کاشت، هیچ‌کدام از اثرات ساده و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳)، که ممکن است به دلیل همگن شدن شرایط رشد یا رسیدن به حداکثر پتانسیل رشد در این زمان باشد. نتایج میانگین ریشه در اولین زمان یادداشت‌برداری (۸۰ روز پس از کاشت) نشان داد که نمونه برگچه کامل در زیر نور قرمز با میانگین ۱۱/۶۸ میلی‌متر، بیشترین میانگین ریشه را تولید کرد. این نمونه با نمونه برگچه همراه با دمبرگ در زیر نور بنفش تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌جز نور قرمز، در سایر نورهای مورد استفاده، بین نمونه‌های برگچه کامل و برگچه همراه با دمبرگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه، نمونه نصف برگچه در تمامی شرایط نوری کمترین میانگین ریشه را تولید کرد (شکل ۹)، که نشان‌دهنده تأثیر منفی این نوع نمونه بر رشد ریشه است. اندازه‌گیری میانگین ریشه ۳۰ روز پس از اولین اندازه‌گیری نشان داد که نمونه‌های برگچه کامل و برگچه همراه با دمبرگ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما با نمونه نصف برگچه تفاوت معنی‌دار را نشان دادند. این نتایج تأکید می‌کند که نوع ریزنمونه‌ها نقش مهمی در تأثیر نور بر رشد ریشه‌ها دارند. همچنین، در همین زمان یادداشت‌برداری (۱۱۰ روز پس از کاشت نمونه‌ها)، نتایج تأثیر نورهای مصنوعی نشان داد که رنگ بنفش دوباره بیشترین تأثیر را در تشکیل اندام زیرزمینی داشت، به‌طوری‌که طیف رنگ بنفش بیشترین میانگین ریشه را تولید نمود. این یافته‌ها می‌تواند به این معنا باشد که نور بنفش در مراحل خاصی از رشد گیاه به‌طور مؤثری بر توسعه ریشه‌ها تأثیر می‌گذارد. در این بررسی، نور قرمز نیز با نور سفید تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد، که نشان‌دهنده این است که این دو طیف نوری در این مرحله خاص از رشد تأثیر مشابهی بر روی رشد ریشه‌ها دارند. همچنین، نور آبی کمترین میزان میانگین صفت را ایجاد نمود (شکل ۱۰)، که می‌تواند به تأثیر منفی این نوع نور بر رشد ریشه‌ها اشاره داشته باشد.



شکل ۹- میانگین ریشه در زمان ۸۰ روز بعد از کاشت سه نوع نمونه زیر نورهای مصنوعی مختلف

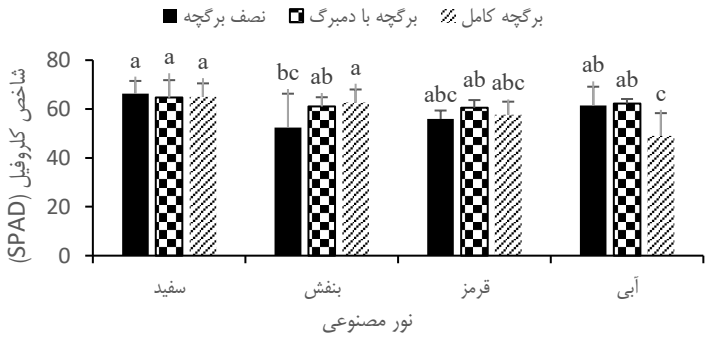


شکل ۱۰- میانگین ریشه در زمان ۱۱۰ روز پس از کاشت نمونه در نورهای مصنوعی مختلف

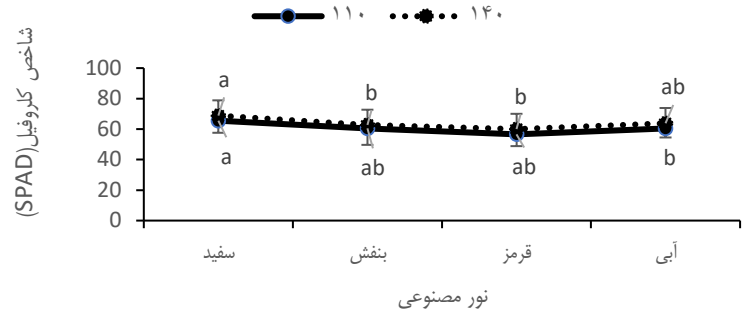
میزان کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در اولین زمان یادداشت‌برداری، فاکتور نور در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل داشت. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت نور به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در فرآیند فتوسنتز و تولید کلروفیل در گیاهان است. درمقابل، فاکتور دوم (نوع نمونه) تأثیر معناداری را نشان نداد، که ممکن است به دلیل عدم تنوع کافی در نمونه‌ها یا شرایط محیطی مشابه باشد. با این حال، اثر متقابل این دو فاکتور در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱)، که نشان‌دهنده این است که تأثیر نور بر میزان کلروفیل ممکن است به نوع نمونه بستگی داشته باشد و این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتر است. در زمان دوم یادداشت‌برداری، تجزیه واریانس برای کلروفیل نشان داد که فاکتور نور و نوع نمونه به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بودند، که این امر تأکید بیشتری بر اهمیت نور در تأثیرگذاری بر میزان کلروفیل دارد. با این حال، برهمکنش آن‌ها به‌طور معناداری تأثیر نداشت (جدول ۲)، که می‌تواند به این معنا باشد که در این مرحله، نوع نمونه تأثیر کمتری بر روی تأثیر نور دارد. نتایج به‌دست‌آمده برای تجزیه واریانس کلروفیل در زمان سوم نیز مشابه نتایج زمان دوم بود (جدول ۳)، که نشان‌دهنده ثبات در تأثیرات مشاهده‌شده است. در اولین زمان اندازه‌گیری، تفاوت‌های قابل توجهی در میزان کلروفیل بین تیمارها مشاهده نشد. به‌طوری‌که در نورهای سفید و قرمز، در هر سه نمونه تفاوت معنی‌داری در میزان کلروفیل ثبت نشد (شکل ۱۱). این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که در مراحل اولیه رشد، گیاهان هنوز به‌طور کامل به شرایط نوری مختلف پاسخ نداده‌اند. با این حال، میزان کلروفیل اندازه‌گیری شده در دو زمان یادداشت‌برداری ۱۱۰ و ۱۴۰ روز پس از کاشت نمونه‌ها نشان داد که در هر دو زمان، نور سفید بالاترین

میزان کلروفیل را دارا بود. این یافته‌ها به وضوح نشان‌دهنده تأثیر مثبت نور سفید بر تولید کلروفیل در گیاهان است. علاوه بر این، در زمان ۱۱۰ روز، بین نورهای سفید، بنفش و قرمز هیچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در زمان ۱۴۰ روز نیز بین نورهای آبی، بنفش و قرمز هیچ تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۱۲). این نتایج می‌تواند به این معنا باشد که در این مراحل خاص، نور سفید به‌عنوان بهترین منبع نوری برای تولید کلروفیل عمل کرده و سایر نورها نتوانسته‌اند به‌طور مؤثری بر روی این فرآیند تأثیر بگذارند. در یک مطالعه انجام شده بر روی گیاه لیسیانتوس، مشخص شد که شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نظیر ارتفاع و قطر بوته، میزان ماده تر و خشک بوته و محتوای کلروفیل تحت تأثیر نور قرار می‌گیرند (رهنمون و همکاران ۲۰۱۴). این نتایج تأکید می‌کند که نور نه تنها بر تولید کلروفیل بلکه بر سایر ویژگی‌های رشد گیاه نیز تأثیر دارد. کلروفیل‌ها رنگدانه‌های بیولوژیکی مهمی هستند که در فرآیند تبدیل مولکول‌های غیرآلی یا یون‌ها به مولکول‌های زیستی آلی نقش اساسی دارند. این رنگدانه‌ها با جذب طول موج‌های خاص نور، می‌توانند مسیر فتوسنتز را در کلروپلاست‌ها هدایت کنند (لی و همکاران ۲۰۲۲). انرژی نوری که توسط مولکول‌های کلروفیل جذب می‌شود، می‌تواند برای هدایت فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد، به گرما تبدیل شود یا به‌عنوان فلورسانس نور کلروفیل دوباره منتشر گردد. این فرآیندها نه تنها به تولید انرژی شیمیایی در گیاهان کمک می‌کنند، بلکه به تنظیم دما و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از تابش بیش از حد نیز کمک می‌کنند. کاهش غلظت کلروفیل ممکن است نشان‌دهنده آسیب ناشی از تابش بیش از حد به رنگدانه‌ها باشد (وانگ و همکاران ۲۰۲۳). این نکته حائز اهمیت است که درک دقیق از تأثیر نور بر میزان کلروفیل می‌تواند به بهینه‌سازی شرایط رشد و توسعه گیاهان زینتی کمک کند و در نهایت منجر به افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی شود. بنابراین، بررسی تأثیرات مختلف نور بر روی گیاهان و درک چگونگی پاسخ آن‌ها به شرایط نوری مختلف می‌تواند به ما کمک کند تا روش‌های بهتری برای پرورش و نگهداری گیاهان زینتی طراحی کنیم و از این طریق به بهبود عملکرد و کیفیت آن‌ها دست یابیم. این تحقیقات می‌توانند به‌ویژه برای کشاورزان و تولیدکنندگان گیاهان زینتی مفید باشند تا با استفاده از نور مناسب، به حداکثر بهره‌وری و کیفیت در محصولات خود دست یابند.



شکل ۱۱- میانگین شاخص کلروفیل در زمان ۸۰ روز بعد از کاشت سه نوع نمونه زیر نورهای مصنوعی مختلف



شکل ۱۲- شاخص کلروفیل در دو زمان ۱۱۰ و ۱۴۰ روز بعد از کاشت زیر نورهای مصنوعی مختلف

نتیجه‌گیری

استفاده از قلمه‌های نصف برگچه به‌عنوان یک روش مؤثر در تکثیر گیاهان، نتایج مثبتی را به‌دنبال داشته است. براساس تحقیقات انجام‌شده، مشخص شده است که این نوع قلمه‌ها نسبت به دو نوع دیگر قلمه، یعنی قلمه‌های کامل و قلمه‌های بدون برگ، تعداد بیشتری ریزوم تولید می‌کنند. این موضوع نشان‌دهنده کارایی بالای قلمه‌های نصف برگچه در فرآیند تکثیر گیاهان است. علاوه بر این، در مقایسه بین قلمه‌های برگچه کامل و نصف برگچه، هر دو نوع قلمه تنها یک ریزوم تولید کردند، اما صفات فیزیکی ریزوم‌ها، از جمله طول و عرض، در نمونه‌های برگچه کامل بیشتر از قلمه‌های نصف برگچه بود. این امر می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در حالی که قلمه‌های نصف برگچه تعداد بیشتری ریزوم تولید می‌کنند، قلمه‌های کامل می‌توانند ریزوم‌های بزرگ‌تری ایجاد کنند که ممکن است در مراحل بعدی رشد گیاه تأثیرگذار باشد. در ارتباط با تأثیر نورهای مصنوعی بر روی فرآیند تکثیر، نتایج نشان داده است که نورهای بنفش و قرمز تأثیرات مثبت‌تری نسبت به نورهای سفید و آبی دارند. این موضوع می‌تواند به‌دلیل طیف نوری خاصی باشد که این رنگ‌ها ارائه می‌دهند و به بهبود فرآیند فتوسنتز و رشد گیاه کمک می‌کنند. بنابراین، با توجه به نتایج و تجربیات به‌دست‌آمده از این آزمایش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از قلمه‌های نصف برگچه نه‌تنها منجر به افزایش تعداد گیاهان تولیدشده می‌شود، بلکه ترکیب این روش با استفاده از نورهای بنفش و قرمز می‌تواند کارایی این روش را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. این یافته‌ها می‌توانند به کشاورزان و باغداران در بهبود روش‌های تکثیر گیاهان کمک کنند و به‌ویژه در شرایطی که نیاز به تولید سریع و مؤثر گیاهان وجود دارد، بسیار مفید واقع شوند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت های دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و همچنین ازداوران محترم مقاله که زحمت بررسی مقاله و ارائه نکات ارزنده را متقبل شدند کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع مورد استفاده

Akbarian B, Matloobi M and Mahna N. 2016. Effects of LED light on seed emergence and seedling quality of four bedding flowers. Journal of Ornamental Plants, 6(2): 115-123. (In Persian).

Batista DS, Felipe SHS, Silva TD, de Castro KM, Mamedes-Rodrigues TC, Miranda NA, Ríos-Ríos AM, Faria DV, Fortini EA, Chagas K, TorresSilva G, Xavier A, Arencibia AD and Otoni WC. 2018. Light quality in plant tissue culture: does it matter? In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant. April 2018.

Heydarizadeh P, Zahedi M and Sabzalian MR. 2014. The effect of LED light on growth, essential oil content and activity of antioxidant enzymes in pepper mint (*Mentha piperita* L.). Journal of Plant Process and Function, 3(8): 13-24. (In Persian)

Lee M, Kim J, Oh M, Lee JH and Rajashekar CB. 2022. Effects of supplemental UV-A LEDs on the nutritional quality of lettuce: accumulation of protein and other essential nutrients. Horticulturae, 8(8): 680. https://doi.org/10.3390/horticulturae8080680

Lim YJ and Eom SH. 2013. Effects of different light types on root formation of *Ocimum basilicum* L. cuttings. Scientia horticulturae, 164: 552-555. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.057

Liu M, Xu Z, Guo S, Tang C, Liu X and Jao X. 2014. Evaluation of leaf morphology, structure and biochemical substance of balloon flower (*Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) plantlets in vitro under different light spectra. Scientia Horticulturae, 174: 112–118. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.006

Lopez RG, Blanchard MG and Runkle ES. 2007. Propagation and production of *Zamioculcas zamiifolia*. In VI International Symposium on New Floricultural Crops, 813: 559-564. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.813.77

Martínez-Moreno A, Frutos-Tortosa A, Diaz-Mula H, Mestre TC, and Martínez V. 2024. Effect of the intensity and spectral quality of LED light on growth and quality of spinach indoors. Horticulturae, 10(4): 411. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040411

Molmann JA, Hansen E and Johansen TJ. 2021. Effects of supplemental LED light quality and reduced growth temperature on swede (*Brassica napus* L. ssp. rapifera Metzg.) root vegetable development and contents of glucosinolates and sugars. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(6): 2422-2427. https://doi.org/10.1002/jsfa.10866

Rabara RC, Behrman G, Timbol T, and Rushton PJ. 2017. Effect of spectral quality of monochromatic LED lights on the growth of artichoke seedlings. Frontiers in Plant Science, 8, 190. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00190

Rahnemoon Far M, Etemadi Nematollah, Nikbakht A, Gheisari M and Sabzalian MR. 2014. Effect of shade, organic matter and planting time on morphological and physiological characteristics of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) (Raf.) Shinn. Plant Productions, 37(3): 1-11. (In Persian)

Rashidi A, Narimani R and Moghaddam M. 2020. The effect of light quality on germination and some physicochemical characteristics of valerian (*Valeriana officinalis*) seedlings. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 7(4): 417-431. (In Persian) https://doi.org/10.22124/jms.2020.4640

Seif M, Aliniaeifard S, Arab M and Zare Mehrjerdi M. 2018. Effect of light qualities on photosynthetic electron transport chain in chrysanthemum leaves. International Horticultural Congress IHC2018: III International Symposium on Innovation and New Technologies in Protected, 1271: 169-176. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1271.24

Seneviratne KACN, Daundasekera WAM, Kulasooriya SA and Wijesundara DSA. 2013. Development of rapid propagation methods and a miniature plant for export-oriented foliage, *Zamioculcas zamiifolia*. Ceylon Journal of Science, 42(1): 55-62. http://dx.doi.org/10.4038/cjsbs.v42i1.5899

Singh D, Basu C, Meinhardt-Wollweber M and Roth B. 2015. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49: 139-147. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117

Solgi M, Badizadegan F and Taghizadeh M. 2025. Vegetative propagation of *Zamioculcas zamiifolia* (G. Lodd.) Engl. managed by IBA application, substrate quality, and leaflet cutting. International Journal of Horticultural Science and Technology, 12(4): 411-420. https://doi.org/10.22059/ijhst.2024.366873.711

Thongkham L and Phavaphutanon, L. 2018. Effect of position and size of leaflets on rooting and rhizome formation of ZZ plant (*Zamioculcas zamiifolia* (Lodd.) Engl.) leaflet cuttings. Agriculture and Natural Resources, 52(3): 246-249. https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.016

Wang L, Sun C, Luan H and Semiroumi DT. 2023. Investigating the effectiveness of LED lighting in the production of rich sprouts for food purposes. Heliyon, 9(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14964