



نور مصنوعی در گلخانه‌ها، راهی برای افزایش رشد و بهره‌وری

نجمه کمالی اندانی^{۱*} و زهرا عباسی^۲

۱- نویسنده مسئول و کارشناس بخش تحقیقات زراعی باغی مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- استادیار و عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی باغی مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، اصفهان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: kamali_najmeh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

چکیده

گیاهان برای رشد و تولید، به نور نیاز دارند که در طبیعت این انرژی را از خورشید دریافت می‌کنند. اما در روش‌های مدرن کشاورزی مانند گلخانه‌ها و کشت هیدروپونیک، امکان تأمین نور به صورت مصنوعی فراهم شده است. لامپ‌های سدیم فشار بالا (اچ‌پی‌اس) سال‌ها در گلخانه‌ها به عنوان منبع نور مکمل استفاده می‌شدند، اما دیودهای ساطع کننده نور (ال‌ای‌دی) به دلیل مصرف انرژی کمتر، دوام بیشتر و تأثیر بهتر بر رشد گیاهان، جایگزین مناسبی برای این لامپ‌ها هستند. تحقیقات نشان داده است که نور آبی باعث رشد بهتر ساقه و برگ‌ها می‌شود، در حالی که نور قرمز به افزایش گلدهی و میوه‌دهی کمک می‌کند. همچنین، استفاده از نور مصنوعی در گلخانه‌ها، رشد سبزی‌های گلخانه‌ای و گیاهان زینتی را بهبود می‌بخشد. مدیریت شدت نور در گلخانه‌ها نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان دارد. با انتخاب مناسب طول موج‌های نوری، می‌توان ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاهان را بهبود داد و تولید را افزایش داد. همچنین، لامپ‌های فلورسنت به عنوان یکی از رایج‌ترین منابع نور مصنوعی، نقش مهمی در ریز ازدیادی گیاهان دارند. به طور کلی، استفاده از فناوری نور مصنوعی در کشاورزی گلخانه‌ای، بهره‌وری تولید را افزایش داده و امکان کنترل بهتر شرایط نوری را فراهم می‌کند. با این روش، می‌توان به تولیدی پایدارتر، باکیفیت‌تر و مقرون به صرفه‌تر دست یافت.

کلیدواژه: نور مصنوعی، گلخانه، فتوسنتز، گیاه، لامپ، ال‌ای‌دی

متن مقاله

بیان مساله:

این موضوع برای کشت در محیط‌های کنترل‌شده مانند گلخانه‌ها که معمولاً محصول خارج از فصل هم تولید می‌کنند بسیار حائز اهمیت است. جایگزینی نور مصنوعی با نور خورشید امکان‌پذیر است. گیاهان قادر به تشخیص طول موج‌های خورشید یا گیرنده‌های نوری خود هستند، این گیرنده‌ها باعث پاسخ گیاه به جنبه‌های مختلف نور مانند شدت، کیفیت و مدت نوردهی می‌شود. کیفیت و شدت و طول دوره نوری از جمله عوامل مهم و مؤثر بر روی رشد و توسعه گیاه است. با استفاده از منابع نور مصنوعی که در شرایط گلخانه‌ای استفاده می‌شود می‌توان این فاکتورها را تحت کنترل قرار داد (ویرسیل و همکاران، ۲۰۱۷). در فنلاند، بیشترین سهم هزینه‌های تولید در برخی گیاهان گلخانه‌ای مربوط به سامانه‌های تأمین نور مصنوعی و مصرف انرژی الکتریکی است (آنتیلا و همکاران، ۲۰۰۳). در گلخانه‌های بعضی کشورها، در طول شبانه روز، حتی تا ۲۰ ساعت نور مصنوعی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید استفاده می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸).

معرفی:

شدت نور مصنوعی موردنیاز:

استفاده از سیستم‌های روشنایی مصنوعی پیشرفت مهمی را در گلخانه‌های مدرن ارائه می‌دهد. به عنوان یک منبع نور مصنوعی، لامپ‌های ال‌ای‌دی می‌توانند به رشد بهتر و سریع‌تر محصولات گلخانه‌ای کمک شایانی کنند (آزدانیان و همکاران، ۱۴۰۰).

ویژگی مهم تولید در صنعت گلخانه، تولید و عرضه محصول در خارج از فصل است. در این‌گونه سیستم‌های تولیدی با تحت کنترل در-آوردن عوامل محیطی، اثرهای تغییرات فصلی اقلیم بر تولید حذف می‌شود. محیط زیست کشاورزی کنترل‌شده با استفاده از تکنیک‌های مدرن به رشد و توسعه گیاهان برای دستیابی به محصول بالاتر و بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند (ویرسیل و همکاران، ۲۰۱۷). آب، خاک، دی‌اکسیدکربن، گرما و نور خورشید، منابع طبیعی هستند که تولید محصولات کشاورزی بدون آنها غیرممکن است. در سیستم‌های تولید رایج، این منابع، به غیر از آب و خاک، به طور رایگان برای گیاهان توسط طبیعت عرضه می‌شود. اما در سیستم‌های جدید تولید، مانند گلخانه‌ها و کشت‌های هیدروپونیک، قابلیت تأمین این منابع به طور مصنوعی وجود دارد. نور خورشید به عنوان یک منبع طبیعی، عامل مهمی در کشاورزی است که به طور نامحدود و بدون هزینه عرضه می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸). هر گیاه به مقدار معینی نور برای زندگی و عمل فتوسنتز نیاز دارد که به حیات خود ادامه دهد. فتوسنتز و تخرق دو فرآیند مهمی هستند که انرژی خود را از نور خورشید دریافت می‌کنند. بعضی از فرآیندهای تحت تأثیر نور عبارتند از: جوانه‌زنی، مراحل رشد و تولید رنگ‌دانه که مقدار کمی از انرژی نور را مصرف می‌کنند. اما برخی پدیده‌ها مانند ابری‌بودن هوا و یا کوتاه شدن طول روز در طول سال، باعث ایجاد محدودیت در دسترسی به این منبع مهم می‌شوند. به طور کلی، در کشورهایی که در مدارات شمالی قرار دارند کمبود نور خورشید در بیشتر ماه‌های سال یک معضل بزرگ است (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۲).

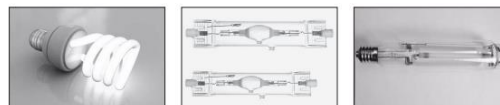


طوری که اگر از حد مورد نیاز تجاوز نماید، باعث بسته شدن روزنه‌های برگ و کاهش تعرق می‌شود به عنوان مثال حداقل شدت نور معادل ۱۰۰۰۰ لوکس، برای کشت و تولید خیار کفایت می‌کند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸).

شکل ۱: لامپ بخار سدیم

شکل ۲: لامپ متال هالید

شکل ۳: لامپ فلورسنت



طیف نورهای مورد استفاده در نور مصنوعی:

نور خورشید دارای طیف کامل نور است و تمام رنگ-های آن مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد اما در عین حال نورهای قرمز و آبی بیشترین نقش را در فتوسنتز ایفا می‌کنند. تغییر در کیفیت نور از نظر رنگ و طول موج به شدت بر روی آناتومی گیاه و پارامترهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی اثر می‌گذارد. از نظر فیزیولوژیکی، محققین معتقدند، عملکرد فوتونی نور قرمز و آبی به‌تنهایی برای رشد گیاهان کافی است. به عبارت دیگر در صورتی که گیاه تنها در یکی از محیط‌های خالص نور قرمز یا آبی و نه هر دو قرار گیرد امکان رشد کامل گیاه فراهم می‌شود. البته برخی هم اعتقاد دارند که در صورت استفاده از نور قرمز، درصد کمی نور آبی حتی ۱۰ درصد برای رشد کامل گیاه لازم است. اما به طور کلی نور آبی و قرمز باعث به‌کار انداختن حسگرهای نوری متفاوت و بیان ژن‌هایی می‌شوند که هر کدام از آنها می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر رشد و توسعه گیاه بگذارد. نور آبی در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای گیاهی مانند عملکرد فتوسنتزی برگ‌ها و ساختارهای مورفولوژیکی گیاه دخیل می‌باشد، که می‌تواند باعث افزایش تعداد برگ در طیف وسیعی از گیاهان شود؛ بنابراین در سیستم‌های کشت عمودی و گلخانه از نور آبی استفاده می‌شود. اما دریافت آن به‌تنهایی سبب کوتاه و ضخیم شدن شاخه‌ها و برگ‌های گیاه می‌شود (آژدانیان و همکاران، ۱۴۰۰). داچر و باگی (۱۹۹۸) اعلام کردند که تعداد و میزان کلروفیل برگهای کاهو

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که در مکان‌هایی که تحت عواملی نور کافی برای رشد گیاه وجود ندارد، با استفاده از نورهای جایگزین نظیر ال‌ای‌دی می‌توان محیطی مشابه با شرایط طبیعی جهت تولید نشا با کیفیت ایجاد کرد. بنابراین منابع نور ال‌ای‌دی مصنوعی می‌توانند به عنوان منابع جایگزین یا تکمیلی نور رایج در جهت بهبود رشد گیاه توت‌فرنگی در شرایط گلخانه استفاده شوند. البته تاکید بر این مهم ضروری است که کیفیت و شدت نور ال‌ای‌دی مورد نیاز بسته به نوع گونه و حتی ارقام متفاوت است. به طور متوسط شدت نور مناسب لامپ ال‌ای‌دی به عنوان نور تکمیلی برای گیاهان زینتی ۵۰-۷۵ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه و برای سبزی‌ها ۱۰۰-۲۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه است تا رشد گیاه، رشد ریشه، شاخه‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی را بیشتر و ساقه ضخیم‌تر تولید کند (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۲).

نتایج مطالعه دهخدایی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد سطح برگ، تعداد برگ، طول میانگرم، قطر ساقه، کارایی فتوسنتز، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در شمعدانی و حسن یوسف و میزان کلروفیل و تعداد برگ، در اطلسی، در شدت نور جایگزین 5 ± 60 میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به میزان قابل توجهی افزایش یافت اما شدت‌های مختلف نور بر طول ریشه هر سه نشا تاثیرگذار نبود. استفاده از این شدت نور به‌ویژه در کشت زمستانه برای تولید نشا مطلوب ارقام شمعدانی، حسن یوسف و اطلسی توصیه می‌شود (دهخدایی و همکاران، ۱۳۹۹). البته افزایش شدت نور نیز اثر محدودکننده‌ای برای گیاهان دارد. به

و همان نسبت تعداد برگ تحت پوشش نور آبی افزایش داشته است. ارتفاع و طول میانگره داودی در هنگام استفاده از نور آبی به ویژه با شدت نور کم کاهش می‌یابد (پیرسون و ختاک، ۲۰۰۶).

نور قرمز موجب رشد گیاه و گل‌دهی آن می‌شود اما اگر گیاه تنها نور قرمز را دریافت کند، به صورت طولی رشد می‌کند و ضعیف باقی می‌ماند. معمولاً زمان کاربرد نور تک‌میلی برای گیاهان زینتی در فصل زمستان و اوایل بهار می‌باشد. در اغلب موارد از نورهایی با ترکیب ۷۰-۸۰ درصد قرمز و بقیه از نورهای آبی و سفید و در مواردی از قرمز دور استفاده می‌شود (رانکل، ۲۰۱۶). در حال حاضر بیشتر تحقیقات بر روی رسیدن به یک ترکیب نوری مناسب از دو طول موج (آبی و قرمز) متمرکز شده است. نسبت نور آبی به قرمز در هنگام استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چرا که با داشتن هر دو طول موج می‌توان رشد گیاه و تولید میوه را تا بیش از ۲۰٪ نسبت به زمانی که از هر طول موج به تنهایی استفاده شود، افزایش داد.

جدول ۱: طیفهای نوری مختلف و چگونگی تأثیر آنها روی اندام گیاهی

طیف‌های مختلف نور	طول موج (نانومتر)	چگونگی تأثیر روی اندام‌های گیاهی
مادون قرمز	۷۵۰ تا ۸۰۰	غیرقابل رؤیت، در رشد گیاه و اعمال بیوشیمیایی تأثیر ندارد.
قرمز دور	۷۰۰ تا ۷۵۰	غیرقابل رؤیت، با وجود اینکه در فتوسنتز مؤثر نیست اما برای رشد گیاه، جوانه‌زنی و غنچه دادن مؤثر است.
قرمز قابل رؤیت	۶۰۰ تا ۷۰۰	قابل رؤیت، شدیداً به وسیله کلروفیل جذب شده و باعث سبزینه‌سازی می‌گردد.
زرد متمایل به سبز	۵۰۰ تا ۶۰۰	قابل رؤیت، اثر ناچیزی روی سبزینه‌سازی دارد. مخصوصاً قسمت سبز نور.
آبی متمایل به بنفش	۴۰۰ تا ۵۰۰	قابل رؤیت، شدیداً به وسیله کلروفیل جذب شده و در سبزینه‌سازی و تشکیل اندام‌های گیاهی مؤثر است.
ماوراء بنفش	کمتر از ۴۰۰	غیرقابل رؤیت، برای گیاه زیان‌بخش است، بر روی رشد محصول تأثیر منفی داشته و شدت آن باعث کوتاهی گیاه و کلفت شدن برگ و حتی نابودی گیاه می‌شود.

برگرفته از مزایاک (۲۰۰۱)

نتایج حاصل از مطالعه خلیلی و خانقلی (۱۳۹۹) نشان داده که از لحاظ مورفوزن گیاهی نور آبی با

افزایش تقسیم سلولی باعث افزایش سطح برگ و افزایش وزن تر اندام هوایی شده، با افزایش سطح برگ، عملکرد وزن برگ نیز در تیمار نورآبی افزایش یافت. نور ال‌ای‌دی قرمز و آبی تک رنگ سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شدند که با افزایش وزن خشک اندام هوایی درصد ماده خشک هم در تیمار نور قرمز افزایش یافت.

کاربرد نور مصنوعی در تعیین زمان گل‌دهی:

نور مصنوعی همچنین در تعیین زمان گل‌دهی گیاهان در گلخانه نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد. اصولاً گیاهان مختلف برای گل‌دهی به طول روزهای مختلفی احتیاج دارند که به طور کلی شامل سه گروه مهم هستند: گیاهان روز کوتاه: این گیاهان برای گل‌دهی به روز کوتاه، و در واقع به شب بلند (۱۳ تا ۱۶ ساعت) نیاز دارند. گیاهان روز بلند: این گیاهان برای گل‌دهی به روز بلند و شب کوتاه احتیاج دارند. گیاهان بی‌تفاوت: این گیاهان به طول روز یا شب حساس نبوده و در هر طول روز قرار گیرند گل می‌دهند (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۲). در برخی از فصول سال به خصوص اواخر پاییز و زمستان، روزها کوتاه است و به منظور افزایش طول مدت روز می‌توان از منابع تولید نور مصنوعی (انواع مختلف لامپ) استفاده کرد. البته در زمان استفاده از نور مصنوعی عوامل دیگر همانند دمای محیط را نیز باید در نظر گرفت. با توجه به نتایج گوناگونی که از پژوهش‌های مختلف به دست آمده است می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که نوع گیاه همچنین سایر شرایط محیطی در نحوه به کارگیری منبع نور مصنوعی (مداوم یا متناوب) و همچنین زمان به کارگیری (بعد از غروب آفتاب یا اواسط شب) تأثیرگذار هستند (آژدانیان و همکاران، ۱۴۰۰). تحقیقی که با رقم میخک خوشه‌ای انجام گرفت نشان داد نوردهی متناوب به مدت دوازده ساعت به شکل ۱۰ دقیقه



روشن و ۲۰ دقیقه خاموش و در طی ۴۹ شب منجر به گل‌دهی بیشتر این گیاهان شد؛ در حالی که شب شکنی کوتاه مدت با نور ممتد اثر کمتری بر گل‌دهی آنها داشت (بگنال و کینگ، ۲۰۰۱).

کاربرد نور مصنوعی در ریز ازدیادی:

از کاربردهای دیگر نور مصنوعی میتوان گفت که استفاده از لامپ‌های فلورسنت از رایج‌ترین منابع تأمین نور مصنوعی برای ریزازدیادی (کشت‌بافت) است. امروزه استفاده از روش کشت‌بافت به منظور افزونش سریع‌تر و تولید مواد بدون بیماری، افزایش محصول و کاهش کاربرد سم‌ها و مواد شیمیایی دیگر گسترش یافته است و سودمندی‌های اقتصادی کلانی به همراه دارد. برخی از محققان از ال‌ای‌دی به دلیل مصرف جریان کمتر، اندازه‌ی کوچک‌تر، طول موج اختصاصی، ساختار محکم‌تر و طول عمر بیشتر به جای لامپ‌های فلورسنت استفاده کرده‌اند. به رغم کاهش مصرف نیروی الکتریسیته با استفاده از ال‌ای‌دی، هزینه اولیه تهیه این منابع نور زیاد بوده و میزان قابل توجهی انرژی نیز مصرف می‌کنند (رانو و فوجیوارا، ۲۰۱۵).

هزینه‌ها در تأمین نور مصنوعی:

سیستم نوردی مصنوعی یک سیستم پرهزینه است به این دلیل که شدت نور موردنیاز برای فرآیند فتوسنتز باید زیاد باشد و بدین منظور بایستی سیستم‌هایی استفاده شوند که چنین نوری را تأمین کنند برآورد هزینه‌ها و مشخص نمودن میزان سرمایه‌ای که قرار است گذاشته شود و برنامه ریزی جهت بازگشت سرمایه و سود از مراحل مهم کاربرد نور مصنوعی است. در این سیستم نیاز به لامپ‌های مخصوص از نوع لامپ‌های پرفشار سدیمی و لامپ‌های متال‌هالید و ال‌ای‌دی هستند که گران قیمت بوده و به تعداد زیاد در واحد سطح مورد نیاز هستند و در عین حال مصرف الکتریسیته زیاد دارند. این

لامپ‌ها غالباً عمر محدودی داشته و با افزایش قیمت الکتریسیته، هزینه استفاده و بهره‌برداری از نور مصنوعی به شدت افزایش می‌یابد. حال، پرسش این است که آیا کاربرد سیستم نوردی مصنوعی با توجه به هزینه‌های زیاد آن برای جبران این کاهش تولید، اقتصادی است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸).

در کشورهایی که در مدارات شمالی قرار دارند به طور کلی کمبود نور خورشید در بیشتر ماه‌های سال یک معضل بزرگ است. بررسی کویوستو و هووی پکانن (۲۰۰۸) در کشورهای ايسلند و فنلاند نشان داده که به دلیل کمبود نور خورشید در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار، استفاده از نور مصنوعی در تولیدات گلخانه‌ای مقرون‌به‌صرفه و اقتصادی است. در فنلاند، بیشترین سهم هزینه‌های تولید برخی گیاهان گلخانه‌ای مربوط به سامانه‌های تأمین نور مصنوعی و مصرف انرژی الکتریکی است.

در گلخانه‌های این کشور، در طول شبانه روز، حتی تا ۲۰ ساعت نور مصنوعی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید استفاده می‌شود. در این میان، تغییر نحوه آرایش سیستم نوردی مصنوعی از حالت سقفی به وسط ردیف‌های کشت، کارایی نوردی را افزایش داده و منفعت بیشتری ایجاد می‌کند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۸). تلاش در جهت کاستن هزینه‌های نور مصنوعی از طریق بهبود سطح فناوری توسط تبدیل لامپ‌های مرسوم به سیستم‌های ال‌ای‌دی است. این نوع لامپ‌ها حرارت زیادی نیز تولید می‌کنند که باعث کاهش کارایی آنها می‌شود. بدین منظور، سینگ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی کارایی فنی و اقتصادی استفاده از لامپ‌های ال‌ای‌دی 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. زیاد بودن

هزینه‌های لامپ‌های فشار قوی سدیمی باعث شده تا تحقیقات به سمت استفاده از فناوری‌های کم‌هزینه و کارا تر گرایش پیدا کند. سیستم نور مصنوعی ال‌ای‌دی به میزان ۳۶ تا ۵۵ درصد مصرف الکتریسیته را در مقایسه با سیستم لامپ‌های سدیمی کاهش می‌دهد. لامپ‌های ال‌ای‌دی که ۹۰ درصد نور قرمز و ۱۰ درصد نور آبی منتشر می‌کردند، بهترین نتیجه را دادند.

توصیه ترویجی:

باید توجه کرد که ایران در منطقه‌ای گرم و خشک واقع شده و از ساعات آفتابی زیادی برخوردار است در ایران، ابرناکی هوا در فصل‌های بارندگی باعث

کاهش نور طبیعی و در نتیجه کاهش تولید می‌شود اما تعداد ساعات ابری در همه نقاط کشور یکسان نیست و بستگی به شرایط اقلیمی و عرض جغرافیایی منطقه دارد. از اینرو بایستی در مکان‌بایی گلخانه‌ها به تعداد ساعات آفتابی مناطق توجه شود. آنچه که به طور کلی از بررسی ادبیات و سوابق تحقیق استنتاج می‌شود این است که کاربرد نور مصنوعی برای افزایش تولید و جبران کمبود نور طبیعی توجیه‌پذیر است؛ با این حال در تحقیقات تلاش در جهت بهبود سطح فناوری و روش‌های به‌زرایی برای کاستن هزینه‌های کاربرد نور مصنوعی می‌باشد.

منابع:

- آزدانیان، ل.، آروئی، ح.، عزیزی، م. ۱۴۰۰. بهبود رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ۲۴۰ (*esculentum c*) (*Lycopersicum*) تحت پوشش نور تکمیلی و محلول‌پاشی عناصر غذایی. علوم باغبانی. در دسترس: doi.org/10.22067/jhs.2021.60433.0
- احمدیان، ع.، احمدیان، ک.، رضادوست، س. ۱۳۹۲. اثر نور مصنوعی و آلودگی نوری در پارک‌ها و فضای سبز شهری بر زمان گل‌دهی و رشد گیاهان زینتی. معماری و شهرسازی آرمان‌شهر. شماره صفحه مقاله: ۸
- دهخدايي، پ.، ریزی، س.، قاسمی، م. ۱۳۹۹. اثر نورهای مصنوعی (LEDs) و طبیعی بر کمیت و کیفیت نشای اطلسی، شمعدانی و حسن یوسف. تولیدات گیاهی، جلد ۴۴ شماره ۳، پاییز ۱.
- جعفری، ع.، سلگی، م.، زارعی، ق. ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی نوردهی مصنوعی در گلخانه‌های سبزی و صیفی (مطالعه موردی: خیار گلخانه‌ای در استان همدان). علوم و فنون کشتهای گلخانه‌ای. سال دهم، شماره اول، بهار.
- خلیلی، و.، خانقلی، ش. ۱۳۹۹. اثر نورهای LED بر شاخص مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه مرزنگوش 2 (*Origanum vulgare L.*). دهمین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار.

Anttila, A., S. Malkki and E. Muuttomaa. 2003. Labor requirement and profitability in the round-the-year greenhouse cultivation of cucumber. NJF Seminar No. 350,



Artificial Lighting in Greenhouse Production, 28-30 June, Hostel Tuorla, Piikkio, Finland.

Bagnall, DJ., King, RW. 2001. Adaptation of Photoperiodic Control Pathways Produces Short-day Flowering in Silvery Pink Cloves, *Journal of Plant Physiology* 16, p. 415–423.

Koivisto A. and T. Hovi-Pekkanen. 2008. Interlighting in the production of greenhouse cucumber: Economic comparison using the simulation model. *Eur. J. Hort. Sci.* 73(4): 177-182.

Singh, D., C. Basu, M, Meinhardt-Wollweber and B. Roth. 2015. LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renew. Sust. Energy Rev.* 49: 139-147

Viršilė A, Olle M, Duchovskis P .2017. LED lighting in horticulture. In: DuttaGupta S (ed) *Light emitting diodes for agriculture*. Singapore, Springer Singapore, pp 113–147.

