

تأثیر شرایط ریز جاذبه و ترکیب طیف نور بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi L.*)

فرزاد الانی^۱، علیرضا ایرانبخش (نویسنده مسئول)^{۲*}، مصطفی عبادی^۳، حلیمه حسن‌پور^۴ و آزاده حکمت^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، farzad13628alani@gmail.com

۲- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Iranbakhsh@iau.ac.ir

۳- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران، mtf.ebadi@gmail.com

۴- استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران، hassanpour@ari.ac.ir

۵- استادیار، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، hekmat@alumni.ut.ac.ir

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

The effect of microgravity conditions and light spectral composition on some physiological and biochemical characteristics of *Physalis alkekengi L.*

Farzad Alani¹, Alireza Iranbakhsh (Corresponding author)^{2*}, Mostafa Ebadi³, Halimeh Hassanpour⁴ and Azadeh Hekmat⁵

1- Ph.D student, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran farzad13628alani@gmail.com

2*- Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Iranbakhsh@iau.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, mtf.ebadi@gmail.com

4- Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science Research and Technology, Tehran, Iran. hassanpour@ari.ac.ir

5- Assistant Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. hekmat@alumni.ut.ac.ir

Received: June 2022

Accepted: September 2022

Abstract

This study was performed to evaluate some growth indices, antioxidant activity, total flavonoids, accumulation of soluble sugars and changes in total protein under microgravity conditions and light spectrum composition with four replications on *P. alkekengi*. Seedlings grown *in vitro* were exposed to the microgravity treatments under two different light conditions, including white (C) and red+blue (R+B). The results of this study showed that the treatment of R+B light spectrum increased seed germination and leaf relative water content (RWC) by 23.9% and 32.1% respectively, compared to control. Microgravity treatment under white light (Microgravity) and microgravity treatment under red+blue light (R+B+Microgravity) biomass increased 78.1% and 97.4% respectively, compared to the white control. The level of antioxidant activity in the treatment groups showed a significant increase in the leaves, which was the highest value under microgravity under R+B light (10.1%). R+B+Microgravity treatment significantly improved the total flavonoid content by about 19.6% compared to the control. The highest activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) enzyme was measured at 9.7% in the root under microgravity conditions. R+B light and microgravity treatment increased the amount of total protein and soluble sugar and also the simultaneous use of these two treatment showed the highest amount (71.8% and 45.1% respectively). The R+B light spectrum can be used improve seed germination and the RWC. In general, R+B+Microgravity treatment synergistically increases biomass, antioxidant activity, total protein and soluble sugars compared to white control.

Keywords: Antioxidant activity, Growth indices, Microgravity, Optical spectrum, *Physalis alkekengi*.

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی برخی از شاخص‌های رشدی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید کل، انباشت قندهای محلول و میزان تغییرات پروتئین کل در شرایط ریزگرانش و ترکیب طیف نور با چهار تکرار بر روی گیاه عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi L.*) انجام گرفت. دانه‌رست‌های کشت شده در شرایط کشت درون شیشه (*In vitro*) در دو شرایط نوری مختلف شامل، سفید (شاهد) و قرمز+آبی (R+B) در معرض تیمار ریز جاذبه قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تیمار طیف نوری قرمز+آبی جوانه‌زنی بذر و محتوای نسبی آب برگ (RWC) را به ترتیب ۲۳/۹٪ و ۳۲/۱٪ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. تیمار ریز جاذبه تحت نور سفید و تیمار ریز جاذبه تحت نور قرمز+آبی به ترتیب ۷۸/۱٪ و ۹۷/۴٪ درصد سبب افزایش زیست توده در مقایسه با کنترل شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گروه‌های تیماری، افزایش معنی‌داری را در برگ‌ها نشان داد که بیشترین مقدار در شرایط ریز جاذبه تحت نور قرمز+آبی (۱۰/۱٪ درصد) بود. تیمار ریز جاذبه تحت طیف نوری قرمز+آبی به طور معنی‌داری میزان فلاونوئید کل را حدود ۱۹/۶٪ درصد در مقایسه با کنترل بهبود بخشید. بیشترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL) در شرایط ریز جاذبه در ریشه ۹/۷٪ درصد اندازه‌گیری شد. تیمار نور قرمز+آبی و ریزگرانش مقدار پروتئین کل و قند محلول را افزایش دادند و همچنین استفاده همزمان از این دو تیمار بیشترین مقدار (به ترتیب ۷۱/۸٪ و ۴۵/۱٪ درصد) را نشان داد. از طیف نور قرمز+آبی می‌توان به منظور بهبود جوانه‌زنی بذر و محتوای نسبی آب برگ استفاده کرد. به طور کلی تیمار ریز گرانش تحت تابش قرمز+آبی به طور هم افزایی زیست توده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مقدار پروتئین کل و قندهای محلول را در مقایسه با شاهد سفید افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: ریزجاذبه، شاخص‌های رشدی، طیف نور، عروسک پشت پرده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

سال ۱۴۰۱، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۵۷-۳۹

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

سال ۱۴۰۱، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۵۷-۳۹

مقدمه و کلیات

پس از پرتاب اولین ماهواره به فضا در سال ۱۹۷۵، گرانث ناچیز یکی از جذاب ترین زمینه های تحقیق در زیست فضا بوده است. مطالعه گیاهان در فضا به منظور پژوهش های بنیادی علم زیست شناسی گیاهی و همچنین توسعه فناوری و کاربرد های زمینی آن انجام می شود (Zheng et al., 2015). مطالعات فضایی و بررسی طیف های نوری در بخش گیاهی می تواند در ارتباط با توسعه تحقیقات کشاورزی در خودکفایی کشور کمک کند و اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با استفاده بهینه از منابع و افزایش تولید محصول در مساحت کم ارائه دهد. این تحقیقات به خاطر محدود و پرهزینه بودن موقعیت تحقیقاتی در فضا بر روی زمین به منظور افزایش نیروی گرانث (سانتریفیوژ) و یا کاهش آن (دستگاه کلینواستت با چرخش آرام) شبیه سازی می شود تا مطالعات زیست فضایی، اثر گرانث ناچیز بر موجودات زنده در سطوح مختلف سلولی و مولکولی، رشد و نمو، رفتار و جهت یابی گیاهان مورد بررسی قرار گیرد (Clement et al., 2006). نور از عوامل محیطی مهم در فرآیند های فیزیولوژیک می باشد (Sonstebly et al., 2013). کیفیت نور غالباً توسط طول موج فوتون های نوری و نسبت آن ها تعیین می شود (Marcuvitz et al., 2000). در سال های اخیر استفاده از نور با دیودهای پخش کننده نور (LED) با منابع سنتی نور جایگزین شده است. مزیت استفاده از ال ای دی به عنوان منبع مصنوعی نور برای استفاده در رشد کنترل شده محیطی گیاه، که با راندمان بالایی تبدیل انرژی، حجم کم، طول عمر بیشتر، قابلیت تنظیم کمی و کیفی و همچنین

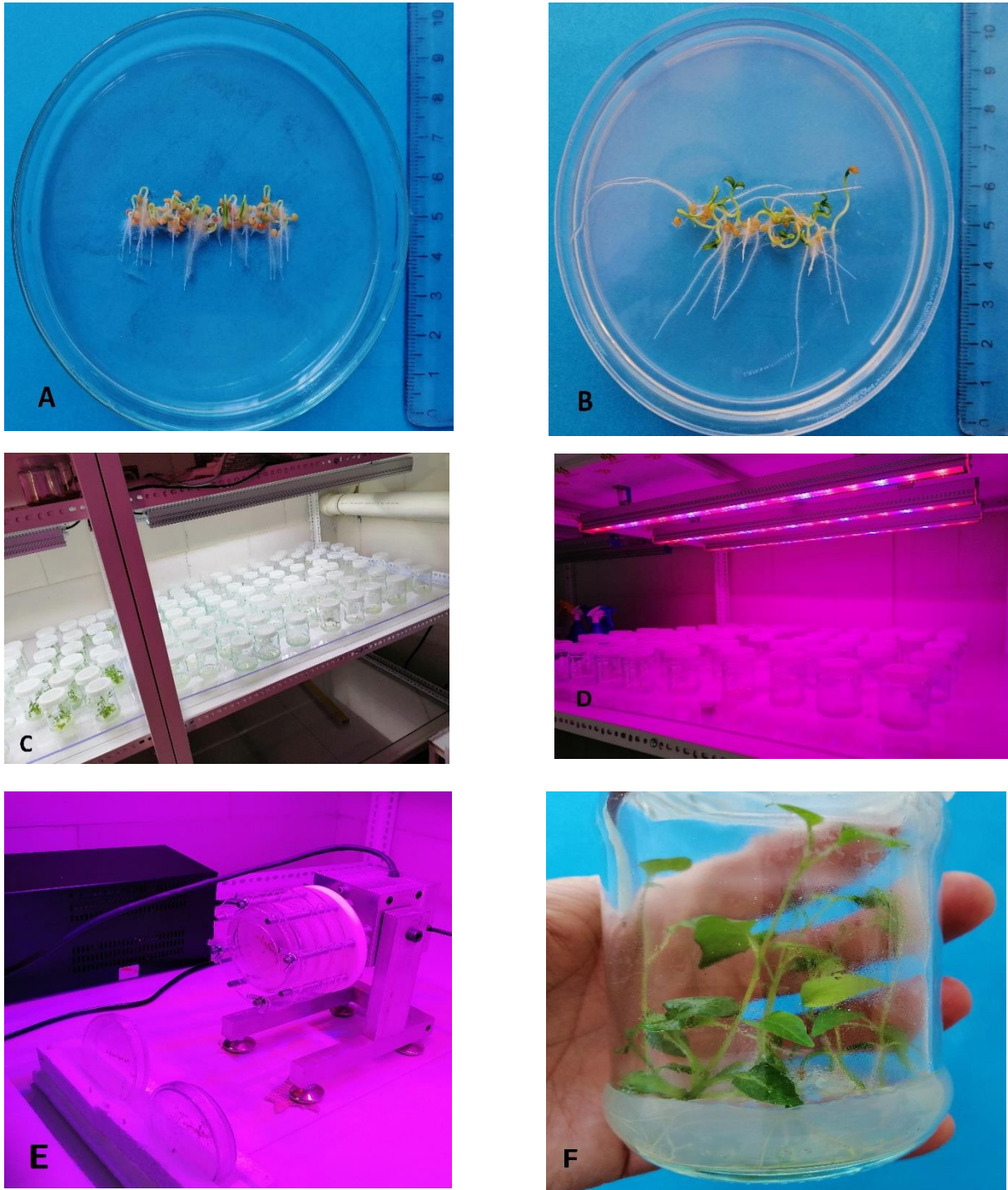
خروجی گرمای کمتر می باشد. تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک تحت تاثیر رنگ های مختلف LED ها قرار می گیرد (Bantis, 2021). گیاه دارویی عروسک پشت پرده، از جنس *Physalis* و گونه *alkekengi* متعلق به خانواده Solanaceae است با حدود ۱۲۰ گونه است. *P. alkekengi* تنها گونه ای است که بومی آسیا و اروپا است، ولی کشور مکزیک با بیش از ۷۰ گونه بیشترین تنوع را دارد (Mazova et al., 2020). این گیاه، منبع بسیار خوبی برای پیش ساز ویتامین آ، ویتامین ث، و تا حدودی ویتامین کمپلکس، پروتئین و همچنین سرشار از عناصر معدنی فسفر، آهن، پتاسیم و روی است (Gulesci et al., 2021) فیزالین های A، B، D، F و گلیکوزیدها اجزای اصلی فعال تشکیل دهنده فیزالین می باشند که فعالیت ضد سرطانی نشان می دهد (Cohen et al., 2015). گونه های اکسیژن فعال (ROS) reactive oxygen species توسط واکنش های متابولیکی در اندامک های سلولی مختلف تولید می شوند. ROS ها (اکسیژن منفرد، پراکسید هیدروژن، سوپر اکسید و رادیکال های هیدروکسیل) با مهار پروتئین ها، DNA، پراکسیداسیون لیپید ها، ساختمان و فعالیت غشای سلولی، تخریب رنگدانه های فتوسنتزی و غیرفعال کردن آنزیم ها و سایر مسیرهای متابولیک، باعث آسیب شدید و مرگ تدریجی سلول ها و ایجاد اختلال در رشد و نمو گیاه می شود. در مقابل سیستم دفاعی گیاهان با فعال کردن آنتی اکسیدان های آنزیمی و غیر آنزیمی در برابر ROS ها فعالیت های عملکردی آن را تنظیم می کند (Mansoor et al., 2022). استفاده از الیستورها (محرک های تولید متابولیت ثانویه) روش مناسبی

کشت تاریک منتقل شدند. پس از گشت پنج روز پتری دیش‌ها روی دستگاه کلینو استت دوبعدی ساخت شرکت پایا کشت (با سرعت چرخش ω) ۳ دور در دقیقه، در جهت عقربه‌های ساعت و زاویه ۹۰ درجه) برای مدت زمان یک هفته تحت جاذبه ناچیز قرار گرفتند. نیروی شتاب (g') با استفاده از معادله $g' = (2\pi/60)2r\omega^2$ اندازه‌گیری و از صفر در مرکز تا 3.02×10^{-4} در لبه محاسبه گردید (Hassanpour et al., 2021). پتری دیش‌های روی دستگاه کلینواستت و شاهد تحت دو نوع طیف نوری سفید (7000K, 100% قرمز + آبی (R+B) به نسبت ۳ به ۱ (قرمز ۶۶۰ نانومتر و آبی ۴۴۰ نانومتر) با شدت نوری ۴۵- $40 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای $25 (\pm 2)$ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۵۵ درصد قرار گرفتند. برای هر کدام از تیمارها، سه پتری دیش روی دستگاه کلینواستت و همزمان سه پتری دیش به عنوان شاهد (Ig) به صورت افقی روی زمین قرار داده شد. پتری دیش‌ها پس از گذشت ۷ روز از دستگاه جدا شدند و به شرایط اتاق کشت منتقل گردیدند. پس از ۴ هفته از کشت، گیاهچه‌ها برداشت شدند و برای آنالیزهای فیزیولوژی و بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱).

برای افزایش سطح تولید متابولیت‌های ثانویه است. این ترکیبات نقش مهمی در چرخه تولید متابولیت‌های ثانویه ایفاء می‌کنند. متابولیت‌های ثانویه مشتق از گیاهان مانند فنلها و فلاونوئیدها دارای پتانسیل قوی برای پاکسازی رادیکالهای آزاد می‌باشند که در تمام قسمت‌های مختلف گیاهی مانند برگ، میوه، دانه، ریشه و پوست وجود دارند (Derakhshan et al., 2018). با توجه به خواص دارویی و تغذیه‌ای گیاه عروسک پشت پرده و همچنین اثرات سوء مصرف کودهای شیمیایی در کشاورزی، انجام تحقیقات وسیع و گسترده در محیط درون شیشه به منظور ارزیابی تنش‌های مختلف در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، مطالعه در زمینه‌های ریز جاذبه و طیف نوری به عنوان یک محرک غیرزنده جهت افزایش تولید ترکیبات گیاهی ارزشمند و همچنین جلوگیری از خروج ارز، در کشور امری ضروری و اجتناب است. بر این اساس، هدف این پژوهش بررسی اثرات ریز جاذبه و کیفیت نور بر روی برخی خصوصیات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه فیزالیس است.

فرآیند پژوهش

بذرهای فیزالیس از شرکت پاکان بذر اصفهان جهت کشت در محیط درون شیشه (*In vitro*) تهیه شد. بعد از استریل کردن بذرها (قراردادن در محلول اتانول ۷۰ درصد برای ۱۰ دقیقه، سه بار شستشو با آب مقطر، قرار دادن در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد و سپس چندین بار شستشو با آب مقطر استریل) در قسمت مرکزی پتری دیش حاوی محیط کشت MS (Murashige and Skoog, 1962) به شعاع حدود ۲ سانتیمتری در دمای $25 (\pm 2)$ درجه سانتیگراد به اتاق



شکل ۱- دانه رست های عروسک پشت پرده (A) شاهد (B) تحت شرایط ریزگرانش (C) اتاق کشت تحت نور سفید (D) اتاق کشت تحت نور قرمز+آبی (E) پتری دیش های متصل به دستگاه کلینو است (F) کشت درون شیشه بعد از ۴ هفته.

Fig 1- Seedlings *P. alkekengi* (A) Control (B) under microgravity (C) Cultivation chamber under white light (D) Cultivation chamber under red+ blue light (E) Petri dishes connected to the chinostat machine (F) In vitro after four weeks

رابطه (۱) محاسبه و گزارش شد (Ranal and Santana, 2006).

$$\text{درصد جوانه زنی (GR)} = \frac{\text{تعداد بذرها}}{\text{تعداد کل بذرها}} * 100$$

غوطه ور شدند، سپس وزن اشباع (TW) آن اندازه گیری و جهت اندازه گیری وزن خشک (DW)، نمونه ها مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفت. در نهایت درصد محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content) از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$\text{RWC (\%)} = [(FW - DW) / (TW - DW)] * 100 -$$

(1995). از ۲ گرم بافت تر گیاه با اتانول ۸۰٪ در ۳۷ درجه به مدت ۲۴ ساعت، عصاره را تهیه شد و از عصاره در لوله های حاوی ۶۰۰ میکرولیتر DPPH (یک میلی مولار) ریخته و پس از ۲۰ دقیقه در تاریکی، جذب نمونه ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS (مدل T92+ ساخت شرکت PG instrument Ltd کشور انگلستان) در طول موج 515 نانومتر خوانده شد. جهت تهیه شاهد نیز به روش بالا عملکرده فقط به جای ۲۵ میکرولیتر عصاره از اتانول ۸۰٪ استفاده می شود. درصد بازدارندگی رادیکال های آزاد از فرمول رابطه (۳) محاسبه شد.

درصد جوانه زنی: درصد جوانه زنی بذرها با آغاز جوانه زنی اولین بذر آغاز شده و تا آخرین روز جوانه زنی بذرها و شمارش روزانه جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۱)

محتوای نسبی آب برگ: از روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد. نمونه‌برداری از برگ رفرنس (آخرین برگ توسعه یافته) تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و پس از اندازه گیری وزن تر (FW) تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

رابطه (۲)

وزن خشک و طول اندام هوایی: دانه رست ها پس از خشک کردن با کاغذ صافی در فویل آلومینیومی قرار داده شد و در آون (memmert مدل SLE600) به مدت 72 ساعت و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس وزن خشک دانه رست ها به کمک ترازوی حساس مدل (AND, HR- 200) با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه گیری شد و همچنین برای تعیین طول اندام هوایی از نرم افزار Digimizer استفاده گردید. (Clickle and Reid, 2002).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد ۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید (Brand- Williams et al.,)

رابطه (۳)

$$\text{DPPH (\%)} = [A_{\text{DPPH}} - A_{\text{extract}} / A_{\text{DPPH}}] * 100$$

تولیدی در دقیقه به ازای گرم وزن تر برای هر یک از نمونه ها محاسبه شد.

پروتئین کل: با استفاده از روش Bradford (1976) برای تهیه معرف برادفورد ۱۰۰ میلی گرم کوماس بلو را در ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد حل کرده و سپس ۱۰۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد به صورت قطره قطره افزوده می شود و با آب مقطر به حجم نهایی یک لیتر رسانده می شود و سپس با کاغذ واتمن صاف می گردد (در ظروف تاریک تا چند روز در دمای ۴ درجه سانتیگراد قابل نگهداری است) برای سنجش پروتئین، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی با ۲/۹ میلی لیتر معرف برادفورد در داخل لوله ها ریخته می شود. ۵ تا ۱۰ دقیقه بعد جذب نمونه ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد.

قندهای محلول کل: با استفاده از روش های Watanabe و همکاران (2000) و Yadav Patade و همکاران (2011) ابتدا باید معرف آنترون (Anthrone reagent) تهیه شود برای تهیه مقدار ۰/۲ گرم آنترون در اسید سولفوریک ۷۰٪، ۳۰ تا ۴۰ دقیقه بماند و هر چند دقیقه یکبار تکان می دهیم. (معرف باید تازه تهیه شود و تا ۱۲ ساعت قابل استفاده است) سپس ۰/۲ گرم بافت در ۱۰ میلی لیتر اتانول ۸۰٪ هموژنیزه شد. عصاره برای ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. ۱ میلی لیتر از سوپرناتانت با ۳ میلی لیتر معرف آنترون تازه مخلوط شد و سپس برای ۱۰ دقیقه در ۱۰۰ درجه حرارت داده شد. واکنش با سرد

اساس این روش این است که هر قدر عصاره تهیه شده دارای قدرت آنتی اکسیدانی بالاتری باشد از اکسیداسیون DPPH جلوگیری می نماید و جذب کمتری نسبت به شاهد نشان می دهد.

فلاونوئید کل: بر اساس روش Chang و همکاران (2002) به ۵۰۰ میکرو لیتر عصاره متانولی، ۱۰۰ میکرولیتر محلول آلومینیوم کلرید (۱۰ W/V)، ۱۰۰ میکرولیتر محلول استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر اضافه می شود. پس از نیم ساعت انکوبه در دمای اتاق جذب نمونه در طول موج ۴۱۵ نانومتر اندازه گیری شد. از کوئرستین به عنوان استاندارد جهت رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد. غلظت کل فلاونوئید بر مبنای میلی گرم بر گرم وزن بافت تر محاسبه گردید.

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز: با استفاده از روش Beaudoin-Eagan و Thorop (1985) مخلوط واکنش این آنزیم (PAL) شامل بافر استخراج (۵۰ میلی مولار تریس- کلردریک اسید با اسیدیته ۸) و فنیل آلانین (۶ میکرومولار) است. ۲۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به هر مخلوط واکنش افزوده و به مدت ۶۰ دقیقه در ۳۷ درجه قرار داده می شود و پس از ۶۰ دقیقه، واکنش با افزودن ۵۰ میکرولیتر HCL ۵ نرمال متوقف شد و سپس جذب نمونه ها در طول موج ۲۹۰ نانومتر اندازه گیری شد. برای رسم منحنی استاندارد از اسید سینامیک به عنوان استاندارد استفاده شد و در نهایت فعالیت PAL بر حسب میکروگرم سینامات

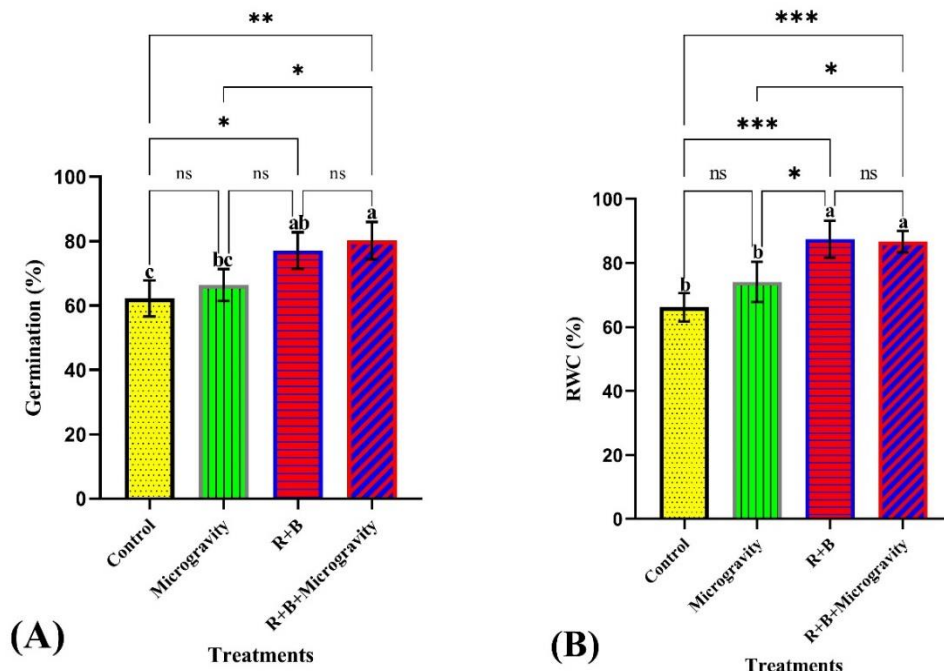
طیف نوری قرمز+آبی (R+B) و تیمار ریزگرانش تحت طیف نوری قرمز+آبی (R+B+Microgravity) به ترتیب ۲۳/۹ درصد و ۲۳/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی داری ($P \leq 0.05$) را نشان داد که نشان دهنده بهبود جوانه زنی بذر این گیاه تحت تابش نور قرمز می باشد. این در حالی است که ریزگرانش تحت نور سفید در مقایسه با شاهد سفید (Control) معنی دار نبود (نمودار ۱ A). تغییرات محتوای نسبی آب برگ در گروه های تیماری وضعیت مشابهی با جوانه زنی ثبت شد. که در تیمار R+B و تیمار میکروگراویتی تحت طیف قرمز+آبی بیشترین (به ترتیب ۳۲/۱ و ۳۰/۹ درصد) مقدار را در مقایسه با شاهد نشان دادند، ولی در تیمار ریزگرانش تحت نور سفید تفاوت معنی داری ایجاد نکرد (نمودار ۱ B).

نمودن روی یخ خاتمه داده شد. جذب در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت شد. با استفاده از گلوکز به عنوان منحنی استاندارد غلظت ها و در نهایت به ازای میلی گرم بر گرم وزن بافت تعیین شد.

تحلیل آماری: تمامی داده ها با استفاده از نرم افزار GraphPad Prism 9 مورد تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) قرار گرفتند. میانگین مقادیر چهار تکرار مستقل با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

درصد جوانه زنی و محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس جوانه زنی بذر تحت تیمار ریزجاذبه (Microgravity) و طیف نوری نشان داد که تیمار



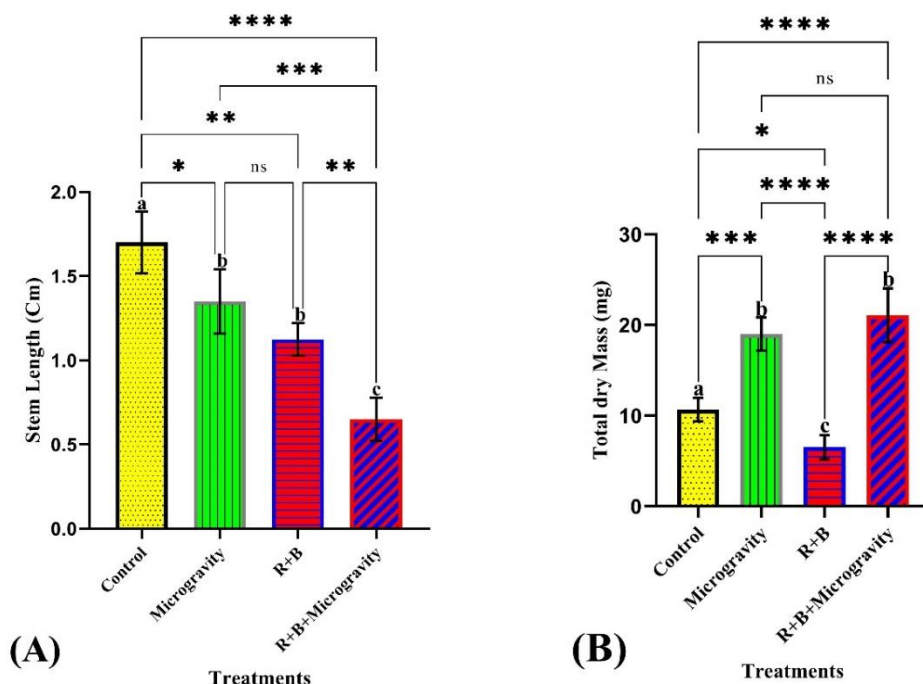
نمودار ۱- اثر ریزگرانش و طیف نوری بر (A) جوانه زنی و (B) محتوای نسبی آب برگ گیاه عروسک پشت پرده

(*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

Fig 1- Effect of microgravity and light spectrum on (A) germination and (B) leaf relative water content of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

نشان داد که به طور کلی ریز جاذبه نسبت به طیف نوری سبب افزایش معنی دار ($P \leq 0.05$) زیست توده نسبت به نمونه شاهد می شود به طوریکه در تیمار میکروگراویتی تحت نور سفید و تیمار میکروگراویتی تحت طیف نوری قرمز+آبی به ترتیب ۷۸/۱ درصد و ۹۷/۴ درصد افزایش در مقایسه با شاهد نشان داد (نمودار ۲ A و B).

طول ساقه و وزن خشک گیاه: به طور کلی مقایسه میانگین داده ها در تیمارهای ریزگرانش و تغییر طیف نوری از سفید به قرمز+آبی طول ساقه را نسبت به شاهد به طور معنی داری کاهش داد. بیشترین کاهش در تیمار توام R+B+Microgravity با کاهش ۶۱/۷ درصد در مقایسه با شاهد اندازه گیری شد (نمودار ۲ A). اندازه گیری وزن خشک نمونه های تحت تیمارها



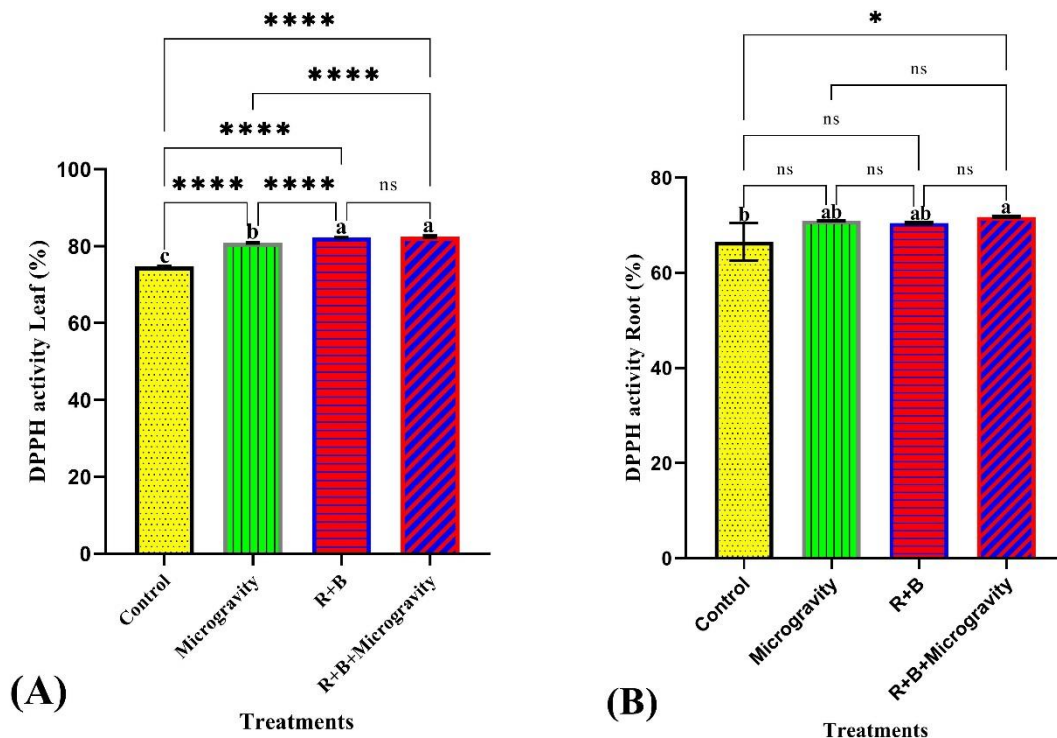
نمودار ۲- تاثیر ریزجاذبه و طیف نوری بر (A) طول ساقه و (B) وزن خشک گیاه عروسک پشت پرده

(*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

Fig 2- Effect of microgravity and light spectrum on (A) stem length and (B) dry mass of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

شرایط میکروگراویتی و تغییر طیف نور به جز تیمار R+B+Microgravity (۷/۸ درصد افزایش فعالیت)، در سایر تیمارها نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (نمودار ۳ B).

فعالیت آنتی اکسیدانی: در این مطالعه مقایسه میانگین داده ها فعالیت آنتی اکسیدانی تحت شرایط ریز گرانش و کیفیت نور نشان داد که میزان به دام اندازی رادیکال آزاد در جاذبه ناچیز و طیف R+B (به ترتیب ۸/۲ و ۱۰/۱ درصد) نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی داری ($P \leq 0.05$) را در برگ های گیاه فیزالیس ایجاد می کند (نمودار ۳ A). در عصاره تهیه شده از بافت ریشه در

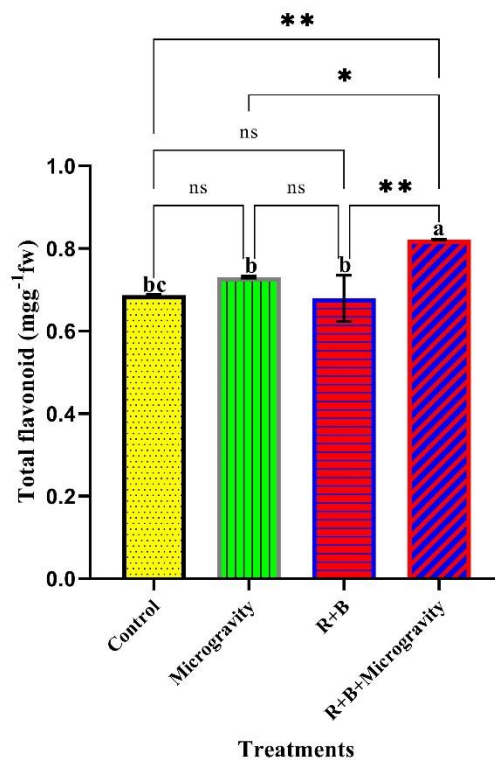


نمودار ۳- اثر ریز جاذبه، تحت طیف نوری سفید و قرمز+ آبی بر فعالیت آنتی اکسیدانی در (A) برگ ها و (B) ریشه گیاه عروسک پشت پرده (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

Figure 3- Effect of microgravity, under white and R+B light spectrum on antioxidant activity(A) leaves and(B) root of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

تیمار ریز جاذبه تحت طیف نوری قرمز+آبی به طور معنی داری میزان فلاونوئید کل را حدود ۱۹/۶ درصد در مقایسه با کنترل بهبود داد (نمودار ۴).

فلاونوئید کل: نتایج نشان داد که تاثیر ریز جاذبه و طیف نوری به تنهایی روی میزان فلاونوئید کل تفاوت معنی داری از لحاظ آماری ایجاد نمی کند، ولی در



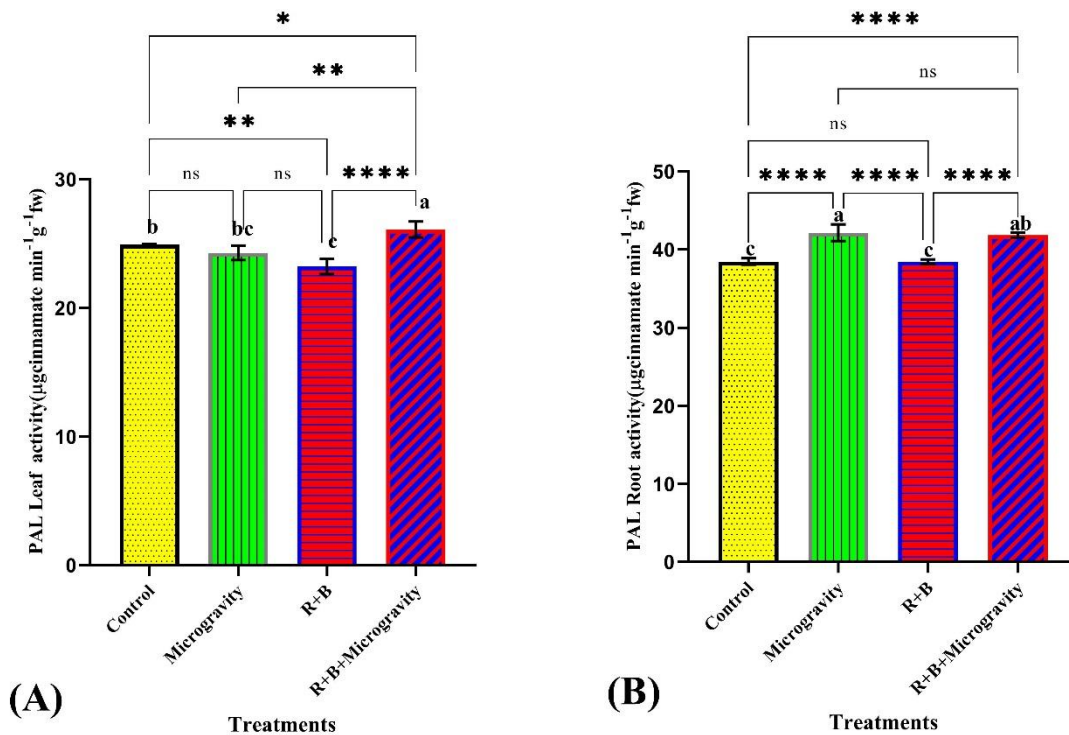
نمودار ۴- اثر ریز جاذبه، تحت طیف نوری سفید و قرمز+ آبی بر میزان فلاونوئید کل

(*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

Figure 4- Effect of microgravity, under white and R+B light spectrum on total flavonoid of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

۹/۷ درصد)، در حالیکه کیفیت نور تغییر قابل توجهی ایجاد نکرد (نمودار ۵ B).

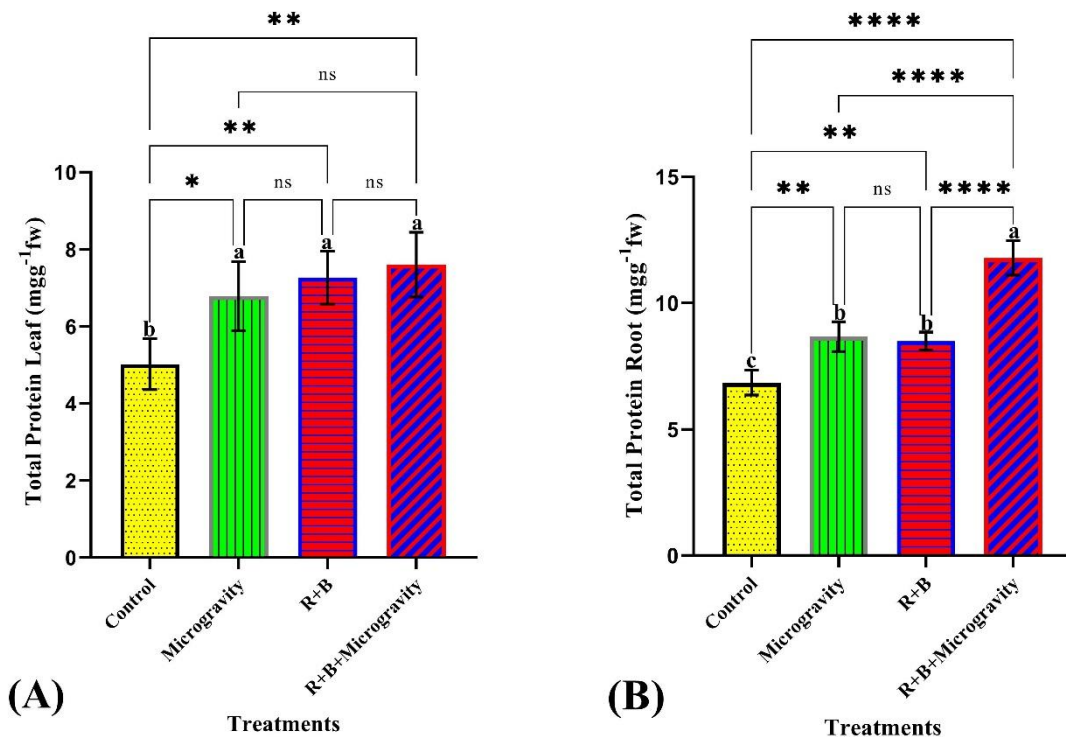
فعالیت آنزیم PAL: نتایج حاصل از اندازه گیری این آنزیم در گروه های تیماری نشان داد که تیمار میکروگراویتی نسبت به شاهد تفاوت معنی داری در برگ ها ایجاد نکرد ولی تغییر طیف نوری از سفید به قرمز+آبی کاهش معنی داری (۶/۴ درصد) را نسبت به کنترل نشان داد. همچنین تیمارهای ریز جاذبه تحت طیف نوری قرمز+آبی سبب افزایش فعالیت این آنزیم (۵/۴ درصد) در مقایسه با شاهد در برگ ها شد (نمودار ۵ A). اندازه گیری فعالیت این آنزیم در ریشه نشان داد که ریز جاذبه میزان فعالیت این آنزیم را به طور معنی داری نسبت به نمونه شاهد افزایش می دهد



نمودار ۵- اثر ریز جاذبه، تحت طیف نوری سفید و قرمز+ آبی بر فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز در (A) برگ ها و (B) ریشه (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

Figure 5- Effect of microgravity, under white and R+B light spectrum on phenylalanine ammonialyase activity(A) leaves and(B) root of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

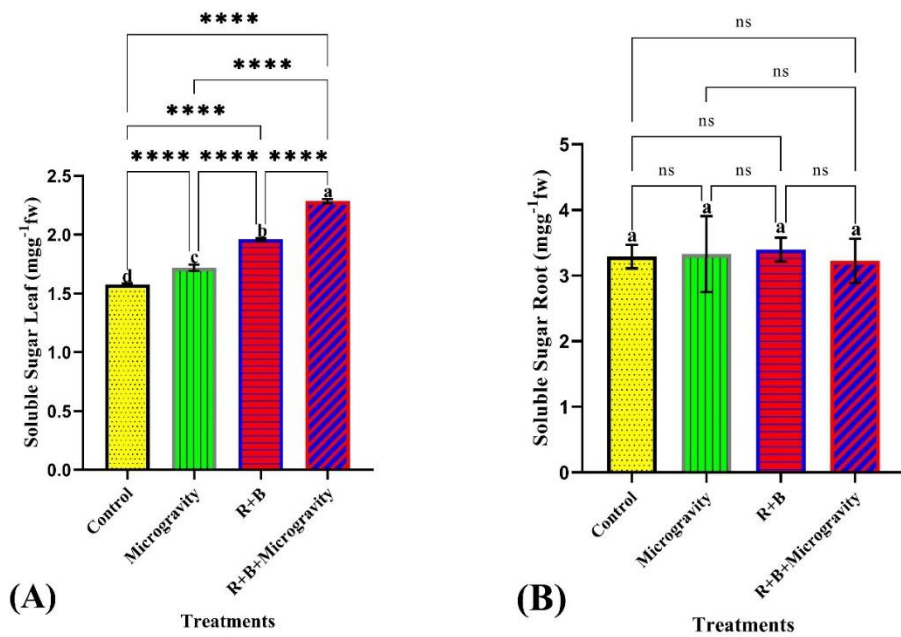
پروتئین کل: نتایج تجزیه واریانس تغییرات پروتئین کل در بین تیمارها نشان داد که میزان پروتئین کل در هر دو تیمار میکروگراویتی و طیف قرمز+آبی به طور معنی داری افزایش می یابد (به ترتیب ۳۲/۷ و ۴۶/۷ درصد)، ولی تاثیر توأم هر دو تیمار فوق در برگ ها این مقدار را بهبود بخشید و بیشترین پروتئین کل (۵۱/۳ درصد) را نسبت به شاهد سفید نشان داد (نمودار ۶A). در ریشه به طور کلی این تغییرات تکرار شد. در شرایط ریزجاذبه تحت تابش R+B به طور هم افزایی مقدار پروتئین کل (۷۱/۸ درصد) را در مقایسه با نمونه شاهد سفید افزایش داد (نمودار ۶B).



نمودار ۶- اثر ریز جاذبه، تحت طیف نوری سفید و قرمز+ آبی بر میزان پروتئین کل در (A) برگ ها و (B) ریشه (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)
Figure 6- Effect of microgravity, under white and R+B light spectrum on total protein (A) leaves and (B) root of *P. alkekengi* (*: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

قند محلول: مقایسه میانگین داده های ($P \leq 0.05$) میزان قند محلول اندازه گیری شده در گرانش ناچیز ۹/۱ درصد و تغییر طیف نوری ۲۴/۳ درصد در عصاره تهیه شده از نمونه برگ به طور معنی داری افزایش داد که این افزایش در تیمار میکروگراویتی تحت طیف نوری قرمز+آبی بیشترین مقدار (۴۵/۱ درصد) در بین تیمارها نسبت به کنترل بود، ولی تغییرات اندازه گیری شده در گروه های تیماری در عصاره تهیه شده ریشه تفاوت معنی داری ایجاد نکرد (نمودار A و B).

تاثیر شرایط ریز جاذبه و ترکیب طیف نور بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی... ۵۱



نمودار ۷- اثر ریز جاذبه، تحت طیف نوری سفید و قرمز+ آبی بر میزان قندهای محلول در (A) برگ ها و (B) ریشه ($*$: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)
Figure 7- Effect of microgravity, under white and R+B light spectrum on soluble sugar (A) leaves and (B) root of *P. alkekengi* ($*$: $P \leq 0.05$; ns: $P \geq 0.05$)

	DPPH Leaf	DPPH Root	PAL Leaf	PAL Root	Total flavonoid	Total protein leaf	Total protein root	Soluble sugar leaf	Soluble sugar root	Germination	RWC	Stem length	Total dry Mass
DPPH Leaf	1.00	0.80	-0.09	0.48	0.47	0.82	0.73	0.78	0.04	0.71	0.69	-0.79	0.29
DPPH Root	0.80	1.00	0.04	0.59	0.50	0.59	0.63	0.64	0.15	0.65	0.60	-0.59	0.47
PAL Leaf	-0.09	0.04	1.00	0.39	0.70	-0.15	0.43	0.37	-0.23	0.17	-0.11	-0.33	0.66
PAL Root	0.48	0.59	0.39	1.00	0.73	0.37	0.63	0.38	-0.18	0.20	0.22	-0.42	0.32
Total flavonoid	0.47	0.50	0.70	0.73	1.00	0.41	0.84	0.71	-0.13	0.40	0.30	-0.71	0.81
Total protein leaf	0.82	0.59	-0.15	0.37	0.41	1.00	0.79	0.69	0.15	0.48	0.53	-0.77	0.20
Total protein root	0.73	0.63	0.43	0.63	0.84	0.79	1.00	0.90	-0.09	0.61	0.48	-0.91	0.60
Soluble sugar leaf	0.78	0.64	0.37	0.38	0.71	0.69	0.90	1.00	-0.10	0.81	0.56	-0.93	0.38
Soluble sugar root	0.04	0.15	-0.23	-0.18	-0.13	0.15	-0.09	-0.10	1.00	-0.20	-0.17	0.20	-0.16
Germination	0.71	0.65	0.17	0.20	0.40	0.48	0.61	0.81	-0.20	1.00	0.42	-0.68	0.16
RWC	0.69	0.60	-0.11	0.22	0.30	0.53	0.48	0.56	-0.17	0.42	1.00	-0.65	0.09
Stem length	-0.79	-0.59	-0.33	-0.42	-0.71	-0.77	-0.91	-0.93	0.20	-0.68	-0.65	1.00	-0.37
Total dry Mass	0.29	0.47	0.66	0.32	0.81	0.20	0.60	0.38	-0.16	0.16	0.09	-0.37	1.00

جدول ۱- نقشه حرارتی از ماتریس همبستگی در رابطه با صفات مورد بررسی

Table 1- A heatmap of the correlation matrix in relation to the studied traits

ساقه تحت گرانش ناچیز می تواند کندتر یا سریعتر از زمین باشد. همچنین به نظر می رسد بی وزنی می تواند منجر به بازدارندگی رشد گیاهچه ها شود. اما فاکتورهای دیگری (تغییر تبادلات گازی، اتمسفر و غیره) در فضا نیز در کند شدن رشد دخیل هستند (Salmi et al., 2011). مطالعه رشد هیپوکوتیل گیاهچه های آراییدوپسیس تحت بی وزنی واقعی و همچنین سطوح مختلف g، رشد بیشتر و سریعتر این اندام را در فضا نشان داد (Yun et al., 2006). داده های ارائه شده توسط این آزمایش ها نشان دادند که برای دوره های کوتاه رشد هیچ تفاوت معنی داری در گونه های متفاوت رشد یافته در کلینواستت مشاهده نشد. ولی هرچه زمان سپری شده تحت ریز جاذبه بیشتر باشد رشد ساقه افزایش می یابد. نتایج حاصل در کلینواستت بیانگر این است که نمو ریشه نسبت به ساقه با آشفستگی و تغییرات بیشتری مواجه است و می تواند به دلیل جریان بیشتر اکسین در سلول های استاتوسیت ساقه و خروج آن توسط سلول های حسگر نیروی گرانش باشد (Yun et al., 2006). با در نظر گرفتن ویژگی های رشد، بیشترین تأثیر ریزگرانش در زیست توده ثبت شد که ممکن است بیشتر بخاطر گسترش سیستم ریشه ای باشد. این نتایج با نتایج مطالعه ما مطابقت نشان داد (شکل ۱ B). سطوح بالا از گونه های اکسیژن فعال در طول تنش های غیر زنده نه تنها بر روی فیتوهورمون ها تأثیر می گذارد بلکه سطح رونویسی ژن ها را تعدیل می کند (Dalal et al., 2018). آنزیم های MAPK و CDPK در تنظیم سطوح ROS ها (تولید شده توسط کلروپلاست ها و پراکسی زوم ها) در داخل سلول موثر هستند. شرایط استرس غیر زنده

در این تحقیق به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده تحت شرایط ریز جاذبه و کیفیت نور، تفاوت معنی دار و همبستگی آماری متوسط تا قوی روی بیشتر صفات مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۱). با در نظر گرفتن ویژگی های رشد، بیشترین تأثیر ریز گرانش تحت نور قرمز+آبی روی جوانه زنی بذر گیاه عروسک پشت پرده ثبت شد. دانه رست های آراییدوپسیس تالیانا که در ایستگاه فضایی بین المللی (ISS) رشد یافته اند، پاسخ نوری مثبت نسبت به نور قرمز نشان دادند (Malarvizhi et al., 2020). همچنین بر اساس مطالعه Miller و همکاران (2010) برخی از گیاهان گلدار سیستم حسی نور قرمز را برای فتوتروپیسم تحت میکروگرانش را حفظ می کنند. این نتایج با نتایج مطالعه اخیر همسو بود. شرایط ریزگرانش ممکن است به طور بالقوه با تغییراتی در رونویسی تعداد زیادی از ژن های دخیل در فرآیندهای حیاتی مانند فتوسنتز، بیوسنتز ریبوزوم، تنفس (Vandenbrink et al., 2019) و جذب آب (Nakajima et al., 2021) مرتبط باشد. در این مطالعه بررسی اینکه ریز جاذبه و تغییر طیف نوری به عنوان یک عامل تنش زا بر روی محتوای نسبی آب برگ چه تاثیری دارد نشان داد که ریز جاذبه به تنهایی تغییر قابل توجهی روی RWC نسبت به شاهد نداشت ولی طیف نوری (قرمز+آبی) افزایش معنی داری را نسبت به طیف نور سفید ایجاد کرد. با توجه به نتیجه این تحقیق به نظر می رسد کیفیت نور می تواند سبب بهبود جذب آب با راندمان بهتر عمل کند. نتایج به دست آمده در این مطالعه در مورد رشد ساقه و مقایسه آن با مطالعات Spooner و Claasen (1994) که نشان دادند رشد

ثانویه و نقش کلیدی در تنظیم محصولات حاصل از مسیر فنیل پروپانوئیدی ایفا می‌کند. فعالیت آنزیم PAL تحت تأثیر مرحله رشد، تمایزیابی سلول و همچنین استرس های زنده و غیرزنده تغییر می‌کند مسیر فنیل پروپانوئیدی، مسیر اولیه تولید بسیاری از ترکیبات طبیعی مانند هیدروکسی سینامیک اسیدها و سپس فلاونوئیدها، ایزوفلاونوئیدها، لیگنین، کومارین، و طیف وسیعی از سایر مواد فنلی است این ترکیبات در گیاه نقش های مهمی چون حفاظت در برابر تنش های زنده و غیر زنده، سیگنال های بین سلولی، محافظت در برابر اشعه UV و همچنین حفاظت های مکانیکی را به عهده دارند (Bagal et al., 2012). در این تحقیق میزان فعالیت آنزیم PAL با مقدار فلاونوئید کل به دست آمده نوعی هماهنگی را نشان می‌دهد. به این معنی که در تیمار ریز جاذبه تحت نور قرمز + آبی در عصاره تهیه شده از برگ ها از لحاظ آماری افزایش معنی داری را نشان داد که در همین تیمار مقدار فلاونوئید کل هم افزایش یافت. این نتیجه می‌تواند قابل پیش بینی باشد. مقدار این آنزیم در عصاره ریشه در شرایط ریز جاذبه و کیفیت نور افزایش معنی داری را نسبت به شاهد نشان داد که می‌تواند بخاطر ایجاد محافظت در برابر تنش ریز جاذبه و افزایش تولید لیگنین در سلول های ریشه باشد. بررسی تأثیر ریزگرانش و طیف های نوری بر روی میزان پروتئین های کل اندازه گیری شده نشان داد که با توجه به شرایط تنشی میزان پروتئین ها تحت شرایط کلینواستت افزایش معنی داری را نسبت به شرایط Ig نشان دادند که این افزایش به منظور مقابله با شرایط تنشی و محافظت از ساختارهای سلولی است که منجر

می‌تواند باعث عدم تعادل ROS داخل سلولی شود در نتیجه باعث ایجاد پاسخ استرس اکسیداتیو می‌شود (Raja et al., 2017). ریز جاذبه و کیفیت نور می‌تواند باعث تغییر در ترکیبات عصاره شود که این مساله می‌تواند باعث افزایش یا کاهش فعالیت آنٹی رادیکالی عصاره شود. یکی از اهمیت‌های اصلی مطالعه در واکنش‌های گیاهان به شرایط ریزگرانش شامل تولید متابولیت‌های ثانویه است که می‌توانند در گیاهان دارویی مورد بهره‌برداری قرار گیرند (Nakajima et al., 2019). ریز جاذبه و کیفیت نور دو نمونه از محرک‌های غیر زنده هستند که می‌توان به عنوان ترکیبات محرک تولید متابولیت های ثانویه استفاده کرد (Esmaelpour et al., 2019; Nakajima et al., 2019). مطالعات قبلی این نظریه را تایید می‌کند که کیفیت طیف نوری در گلخانه یا شرایط آزمایشگاهی ممکن است به طور قابل توجهی روی واکنش های رشد و متابولیسم گیاه تأثیرگذار باشد (Lafuente et al., 2022; Esmaelpour et al., 2021). بخاطر اهمیت متابولیسم فنلی و خصوصا نقش اساسی آن در شرایط مواجه گیاهان با تنش ها این بررسی انجام شد که با توجه به نتایج این تحقیق، ریزجاذبه تحت نور قرمز+آبی میزان فلاونوئید کل را نسبت به نمونه شاهد به طور معنی داری افزایش داد که نشان دهنده سازکاری با این شرایط در جهت تولید متابولیت های ثانویه و القای تولید ترکیبات فنلی در پاسخ به شرایط اکسیداتیو می‌باشد. این داده ها همبستگی مثبتی با نتایج به دام اندازی رادیکال های DPPH را نشان می‌دهد. فنیل آلانین آمونیلایز آنزیم اصلی در اتصال مسیر سنتزی اسیدهای آمینه آروماتیک و متابولیت های

بیشتری را نشان داد. ریز جاذبه و کیفیت نور می توانند سبب انباشت قندهای محلول تحت شرایط خاص (مدت زمان تحت تیمار و غیره) شود.

منابع

- 1) Bantis, F. 2021. Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. *Plants*, 10(10): 2182.
- 2) Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and, C.L.W.T Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
- 3) Bradford, MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- 4) Beaudoin-Eagan, L.D. and T.A, Thorpe. 1985. Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3): 438-441.
- 5) Bagal, U.R. 2012. Leebens mack JH, Walter Lorenz W and Dean JFD. The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm specific line age. *BMC Genoms*, 13(3): 1471-2164.
- 6) Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and J.C, Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3).
- 7) Clément, G. and K, Slenzka. 2006. *Fundamentals of space biology: research on cells, animals, and plants in space*. Springer Science & Business Media. (Vol. 18)

به پایداری آنزیم ها می گردد تا از تجمع گونه های اکسیژن فعال و القاء تنش اکسیداتیو جلوگیری کند. این داده ها با نتایج Zhang و همکاران (2015) که نشان دادند میزان سنتز پروتئین ها در شرایط ریزگرانش در اکثر پروتئین ها اندازه گیری شده بیشتر شد، مطابقت نشان می دهد. مقدار قندهای محلول اندازه گیری شده در این مطالعه انباشت قند های محلول در شرایط ریز جاذبه، علاوه بر نقش های فیزیولوژیک مهمی که از نظر تامین انرژی ایفا می کند، می تواند باعث کاهش پتانسیل اسمزی و موجب بالاتر نگه داشتن میزان آب نسبی شود.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه روی *P. alkekengi* می توان از طیف نور قرمز+آبی (با شرایط ذکر شده) به منظور بهبود جوانه زنی بذر و محتوای نسبی آب برگ استفاده کرد. ریز جاذبه زیست توده را افزایش می دهد، ولی تیمار ریز گرانش تحت تابش قرمز+آبی به طور هم افزایی زیست توده را در مقایسه با شاهد سفید افزایش می دهد. ریزگرانش و کیفیت نور سبب تحریک ترکیبات ثانویه شد به طوریکه نور R+B به طور هم افزایی نقش مفید ریزگرانش را افزایش داد. که نشان دهنده سازگاری با این شرایط در جهت تنظیم متابولیسم ثانویه و القای تولید ترکیبات فنلی در پاسخ به شرایط اکسیداتیو می باشد. ریز جاذبه و کیفیت نور می تواند با تحریک سیستم دفاع آنتی اکسیدانی سبب جاروب رادیکالهای آزاد شود. شرایط ریز گرانش پروتئین کل را افزایش داد، ولی تاثیر همزمان هر دو تیمار (ریز جاذبه و طیف قرمز+آبی) درصد پروتئین کل را در برگ ها و ریشه افزایش

- Organ Culture (PCTOC), 146(2): 215-224.
- 15) Lafuente, M.T., Romero, P. and Ballester, A.R., 2021. Coordinated activation of the metabolic pathways induced by LED blue light in citrus fruit. *Food Chemistry*, 341: 128050.
 - 16) Bantis, F. 2021. Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. *Plants*, 10(10): 2182.
 - 17) Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and, C.L.W.T Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
 - 18) Bradford, MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
 - 19) Beaudoin-Eagan, L.D. and T.A, Thorpe. 1985. Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3): 438-441.
 - 20) Bagal, U.R. 2012. Leebens mack JH, Walter Lorenz W and Dean JFD. The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm specific line age. *BMC Genoms*, 13(3): 1471-2164.
 - 21) Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and J.C, Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3).
 - 22) Clément, G. and K, Slenzka. 2006. *Fundamentals of space biology: research on cells, animals, and plants in space*. Springer Science & Business Media. (Vol. 18)
 - 23) Çelikel, F.G. and M.S, Reid. 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). *HortScience*, 37(1): 144-147.
 - 8) Çelikel, F.G. and M.S, Reid. 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). *HortScience*, 37(1): 144-147.
 - 9) Dalal, M., Sahu, S., Tiwari, S., Rao, A.R. and K, Gaikwad. 2018. Transcriptome analysis reveals interplay between hormones, ROS metabolism and cell wall biosynthesis for drought-induced root growth in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130: 482-492.
 - 10) Derakhshan, Z., Ferrante, M., Tadi, M., Ansari, F., Heydari, A., Hosseini, M.S., Conti, G.O. and E.K, Sadrabad. 2018. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds. *Food and chemical toxicology*, 114: 108-111.
 - 11) Esmaelpour, S., Iranbakhsh, A., Dilmaghani, K., Marandi, S.J. and Z.O. Ardebili. 2022. The potential contribution of the WRKY53 transcription factor, gamma-aminobutyric acid (GABA) transaminase, and histone deacetylase in regulating growth, organogenesis, photosynthesis, and transcriptional responses of tomato to different light-emitting diodes (LEDs). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 229: 112413.
 - 12) Gulesci, N., Yücebilgic, G. and R, Bilgin. 2021. Review on Evaluation of *Physalis peruviana* L.'s Antioxidant, Antimicrobial and Biochemical Activities.
 - 13) Gallagher, R.J., Subramanian, C., Grogan, P.T., Kindscher, K., Cao, C.M., Zhang, H., Cohen, M.S. and B.N. Timmermann. 2015. The therapeutic potential of *Physalis longifolia* against various carcinomas. *Pharmanutrition*, 3(4): 146-152.
 - 14) Hassanpour, H. and M, Ghanbarzadeh. 2021. Induction of cell division and antioxidative enzyme activity of *Matricaria chamomilla* L. cell line under clino-rotation. *Plant Cell, Tissue and*

- activation of the metabolic pathways induced by LED blue light in citrus fruit. *Food Chemistry*, 341: 128050.
- 31) Bantis, F. 2021. Light Spectrum Differentially Affects the Yield and Phytochemical Content of Microgreen Vegetables in a Plant Factory. *Plants*, 10(10): 2182.
- 32) Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and, C.L.W.T Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
- 33) Bradford, MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- 34) Beaudoin-Eagan, L.D. and T.A, Thorpe. 1985. Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3): 438-441.
- 35) Bagal, U.R. 2012. Leebens mack JH, Walter Lorenz W and Dean JFD. The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm specific line age. *BMC Genoms*, 13(3): 1471-2164.
- 36) Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and J.C, Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3).
- 37) Clément, G. and K, Slenzka. 2006. Fundamentals of space biology: research on cells, animals, and plants in space. Springer Science & Business Media. (Vol. 18)
- 38) Çelikel, F.G. and M.S, Reid. 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). *HortScience*, 37(1): 144-147.
- 39) Dalal, M., Sahu, S., Tiwari, S., Rao, A.R. and K, Gaikwad. 2018. Transcriptome analysis reveals interplay between hormones, ROS
- 24) Dalal, M., Sahu, S., Tiwari, S., Rao, A.R. and K, Gaikwad. 2018. Transcriptome analysis reveals interplay between hormones, ROS metabolism and cell wall biosynthesis for drought-induced root growth in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130: 482-492.
- 25) Derakhshan, Z., Ferrante, M., Tadi, M., Ansari, F., Heydari, A., Hosseini, M.S., Conti, G.O. and E.K, Sadrabad. 2018. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds. *Food and chemical toxicology*, 114: 108-111.
- 26) Esmaelpour, S., Iranbakhsh, A., Dilmaghani, K., Marandi, S.J. and Z.O. Ardebili. 2022. The potential contribution of the WRKY53 transcription factor, gamma-aminobutyric acid (GABA) transaminase, and histone deacetylase in regulating growth, organogenesis, photosynthesis, and transcriptional responses of tomato to different light-emitting diodes (LEDs). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 229: 112413.
- 27) Gulesci, N., Yücebiligic, G. and R, Bilgin. 2021. Review on Evaluation of *Physalis peruviana* L.'s Antioxidant, Antimicrobial and Biochemical Activities.
- 28) Gallagher, R.J., Subramanian, C., Grogan, P.T., Kindscher, K., Cao, C.M., Zhang, H., Cohen, M.S. and B.N. Timmermann. 2015. The therapeutic potential of *Physalis longifolia* against various carcinomas. *Pharmanutrition*, 3(4): 146-152.
- 29) Hassanpour, H. and M, Ghanbarzadeh. 2021. Induction of cell division and antioxidative enzyme activity of *Matricaria chamomilla* L. cell line under clino-rotation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 146(2): 215-224.
- 30) Lafuente, M.T., Romero, P. and Ballester, A.R., 2021. Coordinated

- metabolism and cell wall biosynthesis for drought-induced root growth in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130: 482-492.
- 40) Derakhshan, Z., Ferrante, M., Tadi, M., Ansari, F., Heydari, A., Hosseini, M.S., Conti, G.O. and E.K, Sadrabad. 2018. Antioxidant activity and total phenolic content of ethanolic extract of pomegranate peels, juice and seeds. *Food and chemical toxicology*, 114: 108-111.
- 41) Esmaelpour, S., Iranbakhsh, A., Dilmaghani, K., Marandi, S.J. and Z.O. Ardebili. 2022. The potential contribution of the WRKY53 transcription factor, gamma-aminobutyric acid (GABA) transaminase, and histone deacetylase in regulating growth, organogenesis, photosynthesis, and transcriptional responses of tomato to different light-emitting diodes (LEDs). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 229: 112413.
- 42) Gulesci, N., Yücebilgic, G. and R, Bilgin. 2021. Review on Evaluation of *Physalis peruviana* L.'s Antioxidant, Antimicrobial and Biochemical Activities.
- 43) Gallagher, R.J., Subramanian, C., Grogan, P.T., Kindscher, K., Cao, C.M., Zhang, H., Cohen, M.S. and B.N. Timmermann. 2015. The therapeutic potential of *Physalis longifolia* against various carcinomas. *Pharmanutrition*, 3(4): 146-152.
- 44) Hassanpour, H. and M, Ghanbarzadeh. 2021. Induction of cell division and antioxidative enzyme activity of *Matricaria chamomilla* L. cell line under clino-rotation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 146(2): 215-224.
- 45) Lafuente, M.T., Romero, P. and Ballester, A.R., 2021. Coordinated activation of the metabolic pathways induced by LED blue light in citrus fruit. *Food Chemistry*, 341: 128050.