University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

*Vol. 16, No. 4, p. 871-885 (Winter 2024)*

https://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3839.1976

*Original article*

# Effect of foliar application of salicylic acid and vermicompost on physiological and qualitative indices of two sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars under cold stress

**S. Hosseini[1], S.H. Nemati[2*], H. Aroiee[2], A. Nezami[3]**

*1. PhD Student of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran*
*2. Assistant Professor of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran*
*3. Professor of Department Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran*

Received 11 February 2021; Accepted 15 March 2021

## *Extended abstract*

### Introduction

Sweet pepper is a rich source of essential vitamins and minerals. On the other hand, pepper fruit contains high levels of antioxidants and beneficial substances such as vitamin C, carotenoids and phenolic compounds. It also contains high concentrations of potassium. These compounds has nutritional and antioxidant capacity. Sweet pepper originated from the tropical region, which is sensitive to cold. Therefore, it is necessary to know the defense mechanism of the pepper plant against low temperatures. In this study, the effect of foliar application of salicylic acid and vermicompost on different cultivars of sweet pepper under cold stress has been studied.

### Materials and methods

The experimental design was a factorial split-plot experiment in a randomized complete block design with three replications in a greenhouse located in Mashhad in the crop year 1396 and 1397. Cultivation was performed hydroponically. The main factor of temperature treatment had two levels [9 ± 2°C (cold stress) and 23 ± 2°C (optimum)] and the sub factor consisting of two sweet pepper cultivars (green, yellow) and Different amounts of Salicylic acid (The dose of 0 µmol salicylic acid was used as control group, 200, 300 µmol) and vermicompost). Sampling of the plants at the end of the growing season, to measure the physiological characteristics and quality were randomly.

### Results and discussion

The results showed that there was no significant difference between different cultivars in most traits except vitamin C, beta-carotenoids and lycopene. Maximum dry matter (17.2g), TA (13.6 g $l^{-1}$) in non-stress cold treatment, and soluble solids (5.03 brix),, carbohydrates(174.5 mg $g^{-1}$), and anti-activity Oxidation (90.3%) were obtained in cold stress treatment. Damage due to cold stress destroyed the structure of many membrane lipids and resulted in an increase in the amount of antioxidant compounds. Soluble solids are known to be key components in increasing cold resistance. An increase in the amount of soluble solids in winter is part of the plant's adaptation mechanism to cold. The highest yield of fruit

* Corresponding author: Hasan Nemati; E-Mail: nemati@um.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

per plant(740 g) was obtained in non-cold stress treatment plus salicylic acid 300 µmol. Because salicylic acid in plants improves yield and yield components. Maximum of flavonoids (159.4 mg $g^{-1}$) was obtained in salicylic acid 200 µmol. Flavonoids are a large group of phenolic compounds in plants that increase their production in environmental stresses by increasing the activity of PAL enzyme. On the other hand, the use of salicylic acid as a stressor causes the production of a wide range of flavonoids. The highest amount of beta-carotene and lycopene were obtained in cold stress treatment, yellow cultivar, and salicylic 300 µmol. Decreased content of carotenoids under stress can be due to oxidation by active oxygen and damage to their structure. Increased photosynthetic pigments under SA treatment indicate the protective effect of this growth regulator on photosynthesis and photosynthetic pigments of stressed plants. Maximum vitamin C was obtained in cold stress treatment (140.7 mg 100 $g^{-1}$, yellow cultivar (134.7 mg.100$g^{-1}$), and salicylic 300 µmol (142.52 mg.100 $g^{-1}$).

**Conclusion**

According to the results, the of the present study show that use of salicylic acid foliar application modulates the effect of cold stress on the physiological and functional parameters of sweet pepper so that SA can improve cold tolerance by regulating the activities of apoplastic antioxidative enzymes. Therefore, it is suggested that due to sudden changes in temperature due to climate change and the destructive effects of temperature stress, especially cold, on plants, more and more complete research should be done to identify the effects of these stresses and ways to deal with them.

***Keywords*:** Antioxidant activity, Beta-carotene, Flavonoids, Lycopene, Vitamin C

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3839.1976

*مقاله پژوهشی*

# اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کود ورمی کمپوست بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی دو رقم فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L.) تحت تنش سرما

سیده‌سمیرا حسینی[۱]، سید حسین نعمتی[۲*]، حسین آروئی[۲]، احمد نظامی[۳]

۱. دانشجو دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استادیار بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد بخش زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

**مشخصات مقاله**

*واژه‌های کلیدی:*
بتاکاروتن
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
فلاونوئید
لیکوپن
ویتامین ث

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۲

۱۶(۴): ۸۷۱-۸۸۵

**چکیده**

فلفل شیرین از مناطق گرمسیری منشأ می‌گیرد و حساس به سرما است؛ بنابراین شناخت مکانیسم دفاعی گیاه فلفل در مقابل دمای کم ضروری است. در این مطالعه اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کود آلی ورمی کمپوست روی ارقام مختلف فلفل شیرین تحت تنش سرما موردبررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت اسپیلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در محیط گلخانه‌ای واقع در مشهد اجرا شد. عامل اصلی تیمار دمایی در دو سطح {دماهای ۲± ۹ درجه سلسیوس (تنش سرما) و ۲±۲۳ درجه سلسیوس (شاهد)} و عامل فرعی شامل دو رقم فلفل شیرین {**California wonder** (سبز)، **Roxcy** (زرد)}، سالیسیلیک اسید (صفر-۲۰۰-۳۰۰ میکرومول) و ورمی کمپوست (۲۰ درصد حجمی) بود. نتایج نشان داد که تنش سرما باعث تغییرات برخی خصوصیات فیزیولوژیک و کاهش عملکرد میوه گردید. حداکثر درصد ماده خشک (۱۷/۲ درصد) و اسیدیته قابل تیتراسیون (۱۳/۶ درصد) در تیمار عدم تنش سرمایی و مواد جامد محلول (۵/۰۳ بریکس)، کربوهیدرات‌ها (۱۷۴/۵ $mg.g^{-1}$) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۰/۳ درصد) در تیمار تنش سرمایی حاصل گردید. بیشترین عملکرد میوه در بوته (۷۴۰ گرم در بوته) در تیمار تأثیر متقابل عدم تنش سرمایی و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید **µmol** ۳۰۰ به دست آمد. بیشترین مقدار فلاونوئید (۱۵۹/۴ $mg.100g^{-1}$ **FW**) در تیمار سالیسیلیک اسید **µmol** ۲۰۰ حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار بتاکاروتن (۳۴۶/۴ $mg\ kg^{-1}$)، لیکوپن (**mg kg**$^{-1}$ ۱۵۲/۹) و ویتامین ث (۱۴۲/۵۲ $mg.100\ g^{-1}$) در تیمار سالیسیلیک اسید **µmol** ۳۰۰ مشاهده شد. با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت تنش‌های سرمایی تأثیرات نامطلوبی بر شاخص‌های کیفی و عملکرد فلفل شیرین در محیط گلخانه می‌گذارد و کاربرد محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در بعضی از صفات اثرات سوء تنش سرما را تعدیل کرد.

## مقدمه

فلفل شیرین[1] به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سبزی‌های میوه‌ای خانواده بادمجانیان[2] شناخته می‌شود (El-Yazied, 2011). میوه فلفل به دلیل داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شامل فنل، ویتامین C (اسکوربیک اسید)، کارتنوئیدها دارای ارزش غذایی بالایی است. فلفل شیرین از مناطق گرمسیری منشأ می‌گیرد و برای رشد خود به درجه حرارت بالا نیاز دارند. درنتیجه، دمای مطلوب رشد آن‌ها بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس است، به‌گونه‌ای که تغییرات دما بر انواع عملکردهای فیزیولوژیکی و رشد مورفولوژیکی تأثیر می‌گذارد (Mateos et al., 2013). علاوه بر فاکتورهای ژنتیکی،

[1]. *Capsicum annuum* L.
[2]. solanaceous

* نگارنده پاسخگو: حسن نعمتی. پست الکترونیک: nemati@um.ac.ir

حساسیت به سرما به مرحله توسعه و سطح فعالیت متابولیکی وابسته است (El-Yazied, 2011).

تنش در دمای پایین باعث تغییر در روندهای مختلف بیوشیمیایی، سلولی[۳] و فیزیولوژیکی در فلفل می‌شود. تنش سرما در فلفل با کاهش شاخص رشد، محتوای ماده خشک، فعالیت ریشه، مقدار کلروفیل همراه است و به مقدار قند محلول، مقدار پرولین، فعالیت پراکسید دسموتازها[۴]، مقدار مالون دی آلدئید به‌تدریج افزوده گردید (Ou et al., 2015). برای رشد در چنین شرایطی گیاهان باید از برخی راه‌کارها استفاده کنند. از میان راهکارهای مختلف، رویکرد استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه[۵] نقش برجسته‌ای در کاهش تنش‌ها دارد (Ahmed et al., 2020). اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم خصوصیات مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، سلولی و بیوشیمیایی باعث تحمل تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود (Hara et al., 2012).

اسید سالیسیلیک تغییرات مختلف ناشی از سرما را کاهش و تنظیم می‌کند. این هورمون با فعال کردن مسیرهای سیگنالینگ متعدد مانند مسیر وابسته به ABA یا مستقل، مسیر پیام‌رسانی $Ca^{2+}$، مسیر پروتئین کیناز فعال‌شده با میتوژن[۶]، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر[۷] نقش ضروری در کاهش تغییرات ناشی از سرما را نشان می‌دهد (Saleem, 2020). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید[۸]، بر دامنه وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی مؤثر است ازجمله تحمل به تنش سرما را در فلفل افزایش می‌دهد (Fung et al., 2004). آسیب ناشی از تنش سرمایی در فلفل شیرین تیمار شده با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش بیان ژن اکسیداز (AOX)[۹] و هفت ژن دیگر که در دفاع دخیل هستند در برابر استرس اکسیداتیو کاهش یافت (Fung et al., 2004). طی بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد استفاده از اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار باعث کاهش صدمه سرمازدگی (ضایعات نکروتیک) و افزایش در کارایی فتوسیستم ۲، میزان کلروفیل، قندهای محلول و پرولین برگ در مقایسه با گیاهان تیمار نشده شد، به‌طوری‌که درنهایت تحمل سرما را بهبود بخشید (Sayyari and Ghanbari, 2013).

از طرفی، سلامت محصولات تولیدشده در سیستم‌های مختلف ازنظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست، توجهات ویژه‌ای را به روش‌های تولید و نهاده‌های بکار رفته در امر تولید معطوف داشته است. یکی از کودهای زیستی مفید در اکوسیستم‌های پایدار، ورمی‌کمپوست است که حاصل یک فرآیند نیمه هوازی است که توسط گونه‌ای از کرم حلقوی قرمز با نام علمی *Eisenia foetid*a انجام می‌گیرد (Kamaei et al., 2019). این کود با افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید می‌تواند مقاومت گیاه به تنش‌های مختلف محیطی مانند تنش‌های دمایی، کمبود آب و عناصر غذایی و سمیت عناصر سنگین را کاهش دهد (Van Oosten et al., 2017). استفاده از ورمی-کمپوست در خاک می‌تواند بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، عملکرد میوه و کیفیت فلفل تأثیر مثبت بگذارد (Aminifard and Bayat, 2016). طی آزمایشی مشخص شد که ورمی-کمپوست یک محصول اصلاح‌کننده مناسب خاک و حاوی عناصر تغذیه‌ای قابل‌استفاده که سبب بهبود رشد گوجه‌فرنگی در شرایط تنش دما و آب می‌گردد (Chinsamy et al., 2014).

هدف از این مطالعه ارزیابی اثر سالیسیلیک اسید و کود ورمی‌کمپوست به‌عنوان دو عامل اصلاح‌کننده و مؤثر در روند رشد فلفل و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گیاه فلفل شیرین تحت تنش سرما است.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک و کیفی گیاه فلفل شیرین تحت شرایط تنش دمایی (سرما)، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه‌ای واقع در شهرستان مشهد به‌صورت آزمایش اسپیلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و هر تکرار شامل ۳ گیاه اجرا شد. ابتدا بذرها در خزانه‌ای که قبلاً آماده شده بود کشت گردید و هنگامی‌که نشاءها رشد کافی کردند و به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری رسیدند در اواخر آذر به محیط کشت اصلی انتقال یافتند. کشت در محفظه‌ای از جنس کارتن‌پلاست (طول ۲۵

3. Cytology
4. Peroxide dismutases(Pod)
5. Plant growth regulators (PGR)
6. Mitogen-activated protein kinase (MAPKs)
7. *Reactive Oxygen Species (ROS)*
8. Salicylic Acid (SA)
9. Alternative oxidase(AOX)

متر و عرض ۷۰ سانتیمتر) و در کف گلخانه به‌صورت هیدروپونیک (حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۵۰=۵۰) بافاصله ۵۰ سانتیمتر انجام شد. محلول غذایی هوگلند در طول دوره رشد همراه با آبیاری به گیاه اعمال شد (Hoagland and Arnon, 1950)، عامل اصلی تیمار دمایی در دو سطح (دماهای ۲±۹ درجه سلسیوس (تنش سرما) و ۲±۲۳ درجه سلسیوس (شاهد)) و عامل فرعی شامل دو رقم فلفل شیرین {ارقام *California wonder* (سبز)، Roxcy (زرد)}، استفاده از ترکیبات اصلاح‌کننده شامل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید {سه سطح به میزان صفر (شاهد)، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول} و کود ورمی کمپوست (به میزان ۲۰ درصد حجمی) است. اعمال تنش سرما در فصل زمستان از طریق تهویه به‌صورت کاملاً مکانیزه انجام گردید. تنش سرمایی در طی سه مرحله شامل: ۱- ده روز بعد از انتقال نشاء، ۲- ظهور اولین گل و ۳- ظهور اولین میوه به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت. زمان اعمال تیمار سالیسیلیک اسید ۴۸ ساعت قبل از سه مرحله تیمار سرمایی بود. تیمار ورمی‌کمپوست به میزان ۲۰ درصد از حجم کل بستر در همان ابتدا کشت اعمال گردید. در بقیه طول دوره رشد گیاه تحت شرایط دمایی ۱۸-۳۲ درجه سلسیوس در روز و دمای ۱۸-۲۲ درجه سلسیوس در شب، رطوبت نسبی ۷۵-۸۰ درصد و ۱۶ ساعت نور در روز قرار گرفت. نمونه‌برداری از گیاهان در اواخر دوره رشد زمانی که رنگ میوه تا ۸۵ درصد کامل شده باشد در حدود ۱۲ هفته بعد از کشت نشاء، جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کیفی به‌صورت تصادفی بود. در زمان برداشت از هر تیمار سه گیاه انتخاب شد و از هر گیاه، ۲۰ میوه به‌صورت تصادفی انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات کیفی و بیوشیمیایی به آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد.

برای تعیین عملکرد کل میوه ابتدا میوه‌های رسیده در هر بوته، به‌صورت هفته‌ای جمع‌آوری و به‌وسیله ترازوی دیجیتال توزین و یادداشت‌برداری شدند. عملکرد کل میوه در هر بوته در طی فصل رشد مورد تجزیه آماری قرار گرفت.

درصد ماده خشک میوه، با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

*(وزن نمونه‌تر)/(۱۰۰ × وزن نمونه خشک) =درصد ماده خشک* [۱]

برای اندازه‌گیری میزان کل مواد جامد محلول میوه از روش مستوفی و نجفی (Mostofe and najafi, 2005) توسط رفرکتومتر دستی مدل (RFM34, UK) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری فلاونوئید، یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی میوه با ۴ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۳ میلی‌لیتر نیتریت سدیم ۵ درصد مخلوط شد و بعد از ۵ دقیقه، ۰/۶ میلی‌لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد به این محلول اضافه گردید و محلول در دمای اتاق به مدت ۴۰ دقیقه نگهداری شد. جذب مخلوط واکنش در طول‌موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (Bio Quest, CE 2502) قرائت گردید و میزان فلاونوئید از روی منحنی استاندارد کوئرستین برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم عصاره بیان شد (Yoo et al., 2008).

به‌منظور اندازه‌گیری قند کل ($C_6H_{12}O_6$)، ابتدا دو گرم نمونه خشک میوه، ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد اضافه گردید، سپس روشناور آن را در لوله‌آزمایش ریخته و جهت حذف ناخالصی آن، دوباره ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به محتویات لوله‌آزمایش اضافه شد. پس از سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها (۱۵۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه)، محلول روشناور به‌عنوان عصاره پایه، برای اندازه‌گیری قند مورداستفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری قند میوه، یک‌صد میکرولیتر از عصاره تهیه‌شده را برداشته و به آن ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت و پس از خنک شدن نمونه‌ها، جذب آن‌ها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. جهت رسم منحنی استاندارد از گلوکز خالص استفاده شد (Yemm and Willis, 1954).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه طبق روش (Turkmen et al., 2005) از روش فعالیت خنثی‌کنندگی رادیکال DDPH (۲ و ۲ دی فنیل-۱ پیکریل هیدرازیل) تعیین شد. برای این منظور، ابتدا به دو گرم نمونه خشک میوه، ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۸ درصد اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس محلول، در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ قرار گرفت. در مرحله بعد، به ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول فوق (قسمت شناور)، ۴ میلی‌لیتر DDPH اضافه شد و محلول حاصل به‌سرعت به هم زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

*= درصد آنتی‌اکسیدانتی*

*1 – (A sample (517 nm) × 100 / A sample (517 nm))* [۲]

جهت اندازه‌گیری میزان کارتنوئیدها میوه (بتاکاروتن و لیکوپن)، ابتدا به یک گرم نمونه خشک میوه، ۱۶ میلی‌لیتر از محلول استون‌هگزان (به نسبت ۴:۶) اضافه شد و پس از سانتریفیوژ کردن محلول (۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه)، میزان جذب روشناوری محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵، ۵۰۵ و ۴۵۳ اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول‌های ذیل (روابط ۳ و ۴)، مقدار بتاکاروتن و لیکوپن میوه محاسبه گردید (Nagata and Yamashita, 1992).

*β-carotene =*
*(0.216 × A663) – (1.22 × A645) – (0.304 × A505) + (0.452 × A453)* [۳]

*Lycopene =*
(-0.0458 × A663) + (0.204 × A 645) + (0.372 × A505) – (0.0806 × A453) [۴]

برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث، ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر آب‌میوه، با ۲ میلی‌لیتر نشاسته یک درصد مخلوط و آنگاه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به محلول فوق اضافه شد، سپس عمل تیتراسیون با محلول ید در یدور پتاسیم انجام گردید، درنهایت با استفاده از فرمول ذیل (رابطه ۵) میزان ویتامین ث میوه محاسبه گردید (Mostofi and Najafi, 2005).

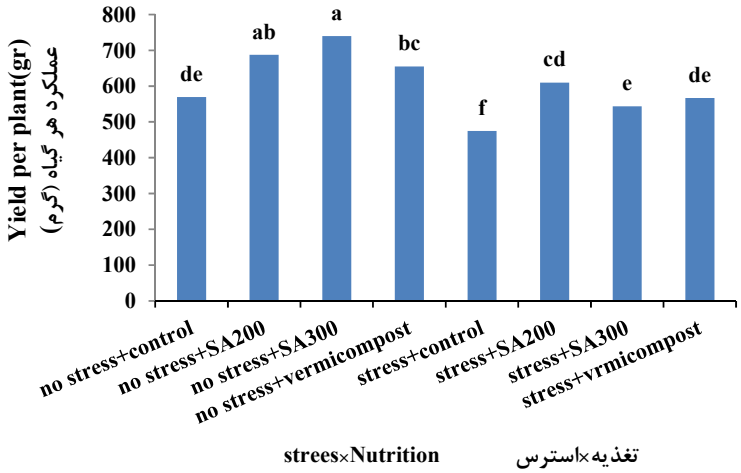
*= میلی‌گرم ویتامین ث در ۱۰۰ گرم میوه*
*حجم نمونه/ (حجم مصرفی محلول ید-یدور پتاسیم × ۰/۸۸)* [۵]

برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS، نسخه ۹,۱ آن استفاده گردید. برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد میوه در بوته

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود اثرات تنش سرمایی در سطح پنج درصد و ترکیبات اصلاح‌کننده (محلول‌پاشی با SA و کود ورمی‌کمپوست) در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل تنش سرمایی و ترکیبات اصلاح‌کننده در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص عملکرد میوه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر میانگین عملکرد (۶۴۸/۸ گرم در بوته) در اثر ساده محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک ۲۰۰ میکرومول به دست آمد (جدول ۲). همچنین اثر متقابل عدم تنش و محلول ۳۰۰ میکرومول سالیسیلیک اسید دارای بالاترین میانگین (۷۴۰ گرم در بوته) و تیمار تنش سرما و شاهد بدون تیمار تغذیه (۴۷۴/۹ گرم در بوته) کمترین میانگین را دارا بود (شکل ۱).




**شکل ۱. میانگین اثرات متقابل تنش سرمایی در ترکیبات اصلاحی بر عملکرد فلفل شیرین. SA: اسید سالیسیلیک.**

**Fig. 1. Mean Comparison of interaction effects of cold stress in Modifying compounds on yield. SA: Salicylic acid**

دماهای پایین می‌تواند مراحل نموی و فتوسنتز گیاه فلفل را تحت تأثیر قرار دهند، بنابراین رشد و عملکرد کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که برخی پژوهشگران کاهش فتوسنتز گوجه‌فرنگی را در شرایط تنش دمایی بالا و پایین گزارش کرده‌اند. تنش دمایی باعث کاهش فعالیت فتوشیمیایی و فتوسیستم ۲ البته کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد و از این طریق میزان عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Kai and Iba, 2014). استفاده از سالیسیلیک اسید در گیاهان باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود (Keshavarz and Modarres Sanavy, 2014) که این امر ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه است. به‌طوری‌که چندین گزارش، تأثیرات مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش رشد و عملکرد از طریق جذب دی‌اکسید کربن، میزان فتوسنتز و جذب مواد معدنی در گیاهان تحت تنش را تائید کردند (Zamaninejad, 2013; Gharib, 2006; Szepsi et al., 2005).

**جدول ۱. تجزیه واریانس صفات عملکردی و فیزیولوژیکی فلفل شیرین تحت تأثیر تنش سرما، اصلاح‌کننده‌ها و رقم**

**Table 1. Variance analysis of sweet pepper yield & Physiological traits under cold stress, Modifying, cultivar**

| S.O.V | منابع تغییرات | df | عملکرد میوه هر گیاه Frui yield per plant | درصد ماده خشک Percentage of dry matter | مواد جامد محلول Total solved solids | اسیدیته قابل تیتر Titrable Acidity | فلاونوئید Flavonoid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Block | بلوک | 2 | 145.6 | 5.2 | 0.001 | 4.5 | 0.39 |
| Stress | تنش | 1 | 156362.6* | 108* | 8.8** | 116.2** | 2668.5* |
| Eroor(a) | خطا (a) | 2 | 2690.1 | 2.56 | 0.0002 | 0.01 | 47.2 |
| Cultivar | ارقام | 1 | 184.8 ns | 1.47 ns | 0.01 ns | 1.57 ns | 470.6ns |
| Modifiers | اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 40583.2** | 1.29 ns | 0.02 ns | 0.45 ns | 5582.7** |
| Cultivar× Modifiers | اصلاح‌کننده‌ها × رقم | 3 | 96.5 ns | 1.4 ns | 0.06 ns | 2.28 ns | 19.6 ns |
| Stress× cultivar | تنش × رقم | 1 | 140.7ns | 0.27 ns | 0.01 ns | 2.85 ns | 2.8 ns |
| Modifiers ×Stress | تنش × اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 9236.6* | 0.05 ns | 0.003 ns | 0.49 ns | 134.2ns |
| Stress× Modifiers ×Cultivar | رقم × تنش × اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 140.5 ns | 0.01 ns | 0.000 8 ns | 0.51 ns | 4.6ns |
| Eror(b) | خطا (b) | 28 | 2872.5 | 6.96 | 0.22 | 3.2 | 123.8 |
| C. V% | ضریب تغییرات | | *8.84* | *16.7* | *10.3* | *14.9* | *7.5* |

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد می‌باشند

ns,*,**: Non significant, Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively. Modifying: salicylic acid and Vermicompost

### *درصد ماده خشک*

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد شاخص درصد ماده خشک فقط تحت تأثیر اثر ساده تنش سرمایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک نداشت (جدول ۱). درصد ماده خشک برای تیمار عدم تنش سرمایی به میزان ۱۷/۲ درصد و برای تیمار تنش سرمایی ۱۴/۲ درصد گزارش شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد تنش سرما به سبب کاهش میزان فتوسنتز کاهش ماده خشک فلفل را به دنبال دارد که این مسئله درنهایت، باعث کاهش درصد ماده خشک میوه فلفل می‌شود تأثیر منفی که تنش سرما بر کلروپلاست و فتوسنتز دارد سبب کاهش توان دستگاه فتوسنتزی در تولید انرژی، اسیمیلاسیون $CO_2$ در چرخه تاریکی فتوسنتز گردیده و باعث کاهش تولید کربوهیدرات می‌شود که کاهش درصد ماده خشک در ارقام مطالعه شده تحت تنش این موضوع را اثبات می‌کند (Adeniyi et al., 2004). این در حالی است که اسید سالیسیلیک نتوانست در این صفت تأثیر معنی‌دار و مؤثری داشته باشد. با توجه به اینکه تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش سبزینه می‌گردد میزان نورساخت کل را افزایش می‌دهد (Singh and Usha, 2003). در چنین

وضعیتی شرایط برای تجمع مواد نورساختی و انتقال آن به محل‌های مصرف فراهم می‌شود دو حالت برای گیاه اتفاق می‌افتد اول اینکه ذخایر هیدروکربنی افزایش می‌یابد و باعث افزایش در ماده خشک می‌گردد در حالت دوم تحریک رشد اتفاق می‌افتد به نظر می‌رسد در مورد گیاه فلفل موردبررسی اسید سالیسیلیک بیشتر حالت دوم را تحریک می‌کند.

**جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات تنش سرما و ترکیبات اصلاح‌کننده بر صفات عملکردی و فیزیولوژیکی**

**Table2. Comparison of average effects of cold stress and modifying compounds on yield and physiological traits**

| Main Effect | | اثرات اصلی | عملکرد میوه هر گیاه Fruit yield per plant | درصد ماده خشک Percentage of dry matter | مواد جامد محلول Total solved solids | اسیدیته قابل تیتراسیون Titrable Acidity | فلاونوئید Flavonoids |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $gr.pl^{-1}$ | % | °Brix | % | $mg.100g^{-1}$ FW |
| تنش سرما Cold Stress | No Stress | بدون تنش | 663[a] | 17.2[a] | 4.17[b] | 13.6[a] | 139.2[b] |
| | Cold stress | تنش سرما | 548.8[b] | 14.2[b] | 5.03[a] | 10.5[b] | 154.1[a] |
| اصلاح‌کننده‌ها (اسید سالیسیلیک و ورمی کمپوست) Modifiers | Control | شاهد | 522.2[b] | 15.3[a] | 4.56[a] | 11.32[a] | 114.4[b] |
| | Salicylic acid 200µmol | اسید سالیسیلیک ۲۰۰ میکرومول | 648.8[a] | 16.1[a] | 4.62[a] | 12.3[a] | 159.4[a] |
| | Salicylic acid 300 µmol | اسیدسالسیلیک ۳۰۰ میکرومول | 641.6[a] | 15.7[a] | 4.65[a] | 12.1[a] | 158.5[a] |
| | Vermicompost | ورمی کمپوست | 610.9[a] | 15.8[a] | 4.57[a] | 12.05[a] | 154.2[a] |

حروف همسان در هر ستون نشان دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's Multiple Range Test. Modifying: salicylic acid and Vermicompost

### *مواد جامد محلول*

نتایج گویای آن است که میزان مواد جامد محلول تحت تأثیر تنش سرما با سطح یک درصد معنی‌دار قرار گرفت درحالی‌که تیمار اسیدسالسیلیک، ورمی‌کمپوست و رقم تأثیر معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول نداشت (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد که با اعمال تنش سرما میزان مواد جامد محلول افزایش یافت. به‌طوری‌که حداکثر میزان مواد جامد در تیمار تنش سرما ۵/۰۳ بریکس و حداقل آن در شرایط عدم تنش ۴/۱۷ بریکس گزارش شد (جدول ۲). در مورد تأثیر اسید سالیسیلیک بر مواد جامد محلول نتایج ضدونقیضی وجود دارد و ارزیابی دقیق علت آن نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد به‌طوری‌که در پژوهش‌های دیگری گزارش شد که شیرینی موزهای تیمارشده با اسید سالیسیلیک به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های بالا هم‌خوانی دارد (Srivastava and Dwivedi, 2000).

مواد جامد محلول فاکتور مهمی در افزایش عطروطعم میوه است. این شاخص تحت تأثیر شرایط محیطی، به‌ویژه دما و رقم قرار می‌گیرد (Long et al., 2004). سازگاری به تنش سرما درنتیجه مکانیسم‌های پیچیده بیوشیمیایی است که منجر به افزایش تجمع پروتئین‌های پاسخ‌دهنده به تنش و قندهای محلول و مانند آن می‌شود (Poirier et al., 2010)

### *اسیدیته قابل تیتراسیون*

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش سرما در سطح یک درصد بر شاخص اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار بود درصورتی‌که تیمار اسید سالیسیلیک، ورمی‌کمپوست و رقم تأثیر معنی‌داری در اسیدیته میوه نداشت (جدول ۱). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد در شرایط عدم تنش سرما بیشترین میزان اسیدیته (۱۳/۶ گرم در لیتر) و در تنش سرما کمترین میزان اسیدیته (۱۰/۵ گرم در لیتر) مشاهده گردید (جدول ۲).

به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش اسیدیته میوه فلفل تحت تأثیر تنش سرما را بتوان افزایش تجزیه نشاسته، افزایش فروکتوز و گلوکز و کاهش انتقال ساکارز از برگ به خارج و مهم‌تر از آن تجزیه اسیدهای آلی در اثر تنش دانست (Gine-Bordonaba and Terry, 2016). عدم تأثیر اسیدسالسیلیک بر میزان اسیدیته قابل تیتر در پژوهش‌های بسیاری موردتوجه قرار گرفته است به‌طوری‌که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر گوجه‌فرنگی‌های کاشته شده در گلخانه تغییری را در میزان درصد اسید قابل تیتر آبمیوه نسبت به شاهد ایجاد نکرده بود (Yildırım and Dursun, 2009)؛ که با نتایج حاصل از تحقیق ما یعنی عدم تأثیر اسید سالیسیلیک بر اسیدیته قابل تیتر میوه هم‌خوانی دارد.

### فلاونوئید

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود اثرات اصلی تنش سرما در سطح ۵ درصد و ترکیبات اصلاح‌کننده در سطح یک درصد بر روی میزان فلاونوئید معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقدار فلاونوئید در شرایط تنش سرمایی (۱۵۴/۱ میلی‌گرم در صد گرم) و تیمار سالیسیلیک اسید ۲۰۰ میکرومول (۱۵۹/۴ میلی‌گرم در صد گرم) مشاهده گردید (جدول ۲).

فلاونوئیدها گروه بزرگی از ترکیبات فنلی موجود در گیاهان هستند که در تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لیاز تولید آن‌ها افزایش می‌یابد و توانایی جذب رادیکال‌های آزاد را دارند (Myung-Min et al., 2009). مطالعات انجام‌شده نقش اکوفیزیولوژیکی این ترکیبات را به‌عنوان یکی از شاخص‌های حساس به تغییرات محیطی و همچنین، یکی از نشانگرهای بیوشیمیایی دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی نشان می‌دهد (Vogt, 2010). بااین‌وجود، کاهش میزان فنل‌ها و فلاونوئیدها در این دماها ممکن است ناشی از اکسیداسیون آن‌ها توسط ROS ها باشد (Salih et al., 2016). از طرفی کاربرد سالیسیلیک اسید به‌عنوان عاملی تنش‌زا باعث تولید طیف وسیعی از فلاونوئیدها می‌شود (Tounekti et al., 2013). با توجه به اینکه سالیسیلیک اسید عاملی تنش‌زا است و کاربرد آن تولید طیف وسیعی از فلاونوئیدها را سبب می‌شود، وجود رابطه‌ای مستقیم بین تیمار سالیسیلیک اسید و مقدار فلاونوئیدها نتیجه‌گیری می‌شود.

### کربوهیدرات (قند کل)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد شاخص کربوهیدرات فقط تحت تأثیر اثر ساده تنش سرمایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین میزان کربوهیدرات در تیمار عدم تنش سرمایی به میزان ۱۴۸/۶ میلی‌گرم در گرم و در تیمار تنش سرمایی ۱۷۴/۵ میلی‌گرم در گرم گزارش شد (جدول ۴).

کربوهیدرات‌ها ازجمله محافظت‌کننده‌های اسمزی هستند که تجمع آن‌ها در پاسخ به تنش‌های محیطی در ارتباط با تنظیم اسمزی و یا حفاظت غشای سلولی است (Jieun et al., 2020). قندهای محلول به‌عنوان ترکیبات اصلی در افزایش مقاومت به سرما شناخته می‌شوند. افزایش در مقدار قندهای محلول در زمستان بخشی از مکانیسم سازگاری گیاه به سرما است. نتایج آزمایش‌های محققین نشان داد میزان کربوهیدرات کل در گیاه بادمجان تحت شرایط تنش سرما نسبت به تیمار شاهد افزایش چشمگیری داشت (Shariatzadeh, 2013). تجمع قندهای محلول در کل نشان‌دهنده یک پاسخ تطبیقی است که می‌تواند به رشد گیاهان تحت تنش دمایی کمک کند. مشابه نتایج حاصل از این تحقیق در تأثیر سرما بر تجمع کربوهیدرات گزارش شده است زمانی که فلفل تحت تنش دمایی قرار گرفته است بر میزان قندهای محلول این گیاه افزوده شده است (Navita et al., 2016).

### ویتامین ث

بر اساس نتایج حاصله از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی تنش سرمایی در سطح ۵ درصد و ترکیبات اصلاح‌کننده و همچنین رقم‌های مختلف در سطح یک درصد بر روی ویتامین ث معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان ویتامین ث برای تیمار تنش سرمایی به میزان ۱۴۰/۷ میلی‌گرم در صد گرم، تیمار رقم زرد به میزان ۱۳۴/۷ میلی‌گرم در صد گرم و برای تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومول ۱۴۲/۵ میلی‌گرم در صد گرم گزارش شد (جدول ۴).

ازجمله تغییرات در گیاهان به‌عنوان پیام‌آور حضور تنش و مقابله با آن، افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف است. آسکوربیک‌اسید (ویتامین ث) ازجمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند که در بررسی ما طی شرایط تنش در جهت کاهش

آثار مخرب آن افزایش یافته است. این افزایش ممکن است به این دلیل اتفاق افتاده باشد که آسکوربیک اسید یک ترکیب فراگیر است که به‌طور مؤثری تحمل تنش را در گیاهان افزایش می‌دهد (Naz et al., 2016). آسکوربیک اسیدها نقش عمده‌ای در به حداقل رساندن فعالیت ROS توسط سم‌زدایی آنزیمی و غیر آنزیمی دارد (Shao et al., 2007). برخی محققین دلیل افزایش ویتامین ث را به علت نقش سالیسیلیک اسید در افزایش رشد رویشی، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیان کرد (El-Yazied, 2011).

طی نتایج به‌دست‌آمده تأیید شد SA باعث افزایش محتوای آسکوربیک اسیدها در گیاهان کلزا می‌شود. آن‌ها اظهار داشتند که افزایش آسکوربیک اسیدها به این دلیل اتفاق می‌افتد که SA بر مسیرهای بیوسنتز آسکوربیک اسید تأثیر می‌گذارد (Tirani et al., 2013).

**جدول ۳. تجزیه واریانس صفات کیفی فلفل شیرین تحت تأثیر تنش سرما، اصلاح کننده‌ها و رقم**

**Table 3. Variance analysis of qualitative traits of sweet pepper under cold stress, modifying compounds and cultivar**

| S.O.V | منابع تغییرات | درجه آزادی df | کربوهیدرات Carbohydrate | ویتامین C Ascorbic Acid | بتا کارتن ß-carotene | لیکوپن Lycopene | فعالیت آنتی‌اکسیدانی antioxidant activity |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Block | بلوک | 2 | 280.6 | 27.5 | 1600.1 | 502.5 | 100.2 |
| Stress (S) | تنش | 1 | 8047.1* | 7696.2* | 37957.5** | 7180.9* | 7790.2* |
| Eroor (a) | خطا (a) | 2 | 315.1 | 400.03 | 100/1 | 83.8 | 306.3 |
| Cultivar (C) | ارقام | 1 | 62.3ns | 2098.8 ** | 3862.8* | 2906.2** | 14.1 ns |
| Modifiers (MD) | اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 352.6 ns | 3537.7** | 18687.3** | 6134.9 ** | 1.3 ns |
| MD × C | اصلاح‌کننده×رقم | 3 | 126.6ns | 211/07 ns | 34.4 ns | 31.3ns | 1.8 ns |
| S × C | تنش×رقم | 1 | 0.58ns | 32.3 ns | 39.2 ns | 14.6ns | 0.99 ns |
| S × MD | تنش ×اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 1.81 ns | 124.1 ns | 587.1ns | 67.9ns | 206.2 ns |
| C × S× MD | رقم×تنش×اصلاح‌کننده‌ها | 3 | 0.78ns | 34.8 ns | 0.64 ns | 4.8ns | 4.6 ns |
| Eror (b) | خطا (b) | 28 | 511.1 | 186.004 | 763.8 | 364.5 | 88.8 |
| C. V% | ضریب تغییرات | | *13.9* | *10.6* | *8.8* | *14.6* | *12.1* |

**، * و ns به‌ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد می‌باشند

ns,*,**: Non significant, Significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

Modifying: Salicilic acid and Vermicompost

### *بتاکاروتن و لیکوپن*

با توجه به تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی رقم‌های مختلف در سطح پنج درصد و تیمار اصلاح‌کننده و تنش سرمایی در سطح یک درصد بر بتاکاروتن و اثر تنش سرمایی در سطح پنج درصد و اصلاح‌کننده و رقم‌های مختلف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار بتاکاروتن در تیمار عدم تنش (۳۴۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)، رقم زرد (۳۲۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و تیمار سالیسیلیک اسید ۳۰۰ میکرومولی (۳۴۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقدار لیکوپن در تیمار عدم تنش (۱۴۲/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم)، فلفل رقم زرد (۱۳۸/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و تیمار سالیسیلیک اسید ۳۰۰ و ۲۰۰ میکرومولی (۱۵۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۱۴۶/۲ میلی‌گرم در لیتر) گزارش شد (جدول ۴). کاروتنوئیدها به کاروتن‌های هیدروکربن مانند لیکوپن و بتاکاروتن یا گزانتوفیل‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند (Jaleel et al., 2007). کاهش محتوای کارتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند به دلیل اکسید شدن آن‌ها توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد. گزارش‌ها حاکی

از این است که در گیاه فلفل شیرین محتوی کاروتنوئید تحت شرایط تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Zhang et al., 2020).

به‌کارگیری SA باعث افزایش محتوی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی گیاه سیاه‌دانه (Kabiri, 2014) و فلفل شیرین (Mahdavian et al., 2008) تحت تنش شده است. افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تیمار SA را می‌توان به علت اثر SA بر تحریک مسیر سنتزی این رنگ‌دانه‌ها دانست (Shinwari et al., 2018). افزایش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی تحت تیمار SA گویای اثر محافظتی این تنظیم‌کننده رشد بر فتوسنتز و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی گیاهان تحت تنش است (Abdelaal et al., 2020). همچنین اسید سالیسیلیک با تأثیر بر هورمون‌های اسیدآبسزیک و اتیلن (Zhu, 2001) بسیاری از روندهای فیزیولوژیک و رشد گیاه را تنظیم می‌کند؛ به‌طور مثال با اثر روی هورمون اسیدآبسزیک و تجمع این هورمون باعث خوگیری گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود. کاروتنوئیدها خود پیش ماده‌ای برای ساخت آبسیزیک اسید هستند (Zeiger and Taiz, 2006).

**جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات تنش سرما، رقم و ترکیبات اصلاح‌کننده بر صفات کیفی فلفل شیرین**

**Table2. Comparison of average effects of cold stress, cultivar and modifying compounds on the quality traits of sweet pepper**

| اثرات اصلی Main Effect | | کربوهیدرات Carbohydrate | ویتامین C Ascorbic Acid | بتاکارتن ß-carotene | لیکوپن Lycopen | فعالیت آنتی‌اکسیدانی antioxidant activity |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $mg.gr^{-1}$ | $mg.100g^{-1}$ | $mg.kg^{-1}$ | | % |
| تنش Stress | بدون تنش No Stress | 148.6 b | 115.4 b | 341.1 a | 142.7 a | 64.9 b |
| | تنش Stress | 174.5 a | 140.7 a | 284.8 b | 118.2 b | 90.3 a |
| ارقام Cultivars | سبز Green | 160.4 a | 121.5 b | 304.03 b | 122.7 b | 78.1 a |
| | زرد Yellow | 163.6 a | 134.7 a | 321.19 a | 138.3 a | 77.06 a |
| اصلاح‌کننده‌ها Modifying compounds | شاهد Control | 162.85 a | 108.3 b | 267.3 c | 106.2 b | 77.5 a |
| | SA 200 µmol | 167.65 a | 142.5 a | 345.5 a | 146.2 a | 77.5 a |
| | SA 300 µmol | 161.1 a | 142.52 a | 346.4 a | 152.9 a | 78.1 a |
| | ورمی کمپوست Vermicompost | 154.5 a | 119.1 b | 292.6 b | 116.6 b | 77.3 a |

حروف همسان در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۰/۰۵ درصد بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's Multiple Range Test.

Modifying compunds: Salicilic acid and Vermicompost

### *فعالیت آنتی‌اکسیدانی*

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش سرما در سطح ۵ درصد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش میزان تنش فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. تیمار تنش سرما دارای بیشترین میزان (۹۰/۳ درصد) و تیمار عدم تنش کمترین میزان (۶۴/۹ درصد) فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارا بود (جدول ۴).

تنش سرما باعث افزایش تنش اکسیداتیو در بافت‌های گیاهی می‌شود و گیاهان غالباً برای مقابله با اثرات تنش اکسیداتیو، فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی خود را افزایش می‌دهند.

میزان فعالیت این آنزیم‌ها با میزان افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی بستگی دارد (Soeng et al., 2017). نتایج تحقیقات برخی از محققین نشان داد حساسیت میوه فلفل به تنش سرما به سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و

کاتالاز (CAT) مربوط باشد. به‌طوری‌که فعالیت‌های سوپر اکسیدازها و کاتالازها در رقم مقاوم به سرما بسیار بیشتر از رقم حساس به سرما بود (Lim et al., 2016). محققین بیان داشتند که آسیب ناشی از تنش سرما موجب تخریب ساختمان بسیاری از لیپیدهای غشایی شد و نتیجه این تخریب با افزایش مقدار ترکیبات آنتی‌اکسیدانی همراه است (Mutlu et al., 2013).

## نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش به‌منظور افزایش مقاومت به تنش سرما در گیاه فلفل شیرین از تنظیم‌کننده رشد سالیسیلیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی برگی و کود آلی ورمی‌کمپوست استفاده شد. قرار گرفتن ارقام مختلف فلفل شیرین در معرض تنش سرما باعث کاهش در میزان اسیدیته میوه و درصد ماده خشک گردید. به‌طوری‌که حداکثر عملکرد در شرایط کشت بدون تنش سرما و محلول‌پاشی شده با اسید سالیسیلیک ۳۰۰ میکرومول به دست آمد. برخی صفات مانند میزان مواد جامد محلول، کربوهیدرات‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش سرما افزایش یافت که به سازوکار گیاه جهت مقابله به تنش سرمایی ارتباط دارد. استفاده از سالیسیلیک اسید در این بررسی سبب کاهش آثار سوء تنش سرما و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک شامل آسکوربیک اسید، رنگیزه‌های بتاکارتن و لیکوپن و فلاونوئید گردید؛ بنابراین با توجه به تغییرات ناگهانی دما ناشی از تغییر اقلیم و اثرات مخرب تنش دمایی به‌خصوص سرما بر گیاهان استفاده از اسید سالیسیلیک که نقش برجسته‌ای در کاهش تنش سرما در گیاه فلفل دارد پیشنهاد می‌شود.

## منابع


Abdelaal, K.A., EL-Maghraby, L.M., Elansary, H., Hafez, Y.M., Ibrahim, E.I., El-Banna, M., El-Esawi, M., Elkelish, A., 2020. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing Compounds Alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. Agronomy. 10, 26. https://doi.org/10.3390/agronomy10010026

Adeniyi, O.T., Akparobi, S.O., Ekanayake., I.J., 2004. Field studies on chlorophyll a fluorescence for low temperature tolerance testing of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Food, Agriculture and Environment. 2, 166-170. https://hdl.handle.net/10568/96429

Ahmed, W., Imran, M., Yaseen, M., Haq, Tu., Jamshaid, M., Rukh, S., Ikram, R.M., Ali, M., Ali, A., Maqbool, M., Arif, M., Khan, M.A., 2020. Role of salicylic acid in regulating ethylene and physiological characteristics for alleviating salinity stress on germination, growth and yield of sweet pepper. PeerJ 8, e8475. https://doi.org/10.7717/peerj.8475

Aminifard, M., Bayat, H., 2016. Effect of vermicompost on fruit yield and quality of bell pepper. International Journal of Horticultural Science and Technology. 3(2), 221-229. https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.209130.129

Chinsamy, M., Kulkarni, M.G., Van Staden, J.,2014. Vermicompost leachate reduces temperature and water stress effects in tomato seedlings. Hortscience 49, 1183–1187. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.9.1183

El-Yazied, A., 2011. Effect of foliar application of salicylic acid and chelated zinc on growth and productivity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under autumn planting. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 7, 423-433.

Fung, R.W.M., Wang, C.Y., Smith, D.L., Gross, K.C., Tian, M., 2004. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). Plant Science. 166, 711–719. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.11.009

Gharib, F. A., 2006. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. International Journal of Agriculture and Biology. 4, 485-492

Gine-Bordonaba, J., Terry, L.A., 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria X ananassa*) fruit and leaves. Scientia Horticulturae. 199, 63-70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.026

Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., Miura, K., 2012. Abiotic stress and role of salicylic acid in plants. In Parvaiza, A., Prasad, M.N.V. (eds.), Abiotic Stress Responses in Plants. Springer, New York. Pp. 235–251.

Hoagland, D.R., Arnon, D.S., 1950. The water culture method for growing plants without soil. California Agriculture Expriment. Statation publications. Circular 374. 32p.

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 59, 150-157. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.001

Jieun, S., Gibum, Y., Jeong, G.L., Jeong H.C., Eun, J.L., 2020. Seed browning in pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit during cold storage is inhibited by methyl jasmonate or induced by methyl salicylate. Postharvest Biology and Technology. 166, 111210. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111210

Kabiri R., Nasibi F., Farahbakhsh H., 2014. Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in Nigella sativa plant under hydroponic culture. Plant Protection Science. 50, 43–51. https://doi.org/10.17221/56/2012-PPS

Kai, H., Iba, K., 2014. Temperature Stress in Plants. In eLS, John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001320.pub2

Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M., Jahan, M., 2019. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum, Journal of Plant Nutrition, 42, 2221-2233, https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648667

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S.A.M., 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. Journal of Crop Production. (In Press). [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.6095

Lim, C.S., Kang, S.M., Cho, J.L., Gross, K.C., 2009. Antioxidizing enzyme activities in chilling-sensitive and chilling-tolerant pepper fruit as affected by stage of ripeness and storage temperature. Journal of the American Society for Horticultural Science. 134, 156–163. https://doi.org/10.21273/JASHS.134.1.156

Long, R.L., Walsh, K.B., Rogers, G., Midmore, D.M., 2004. Source Source-sink manipulation to 302 increase melon fruit biomass and soluble sugar content. Australian Journal of Agricultural Research. 55, 1241-1251. http://dx.doi.org/10.1071/ar04157

Mahdavian, K., Kalantari, K.M., Ghorbanli, M., Torkzade, M., 2008. The effects of salicylic acid on pigment contents in ultraviolet radiation stressed pepper plants. Biologia Plantarum. 52, 170–172. https://doi.org/10.1007/s10535-008-0037-0

Mateos, R., Jiménez, A., Román, P., Romojaro, F., Bacarizo, S., Leterrier, M., Gómez, M., Sevilla, F., del Río, L., Corpas, F., Palma, J., 2013. Antioxidant systems from Pepper (*Capsicum annuum* L.): involvement in the response to temperature changes in ripe fruits. International Journal of Molecular Sciences. 14, 9556-9580. https://doi.org/10.3390/ijms14059556

Mostofi, Y., Najafi, F., 2005. Analytical Laboratory Methods in Horticultural Sciences. University of Tehran Publications. 136 p. [In Persian].

Myung-Min, H., Trick, H.N., Rajasheka, E.B., 2009. Secondary metabolism and antioxidant are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. Journal of Plant Physiology 166, 180-191. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.04.015

Nagata, M., and Yamashita, I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. Journal of Japanese Society of Food Science and Technology, 39, 925-928. https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925

Navita, G., Jaspreet, K., Jindal, S.K., Dhaliwal, M.S, Kanchan, P., 2016. Physiological and biochemical response to higher temperature stress in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Applied and Natural Science 8, 1133 – 1137. https://doi.org/10.31018/jans.v8i3.930

Naz, H., Aisha, N., Ashraf, M., 2016. Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. Pakistan Journal of Botany. 48, 877–883.

Ou, L.J., Wei, G., Zhang, Z.Q., Dai, X.Z., Zou, X.X. , 2015. Effects of low temperature and low irradiance on the physiological characteristics and related gene expression of different pepper species. Photosynthetica 53, 85–94. https://doi.org/10.1007/s11099-015-0084-7

Poirier, M., Lacointe, A., Ameglio, T., 2010. A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. Tree Physiology, 30, 1555- 1569. https://doi.org/10.1093/treephys/tpq087

Saleem, M., Fariduddin, Q., Janda, T., 2020. Multifaceted role of salicylic acid in combating cold stress in plants: A review. J Plant Growth Regulation. 40, 464–485. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10152-x

Salih, M., Ökkeş, A., Barbaros, N., Ebru M., 2016. Exogenous salicylic acid alleviates cold damage by regulating antioxidative system in two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars, Frontiers in Life Science, 9, 99-109, https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1115430

Sayyari, M., Ghanbari, F., 2013. Effect of acetyl salicylic acid on quality and chilling resistance of sweet pepper (*Capsicum Annuum*) at different storage temperatures. Acta Horticulturae. 1012, 559-568. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1012.75

Shao, H.B., Chu, L.Y., Lu, Z.H., Kang, C.M., 2007. Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. International Journal of Biological Sciences. 4, 8–14. https://doi.org/10.7150/ijbs.4.8

Shariatzadeh Bami, Sh. 2013. The effect of 24-epi-bracinolide on resistance to cold stress in eggplant (*Solanum melongena* L.). Master thesis. Faculty of Basic Sciences, Arak University. [In Persian].

Shinwari, A., Ahmad, I., Khan, I., Khattak, H., Azimi, A.S., 2018. Thermotolerance in tomato: acetyl salicylic acid affects growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under the agro-climatic condition of Islamabad, Pakistan. Advances in Agriculture and Environmental Science, 1, 102-107.

Singh, B., Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation. 39, 137–141. https://doi.org/10.1023/A:1022556103536

Soengas, P., Rodríguez, V.M., Velasco, P., Cartea, M.E., 2018. Effect of temperature stress on antioxidant defenses in *Brassica oleracea*. ACS Omega. 31(3), 5237-5243. https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00242

Srivastava, M. K., Dwivedi, U.N., 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Science, 158, 87-96. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00304-6c

Szepesi, A., Csiszar, J., Bajkan, S., Gemes, K., Horvath, F., Erdei, L., Deer, A.K., Simon, M.L., Tari, I., 2005. Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt- and osmotic stress. Acta Biologica Szegediensis, 49, 123-125.

Taiz, L., Zeiger, E., 2006. Plant Physiology. 4th Edition. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts. USA. 456p.

Tirani, M.M., Nasibi, F., Kalantari, K.M., 2013. Interaction of salicylic acid and ethylene and their effects on some physiological and biochemical parameters in canola plants (*Brassica napus* L.). Photosynthetica. 51, 411–418. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0041-2

Tounekti, T., Hernandezi, I., Munne-Bosch, S. 2013. Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress, pp. 141-162. – In:42. Turkmen, N., Sari, F., and Velioglu, Y. S. 2005b. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry, 93, 713718.

Tounekti, T., Hernández, I., Munné-Bosch, S., 2013. Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress s. In: Hayat, S., Ahmad, A., Alyemeni, M. (eds.), Salicylic Acid. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6428-6_8

Van Oosten, M.J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 4, 5. https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5

Vogt, T., 2010. Phenylpropanoid biosyntesis. Molecular Plant. 3, 2-20.

Yemm, E.W., Willis, A. J., 1954. The Estimation of carbohydrate in the plant extract by anthrone reagent. Biochemical Journal. 57, 508-514. https://doi.org/10.1042/bj0570508

Yildırım, E., Dursun, A., 2009. Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. Acta Horticultural, 807, 395-400. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.56

Yoo, K.M., Lee, C., Lee, H., Moon, B.K., Lee, C.Y., 2008. Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. Food Chemistry. 106(3), 929-936. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.006

Zamaninejad, M., KhavariKhorasani, S., Jami Moeini, M., Heidarian, A. R., 2013. Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. European Journal of Experimental Biology. 3, 153- 161.

Zhang, R., Zhu, W., Cheng, G.X., Yu,Y., Li, Q., Haq, S., Said, F., Gong, Z.H., 2020. A novel gene, CaATHB-12, negatively regulates fruit carotenoid content under cold stress in Capsicum annuum. Food & Nutrition Research. Dec 28, 64. https://doi.org/10.29219/fnr.v64.3729

Zhu, J. K., 2001. Cell signaling under salt, water and cold stresses. Current Opinion in Plant Biology. 4, 401-406. https://doi.org/10.1016/s1369-5266(00)00192-8