**Iranian Journal of Horticultural Science**
Vol 52, No 2, Summer 2021 (461-471)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.298413.1771

**علوم باغبانی ایران**
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰ (ص ۴۷۱-۴۶۱)

**مقاله پژوهشی:**

# تأثیر طیف‌های مختلف نور LED بر صفات مورفوفیزیولوژیک سه گونه نعناع

**مصطفی خزائی[۱]، فریبا رفیعی[۲*]، محمدرضا سبزعلیان[۳] و سعداله هوشمند[٤]**
**۱، ۲ و ٤. دانشجوی دکتری، استادیار و استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران**
**۳. دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران**
**(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۳۱)**

## چکیده

**گیاهان دارویی همواره منابعی با ارزش اقتصادی بشمار می‌آیند. خانواده نعناعیان دربرگیرنده جنس‌های متنوعی از گیاهان دارویی است که به‌دلیل بازارپسندی بالا، به صورت تجاری پرورش داده می‌شوند. با توجه به اهمیت اقتصادی و دارویی بالای گیاهان این خانواده، تولید کنندگان، همواره در پی بکارگیری شیوه‌های نوین برای افزایش تولید در نعناعیان هستند. استفاده از نورهای مصنوعی LED از جمله راهکارهای نوین در افزایش تولید محصولات باغی و دارویی است. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف شناخت چگونگی تأثیر نور بر عملکرد سه گونه‌ی نعناع معمولی، نعناع فلفلی و پونه به‌اجرا درآمد. در این پژوهش، گونه‌های گیاهی تحت شش محیط نوری: قرمز، آبی، ترکیب قرمز و آبی، سفید، ساطع‌شده از لامپ‌های LED و نیز نور لامپ فلورسنت و محیط گلخانه بعنوان شاهد پرورش داده شدند. آزمایش در هر محیط، بصورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو سال انجام شد. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار محیط‌های نوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک مختلف بررسی‌شده در تحقیق بود.** محیط‌های نوری قرمز، قرمز-آبی همراه با گلخانه دارای بیشترین عملکرد تر و خشک، و محیط نوری مجهز به نور سفید از کمترین میزان صفات مذکور برخوردار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان دادگونه‌های نعناع فلفلی و پونه نسبت به نعناع معمولی از نظر کلیه صفات مورد مطالعه، برتر بودند. **مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و محیط نیز بیانگر برتری رشد نعناع فلفلی و نعناع معمولی در محیط نوری گلخانه و نور قرمز-آبی نسبت به سایر محیط‌های نوری بود. در مجموع نتایج نشان داد نورهای قرمز و ترکیب قرمز و آبی بهترین انتخاب برای تولید سه گونه نعناع در شرایط کشت طبقاتی با استفاده از نور LED می‌باشند.**

**واژه‌های کلیدی:** پونه، خانواده نعناعیان، نور مصنوعی، وزن تر و خشک پیکره رویشی.

# Effect of light emitting diodes irradiation on morpho-physiological traits of three *Mentha* Spp.

**Mostafa Khazaei[1], Fariba Rafiei[2*], Mohammad Reza Sabzalian[3] and Sadollah Houshmand[4]**
1, 2, 4. Ph. D. Candidate, Assitant Professor and Professor, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Associate Professor, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
(Received: Mar. 2020 - Accepted: Jun. 20, 2020)

## ABSTRACT

Medicinal plants have long been recognized as valuable sources economically and pharmacologically. The family of Lamiaceae comprises a wide range of plants, which are commercially cultivated for their medical usage. Due to high marketability, producers continually investigate to maximize yield and productivity of these plants. Photoregulation is an effective strategy to improve productivity of plants. In the present work, we have studied the effect of different LED light treatments on morpho-physiological response of three different mint species including mint, peppermint and pennyroyal plants. The light treatments included red LED, blue LED, combined red and blue LEDs, and white emitted from fluorescent or LED lights in different growth chambers. A greenhouse environment was also considered and served as the control. The experiment was conducted in a completely randomized design with three replicates in two consecutive years. The results indicated a significant difference among the light treatments regarding all morpho-physiological traits. Red and red-blue LED as well as greenhouse led to maximal fresh and dry biomass (yield), whereas white LED caused the least performance. Mean comparisons showed that that peppermint and pennyroyal were superior as compared to mint, for all studied traits. Mean comparison interaction effect of species and environment showed that peppermint and mint had the greatest fresh biomass under greenhouse and red-blue LED. In conclusion, red LED and combined red and blue LED were the best choice for production in three mint species using LEDs in vertical farming systems.

**Keywords:** Artificial light, fresh and dry weights of shoot, pennyroyal, Lamiaceae.

* Corresponding author E-mail: Fariba.Rafeie@gmail.com

## مقدمه

گیاهان دارویی جزو ذخایر و منابع طبیعی هستند که به صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و مدرن صنعتی جهت درمان بیماریهای انسان و دام مورد استفاده قرار می گیرند. نوع، تعداد و تنوع گونه‌های گیاهی براساس شرایط و موقعیت جغرافیایی هر منطقه متفاوت است (Fallahi, 2008). کشور ایران با توجه به دارا بودن تنوع بالای اقلیمی که ناشی از موقعیت جغرافیایی خاص آن است، از منابع عظیمی از گیاهان دارویی برخوردار است. از جمله مهم‌ترین گیاهان دارویی ایران که از بازارپسندی بالایی برخوردار است، گیاهان متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) را می‌توان نام برد. گیاهان این خانواده به‌عنوان منبع عالی از عصاره‌ای با خواص ضد باکتریایی و آنتی اکسیدانی قوی مطرح می‌باشند. در این خانواده، جنس *Mentha* (گیاهان نعناع) انواع مختلفی از گیاهان معطر (حدود ۲۵-۳۰ گونه) را شامل می‌شود. در ایران پنج گونه و چندین ژنوتیپ از این جنس وجود دارد. این گونه‌ها در صنایع غذایی برای طعم، عطر و ادویه ها استفاده می‌شوند و به دلیل محتوای اسانس و عملکردشان به صورت تجاری پرورش داده می‌شوند (Abbaszadeh *et al*., 2009; Abdel-Hameed *et al*., 2018). نظر به اهمیت اقتصادی بالای گیاهان دارویی، تولیدکنندگان بزرگ دنیا همواره در تلاش برای تولید بیشتر آن‌ها و دستیابی به میزان بالاتری از مواد موثره دارویی می‌باشند. استفاده از تنوع ژنتیکی، استفاده از ترکیبات کودی مختلف و تکنیک‌های کشت بافت از جمله روش‌های متداول برای دستیابی به تولید بالاتر محصول همواره مطرح بوده‌اند. در سال‌های اخیر، محققان به نقش ویژه نور بعنوان فاکتوری کلیدی نه تنها در پدیده فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاهان، بلکه در بیوسنتز ترکیبات مهم و مختلف دیگر گیاه تاکید کرده اند (Fan *et al*., 2013).

در واکنش فتوسنتز، نورهای با طول موج قرمز (۶۰۰-۸۰۰ نانومتر) و آبی (۳۸۰-۴۸۰ نانومتر) بیشترین تأثیر و بالاترین کارایی را در رشد گیاهان دارند (Darko *et al*., 2014). اغلب گیاهان فقط طول موج‌های ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر را جذب می‌نمایند و از آن در فتوسنتز استفاده می‌نمایند (Masiha *et al*., 2006). در کشاورزی، رشد گیاه توسط نور قابل دسترس محدود می‌شود. محققان با ابداع سیستم‌های کنترل نور مصنوعی، آن دسته از طول‌موج‌ها را که سبب افزایش فتوسنتز می‌شوند، در اختیار گیاه قرار می‌دهند؛ بدین ترتیب برای افزایش ظرفیت تولید، کنترل سیستم‌های در حال رشد با استفاده از نور مصنوعی ابداع و رایج گردید بطوریکه امروزه برای رشد گیاهان باکیفیت و کمیت خاص از دیودهای ساطع‌کننده نور LED (light emidding dioeds) به‌وفور استفاده می‌شود. لامپ‌های LED حدود ۱۰۰-۸۰ درصد از تشعشع فعال فتوسنتزی را دارند. یافته‌ها نشان می‌دهند که نور LED می‌تواند با تحریک متابولیسم گیاه، تولید ترکیبات موثره دارویی را در آن‌ها بهبود ببخشد (Darko *et al*., 2014). اندازه‌ی کوچک، دوام، طول عمر طولانی، دمای تابشی سرد و نیز فراهم آوردن امکان انتخاب طول‌موج‌های خاص برای گیاه موردنظر، LED ها را به منظور پرورش گیاهان نسبت به بسیاری منابع نوری دیگر برتری داده‌است (Abraham *et al*., 2004). سیستم دیودهای ساطع کننده نور اغلب بر اساس اجزای نور نظیر آبی، قرمز و مادون‌قرمز یا ترکیبی از منابع مختلف نوری مانند نور فلوئورسنت همراه با مکمل LEDهای قرمز یا آبی طراحی می‌شوند (Brazaitytė *et al*., 2009).

از منبع روشنایی‌LED برای پرورش گیاهانی نظیر کاهو، تربچه، اسفناج، فلفل، گوجه‌فرنگی و توت‌فرنگی نیز استفاده شده است (Brazaitytė *et al*., 2009). در پژوهش‌های داخلی، از این منابع نوری بشکل مکمل در پرورش گیاهان زینتی (Rashidi *et al*., 2017; Shahkaram *et al*., 2020) و یا بشکل مجزا در کشت درون شیشه‌ای (Asadi *et al*., 2018) استفاده شده است و نتایج حاکی از اثربخشی نورهای LED در افزایش و بهبود تولید بوده‌اند. طبق گزارش Saeboe *et al*. (1995) و Macedo *et al*. (2011) طیف نور آبی ضخامت اپیدرم و سلول‌های مزوفیل را افزایش می‌دهد، درحالی‌که طیف نور قرمز ضخامت برگ و بافت اسفنجی را کاهش می‌دهد. Massa *et al*.

(2007) اثر نور قرمز LED را در تحریک فیتوکروم‌ها گزارش کردند. در آزمایشی Li & Kubota (2009) نیز افزایش فنول در گیاه کاهو را تحت تأثیر این نور مشاهده کردند. همچنین آنتوسیانین کلم قرمز تحت اثر این نور افزایش یافته است (Wu *et al*., 2007). نتایج برخی از مطالعات نشان داده است که درصد نور آبی تأثیر مسقیمی بر میزان تجمع کاروتنوئید در کاهو، اسفناج، کلم، ریحان و فلفل دارد (Naznin *et al*., 2019). Mirzahosseini *et al*. (2019) گزارش کردند که در گیاه آرابیدوبسیس- به‌عنوان گیاه مدل- تحمل به زخم در نمونه‌های تحت نور LED ترکیبی قرمز (۷۰ درصد) + آبی (۳۰ درصد) بهتر از نورهای LED قرمز، سفید و آبی می‌باشد.

نتایج تحقیقات نشان می دهد در محیط‌های کنترل شده حضور همزمان نور قرمز و آبی جهت افزایش رشد، میزان رنگدانه‌ها و ظرفیت آنتی اکسیدانی در سبزی ها ضروری است. افزون بر این درصد نورهای قرمز و آبی مورد نیاز بسته به گیاهان مختلف، متفاوت است (Naznin *et al*., 2019). با این حال به نظر می رسد که ترکیب نورهای قرمز و آبی برای روش های جدید کشت گیاهان بویژه کشت طبقاتی و کشاورزی شهری مورد نیاز باشد. نظر به اهمیت اقتصادی- دارویی بالای گیاهان خانواده نعناعیان در کشاورزی شهری و نیز با توجه به نقش انکارناپذیر نور و طیف‌های مختلف نوری بر عملکرد گیاهان دارویی و تفاوت در واکنش به ترکیبات مختلف نور LED، تحقیق حاضر با هدف بررسی چگونگی تأثیر طیف‌های مختلف نوری بر تولید و صفات وابسته به آن در سه گونه‌ی نعناع معمولی (*Mentha spicata* L.)، نعناع فلفلی (*M. piperita* L.) و پونه (*M. longifolia* L.) به اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و طرح آزمایشی

در پژوهش حاضر از یک ژنوتیپ نعناع معمولی، یک ژنوتیپ نعناع فلفلی و یک ژنوتیپ پونه که در مزرعه باغ اناری دانشگاه صنعتی اصفهان تکثیر شده بودند، استفاده شد. کشت در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۰ و عمق ۱۲ سانتی‌متر حاوی ۲۰ درصد پرلیت، ۳۰ درصد ماسه و ۵۰ درصد خاک زراعی انجام شد. و در هر گلدان ۳ قطعه ریزوم به طول ۴ سانتی‌متر کشت شد و پس از یک ماه رشد در گلدان، این گیاهان در شش محیط نوری شامل ۱- قرمز (۶۶۵-۶۵۰ نانومتر)، ۲- آبی (۴۷۵-۴۶۰ نانومتر)، ۳- ترکیب قرمز (۷۰ درصد) و آبی (۳۰ درصد)، ۴- سفید (۷۶۰-۳۸۰ نانومتر)، ۵- نور لامپ فلورسنت و ۶- شرایط گلخانه (گلخانه مزرعه باغ اناری دانشگاه صنعتی اصفهان) با شدت نور حدوداً ۳۰۰ میکرو مول فوتون بر مترمربع بر ثانیه، طیف کامل نور خورشید، میانگین ساعات آفتابی ۷/۲ ساعت در روز، رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد و متوسط دمای روز و شب به ترتیب ۳۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد - به عنوان شاهد- پرورش داده شدند.

چهار محیط نوری اول از لامپ‌های LED (OSRAM, Germany) در شرایط انکوباتورهایی با حجم ۱۲۰ لیتر- ساخت شرکت آروین تجهیز اسپادانا، اصفهان، ایران- استفاده شد. شدت نور در این چهار محیط و نیز محیط نوری فلورسنت ۳۰۰ میکرو مول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و ۱۸ ساعت روشنایی در انکوباتور بود. دمای انکوباتورها در دامنه ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی گراد تنظیم شد. آبیاری گلدان ها هر دو روز یک بار صورت گرفت و جهت تأمین مواد مورد نیاز گیاهان هر ده روز یک بار محلول تغذیه‌ای فلورال (Cifo company, Italy) با غلظت یک در هزار به گیاهان داده شد.

صفات ارتفاع، تعداد ساقه، تعداد استولن، وزن تر پیکره رویشی، وزن خشک پیکره رویشی، سطح مقطع ساقه، سبزینگی، کلروفیل a، کلروفیلb، کاروتنوئید، پس از دو ماه تیمار نوری در دو سال (۱۳۹۵-۱۳۹۴) مورد ارزیابی قرار گرفتند، تمامی عملیات‌ها از جمله کشت در سال دوم مجددا تکرار شدند. ارتفاع بوته برحسب میانگین سه اندازه‌گیری از کف گلدان تا انتهای ساقه بدست آمد. در اندازه‌گیری سطح مقطع ساقه در هر گلدان سه ساقه انتخاب و اندازه‌گیری با کولیس دیجیتال از وسط میانگره سوم انجام و بعد میانگین محاسبه شد. سبزینگی گیاه با استفاده از دستگاه SPAD (مدل Chlorophyll Meter SPAD-

Japon 502) و از هر گلدان روی سه برگ اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. غلظت کلروفیل‌های a، b و غلظت کاروتنوئیدها بر اساس روش Lichtenthaler & Wellburn (1983) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Model: U-1800, Hitachi) اندازه‌گیری شد و با کمک فرمول‌های مربوطه بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر (mg/g Fw) گزارش گردید.

**تجزیه و تحلیل های آماری**

در این آزمایش با توجه به اینکه علاوه بر محیط گلخانه (شاهد) چهار انکوباتور مجزا نور LED و یک انکوباتور نور فلورسنت بدون داشتن تکرار مورد استفاده قرار گرفتند، انکوباتورها و گلخانه هر کدام به عنوان یک محیط در نظر گرفته شدند. در هر محیط نوری، کشت آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو سال پیاپی (۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) بصورت مجزا انجام شد. بنابراین، تجزیه داده‌ها بصورت تجزیه مرکب برای دو سال و محیط های نوری به عنوان فاکتورهای اصلی و گونه گیاهی بعنوان تیمار فرعی درون هر سال و محیط انجام شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و بر اساس رویه ANOVA و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد. نمودارهای اثرات متقابل نیز با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند. لازم بذکر است که آزمون LSD تنها برای صفاتی انجام گرفت که میانگین مربعات آنها معنی‌دار شده بود.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در دو سال نشان داد اثر محیط-های نوری بر کلیه صفات معنی‌دار بوده است (جدول ۱). مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر بر روی اثرات مثبت سیستم‌های نوری LED بر روی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها نشان داده است که، این سیستم‌ها منابع با شدت نوری بالا از طول موج‌های مرئی را برای رشد اقتصادی گیاهان تحت شرایط بسته محیطی فراهم می کنند که به طور عمده شامل نورهای آبی، قرمز، ترکیب آبی و قرمز و همچنین نور سفید هستند (Astolfi *et al*., 2012). تفاوت بین گونه‌های مختلف، به جز برای صفات وزن خشک پیکره رویشی و میزان کاروتنوئید، برای سایر صفات معنی‌دار بود (جدول ۱). بین گونه و محیط‌های نوری مورد ارزیابی برای صفات ارتفاع، تعداد ساقه، تعداد استولن، وزن تر پیکره رویشی و میزان سبزینگی گیاه اثر متقابل معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱).

با مقایسه اثرات متقابل گونه‌های نعناع در محیط های مختلف نوری (شکل A-۱) ملاحظه می‌شود که در دو گونه نعنای معمولی و نعناع فلفلی ارتفاع گیاه در نور قرمز و سفید مساوی بود. در پونه به نظر می رسد که نور قرمز به تنهایی برای افزایش ارتفاع کافی نبوده است و نور سفید که مخلوطی از کلیه نورهای مرئی است، رشد کافی ساقه را فراهم می کند و احتمالاً به همین دلیل هم ارتفاع گیاه در نور سفید LED با ارتفاع گیاه در نور سفید فلورسنت برابر شده است. آزمون مقایسه میانگین بین گونه‌های مورد مطالعه نشان داد که نعناع فلفلی بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۳) که با نتایج سایر محققان مبنی بر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط نوری مختلف مطابقت دارد (Giovannetti & Gianinazzi-Pearson, 1994).

بررسی نتایج حاصل اثرات متقابل گونه و محیط حاکی از آن بود که در مورد ارتفاع بوته، بیشترین مقدار را نعناع فلفلی در محیط‌های نوری قرمز و سفید داشت و هر سه گونه در محیط شاهد دارای کمترین میزان ارتفاع بودند. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل گونه و محیط نشان داد هر سه گونه روند یکسانی را در همه محیط‌ها نشان دادند (شکل A-۱). در مطالعه حاضر دیده شد گیاهان پرورش یافته تحت نور قرمز خالص ارتفاعی بیش از نور آبی و حتی قرمز- آبی داشتند (جدول۲). Wheeler *et al.* (1991) گزارش کردند طول موج آبی باعث کوتاه شدن میانگره‌های گیاه می‌گردد، در حالی که دریافت نور مادون قرمز بالا توسط رنگیزه‌های نوری منجر به افزایش طول میانگره‌ها می‌شود. بنابراین تعادل بین طیف آبی و مادون قرمز برای برخی گیاهان بسیار لازم است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند نور آبی با تأثیرگذاری بر کریپتوکروم‌های گیرنده نور که مسئول کنترل ارتفاع گیاه هستند، باعث کاهش طول میانگره‌ها و طول ساقه گردیدند (Kaiser *et al*., 2019; Nazanin *et al*., 2019).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر محیط‌های نوری، سال و گونه گیاهی بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک نعناع معمولی، نعناع فلفلی و پونه

Table 1. Analysis of variance of the effects of light environment (Env.), year, and plant species (plant Spp) on some morpho-physilogical traits of mint, peppermint and pennyroyal

| S.V. | df | Plant height (cm) | No. stem/pot | No. stolon/pot | Shoot fresh weigh (g/pot) | Shoot dried weigh (g/pot) | Stem cross section ($mm^2$) | Leaf greeness | Chllorophyll-a (mg/g FW) | Chllorophyll-b (mg/g FW) | Carotenoids (mg/g FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | 1 | 4859$^{**}$ | 811$^{**}$ | 4.19$^{**}$ | 3553$^{**}$ | 265$^{**}$ | 39.8$^{**}$ | 105$^{*}$ | 2.07$^{**}$ | 0.10$^{**}$ | 0.22$^{**}$ |
| Rep (year) | 4 | 106 | 20.2 | 0.15 | 293 | 14.8 | 2.38 | 7.74 | 0.029 | 0.01 | 0.001 |
| Env. | 5 | 2545$^{**}$ | 125$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | 1233$^{**}$ | 79.1$^{**}$ | 14.1$^{**}$ | 193$^{**}$ | 0.30$^{**}$ | 0.06$^{**}$ | 0.03$^{**}$ |
| Year×Env. | 5 | 284$^{**}$ | 114$^{**}$ | 0.17$^{n.s}$ | 427$^{**}$ | 19.9$^{**}$ | 4.01$^{n.s}$ | 77.7$^{**}$ | 0.13$^{n.s}$ | 0.02$^{*}$ | 0.02$^{n.s}$ |
| Rep (year×Env) | 20 | 56.3 | 17.9 | 0.13 | 45.8 | 4.25 | 1.51 | 19.3 | 0.08 | 0.01 | 0.01 |
| Plant Spp. | 2 | 2350$^{**}$ | 433$^{**}$ | 3.26$^{**}$ | 829$^{**}$ | 4.01$^{n.s}$ | 42.5$^{**}$ | 337$^{**}$ | 0.25$^{*}$ | 0.04$^{*}$ | 0.01$^{n.s}$ |
| Year× Plant Spp. | 2 | 1447$^{**}$ | 118$^{**}$ | 0.56$^{**}$ | 2425$^{**}$ | 89.1$^{**}$ | 3.76$^{n.s}$ | 11.9$^{n.s}$ | 0.10$^{n.s}$ | 0.01$^{n.s}$ | 0.01$^{n.s}$ |
| Env.× Plant Spp. | 10 | 140$^{*}$ | 62.1$^{**}$ | 0.55$^{**}$ | 183$^{**}$ | 4.58$^{n.s}$ | 2.62$^{n.s}$ | 44.8$^{*}$ | 0.02$^{n.s}$ | 0.002$^{n.s}$ | 0.004$^{n.s}$ |
| Year× Env. × Plant Spp. | 10 | 217$^{**}$ | 63.3$^{**}$ | 0.10$^{n.s}$ | 55.5$^{n.s}$ | 7.07$^{n.s}$ | 2.11$^{n.s}$ | 29.8$^{n.s}$ | 0.09$^{n.s}$ | 0.01$^{n.s}$ | 0.01$^{n.s}$ |
| Error | 48 | 67.4 | 19.4 | 0.11 | 41.6 | 4.34 | 2.23 | 17.25 | 0.06 | 0.01 | 0.01 |

n.s، * و **: بدون تفاوت معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال کمتر از ۵٪ و ۱٪

n.s, *, **: Non-significant and significant difference at $\alpha$<0.05 and 0.01, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر محیط‌های مختلف نوری بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک نعناع معمولی، نعناع فلفلی و پونه

Table 2. Mean comparison for the effect of different light environments on on some morpho-physilogical traits of mint, peppermint and pennyroyal

| Environment | Plant height (cm) | No. stem/pot | No. stolon/pot | Shoot fresh weight (g/pot) | Shoot dried weight (g/pot) | Stem cross section ($mm^2$) | Leaf greeness. | Chllorophyll- a (mg/g FW) | Chllorophyll- b (mg/g FW) | Carotenoid (mg/g FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Control | 25.0$^{e}$ | 17.3$^{a}$ | 0.78$^{b}$ | 36.1$^{a}$ | 7.30$^{a}$ | 5.15$^{a}$ | 39.3$^{a}$ | 0.63$^{b}$ | 0.21$^{c}$ | 0.17$^{c}$ |
| Red | 51.6$^{b}$ | 13.2$^{b}$ | 2.06$^{a}$ | 36.5$^{a}$ | 8.02$^{a}$ | 4.90$^{a}$ | 34.1$^{b}$ | 0.78$^{ab}$ | 0.26$^{bc}$ | 0.22$^{bc}$ |
| Blue | 45.4$^{c}$ | 13.4$^{b}$ | 0.56$^{b}$ | 19.6$^{b}$ | 4.14$^{bc}$ | 3.12$^{c}$ | 35.3$^{b}$ | 0.67$^{b}$ | 0.21$^{c}$ | 0.20$^{c}$ |
| Red:Blue | 36.1$^{d}$ | 13.5$^{b}$ | 1.83$^{a}$ | 35.6$^{a}$ | 7.14$^{a}$ | 4.01$^{b}$ | 40.8$^{a}$ | 0.71$^{b}$ | 0.23$^{c}$ | 0.20$^{bc}$ |
| White | 58.2$^{a}$ | 9.2$^{c}$ | 0.39$^{b}$ | 20.0$^{b}$ | 2.90$^{c}$ | 3.36$^{bc}$ | 32.3$^{b}$ | 0.94$^{a}$ | 0.32$^{ab}$ | 0.28$^{a}$ |
| Fluorescent | 48.8$^{bc}$ | 11.7$^{bc}$ | 0.56$^{b}$ | 24.2$^{b}$ | 4.41$^{b}$ | 3.22$^{bc}$ | 34.2$^{b}$ | 0.94$^{a}$ | 0.34$^{a}$ | 0.25$^{ab}$ |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with similar letter in each column, are not significantly difference ($\alpha$<0.05) based on Least Significant Difference (LSD) test.

مقایسه میانگین محیط‌های مختلف نشان داد تعداد ساقه در محیط شاهد، بیشترین و در محیط نوری سفید و فلورسنت کمترین بود (جدول ۲). با مقایسه میانگین گونه‌ها مشخص شد بیشترین تعداد ساقه را پونه به خود اختصاص داده‌است (جدول ۳). بررسی اثر متقابل بین گونه و محیط‌های نوری (شکل ۱-B) برای صفت تعداد ساقه نشان داد در پونه بیشترین تعداد ساقه در محیط شاهد و پس از آن محیط نوری قرمز-آبی حاصل شده‌است. در نعناع فلفلی محیط شاهد بیشترین تعداد ساقه را داشت و در نعناع معمولی تفاوتی بین محیط‌ها از لحاظ این صفت دیده نشد. بنظر می‌رسد یکی از مهمترین عوامل بروز نتایج فوق تغییرات هورمونی ناشی از تیمارهای نوری بکار گرفته شده در آزمایش می‌باشد که نهایتاً تعادل هومورنی را بسمت حصول نتایج فوق سوق داده‌است. پژوهشگران نشان داده‌اند که نور قرمز LED باعث افزایش تولید هورمون جیبرلین شده و نور آبی LED افزایش هورمون اکسین را به‌دنبال دارد (Ouyang *et al.*, 2015). همچنین تأثیر نورهای LED بر سایر هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین و آبسیزیک اسید هم گزارش شده است (Pashkovskiy *et al.*, 2016). نتایج آزمایش‌های متعددی بیانگر تأثیر هورمون‌ها بر این صفت در گیاهان می‌باشد از جمله گزارش شده‌است که هورمون سیتوکینین سبب افزایش تعداد ساقه در گیاه اسطوخودوس شده‌است (Peyvandi *et al*, 2015). پژوهشگران دیگری اثر

ترکیبات مختلف اکسین و سیتوکینین را درتولید ساقه در کشت درون شیشه‌ای پروانش یا پیچ تلگرافی (*Catharanthus roseus* (Linn.) G. Don) بررسی کردند. آزمایش آنها نشان داد که ۷ میلی گرم در لیتر BAP به همراه یک میلی گرم در لیتر NAA به شدت ساقه‌زایی را تحریک می‌کند (Yuan *et al*., 1999).

با توجه به شکل B-۱ ملاحظه می‌گردد که در نعناع معمولی نور LED قرمز به خصوص منجر به افزایش تعداد ساقه شد، ولی این تاثیر با توجه به خطای موجود معنی‌دار نشد. در پونه نیز تعداد ساقه در تیمار شاهد وتیمار قرمز- آبی یکسان بود. تنها در گونه نعناع فلفلی تیمارهای نوری در مقایسه با شاهد، کاهش تعداد ساقه را بهمراه داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد نوعی اثر متقابل بین گونه گیاهی و نور در این باره تأثیرگذار است. معنی‌دار بودن اثر متقابل گونه گیاهی و محیط بر صفت تعداد ساقه در بوته مؤید این ادعاست. نتایج مطالعه دیگری که بر روی سه گونه موجود دراین مقاله انجام شد، نشان داد که در صفاتی همانند میزان اسانس، گونه گیاهی دارای الگوهای مختلفی در پاسخ به محیط‌های نوری مختلف می‌باشند (Sabzalian *et al*., 2014).

از نظر تعداد استولن، محیط های نوری قرمز و مخلوط قرمز و آبی به طور معنی‌داری تعداد استولن بیشتری نسبت به سایر محیط‌ها داشتند (جدول ۲). با مقایسه میانگین گونه‌ها مشخص شد پونه و نعناع فلفلی به طور معنی‌داری نسبت به نعناع معمولی تعداد استولن بیشتری داشتند (جدول ۳). در بررسی اثر متقابل گونه و محیط برای صفت تعداد استولن، نتایج نشان دادند در پونه محیط نوری قرمز دارای بیشترین تعداد استولن بود. شرایط نوری مختلف بر تعداد استولن تولیدشده در نعناع معمولی تاثیر معنی‌داری نداشت، ولی شرایط نوری بر صفت نامبرده در نعناع فلفلی مؤثر بود و بیشترین مقدار آن مربوط به محیط نوری قرمز-آبی بود. به نظر می‌رسد همانطور که در مورد تعداد ساقه نیز گفته شد تغییرات هورمونی تحت تأثیر تیمارهای نوری مورد استفاده، منجر به نتایج فوق شده‌است. همانطور که ذکر شد نور قرمز باعث تحریک تولید جیبرلین می‌شود (Ouyang *et al*., 2015) که به نوبه خود می‌تواند افزایش تولید استولن را به همراه داشته باشد. همچنین در بررسی‌های محققین دیگری نیز افزایش تعداد استولن‌ها تحت تأثیر جیبرلین گزارش شده است (Firozeh & Korkan, 1978). مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و محیط نشان دهنده تاثیر پذیری متفاوت گونه‌ها از محیط‌های مختلف نوری از لحاظ صفت تعداد استولن می‌باشد (شکل C-۱).

وزن تر و خشک پیکره رویشی در محیط‌های شاهد، قرمز و ترکیب قرمز و آبی به طور معنی‌داری از سه محیط دیگر بیشتر بودند (جدول ۲). با مقایسه میانگین گونه‌ها مشخص شد وزن تر پیکره رویشی پونه و نعناع فلفلی به‌طور معنی‌داری از نعناع معمولی بیشتر بود (جدول ۳). در بررسی میانگین‌های وزن تر پیکره رویشی از طریق تحلیل اثر متقابل گونه و محیط (شکل D-۱)، نیز مشاهده شد پونه در محیط نوری قرمز بیشترین مقادیر را برای صفات مذکور به‌خود اختصاص داد که نشان می دهد در این گونه نور LED قرمز برتری قابل‌ملاحظه‌ای از نظر رشد نسبت به شرایط گلخانه معمولی ایجاد کرده است.

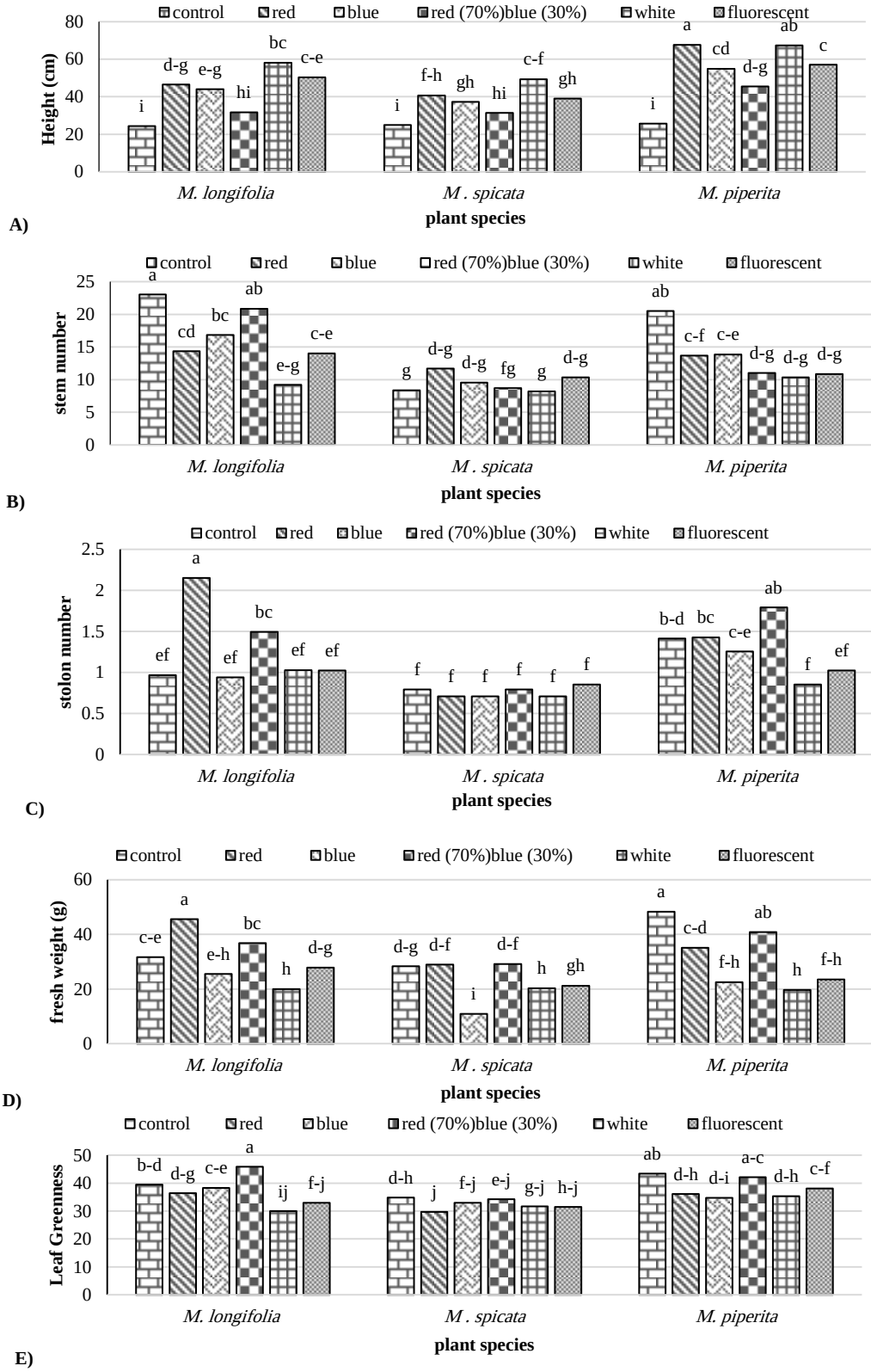
جدول ۳- مقایسه میانگین سه‌گونه نعناع معمولی، نعناع فلفلی و پونه از لحاظ برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک

Table 3- Mean comparison of mint, peppermint and pennyroyal for some morpho-physiological traits

| Plant species | Plant height (cm) | No. stem/pot | No. stolon/pot. | Shoot fresh weight (g/pot) | Stem cross section ($mm^2$) | Leaf greeness. | Chllorophyll-a (mg/g FW) | Chllorophyll-b (mg/g FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *M. longifolia* (mint) | $42.5^{b}$ | $16.4^{a}$ | $1.47^{a}$ | $31.2^{a}$ | $2.72^{b}$ | $37.19^{a}$ | $0.84^{a}$ | $0.27^{a}$ |
| *M. piperita* (peppermint) | $53^{a}$ | $13.4^{b}$ | $1.50^{a}$ | $31.6^{a}$ | $4.39^{a}$ | $38.31^{a}$ | $0.81^{a}$ | $0.29^{a}$ |
| *M. spicata* (pennyroyal) | $37.1.6^{c}$ | $9.4^{c}$ | $0.11^{b}$ | $23.1^{b}$ | $4.76^{a}$ | $32.50^{b}$ | $0.68^{b}$ | $0.22^{b}$ |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with similar letter in each column, are not significantly difference ($\alpha<0.05$) based on Least Significant Difference (LSD) test.




شکل ۱. اثر متقابل گونه و محیط‌های نوری به ترتیب بر روی صفات ارتفاع، تعداد ساقه، تعداد استولن، وزن تر و خشک پیکره رویشی و میزان سبزینگی. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 1. The interaction effect of Plant Species×Environment on plant's height, stem number, number of stolons, shoot fresh weight and leaf greenness, respectively. Means with similar letter, are not significantly difference ($\alpha<0.05$) based on Least Significant Difference (LSD) test.

در نعناع فلفلی و نعناع معمولی در محیط نوری شاهد گلخانه و نور قرمز-آبی بیشترین میزان وزن تر پیکره رویشی مشاهده گردید. این مطلب نشان می دهد که شرایط نور LED قابلیت رقابت با نور خورشید در گلخانه را از نظر رشد نعناع دارا می باشد. به بیان دیگر نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نورهای قرمز و قرمز-آبی عملکردی مشابه شرایط گلخانه ایجاد نموده‌اند که این امر با توجه به سایر ویژگی‌های مرتبط با این تکنولوژی همانند کشت طبقاتی و کشاورزی شهری و کاهش قابل توجه مصرف آب بسیار قابل توجیه است. مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و محیط نشان داد مقادیر میانگین وزن تر پیکره رویشی در گونه‌ها تحت تأثیر محیط‌های مختلف، دارای الگوهای متفاوتی بود. Kim *et al.* (2004) در آزمایشی با بهره‌گیری از تیمارهای ۱- نور حاصل از لامپ‌های LED قرمز و آبی ۲- نور حاصل از لامپ های LED قرمز و آبی به همراه نور فلورسنت سبز ۳- نور فلورسنت سبز و ۴- نور فلورسنت سفید نشان دادند ترکیب نور آبی و قرمز، رشد گیاه کاهو را افزایش داده و این ترکیب نوری را در تولید اقتصادی و باصرفه‌ی گیاه توصیه کردند. مطالعات انجام شده توسط Ouzounis *et al.* (2016) نشان داد در ۹ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی، نور آبی که به نور قرمز اضافه می‌شود اثر مثبت بر زیست توده گیاهی دارد و موجب کاهش پیچش یا ریزش برگ پایین و باعث افزایش غلظت پروتئین محلول می‌شود. درصد جذب نور آبی یا قرمز توسط برگ گیاهان تقریباً ۹۰ درصد است. در نتیجه نمو و فیزیولوژی گیاه به‌شدت تحت تأثیر نور قرمز یا آبی قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نعناع پرورش‌یافته در اتاقک‌های رشد مجهز به نور قرمز-آبی LED نشان داده است که نور LED در مقایسه با شرایط کشت در زمین افزایش اسانس نعناع، فتوسنتز گیاه و وزن تر را به همراه داشته است (Sabzalian *et al.*, 2014). نتایج تحقیقی بر روی سه کلون مختلف نعناع فلفلی نیز نشان داد الگوی پاسخ به محیط‌های نوری مختلف برای صفت وزن تر در بین این کلون‌ها با هم متفاوت است (Heydarizadeh, 2014).

سطح مقطع ساقه به‌طور معنی‌داری در محیط‌های شاهد و نور قرمز از سایر محیط‌های نوری بیشتر بود (جدول ۲). Hosseini *et al.* (2019) نیز گزارش کردند که در دو واریته ریحان سبز و بنفش، ضخیم‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور قرمز LED و نازک‌ترین ساقه‌ها در تیمار نور آبی LED مشاهده شدند. مقایسه میانگین گونه‌ها نشان داد پونه از لحاظ این صفت، به‌طور معنی‌داری از دو گونه دیگر میانگین کمتری داشت (جدول ۳).

بیشترین میزان سبزینگی را محیط های شاهد و ترکیب نوری قرمز- آبی به خود اختصاص دادند (جدول۲). نتایج تحقیقات Son & Oh (2013) نشان داد میزان سبزینگی برگ درگیاهان پرورش یافته تحت تیمارهای فاقد نور آبی در مقایسه با تیمارهای ترکیب نور آبی و قرمز، کاهش معنی‌داری می یابد. در پژوهش حاضر، سبزینگی پونه و نعناع فلفلی بطور معنی‌داری بیشتر از نعناع معمولی بود (جدول ۳). این روند در مورد صفات مقدار کلروفیلa و b نیز دیده شد (جدول۳). در مطالعه Son & Oh (2013) دو ژنوتیپ کاهو از نظر میزان سبزینگی پاسخ‌های متفاوتی به ترکیبات مختلف نور LED نشان دادند که با یافته‌های ما همخوانی داشته و بیانگر پاسخ‌های متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه به کیفیت نور است. بررسی مقایسه میانگین ثر متقابل گونه و محیط نشان داد بیشترین میزان سبزینگی در پونه مربوط به محیط قرمز-آبی و در نعناع فلفلی مربوط به محیط شاهد بود که البته با محیط قرمز-آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، اثر متقابل گونه و محیط (شکل E-۱) نشان داد روند تأثیرپذیری گونه‌ها از محیط، در این صفت با هم متفاوت بود. در واقع رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین کننده سرعت فتوسنتز و عملکرد ماده خشک و دانه در گیاهان هستند (Gholami, 2018). برای آغاز فرایند فتوسنتزی ، طول موج آبی و قرمز هر دو لازم است، اما نقش هردو طول موج برابر نیست. مثلاً نور آبی نقش مهمی در تولید و جابجایی کلروفیل برگ‌های گیاه ایفا می‌کند (Briggs & Christie, 2002). مشخص شده است که تجمع کلروفیل تحت نور سفید LED کاهش می‌یابد و زمانی که گیاه تحت نوردهی آبی LED ( ۴۷۵- ۴۶۴ نانومتر) قرار می‌گیرد این کاهش جبران می‌گردد، در حالیکه این نتیجه تحت نور

قرمز LED گزارش نشده است (Lawrence, 2006).

فرآیندهایی مانند رنگدانه‌دارشدن گیاهان، پاسخ‌های اجتناب از سایه، جابجایی برگ گیاه و تحریکات کلروپلاست، بازشدن روزنه‌ها، بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها نتیجه تأثیرپذیری گیاه از نور، به خصوص رنگ‌های آبی، قرمز و مادون قرمز می‌باشد که به‌واسطه گیرنده‌های نوری صورت می‌گیرد (Ruberti *et al*., 2012). در فرآیند فتوسنتز و جذب نوری، علاوه بر کلروفیل، سایر رنگدانه‌های گیاهی به ویژه کاروتنوئیدها و فایکوبایلین‌ها (phycobilins) نیز موثر می‌باشند. این فرآیند، مجموعه پیچیده‌ای از پاسخ رنگدانه‌های متعدد می‌باشد و نباید تنها با جذب طیفی کلروفیل اشتباه گرفته شود (Langhans & Tibbitts, 1997). براساس نتایج پژوهش حاضر، بیشترین میزان کلروفیل a در محیط‌های سفید، فلورسنت و قرمز، کلروفیل b در محیط‌های سفید و فلورسنت و کاروتنوئید در محیط‌های سفید و فلورسنت دیده شد (جدول۲). میزان کلروفیل‌های a وb پونه و نعناع فلفلی به‌طور معنی‌داری از نعناع معمولی بیشتر بود (جدول۳)، که روند مشابه میزان سبزینگی بود و مشابه یافته سایر محققان (Naznin *et al*., 2019)، نتایج این پژوهش نیز نشان داد که گونه‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی به کیفیت‌های مختلف نور می‌دهند.

نتایج تحقیقات گسترده بر روی طیف های مختلف نوری نشان داده است که در مقایسه نورهای LED مختلف با یکدیگر (بدون حضور محیط گلخانه)، نور قرمز بطور کلی با افزایش وزن‌تر و خشک، ارتفاع و سطح برگ گیاهان، رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Heo *et al*., 2012; Johkan *et al*., 2010; Son & Oh, 2013; Wang *et al*., 2009). در حالی‌که، نور آبی به جای تأثیر مستقیم بر زیست توده، تأثیر خود را بر عملکرد فتوسنتزی، تشکیل کلروفیل و توسعه کلروپلاست‌ها دارد (He *et al*., 2017; Johkan *et al*., 2010; Savvides *et al*., 2012; Son & Oh, 2013; Wang *et al*., 2009). در مطالعه Hosseini *et al*. (2019)، گزارش شد تیمار نور آبی منجر به کاهش رشد رقم‌های سبز و بتفش ریحان شد. محققین گزارش کرده‌اند که نور آبی مانع رشد سلولی می‌شود و می‌تواند بیان ژن‌هایی که مانع از کشیدگی ساقه می‌شوند را تنظیم کند (Banerjee & Batschauer, 2005; Sabzalian *et al*., 2014; Shimazaki *et al*., 2007).

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه در گیاه نعناع وزن تر و خشک پیکره رویشی و نیز میزان اسانس از اصلی ترین اهداف زراعی و اصلاحی می‌باشند، در آزمایش حاضر محیط‌های نوری قرمز-آبی و قرمز در کنار محیط شاهد دارای بیشترین وزن تر و خشک پیکره رویشی در گونه‌های مورد مطالعه بودند و از این نظر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. این نتیجه نشان داد امکان تولید گونه‌های نعناع در شرایطی که نور خورشید وجود ندارد (انکوباتورها و اتاق‌های رشد آزمایشگاهی) و همچنین در روش‌های نوین کشاورزی شهری و کشت طبقاتی وجود دارد، بدون اینکه عملکرد گیاه نسبت به گلخانه‌های سنتی کاهش پیدا کند. بدلیل اینکه با استفاده از نورهایLED میزان مصرف آب گیاه بشدت کاهش می‌یابد و تولید به ازاء واحد سطح و زمان تسریع می‌شود، انتظار می‌رود که صرفه اقتصادی بالایی در استفاده از نورهایLED وجود داشته باشد. همچنین مطالعه‌ای تکمیلی باید صورت بگیرد تا میزان عملکرد اسانس گونه‌ها در شرایط نوری مختلف با شاهد مقایسه گردد، در این صورت ممکن است ارزش اقتصادی نورهای LED به روشنی توجیه شود. با این حال بر اساس نتایج این تحقیق پایه، می‌توان گفت محیط‌های نوری قرمز-آبی و قرمز جایگزینی برای پرورش گیاه نعناع به شکل جدید طبقاتی در کشاورزی شهری و جایگزین گلخانه‌های معمولی بوده و مناسب‌ترین محیط برای تولید نعناع و خانواده نعناعیان آن بشمار می‌آیند.

## REFERENCES

1. Abbaszadeh, B., Aliabadi Farahani, H., Valadabadi, S.A. & Moaveni, P. (2009). Investigation of variations of the morphological values and flowering shoot yield in different mint species at Iran. *Journal of Horticulture and Forestry*, *1*(7), 109–112.

2. Abdel-Hameed, E.S.S., Salman, M.S., Fadl, M.A., Elkhateeb, A. & El-Awady, M. A. (2018). Chemical composition of hydrodistillation and solvent free microwave extraction of essential oils from *Mentha piperita* L. growing in Taif, Kingdom of Saudi Arabia, and their anticancer and antimicrobial activity. *Oriental Journal of Chemistry*, *34*(1), 222–233.
3. Abraham, E.M., Huang, B., Bonos, S.A. & Meyer, W.A. (2004). Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, *44*(5), 1746–1753.
4. Asadi, A., Kafi, M., Nabati, J. & Goldani, M. (2018). Effect of different light sources in in vitro on growth, morphology and minituber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) in hydroponic conditions *Iranina Journal of Horticulture Science. 48*(4), 933-941.(In Farsi).
5. Astolfi, S. Marianello, C., Grego, S. & Bellarosa, R. (2012). Preliminary investigation of LED lighting as growth light for seedlings from different tree species in growth chambers. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *40*(2), 31–38.
6. Banerjee, R. & Batschauer, A. (2005). Plant blue-light receptors. *Planta*, *220*(3), 498–502.
7. Brazaitytė, A., Duchovskis, P., Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Kazėnas, V. & Breivė, K. (2009). After-effect of light-emitting diodes lighting on tomato growth and yield in greenhouse. *Sodininkystė Ir Daržininkystė*, *28*(1), 115–126.
8. Briggs, W.R. & Christie, J.M. (2002). Phototropins 1 and 2: Versatile plant blue-light receptors. *Trends in Plant Science*, *7*(5), 204–210.
9. Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B. & Sabzalian, M.R. (2014). Photosynthesis under artificial light : the shift in primary and secondary metabolism, *Philosophical Transactions of Royal Society*, 369, 20130243.
10. Fan, X., Xu, Z., Liu, X., Tang, C., Wang, L.W. & Han, X. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, *153*, 50–55.
11. Fallahi, J., Ebadi, M.T. & Ghorbani, R. (2008). The effects of salinity and drought stresses on germination and seedling growth of clary (*Salvia sclarea*). *Environmental Stress in Crop Sciences*, 1(1), 57-67. (In Farsi).
12. Firozeh, P. & Korkan, M. (1978). The effect of gibberellic acid hormone in strawberry stolon production. *Iranian Journal of Agriculture Science*, *2*, 1–5. (In Farsi).
13. Gholami Zali, A. (2018). *Effects of irrigation regime and foliar-applied proline on growth, physiological characteristics and yield of fennel*. PhD Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Farsi).
14. Giovannetti, M., & Gianinazzi-Pearson, V. (1994). Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research*, *98*(7), 705–715.
15. He, J., Qin, L., Chong, E.L.C., Choong, T.W. & Lee, S.K. (2017). Plant growth and photosynthetic characteristics of Mesembryanthemum crystallinum grown aeroponically under different blue- and red-LEDs. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1–13.
16. 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.
17. Heydarizadeh, P. (2014).*The study of mycorrhizal symbiosis and light quality effects on growth parameters and essential oil of Persian mint*. PhD Thesis. Isfahan University of Technology. Isfahan, Iran (In Farsi).
18. Hosseini, A., Zare Mehrjerdi, M., Aliniaeifard, S. & Seif, M. (2019). Photosynthetic and growth responses of green and purple basil plants under different spectral compositions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *25*(3), 741–752.
19. 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.
20. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E. & Marcelis, L.F.M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1–11.
21. Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M. & Sager, J.C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, *39*(7), 1617–1622.
22. Langhans, R. & Tibbitts, T.W. (1997). *Plant growth chamber handbook*. Iowa: Iowa State Univ. Press: North Central Region Research Publication.
23. Lawrence, B. M. (2006). *Mint: The Genus Mentha*. *CRC Press*.
24. Li, Q. & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, *67*(1), 59–64.

25. Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*(5), 591–592.
26. Macedo, A.F., Leal-Costa, M.V., Tavares, E.S., Lage, C.L.S. & Esquibel, M.A. (2011). The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze. *Environmental and Experimental Botany*, *70*(1), 43–50.
27. Masiha, S., Esmaeilpour, B. & Shekari, F. (2006). *The physiology crops*. Zanjan University Press. Zanjan. (In Farsi).
28. Massa, G.D., Emmerich, J.C., Morrow, R.C., Bourget, C.M. & Mitchell, C.A. (2007). Plant-growth lighting for space life support: A review. *Gravitational and Space Research*, *19*(2), 19–30.
29. Mirzahosseini, Z., Shabani, L., Sabzalian, M.R. & Dayanandan, S. (2019). Comparative physiological and proteomic analysis of Arabidopsis thaliana revealed differential wound stress responses following the exposure to different LED light sources. *Environmental and Experimental Botany*, *169*, 103895.
30. Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M.O.K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, *8*(4).
31. Ouyang, F., Mao, J., Wang, J., Zhang, S., & Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst .]. *PLOS ONE*, 1–19.
32. Ouzounis, T., Heuvelink, E., Ji, Y., Schouten, H., Visser, R., & Marcelis, L.F.M. (2016). Blue and red LED lighting effects on plant biomass, stomatal conductance, and metabolite content in nine tomato genotypes. *Acta Horticulturae*, *1134*, 251–258.
33. Pashkovskiy, P.P., Kartashov, A.V, Zlobin, I.E., Pogosyan, S.I., & Kuznetsov, V.V. (2016). Blue light alters miR167 expression and microRNA-targeted auxin response factor genes in *Arabidopsis thaliana* plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *104*, 146–154.
34. Peyvandi, M., Kazemi, L., & Majd, A. (2015). Effect of different cytokinins on micropropagation of Lavandula vera. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *28*(2), 257–263. (In Farsi).
35. Rashidi, A., Tehranifar A. & Nemati, S.H. (2017). The effect of blue and red spectrum combinations and light intensity on vegetative growth of Petunia seedling. *Iranian Journal of Horticulture Science. 48*(2), 443-446. (In Farsi).
36. Ruberti, I., Sessa, G., Ciolfi, A., Possenti, M., Carabelli, M. & Morelli, G. (2012). Plant adaptation to dynamically changing environment: the shade avoidance response. *Biotechnology Advances*, *30*(5), 1047–1058.
37. Sabzalian, M. R., Zahedi, M., Agharokh, M., Sahba, M.R. & Schoefs, B. (2014). High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production. *Agronomy for Sustainable Development*, *34*(4), 879–886.
38. Saeboe, A., Krekling, T. & Appelgren, M. (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *41*(2), 177–185.
39. Savvides, A., Fanourakis, D. & Van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, *63*(3), 1135–1143.
40. Shahkaram, L., Khaleghi, A., Khadivi, A. & Solgi, M. (2020). Effects of long-day treatment using different supplemental light intensities on quantitative and qualitative traits of Rosa hybrida 'Dolce vita. *Iranian Journal of Horticulture Science. 51*(2), 403–412. (In Farsi).
41. Shimazaki, K., Doi, M., Assmann, S. M. & Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, *58*(1), 219–247.
42. 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. *Horticulture Science*, *48*(8), 988–995.
43. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y. & Yu, J. (2009). Effects of light quality on $CO_2$ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in Cucumis sativus. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *96*(1), 30–37.
44. Wheeler, R.M., Mackowiak, C.L. & Sager, J.C. (1991). Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agronomy Journal*, *83*(5), 903–906.
45. Wu, M.C., Hou, C., Jiang, C.M., Wang, Y., Wang, C., Chen, H.H. & Chang, H.M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, *101*(4), 1753–1758.
46. Yuan, Q., Xu, H., & Hu, Z. (1999). Two-phase culture for enhanced alkaloid synthesis and release in a new airlift reactor by Catharanthus roseus. *Biotechnology Techniques*, *13*(2), 107–109.