

## Effect of salicylic acid and melatonin on chlorophyll fluorescence and initial growth of greenhouse tomatoes in salinity stress

Mostafa Niazi Khoje<sup>1</sup>, Mehdi Rezaei<sup>\*2</sup>, Ziba Ghasimi Hagh<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [mosi7415@yahoo.com](mailto:mosi7415@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [mhrezaei@shahroodut.ac.ir](mailto:mhrezaei@shahroodut.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [z\\_ghasimi@yahoo.com](mailto:z_ghasimi@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 11.09.2021  
Revised: 12.06.2021  
Accepted: 12.29.2021

### Keywords:

Photochemical quantum efficiency,  
Plant growth regulators,  
Reproductive growth,  
Sodium chloride

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The greenhouse crops recently attract enormous interest in Iran. The extensive greenhouse tomatoes cultivation, established for local and export markets. The salinity of irrigation water is one of limitation factors of greenhouse crops cultivation in arid and semi-arid regions. In this research, survey impact of melatonin and salicylic acid in reducing the destructive aspects of water salinity stress in the early stages of greenhouse tomato growth.

**Materials and Methods:** In a factorial split-plot experiment, tomato plants, Goldi cultivar, were exposed to salinity at 0, 50 and 100 mM NaCl as a main factor in hydroponic culture medium. Two sub-factors, Melatonin at 0, 10  $\mu$ M and salicylic acid 0, 1.5 and 2.5 mM, were foliar sprayed in three time. Before flowerings, one month after transfer to the pot, shoot height and leaf length, leaf number and stem diameter were measured. Two months after planting, fruit weight, number of flowers per inflorescence and chlorophyll fluorescence parameters including minimum fluorescence ( $F_o$ ), maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ) and photochemical quantum yield ( $Y_{II}$ ) were measured.

**Results:** The results showed that salinity significantly reduced the vegetative and reproductive growth of tomatoes in greenhouse conditions but salicylic acid did not show a significant effect on vegetative and reproductive characteristics in the early stages of growth. Melatonin significantly increased the growth characteristics of tomato plants such as leaf length and number, plant height and stem diameter in the first month of growth ( $P < 0.01$ ). The results also showed that melatonin had a significant effect on increasing the number of flowers in the inflorescence and the number of fruits per plant in the two months after planting. Also, fluorescence parameters including  $F_m$ ,  $F_o$ ,  $F_v$  and  $Y_{II}$  showed a significant decreasing with increasing sodium chloride concentration ( $P < 0.01$ ). The average effective photochemical quantum efficiency of photosystem II decreased from 0.84 in non-stress conditions to 0.76 in salinity. Melatonin caused a significant increase ( $P < 0.01$ ) in the effective photochemical quantum efficiency of photosystem II and maximum and minimum fluorescence of tomato plants, but the application of salicylic acid had no effect on this parameters. The most effective photochemical of photosystem II was 0.84 in non-stress conditions and application of 10  $\mu$ M melatonin.

---

**Conclusion:** The results of this study showed that salinity reduces the initial growth of tomato plants under greenhouse conditions. Salicylic acid did not show a significant effects on vegetative and reproductive characteristics in the early stages of tomato plant growth. Use of melatonin reduces the destructive effects of salinity and increases tomato tolerance to salinity in the early stages of growth.

---

Cite this article: Niazi Khoje, Mostafa, Rezaei, Mehdi, Ghasimi Hagh, Ziba. 2022. Effect of salicylic acid and melatonin on chlorophyll fluorescence and initial growth of greenhouse tomatoes in salinity stress. *Journal of Plant Production Research*, 29 (2), 265-282.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19658.2889

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثر اسید سالیسیلیک و ملاتونین بر کلروفیل فلورسانس و رشد اولیه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در تنش شوری

مصطفی نیازی خوجه<sup>۱</sup>، مهدی رضائی\*<sup>۲</sup>، زیبا قسیمی حق<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [mosi7415@yahoo.com](mailto:mosi7415@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [mhrezaei@shahroodut.ac.ir](mailto:mhrezaei@shahroodut.ac.ir)
۳. استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [z\\_ghasimi@yahoo.com](mailto:z_ghasimi@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی - پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> امروزه صنعت کشت و کار گیاهان گلخانه‌ای در ایران بسیار مورد توجه قرار گرفته است و کشت وسیع گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای برای تامین نیاز بازار داخلی و صادراتی انجام می‌گیرد. میزان شوری آب آبیاری، یکی از عوامل محدودکننده کشت و کار محصولات گلخانه‌ای در مناطق خشک و نیمه خشک است. در این پژوهش اثر ملاتونین و اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات مخرب تنش شوری ناشی از آب آبیاری در مراحل اولیه رشد گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۰/۰۸/۱۸ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۰/۰۹/۱۵ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۰/۱۰/۰۸	
<b>واژه‌های کلیدی:</b> رشد زایشی، عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی، کلرید سدیم، مواد تنظیم‌کننده رشدی	<b>مواد و روش‌ها:</b> در یک آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل بوته‌های گوجه‌فرنگی رقم گلدی در محیط کشت هیدروپونیک تحت شوری ناشی از کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌مولار به عنوان عامل اصلی قرار گرفتند و محلول‌پاشی برگساره‌ای با تنظیم‌کننده‌های رشد ملاتونین (۰ و ۱۰ میکرومولار) و اسید سالیسیلیک (۰، ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار) به صورت دو فاکتور فرعی و سه تکرار انجام گردید. در مراحل قبل از گلدهی (یک ماه بعد از انتقال به گلدان) ارتفاع اندام هوایی، قطر ساقه بوته‌ها و طول و تعداد برگ‌ها اندازه‌گیری شد. دو ماه بعد از کشت، میانگین وزن میوه، تعداد گل در گل‌آذین و تعداد میوه در بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین پارامترهای فلورسانس شامل فلورسانس کمینه (Fo)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس متغیر (Fv) و عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی (YII) اندازه‌گیری شدند.
	<b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار رشد رویشی و زایشی گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای گردید ولی اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های رویشی و زایشی در مراحل اولیه رشد نشان نداد. ملاتونین به‌طور معنی‌داری ویژگی‌های رشد بوته‌های

گوجه‌فرنگی مانند طول و تعداد برگ، ارتفاع گیاه و قطر ساقه را در یک ماه اولیه رشدی افزایش داد ( $P < 0/01$ ). نتایج هم‌چنین نشان داد که ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر افزایش تعداد گل در گل‌آذین و تعداد میوه در بوته در دو ماه بعد کشت داشت. هم‌چنین پارامترهای فلورسانس شامل فلورسانس کمینه، فلورسانس بیشینه، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی در تیمار شوری ناشی از کلرید سدیم کاهش معنی‌داری را نشان دادند ( $P < 0/01$ ). میانگین کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II از ۰/۸۴ در شرایط بدون تنش به حدود ۰/۷۶ در شرایط تنش کاهش یافت. ملاتونین باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) در کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II و فلورسانس بیشینه و کمینه گیاه گوجه‌فرنگی شد اما کاربرد اسید سالیسیلیک تأثیری روی دو پارامتر نداشت. بیش‌ترین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به میزان ۰/۸۴ در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱۰ میکرومولار ملاتونین مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که شوری سبب کاهش در رشد اولیه گیاه گوجه‌فرنگی تحت شرایط گلخانه‌ای می‌شود اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های ریشی و زایشی در مراحل اولیه رشد بوته‌های گوجه‌فرنگی نشان نداد ولی کاربرد ملاتونین می‌تواند اثرات مخرب شوری را کاهش دهد و سبب افزایش تحمل گیاه به شوری در مراحل اولیه رشدی گردید.

**استناد:** نیازی خوجه، مصطفی، رضائی، مهدی، قسیمی حق، زیبا (۱۴۰۱). اثر اسید سالیسیلیک و ملاتونین بر کلروفیل فلورسانس و رشد اولیه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در تنش شوری. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۹ (۲)، ۲۸۲-۲۶۵.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.19658.2889



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) به‌عنوان یک محصول مهم باغبانی در سراسر جهان کشت می‌شود و نقش اساسی در تغذیه انسان به عهده دارد. میوه‌های گوجه‌فرنگی غنی از آنتی‌اکسیدان، به‌ویژه کاروتنوئیدها و ویتامین‌های A و C هستند و از این رو به عنوان یکی از منابع غذایی مهم از لحاظ ترکیبات فعال زیستی محسوب می‌شود (۱). کشت وسیع گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی در ایران برای تامین نیاز بازار داخلی و صادراتی انجام می‌شود طوری که این محصول رتبه دوم کشت را در بین محصولات گلخانه‌ای دارد. ایران به لحاظ آب و هوایی در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و از این روز تامین آب با کیفیت همیشه یک مسأله مهم در تولید محصولات گیاهی مختلف بوده است. گیاهان گلخانه‌ای نیاز به آبی با کیفیت بالا دارند و شوری آب آبیاری برای کشت آن‌ها باید کم‌تر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر باشد از این رو کیفیت آب آبیاری یکی از مسائل مهم برای گلخانه‌داران و توسعه سطح زیر کشت گیاهان گلخانه‌ای است (۲).

در کشت هیدروپونیک، کاربرد آب‌هایی با کیفیت نامطلوب تا حدی امکان‌پذیر است چرا که در این روش تجمع املاح را می‌توان در حد مشخصی نگه داشت و تغییرات شوری با خشک شدن بستر افزایش چندانی نمی‌یابد. بررسی اثر سطح شوری آب آبیاری تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بر عملکرد و راندمان آبیاری کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در زابل نشان داد که عملکرد این گیاه تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری نداشت و حتی در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۸۰ تن در هکتار محصول برداشت شد (۳). هر چند گوجه‌فرنگی در میان گیاهان کشت گلخانه‌ای، به عنوان گیاه مقاوم محسوب می‌شود ولی افزایش شوری آب به طور معنی‌داری باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد آن می‌شود

(۲، ۴). از جمله روش‌های مقابله با تنش شوری می‌توان به آشنویی و تولید ارقام مقاوم اشاره کرد. علاوه بر روش‌های یاد شده، برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، استفاده از ترکیبات بهبوددهنده فعالیت‌های متابولیکی گیاه توصیه می‌شود. از این ترکیبات به اسید سالیسیلیک و ملاتونین می‌توان اشاره کرد که نقش بسیار مهمی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه به عهده دارند (۵). این ترکیبات از تنظیم‌کننده‌های رشد و ترکیبات فنلی در گیاهان محسوب می‌شوند. در تنش‌های محیطی اثر محافظتی داشته و موجب بهبود روند رشد در گیاه می‌شوند (۵). اسید سالیسیلیک در درون گیاهان به صورت طبیعی سنتز می‌شود و در سیگنال‌دهی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد (۴). کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک بر طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهی از جمله رشد، بسته شدن روزنه‌های هوایی، جذب و انتقال یون، سنتز اتیلن، جوانه‌زنی بذر و عملکرد تأثیر می‌گذارد (۶). با استفاده از اسید سالیسیلیک القای تحمل در برابر تنش‌های غیر زنده مانند افزایش تحمل گرما و سرما در خردل (۷)، ذرت (۸) و گندم (۹) گزارش شده است. هر چند ملاتونین پیش‌تر به عنوان یک هورمون جانوری مطرح است ولی در سال ۱۹۹۵، وجود ملاتونین در گیاهان عالی به اثبات رسید (۶). اکنون ملاتونین به عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی گیاهی و یک آنتی‌اکسیدان قوی شناخته می‌شود که در فرآیندهایی مانند جوانه‌زنی، نمو و توسعه ریشه و اندام هوایی (۱۰)، القای رشد، افزایش سطح برگ و بیوماس، به تعویق انداختن پیری برگ و در نتیجه افزایش فتوسنتز و کربوکسیلاسیون، محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها، افزایش کیفیت و کمیت محصولات دخالت دارد (۱۰). ملاتونین در تنظیم بیان ژن‌های که باعث افزایش تحمل گیاه در تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود دخیل است (۵)، (۱۰). بررسی‌ها نشان داده است که میزان ملاتونین

آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. عامل اصلی شوری ناشی از کلرید سدیم در سه سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌مولار) و عامل‌های فرعی شامل اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار) و ملاتونین در دو سطح (۰ و ۱۰ میکرومولار) بودند. این آزمایش با ۱۸ تیمار در سه تکرار اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل یک بوته گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای بود. جهت جلوگیری از ایجاد تنش ناگهانی در تیمار شوری، غلظت‌های کلرید سدیم به تدریج طی دو هفته تا رسیدن به غلظت مدنظر افزایش یافت. گیاهان بر حسب نیاز آبی هر دو روز یک بار با ۲۵۰ سی‌سی محلول غذایی هوگلند در غلظت‌های کلرید سدیم در هر سطح تیمار شوری به مدت ۲ ماه آبیاری شدند. اولین محلول‌پاشی برگ‌ی اسید سالیسیلیک و ملاتونین در زمان ظهور چهارمین برگ حقیقی یعنی بعد از ۲۰ روز پس از کاشت بذر انجام شد. محلول‌پاشی بعدی به فاصله هر ۱۵ روز یکبار و در مجموع سه بار انجام شد. گیاهان شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی شدند.

#### صفات مورد اندازه‌گیری

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی: در مراحل پیش از ظهور گل (یک ماه بعد از انتقال به گلدان) ارتفاع اندام هوایی و طول برگ‌های بالایی با خط کش اندازه‌گیری و قطر ساقه بوته‌های گوجه‌فرنگی با کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. دو ماه بعد از کاشت، بوته‌ها از محل طوقه قطع شده و اندام‌های هوایی آن‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۱ وزن شدند. سپس ریشه‌ها با دقت از گلدان‌ها بیرون آورده شد و خاک اطراف آن‌ها شسته شده و رطوبت اضافی با دستمال خشک شد. وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در طول این مدت تعداد کل میوه (رسیده و نرسیده) هر بوته شمارش گردید و وزن هر میوه رسیده با ترازو (با دقت ۰/۰۱) اندازه‌گیری شد.

درونی در پاسخ به تنش شوری NaCl افزایش می‌یابد و بنابراین نقش مهمی در تحمل تنش شوری دارد (۱۱). از این‌رو، استفاده از ملاتونین به عنوان یک محرک زیستی برای تولید محصولات پایدار مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است.

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت محلول پاشی در بسیاری از موارد در کاهش تنش‌های محیطی مؤثر است (۵). نقش اسید سالیسیلیک و ملاتونین در بسیاری از تنش‌های محیطی ثابت شده است اما در تنش شوری گزارش‌های متفاوتی در مورد نقش این دو ماده در افزایش و کاهش مقاومت گیاه به تنش وجود دارد (۵). هدف از این پژوهش بررسی اثر ملاتونین و اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات تنش شوری و اثر آن در رشد رویشی و زایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای است.

#### مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و مکان آزمایش: این پژوهش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود با متوسط دمایی شبانه/روز ۱۸ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبتی ۶۰ درصد انجام گردید. نشاء گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم گلدی در بستر کشت کوکوپیت تهیه و در مرحله دو برگ حقیقی در گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری در بستر کشت حاوی پرلیت و ماسه (۱:۱) کشت گردید و با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند. رقم گلدی یکی از ارقام قدیمی گوجه گلخانه‌ای محسوب می‌شود که مقاومت خوبی به بیماری‌های مهم گوجه‌فرنگی دارد. این رقم به صورت هیبرید بوده و دارای رشد نسبتاً نامحدود می‌باشد. میوه آن گرد، درشت با بافت گوشتی و ماندگاری نسبتاً خوب است. تیمارها و طرح آزمایش: در این مطالعه اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و ملاتونین در گیاهان گوجه‌فرنگی رقم گلدی تحت تنش شوری در یک

میلی مولار کلرید سدیم کاهش معنی داری را نشان داد (شکل B۱). شوری ناشی از کلرید سدیم در مراحل اولیه رشدی باعث کاهش معنی دار ارتفاع گیاه گردید. میانگین ارتفاع بوته‌ها در شرایط بدون تنش یک ماه بعد از کشت حدود ۳۶/۷ سانتی متر بود در حالی که گیاهان تحت تنش ۱۰۰ میلی مولار ارتفاع ۲۹/۸ سانتی متری داشتند (شکل C۱). قطر ساقه نیز کاهش معنی داری در تنش شوری نشان داد (شکل D۱). میانگین وزن تر قسمت‌های هوایی بوته (دو ماه بعد از کشت) از ۱۶۲ گرم در شرایط بدون تنش به حدود ۱۱۶ گرم در شوری کاهش یافت. نتایج گویای این است که شوری، رشد رویشی بوته‌های گوجه‌فرنگی را کاهش داده است و قطر ساقه و تعداد برگ با شدت بیش‌تری تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفتند (شکل A&D۱). پژوهش‌گران مختلفی نشان داده‌اند که تنش شوری با اثرات مخربی که دارد باعث خسارات جبران‌ناپذیری در گیاهان می‌شود. پیری و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی بیان کردند اصلی‌ترین اثر تنش شوری، کاهش اندازه برگ در گیاه است بر همین اساس این پژوهش‌گران بیان کردند تنش شوری عملکرد علوفه ذرت را تا ۶۲ درصد کاهش داد که عمده آن به دلیل کاهش در سطح برگ گیاه بود (۱۲). کیانی و میرلطفی (۲۰۱۲) نیز بیان کردند تنش شوری در وهله اول توسعه اندازه برگ را کاهش داده و با کاهش مواد فتوسنتزی تولید شده، وزن خشک نهایی گیاه را نیز کاهش می‌دهد (۱۳). با کم شدن آماس سلولی، کاهش سرعت رشد سلول‌ها یا سرعت تقسیم سلولی، سطح برگ کاهش می‌یابد که از پیامدهای سریع تنش شوری است (۱۴). کاهش در رشد اندام هوایی در نتیجه شوری به طور معمول با کاهش سطح برگ و بازماندن از رشد ساقه توضیح داده می‌شود (۱۲). بوته‌های گوجه‌فرنگی در مراحل اولیه رشدی به شوری حساس هستند.

**فلورسانس کلروفیل:** دو ماه بعد از کشت، اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس در برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته از قسمت فوقانی هر بوته انجام شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل با استفاده از فلورومتر MINI-PAM-II (Welz-Germany) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تحت آدابتاسیون در تاریکی صورت گرفت. بدین صورت که قسمتی از برگ مورد نظر به مدت ۳۰ دقیقه توسط گیره مخصوص<sup>۱</sup> پوشیده شد و به تاریکی عادت داده شد. سپس لوله فیبر نوری<sup>۲</sup> دستگاه PAM-II به گیره متصل و درپوش گیره برداشته شد و با تنظیم دستگاه نوری با طول موج ۶۹۵ نانومتر (light act) از طریق فیبر نوری به برگ تابیده و پارامترهای فلورسانس شامل فلورسانس کمینه (Fo)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس تغییر (Fv) و عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی (YII) اندازه‌گیری شدند. در هر کرت اندازه‌گیری ۲ بار انجام گرفت و میانگین آن برای تجزیه استفاده شد.

**تجزیه آماری:** تجزیه آماری با نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel 2013 رسم گردید.

### نتایج و بحث

**ویژگی‌های رشدی:** نتایج تجزیه واریانس اثر ملاتونین و اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های رشدی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری نشان داد که صفات رویشی تحت‌تأثیر شوری ناشی از کلرید سدیم قرار گرفتند (جدول ۱). میانگین تعداد برگ در مرحله پیش از ظهور گل از ۱۰ عدد در شرایط بدون تنش به حدود ۸/۸ عدد برگ در شوری کاهش یافت (شکل A۱). میانگین طول برگ از ۲۳/۵ سانتی‌متر در شرایط بدون تنش به حدود ۱۹/۱ سانتی‌متر در شوری ۵۰

1- Dark Leaf Clip DLC-8

2- Fiberoptics

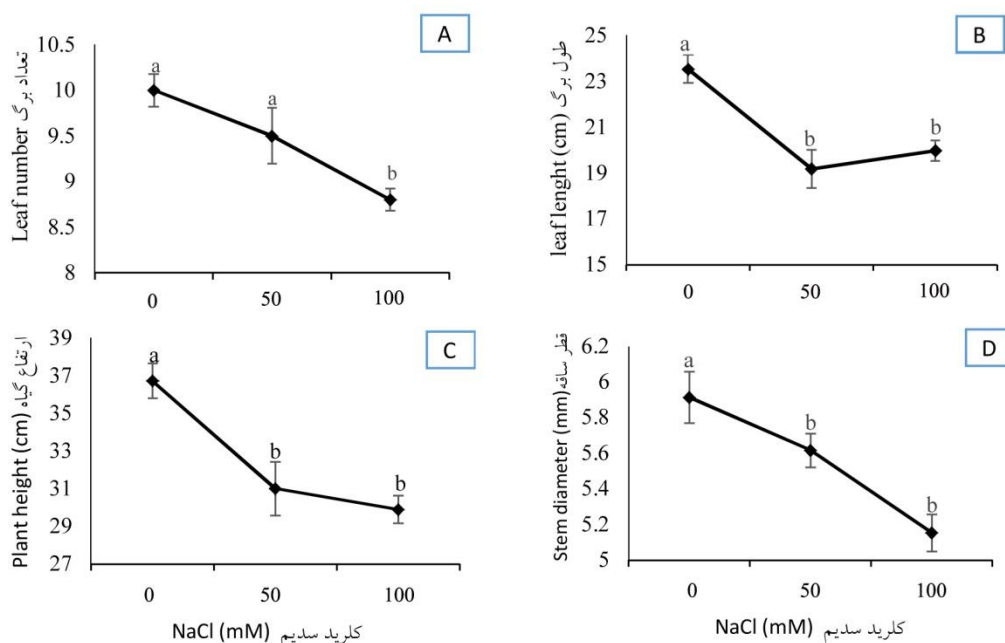
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و ملاتونین بر صفات رویشی و زایشی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم گلدی در شرایط تنش شوری.

**Table 1. Analysis of variance results of the effect of salicylic acid and melatonin on vegetative and reproductive growth of greenhouse tomato 'Goldi' under salinity stress.**

میانگین مربعات Mean square											
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول برگ leaf length	تعداد برگ Leaf number	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	وزن شاخساره Shoot weight	وزن ریشه Root weight	نسبت وزن قسمت‌های هوایی به ریشه Shoot/Root ratio	تعداد گل در هر گل‌آذین No. flower per inflorescence	تعداد میوه Fruit number	میانگین وزن میوه Average Fruit weight
شوری (Na)	2	97.08**	6.17**	2.63**	242**	8285.0**	1649.1*	0.36	31.63**	31.6**	611.6*
اسید سالیسیلیک (Sa)	2	17.13	0.17	0.11	50.1	974.7	44.5	0.13	5.41	5.4	49.3
ملاتونین (Me)	1	65.19**	3.63*	0.40*	262.2**	2004.5	832.3	0.00	35.85*	35.9*	474.5
Na*Sa	4	4.74	0.17	0.07	10.2	58.6	651.4	0.20	7.96	8.0	154.2
Na*Me	2	4.59	0.13	1.49	2.8	83.6	457.5	0.27	10.30	10.3	107.9
Sa*Me	2	21.24*	0.46	0.09	25.0	2678.7*	295.7	0.97**	12.52	12.5	8.2
Na*Sa*Me	4	0.82	0.80	0.34	5.5	561.3	116.9	0.10	6.63	6.6	228.9
خطا (Error)	36	6.06	0.94	0.19	15.74	532.37	526.37	4.47	1.88	0.98	3018
ضریب تغییرات (درصد) CV%		11.7	10.28	8.02	12.19	16.41	25.80	21.06	22.55	25.03	25.74

\* و \*\* به ترتیب سطوح معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشند

\*, \*\* Statistical significant levels at 1 and 5 percent in LSD, respectively



شکل ۱- اثر شوری ناشی از کلرید سدیم بر تعداد برگ A، طول برگ B، ارتفاع گیاه C و قطر ساقه D در گوجه‌فرنگی رقم گلدی یک ماه پس از کشت (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد).

**Fig. 1. Effect of salinity of sodium chloride on number of leaves A, leaf length B, plant height C and stem diameter D in tomato 'Goldi' one month after planting (mean  $\pm$  standard error).**

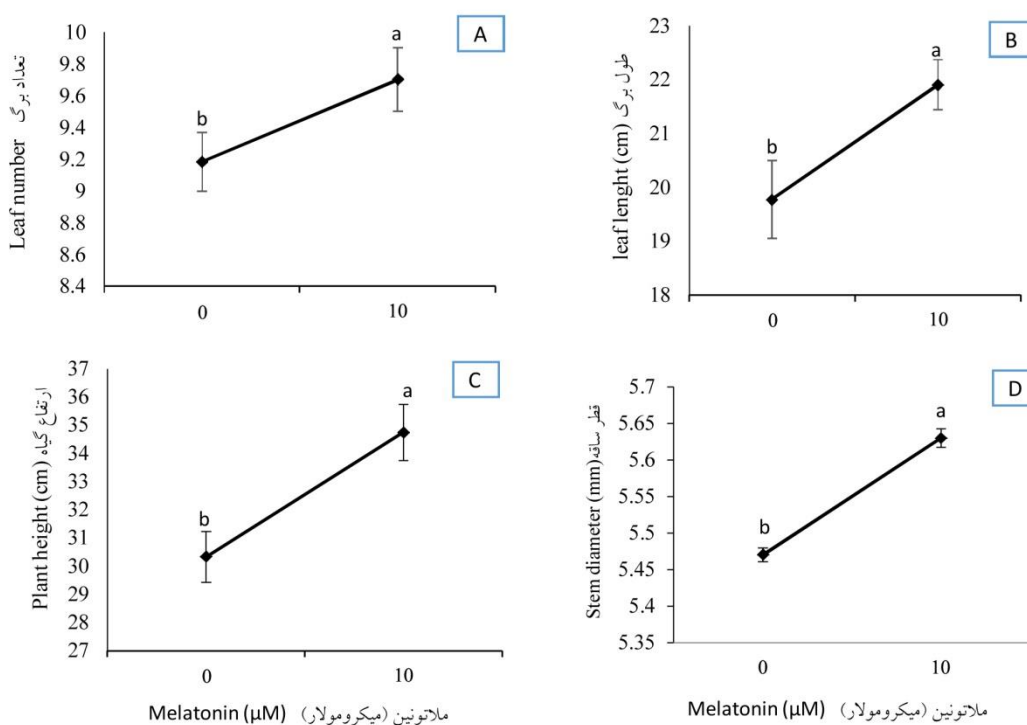


محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند تحمل در برابر انواع مختلف تنش‌ها از جمله شوری را القا کند (۸، ۵، ۱۵). ولی در نتایج این پژوهش اثرات مثبت اسید سالیسیلیک بر مراحل اولیه رشد رویشی و زایشی گوجه‌فرنگی در تنش شوری مشاهده نشد. اثرات اسید سالیسیلیک در ژنوتیپ‌های مختلف در گیاهان، متفاوت گزارش شده است. تیمار بذره‌های چهار ژنوتیپ گیاه لویا چشم‌بلیلی با اسید سالیسیلیک ۲/۵ میلی‌مولار نشان داد که به جز ژنوتیپ UPC 4200، هیچ‌گونه اثری در ژنوتیپ‌های دیگر نداشت. حتی در بعضی از آن‌ها جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه به‌طور منفی تحت تأثیر قرار گرفت (۱۶). از این‌رو عدم تأثیر اسید سالیسیلیک در این پژوهش ممکن است ناشی از رقم گوجه‌فرنگی استفاده شده باشد. نکته دیگر غلظت کاربردی است که امکان دارد غلظت‌های بالاتر اسید سالیسیلیک در این رقم تأثیرگذار باشد. در محلول پاشی اسید سالیسیلیک روی گیاهان مرزنگوش و ریحان، رشد و عملکرد مناسب برای ریحان در غلظت ۱۰ میلی‌مولار و برای مرزنگوش در غلظت ۱ میلی‌مولار به‌دست آمد (۱۷). اسید سالیسیلیک بسته به غلظت، زمان و گیاه مورد استفاده، دارای آثار دوگانه است. پاپاوا و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که اسید سالیسیلیک در بذر جوانه زده جو باعث تأخیر در کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری شده است (۱۸). حقیقی و منصور (۲۰۱۹) نشان دادند که اسید سالیسیلیک در غلظت‌های کم شوری در گیاهان گوجه‌فرنگی باعث افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانسی و میزان پرولین می‌شود اما در غلظت‌های بالای شوری اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری نشان نداد (۱۹).

اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های رویشی در مراحل اولیه رشد نشان نداد (جدول ۱). با این وجود ملاتونین به‌طور معنی‌داری ویژگی‌های رشد بوته‌های گوجه‌فرنگی مانند طول و تعداد برگ، ارتفاع گیاه و قطر ساقه را در یک ماه اولیه رشدی افزایش داد (جدول ۱ و شکل ۱-A-D). اثرات متقابل ملاتونین و اسید سالیسیلیک در صفات طول برگ و وزن قسمت هوایی بوته ( $P < 0/05$ ) و نسبت وزن قسمت‌های هوایی بوته به ریشه ( $P < 0/01$ ) معنی‌دار گردید (جدول‌های ۱ و ۲). بیش‌ترین طول برگ در محلول پاشی ملاتونین ۱۰ میکرومولار به میزان ۲۳/۹۶ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۲-B). در غلظت‌های بالای کاربرد اسید سالیسیلیک، محلول پاشی ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر افزایش طول برگ نشان نداد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان وزن تر قسمت هوایی بوته در ترکیب تیمار اسید سالیسیلیک در غلظت ۲ میلی‌مولار و ملاتونین ۱۰ میکرومولار مشاهده شد. هر چند در زمانی که ملاتونین به تنهایی استفاده شد، این افزایش اختلاف آماری معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). در نسبت وزن تر قسمت هوایی بوته به ریشه نیز همین روند مشاهده شد و بیش‌ترین نسبت در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و ۱۰ میکرومولار ملاتونین به میزان ۲/۰۳ مشاهده شد ولی به لحاظ آماری با تیمارهای ملاتونین (۱۰ میکرومولار) به تنهایی و همراه با ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک اختلافی نشان نداد (جدول ۲). از آنجایی‌که تغییرات وزن ریشه در تیمارهای اسید سالیسیلیک و ملاتونین معنی‌دار نشد، تغییرات این نسبت ارتباط مستقیمی با تغییرات وزن شاخساره دارد. به نظر می‌رسد ملاتونین در رشد قسمت‌های هوایی مؤثرتر بوده است. پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهد که

گوجه‌فرنگی (۲۱) و سویا (۲۲) مشاهده شده است. مهم‌ترین سازوکارهای دفاعی ملاتونین در حفاظت از دستگاه فتوسنتزی از طریق بهبود میزان مهار گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش است (۲۳). تحت تنش خشکی، ملاتونین در تنظیم مجدد پتانسیل اسمزی سلول و تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین و قندهای محلول شرکت می‌کند (۵، ۲۳).

همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود ملاتونین در غلظت ۱۰ میکرومولار نقش مؤثری در رشد و کاهش اثر ناشی از تنش شوری در مراحل اولیه رشد گیاهان گوجه‌فرنگی نشان داد (شکل ۲). گزارش شده است که ملاتونین درون‌زا در تنظیم صفات رشد گیاهان در گونه‌های مختلف نقش مهمی دارد (۱۹). ملاتونین برای کاهش تنش غیرزنده در چندین گونه گیاهی، از جمله سیب (۲۰)،



شکل ۲- اثر ملاتونین بر تعداد برگ A، طول برگ B، ارتفاع گیاه C و قطر ساقه D در گوجه‌فرنگی رقم گلدی یک ماه پس از کشت در شرایط تنش شوری (میانگین ± خطای استاندارد).

Fig. 2. Effect of melatonin on leaf number A, leaf length B, plant height C and stem diameter D in tomato 'Goldi' one month after planting under salinity stress (mean ± standard error).

جدول ۲- اثر متقابل ملاتونین و اسید سالیسیلیک بر طول برگ، وزن تر شاخساره و نسبت وزن قسمت های هوایی به ریشه در گوجه فرنگی رقم گلدی (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد).

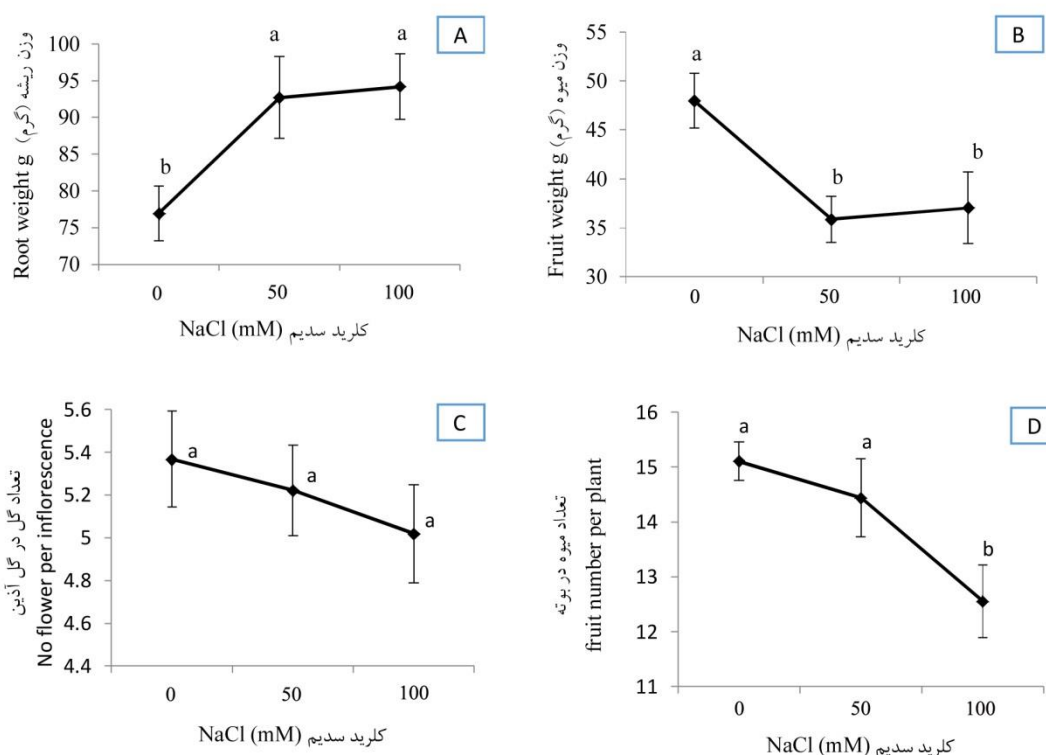
**Table 2. Effect of melatonin and salicylic acid on leaf length, shoot fresh weight and shoot to root weight ratio in Goldi tomato (mean  $\pm$  standard error).**

نسبت وزن تر قسمت های هوایی به ریشه Shoot/Root ratio	وزن تر قسمت هوایی بوته (گرم) Shoot weight(g)	طول برگ (سانتی متر) Leaf length (cm)	ملاتونین (میکرومولار) Melatonin ( $\mu$ M)	اسید سالیسیلیک (میلی مولار) salicylic acid (mM)
1.45 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	125.1 $\pm$ 5.5 <sup>b</sup>	18.69 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	0	0
1.74 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	133.2 $\pm$ 9.9 <sup>ab</sup>	23.96 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	10	
1.53 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	127.3 $\pm$ 10.7 <sup>b</sup>	19.68 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	0	1.5
1.80 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	148.2 $\pm$ 10.8 <sup>a</sup>	21.52 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	10	
1.50 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	144.0 $\pm$ 7.3 <sup>a</sup>	20.67 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	0	2.5
2.03 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	165.3 $\pm$ 12.3 <sup>a</sup>	20.45 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	10	

میانگین های هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند از نظر آزمون LSD اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج ندارند  
Means with same letters are not significant at 5% probability in LSD test

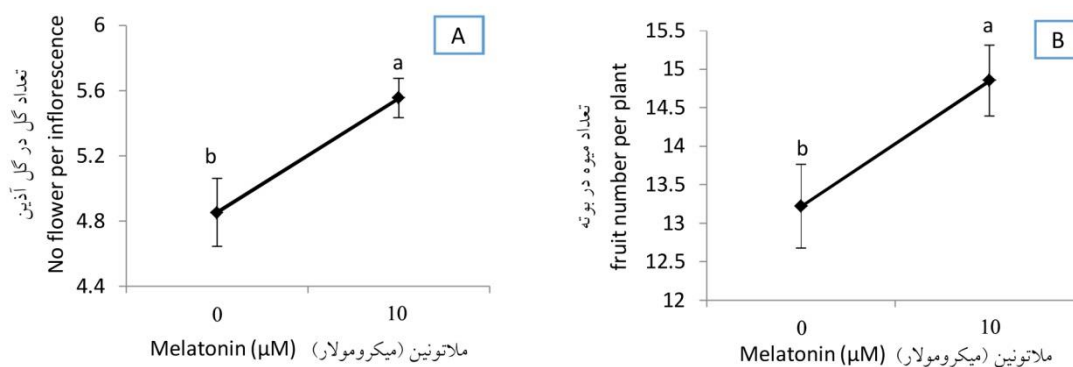
رشد ریشه و جذب عناصر غذایی شده است. دل امار و همکاران (۲۰۰۱) اعلام کردند که شوری آب آبیاری اثر معنی دار در کاهش قطر و تعداد میوه گوجه فرنگی دارد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (۱۴). جذب نمک علی رغم تسریع در سازش اسمزی، امکان مسمومیت یونی و نبود توازن غذایی بین عناصر در گیاه را نیز موجب می شود (۴). از آن جا که بیش از ۹۲ درصد از وزن میوه گوجه فرنگی را آب تشکیل می دهد بنابراین وزن میوه ها در گوجه فرنگی تابعی از مقدار آب موجود در آن است، بنابراین با محدود شدن جریان آب به سمت میوه، اندازه و وزن آن کاهش خواهد یافت (۲۴). به طور کلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد تنش شوری باعث کاهش عملکرد در گیاه گوجه فرنگی می شود که با افزایش سطح شوری این اثر تشدید می یابد که کاربرد ملاتونین می تواند این اثرات را کاهش دهد. بیان شده که با کاربرد خارجی ملاتونین در گیاهان تحت تنش شوری، اثرات مضر تنش کاهش می یابد طوری که پیش تیمار بذر خیار با ملاتونین توانست آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را کاهش دهد (۱۰).

**ویژگی های زایشی:** نتایج تجزیه واریانس اثر ملاتونین و اسید سالیسیلیک بر ویژگی های زایشی گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری نشان داد که شوری باعث کاهش معنی دار تعداد گل در هر گل آذین، تعداد میوه تشکیل شده و میانگین وزن میوه های رسیده گردید (جدول ۱ و شکل ۳ A-D). بوته های گوجه فرنگی در حدود ۶۰ روز بعد از انتقال به گلدان در شرایط بدون تنش بطور میانگین ۱۵ میوه تشکیل شده در روی بوته داشتند در حالی که در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم بوته ها به طور میانگین ۱۲/۵ میوه تشکیل شده در روی بوته نشان دادند (شکل ۳ D). نتایج هم چنین نشان داد که ملاتونین تأثیر معنی داری در افزایش تعداد گل در گل آذین و تعداد میوه در بوته در دو ماه بعد کشت داشت (شکل ۴ A&B). اسید سالیسیلیک تأثیر معنی داری بر ویژگی های زایشی بوته های گوجه فرنگی در مراحل اولیه رشدی نشان نداد (جدول ۱). در شرایط تنش شوری به احتمال زیاد کاهش رشد اندام هوایی و تولید مواد فتوسنتزی در زمان شکل گیری میوه سبب کاهش قطر ساقه و نیز کاهش



شکل ۳- اثر شوری ناشی از کلرید سدیم بر وزن ریشه A، وزن میوه B، تعداد گل در گل آذین C و تعداد میوه در بوته D در گوجه‌فرنگی رقم گلدی دو ماه پس از کشت (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد).

**Fig. 3.** Effect of salinity of sodium chloride on root weight A, fruit weight B, number of flowers per inflorescence C and number of fruits per plant D in tomato 'Goldi', two months after planting (mean  $\pm$  standard error).



شکل ۴- اثر ملاتونین بر طول برگ، تعداد گل در گل آذین A و تعداد میوه در بوته B در گوجه‌فرنگی رقم گلدی دو ماه پس از کشت در شرایط شوری ناشی از کلرید سدیم (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد).

**Fig. 4.** Effect of melatonin on number of flowers per inflorescence A and number of fruits per plant B in tomato 'Goldi', two months after planting under salinity stress (mean  $\pm$  standard error).

کلروفیل فلورسانس: کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم II (Y<sub>II</sub>) بعد از کشت مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص می‌تواند اندازه‌گیری سرعت انتقال الکترون خطی را نشان دهد و بنابراین فتوستنز کلی را نشان می‌دهد. نتایج آزمایش نشان داد که شوری و اسید سالیسیلیک و ملاتونین تأثیر معنی‌داری (P<0/01) بر کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II گوجه‌فرنگی دارد (جدول ۳). هم‌چنین اثر متقابل شوری در ملاتونین معنی‌دار شد (P<0/05) (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و ملاتونین بر فلورسانس کلروفیل گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم گلدی در شرایط تنش شوری.

Table 3. Analysis of variance results of the effect of salicylic acid and melatonin on chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato 'Goldi' under salinity stress.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات S.O.V
فلورسانس متغیر Fv	فلورسانس کمینه Fo	فلورسانس بیشینه Fm	عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی قبل از رشد زایشی Y II	df	
50706**	177542**	1174848**	0.057**	2	شوری (Na)
2562	1956**	8293	0.028**	2	اسید سالیسیلیک (Sa)
19864**	30520**	243742**	0.015**	1	ملاتونین (Me)
1260	1532**	39378	0.003	4	Na*Sa
3663	307198**	2966652**	0.013*	2	Na*Me
2561	2162**	52464	0.015	2	Sa*Me
2789	2086**	45893	0.043	4	Na*Sa*Me
2281	21.44	22899	0.02	36	خطا (Error)
7.9	0.81	4.7	1.79		ضریب تغییرات (درصد) CV%

\* و \*\* به ترتیب سطوح معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

\*, \*\* Statistical significant levels at 1 and 5 percent in LSD, respectively

تنش بودن گیاه است (۲۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، کاربرد ملاتونین باعث افزایش معنی‌دار (P<0/01) در کارایی کوانتومی گیاه- شیمی مؤثر فتوسیستم II گیاه گوجه‌فرنگی شده است (شکل ۶A). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و ملاتونین نشان داد ملاتونین باعث افزایش معنی‌دار در کارایی کوانتومی گیاه- شیمی مؤثر فتوسیستم II در غلظت‌های مختلف شوری شد (P<0/05) (شکل ۷A). بیش‌ترین کارایی کوانتومی به میزان 0/84 در

میانگین کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم کاهش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۷A). میانگین کارایی کوانتومی فتوشیمیایی مؤثر فتوسیستم II از 0/84 در شرایط بدون تنش به حدود 0/76 در شوری کاهش یافت. مقدار میانگین کارایی کوانتومی گیاه- شیمی مؤثر فتوسیستم II در برگ‌های گیاهانی که در شرایط بدون تنش قرار دارند حدود 0/83 است و مقادیر کمتر از آن نشان‌دهنده تحت

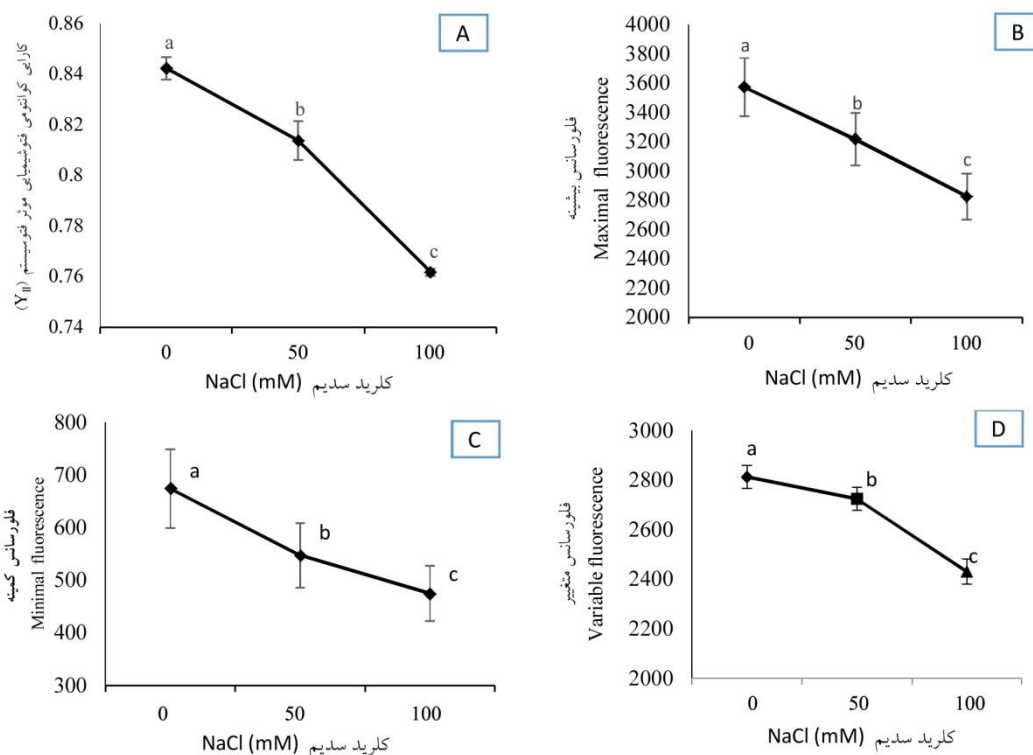
شرایط بدون تنش و کاربرد ۱۰ میکرومولار ملاتونین مشاهده شد. در سطوح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کم‌ترین کارایی کوانتومی به میزان ۰/۷۴ مشاهده می‌شود. این نسبت در واقع قسمتی از نور جذب شده است که در قسمت فتوسیستم PSII استفاده شده است (۲۶). شاخص فلورسانس بیشینه نشان‌دهنده حداکثر فلورسانس توسط نبض نور بیش از حد اشباع نوری در طول تابش اکتینیک است (۲۶). این مقدار مراکز واکنش را نشان می‌دهد که هنوز هم می‌توانند در نور بسته شوند. نتایج آزمایش نشان داد که شوری، ملاتونین و اثر متقابل شوری و ملاتونین تاثیر معنی‌داری ( $P < 0/01$ ) بر فلورسانس بیشینه گوجه‌فرنگی دارد (جدول ۳). میانگین فلورسانس بیشینه در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش معنی‌داری را در برگ نشان داد. فلورسانس کمینه بیانگر سطحی از فلورسانس در زمانی است که پذیرنده کوئینون آ<sup>۱</sup> در بالاترین مقدار شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مرکز فتوسیستم II باز هستند) (۲۶). میانگین فلورسانس بیشینه در برگ از ۳۵۷۲ در شرایط بدون تنش به ۲۸۲۴ در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت (شکل B۵). نتایج آزمایش نشان داد که شوری و ملاتونین و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل شوری با اسید سالیسیلیک و ملاتونین و همچنین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و ملاتونین تأثیر معنی‌داری ( $P < 0/01$ ) در فلورسانس کمینه گیاه گوجه‌فرنگی داشت (جدول ۳). میانگین فلورسانس کمینه در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کاهش معنی‌داری را نشان داد ( $P < 0/01$ ). میانگین فلورسانس کمینه از ۶۷۳ در شرایط بدون تنش به حدود ۴۷۴ در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت (شکل C۵). بر اساس نتایج، با کاربرد ملاتونین

فلورسانس کمینه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد و از ۵۴۰ به ۵۹۳ افزایش پیدا کرد (شکل C۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و اسید سالیسیلیک نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک در هر سه سطح شوری (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) باعث کاهش مقدار فلورسانس کمینه شد (نتایج آورده نشده است). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل ملاتونین و شوری با کاربرد ملاتونین، میزان فلورسانس کمینه به‌خصوص در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش پیدا کرد (شکل C۷). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک و شوری نشان داد در تمام سطوح اسید سالیسیلیک با افزایش شوری میزان فلورسانس کمینه کاهش پیدا کرد، اما این کاهش در ۱۰۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک کم‌تر از سایر سطوح در ۵۰ میلی‌مولار شوری بود (نتایج آورده نشده است). میزان فلورسانس کمینه در اثرات متقابل ملاتونین در شوری نشان داد که تنها در سطح متوسط شوری یعنی ۵۰ میلی‌مولار این شاخص افزایش نشان داد و در سطوح ۱۰۰ میلی‌مولار میزان فلورسانس کمینه چه در کاربرد ملاتونین و چه در عدم کاربرد آن بسیار کم‌تر از سایر شاخص‌ها بود (شکل C۷). فلورسانس متغیر (Fv) نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون است (۲۶). بدین صورت که وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت احیای کامل باشند، فلورسانس کلروفیل زیاد است، بنابراین Fv نیز زیاد است، اما وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید هستند، مقدار فلورسانس حداقل است و مقدار Fv نیز کاهش می‌یابد، در نتیجه در شرایط تنش شوری پذیرنده‌های الکترون در حال اکسید شدن است (۲۶). نتایج آزمایش نشان داد که شوری تأثیر معنی‌داری ( $P < 0/01$ ) بر فلورسانس متغیر گوجه‌فرنگی دارد (جدول ۳). میانگین فلورسانس متغیر در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید

۱- Quinone A

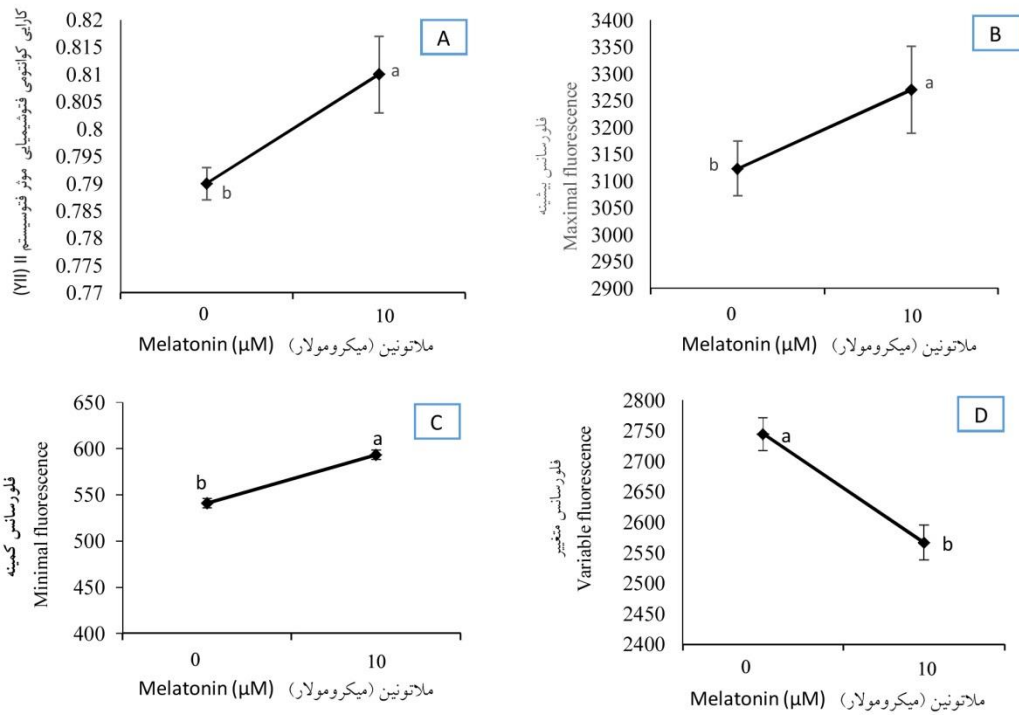
فلورسانس کلروفیل می‌تواند بیشتر انواع تنش‌های گیاهی را اندازه‌گیری کند (۲۶، ۲۷). فلورسانس کلروفیل می‌تواند به عنوان شاخص تنش گیاه مورد استفاده قرار گیرد زیرا تنش‌های محیطی غیرزنده می‌تواند توانایی متابولیسم طبیعی گیاه را کاهش دهد (۲۷). این می‌تواند به معنی عدم تعادل بین جذب انرژی نور توسط کلروفیل و استفاده از انرژی در فتوسنتز باشد. با این حال، از آنجا که مقادیر کارایی فتوسنتز نیز با شدت نور تغییر می‌کند، باید نمونه‌ها را با شدت نور یکسان مقایسه کرد (۲۸). کلروفیل فلورسانس ابزاری مناسب برای بررسی کارایی فتوسنتز در شرایط تنش و بررسی قابلیت‌های تیمارهای مختلف در بهبود فرایند فتوسنتز است (۲۹).

سدیم کاهش معنی‌داری را در برگ نشان داد (شکل D۵). میانگین فلورسانس متغیر از ۲۸۱۱ در شرایط بدون تنش به حدود ۲۴۱۰ در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت (شکل D۵). ملاتونین باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل فلورسانس متغیر گردید (شکل D ۶). همان‌گونه که در شکل D ۷ مشاهده می‌شود شدت این کاهش در سطوح بالای شوری بسیار مشهودتر از تیمار بدون شوری است. بالاترین میزان فلورسانس متغیر در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون ملاتونین و کم‌ترین آن در تیمار ملاتونین ۱۰ میکرومولار بدون اعمال شوری مشاهده شد (شکل D ۷).



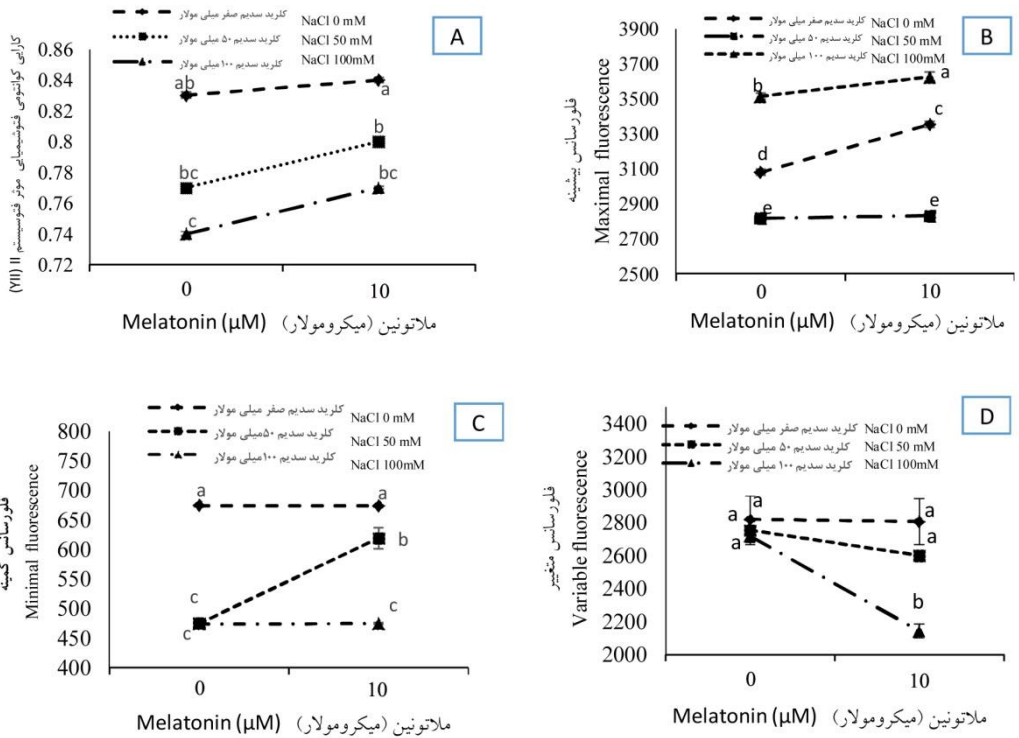
شکل ۵- اثر شوری ناشی از کلرید سدیم بر صفات شاخص‌های زیست- فیزیکی کلروفیل فلورسانس در گوجه‌فرنگی رقم گلدی.

Fig. 5. The effect of sodium chloride salt on the biophysical characteristics of chlorophyll fluorescence in greenhouse tomatoes 'Goldi'.



شکل ۶- اثر ملاتونین بر صفات شاخص‌های زیست- فیزیکی کلروفیل فلورسانس در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای گلدی تحت تنش شوری.

Fig. 6. Effect of melatonin on biophysical characters of chlorophyll fluorescence in greenhouse tomatoes 'Goldi' under salinity stress.



شکل ۷- اثر شوری و ملاتونین بر صفات شاخص‌های زیست- فیزیکی کلروفیل فلورسانس گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای گلدی.

Fig. 7. Effect of salinity and melatonin on biophysical characteristics of chlorophyll fluorescence of greenhouse tomatoes 'Goldi'.



### نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد شوری باعث کاهش رشد رویشی و زایشی بوته‌های گوجه‌فرنگی در مراحل اولیه رشدی می‌شود. با افزایش شوری کاهش معنی‌دار اندازه و تعداد برگ، ارتفاع و قطر بوته‌های گوجه‌فرنگی مشهود است. بعد از شروع رشد زایشی نیز کاهش معنی‌دار در تعداد گل در گل‌آذین، تعداد میوه و وزن میوه در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. بوته‌های گوجه با افزایش وزن ریشه و کاهش وزن قسمت‌های هوایی سعی در جذب آب بیش‌تر در شرایط تنش شوری دارند. براساس نتایج پارامترهای کلروفیل فلورسانس، کارایی فتوسنتز در شرایط تنش شوری کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد و پارامترهای فلورسانس کلروفیل مانند فلورسانس کمینه (Fo)، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس

متغیر (Fv) و عملکرد کوانتومی (YII) با افزایش تنش شوری نیز کاهش داشتند. اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های رویشی و زایشی در مراحل اولیه رشد بوته‌های گوجه‌فرنگی نشان نداد. با این وجود ملاتونین به طور معنی‌داری ویژگی‌های رشد بوته‌های گوجه‌فرنگی مانند طول و تعداد برگ، ارتفاع گیاه و قطر ساقه را در یک ماه اولیه رشدی افزایش داد. ملاتونین هم‌چنین باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل در گل‌آذین و تعداد میوه در بوته در دو ماه بعد کشت گردید. کاربرد ملاتونین باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) در کارایی کوانتومی مؤثر فتوسیستم II گیاه گوجه‌فرنگی شد. بر اساس نتایج این آزمایش کاربرد ملاتونین باعث کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گوجه‌فرنگی گردید.

### منابع

1. Massaretto, I.L., Albaladejo, I., Purgatto, E., Flores, F.B., Plasencia, F., Egea-Fernández, J.M., Bolarin, M.C. and Egea, I. 2018. Recovering tomato landraces to simultaneously improve fruit yield and nutritional quality against salt stress. *Front. Plant Sci.* 9: 1778.
2. Peet, M. and Welles, G. 2005. Greenhouse tomato production. *Cr. produc. Sci. Hort.* 13: 257.
3. Entesari, M.R., Heydari, N., Kheyrabi, J., Alaei, M. et al. 2008. Water Use Efficiency in Greenhouse Production. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID) Press. Publication Issue: 111: 78-88.
4. Pessaraki, M. 2016. Saltgrass, a minimum water and nutrient requirement halophytic plant species for sustainable agriculture in desert regions. *Journal of Earth, J. Environ. Health Sci. Eng.* 2: 1. 21-27.
5. Hernández-Ruiz, J. and Arnao, M.B. 2018. Relationship of melatonin and salicylic acid in biotic/abiotic plant stress responses. *Agro.* 8: 4. 33.
6. Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E. and Janda, T. 2007. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biol. Plant.* 51: 3. 480-487.
7. Dat, J.F., Foyer, C.H. and Scott, I.M. 1998. Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedlings. *Plant Physiol.* 118: 4. 1455-1461.
8. Farooq, M., Wahid, A. and Lee, D.J. 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiol. Plant.* 31: 5. 937-945.
9. Tasing, E., Atic, O. and Nalbantoglu, B. 2003. Effect of salicylic acid on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regul.* 41: 231-236.
10. Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H.J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z.C., Ren, S. and Guo, Y.D. 2013. Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation, and seed germination in

- cucumber (*Cucumis sativus* L.). J. Pineal Res. 54: 1. 15-23.
11. Arnao, M.B. and Hernández-Ruiz, J. 2019. Melatonin: a new plant hormone and/or a plant master regulator? Trends in Plant Sci. 24: 1. 38-48.
  12. Piri, H., Ansari, H. and Parsa, M. 2018. Determination of water- salinity production function by taking time performance and the assesment production indexes of forage sorghum. Water Resour. 11: 38. 15-26.
  13. Kiani, A. and Mirlatifi, S. 2012. Effect of different quantities of supplemental irrigation and its salinity on yield and water use of winter wheat (*Triticum aestivum*). Irrig. Drain. 61: 1. 89-98.
  14. Del Amor, F., Martinez, V. and Cerda, A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. Hort. Sci. 36: 7. 1260-1263.
  15. Sakhabutdinova, A., Fatkhutdinova, D., Bezrukova, M. and Shakirova, F. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulg. J. Plant Physiol. 21: 314-319.
  16. Chandra, A., Anand, A. and Dubey, A. 2007. Effect of salicylic acid on morphological and biochemical attributes in cowpea. J. Environ. Biol. 28: 2. 193-196.
  17. Gharib, F.A. 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. Int. J. Agric. Biol. 4: 485-492.
  18. Popova, L., Ananieva, V., Hristova, V., Christov, K., Geovgieva, K., Alexieva, V. and Stoinova, Z. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulg. J. Plant Physiol. pp. 133-152.
  19. Haghghi, M. and Mansouri, F. 2019. Effect of Jasmonic acid and Salicylic acid on growth and physiological changes of tomato under salinity stress. Soil And Plant Interac. 9: 4. 1-13. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=736931>. In persion.
  20. Wei, Y., Liu, G., Chang, Y., Lin, D., Reiter, R.J., He, C. and Shi, H. 2018. Melatonin biosynthesis enzymes recruit WRKY transcription factors to regulate melatonin accumulation and transcriptional activity on W-box in cassava. J. Pineal Res. 65: 1. e12487.
  21. Wang, P., Sun, X., Li, C., Wei, Z., Liang, D. and Ma, F. 2013. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. J. Pineal Res. 54: 3. 292-30.
  22. Liu, J., Zhang, R., Sun, Y., Liu, Z., Jin, W. and Sun, Y. 2016. The beneficial effects of exogenous melatonin on tomato fruit properties. Sci. Hort. 207: 14-20.
  23. El-Esawi, M.A., Elkelish, A., Soliman, M., Elansary, H.O., Zaid, A. and Wani, S.H. 2020. *Serratia marcescens* BM1 enhances cadmium stress tolerance and phytoremediation potential of soybean through modulation of osmolytes, leaf gas exchange, antioxidant machinery, and stress-responsive genes expression. Antioxidants. 9: 1. 43.
  24. Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S.K., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R. and Zheng, B. 2019. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. Biomolecules. 9: 7. 285.
  25. Sato, S., Sakaguchi, S., Furukawa, H. and Ikeda, H. 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Sci. Hort. 109: 3. 248-253.
  26. Long, S., Humphries, S. and Falkowski, P.G. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. Annu. Rev. Plant Biol. 45: 1. 633-662.
  27. Murchie, E.H. and Lawson, T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. J. Exp. Bot. 64: 13. 3983-3998.
  28. Lichtenthaler, H.K. and Rinderle, U. 1988. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. Crit. Rev. Anal. Chem. 19(sup1): S29-S85.
  29. Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 403. 1607-1621.