Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2021, Vol 9, No 5(1), Pages 63-75

doi: 10.22034/iuvs.2020.137652.1122 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The Effect of Kaolin on Drought Stress Tolerance and Some Physiological Responses of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Fardin Ghanbari[1*], Milad Cheraghi[2] and Javad Erfani Moghadam[3]

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

[*]**Corresponding author:** f.ghanbari@ilam.ac.ir

(**Received:** 5 October 2020 **Revise:** 10 November 2020 **Accepted:** 10 November 2020)

Extended Abstract

1. Introduction: Water deficiency and its result (i.e. drought stress) is one of the main factors limiting agricultural production in tropical and subtropical regions in the world; because it decreases plants' growth and yield due to a reduction in their photosynthesis activity, transpiration, and stomata conductivity (Farooq *et al*., 2009). In order to enhance plants' survival under drought condition, application of anti-transpiration materials is of underlying approaches to reduce the rate of transpiration (Cao *et al*., 2010). Kaolin, as a white-clay mineral substance, is soluble in water and neutral in terms of chemical activity. Its color reflexes a large majority of solar radiations (Glenn, 2012). Spraying plants with water-suspension kaolin can improve plants' tolerance towards environmental stresses (Boari *et al*., 2016). In this regard, it has been reported that white particles settled on the external surfaces of plants causes to reflex sunlight and make a change in angle of sun radiation as well as maintaining temperature balances; and accordingly it reduces stresses' damages to leaf and fruit at higher temperatures (Glenn, 2012). This research aimed to investigate the effect of foliar application of kaolin on plants' growth and yield as well as their physiological responses at different irrigation regimes in pepper under the weather of Ilam province.

2. Materials and Methods: The present study was conducted in a 3×3 factorial arrangement in a randomized complete block (RCB) design with three replicates in Research Greenhouse of Agriculture Faculty of Ilam University in 2019. Kaolin treatments (WP_{95}) included three levels of kaolin concentrations in the provided water solution (0% –water spraying as control, 2.5%, and 5%) which applied in the form of spray to make all surfaces of leaves wet and this was repeated 30 days later. Then, the plants were subjected to different irrigation interval treatments (2, 4 and 6 days) applied with a drip tape irrigation until completing plants' growth. In the end of experiment (85 days after transplanting seedlings), five plants in each treatment were considered as our samples for measuring the respected treats.

3. Results and Discussion: The results showed that an increase in an irrigation interval of pepper reduced growth parameters and yield. In this regard, previous studies demonstrated that drought stress had a negative effect on plants' growth and yield (Haghighi & Najafi, 2020). Under drought condition, the natural mechanism of plant cells is disrupted, and this leads to emerging oxidative stresses. At this condition, ROS is generated, and this per se intensify the destruction of chlorophyll, proteins, and cellular membranes (Carvalho *et al*., 2015).

The results also showed that kaolin spray on the pepper's leaves improved its growth and yield at different levels of irrigation. It has been documented that kaolin, by increasing fruit yield, enhances plants' yield under drought stress (Cantore et al., 2009). Because of a positive relationship between the speed of fruit growth and fruit temperature, the temperature higher than 30 °C not only increases fruit growth, but also intensifies fruit ripening; although it can reduce fruit weight (Boari *et al*., 2016). During plant growth, applying kaolin at presence of higher temperature of experimental field (>30 °C) extends the time of fruit growth and accordingly fruit weight. Because of its role on reducing fruit ripening's process, kaolin paves the way for raising fruit weight under drought condition. A reduction in oxidative damages and an increase in yield of pepper under different levels of irrigation indicate the activation of defensive mechanisms created by external application of kaolin. In this research, applying kaolin significantly increased chlorophyll content as well as antioxidants' activities of catalase and peroxidase, whereas it reduced MDA accumulation in the stressed plants. In this regard, kaolin was shown to improve antioxidant capacity and to maintain relative water content (RWC) in the stressed plants (Brito *et al*., 2019). Accumulating protein and hormones in stressed olive is of changes intensified by kaolin resulting in rising olive's yield under drought stress as compared with the controls. In addition, Kaolin was reported to improve the antioxidants in the stressed plants of different crops (Dinis *et al*., 2016; Abdallah *et al*., 2019), and this is in consistent with our findings.

4. Conclusion: The results of experiment also revealed that application of kaolin somehow reduced the harmful effect of drought stress on pepper. The effectiveness of kaolin on mitigating the harmful effects of drought is associated with its ability in improving antioxidant systems and chlorophyll content, whereas reducing accumulation of MDA in the stressed plants. In conclusion, applying kaolin (especially at concentration of 2.5%) improved pepper's growth and yield at different regimes of irrigation by affecting on the plants physiological processes.

Keywords: Antioxidant enzymes, Foliar application, Irrigation, Malondialdehyde, Proline.

Citation: Ghanbari, F., Cheraghi, M. & Erfani Moghadam, J. (2021). The effect of kaolin on drought stress tolerance and some physiological responses of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, 5(1), 63-75. doi: 10.22034/iuvs.2020.137652.1122

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۵، دوره ۹، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صفحات (۷۵-۶۳)

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2020.137652.1122

اثر کائولین بر تحمل به تنش خشکی و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.)

فردین قنبری[1*]، میلاد چراغی[2] و جواد عرفانی‌مقدم[3]

۱- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

[*]نویسنده مسئول: f.ghanbari@ilam.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۳۹۹/۰۷/۱۴ **تاریخ بازنگری:** ۱۳۹۹/۰۸/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۹/۰۸/۲۰)

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرزیستی، رشد و بهره‌وری گیاهان را در سراسر جهان محدود می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی اثرات کاربرد خارجی کائولین بر رشد، عملکرد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه فلفل دلمه تحت شرایط تنش خشکی بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۸ انجام شد. عامل اول غلظت کائولین با سه سطح (صفر، ۲/۵ و پنج درصد) و عامل دوم دور آبیاری شامل دو، چهار و شش روز یک‌بار بودند. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری عملکرد کل، پارامترهای رشدی و مقدار کلروفیل کاهش و محتوای پرولین، مالون دی آلدهید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت. کاربرد کائولین پارامترهای رشدی، عملکرد کل و مقدار کلروفیل گیاه فلفل تحت تنش خشکی را بهبود بخشید و محافظت قابل‌توجهی در برابر تنش خشکی ایجاد کرد. علاوه بر این، کائولین به‌کار رفته تجمع مالون دی آلدهید را کاهش داد که با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارتباط بود. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از محلول‌پاشی کائولین (به‌ویژه غلظت ۲/۵ درصد) برای محافظت از گیاهان فلفل دلمه‌ای در برابر اثرات تنش خشکی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، مالون دی آلدهید، محلول‌پاشی.

استناد: قنبری، ف.، چراغی، م. و عرفانی‌مقدم، ج. (۱۴۰۰). اثر کائولین بر تحمل به تنش خشکی و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی در گیاه فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.). *علوم سبزی‌ها*، ۵(۱)، ۷۵-۶۳.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annum* L. از سبزی‌های یک‌ساله و میوه‌ای خانواده Solanaceae است که بر اساس خاصیت اشتهاآوری، هضم غذا، مقدار کاروتن بالا، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و همچنین مقادیر بالای ویتامین ث دارای ارزش غذایی بالایی است (Peyvast, 2006).

کمبود آب و تنش خشکی ناشی از آن یکی از عوامل اصلی کاهش‌دهنده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است. تنش کم‌آبی باعث کاهش رشد گیاهان، بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شده و در نتیجه عملکرد گیاهان در شرایط خشکی کاهش می‌یابد (Farooq *et al*., 2009).

از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی، گیاهان با تولید برخی مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی پتانسیل آب سلول‌ها را پایین آورده و از این طریق با خشکی مقابله می‌کنند (Denaxa *et al*., 2012). این فرآیند انرژی مورد نیاز برای رشد و نمو گیاه را با محدودیت مواجه کرده و از این طریق نیز رشد گیاه محدود می‌شود (Verbruggen & Hermans, 2008).

یکی از روش‌های افزایش پایداری گیاهان در شرایط تنش خشکی استفاده از مواد ضد تعرق و کاهش میزان تعرق گیاهان است (Cao *et al*., 2010). کائولین یک ماده معدنی رسی سفید رنگ (آلومینیوم سیلیکات آبدار)، محلول در آب و از نظر شیمیایی خنثی می‌باشد و منجر به انعکاس درصد بالایی از نور خورشید می‌شود (Glenn, 2012). قطر ذرات کائولین کمتر از دو میکرومتر است و بنابراین سوسپانسیون آن قدرت پراکندگی بالایی داشته و می‌تواند پوشش یکنواخت و سفید رنگی بر روی سطوح ایجاد کند (Segura-Monroy, 2015). همچنین کائولین به‌عنوان ماده‌ای بی‌خطر برای انسان و محیط‌زیست معرفی شده است (Glenn, 2012). محلول‌پاشی گیاه با سوسپانسیون آبی کائولین می‌تواند باعث کمک به بهبود تحمل به تنش در گیاه شود (Boari *et al*., 2016). در این راستا گزارش شده است که، ذرات سفید تشکیل شده بر روی سطوح خارجی گیاهان باعث افزایش انعکاس تابش خورشیدی، تغییر زاویه تابش، تعادل حرارت و در نتیجه کاهش خطر آسیب به برگ و میوه در دما و درجه حرارت بالا می‌شود (Glenn, 2012). کاربرد غلظت مناسب این ماده میزان فتوسنتز را کاهش نداده و باعث افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان تحت شرایط کم‌آبی می‌شود (Denaxa *et al*., 2012).

Azizi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که تیمار کائولین در درختان پسته (*Pistacia vera* L.) تحت تنش کمبود آب با افزایش جذب مواد غذایی و همچنین افزایش پرولین سبب کاهش آثار تنش در این نهال می‌شود. Boari و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که کائولین در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در پاسخ فیزیولوژیکی به تنش شوری مؤثر است. کائولین منجر به بهبود پتانسیل آب برگ در شوری کم شده است و تحت شوری بالا، کائولین در محدود کردن کاهش فتوسنتز خالص و کاهش دمای برگ مؤثر بوده است. احتمالاً این امر به‌دلیل اثر دوطرفه کائولین است که به‌طور قابل‌توجهی باعث بهبود وضعیت آب و کاهش دمای گیاهان در مواجه با تنش می‌شود (Boari *et al*., 2016).

در استان ایلام با توجه به خشکی نسبی هوا و شدت بالای تابش خورشید، شدت تبخیر و تعرق در گیاه بالا رفته و این عوامل در گیاه فلفل منجر به تولید میوه‌های کوچک با شکل نامناسب و دارای عارضه آفتاب سوختگی می‌شود (Mohammadi *et al*., 2018). هدف از این تحقیق بررسی نقش کائولین بر رشد، عملکرد و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی در گیاه فلفل دلمه‌ای در دورهای مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی شهرستان ایلام بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام به‌صورت آزمایش

فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل سه سطح کائولین (صفر، ۲/۵ و پنج درصد) و فاکتور دوم شامل سه دور آبیاری (دو، چهار و شش روز یک‌بار) بود.

برای تولید نشا، بذرهای فلفل دلمه‌ای رقم California Wonder در تاریخ هفت اردیبهشت ۱۳۹۸ در محیط کشت خاک مزرعه، کود دامی و ماسه (با نسبت ۱:۱:۲) کشت شده و در گلخانه با نور طبیعی و دمای روزانه حدود ۲۴ و شبانه حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد پرورش یافتند. نشاهای یکنواخت در مرحله چهار برگ توسعه‌یافته انتخاب شده و به مزرعه منتقل شدند. برای آماده‌سازی زمین مورد نیاز، ابتدا علف‌های‌هرز، سنگ‌ها و کلوخه‌های سطح مزرعه جمع‌آوری شد و به کمک بیل دستی خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم زده شد. نشاها در ردیف‌های کشت منظم با فواصل ۸۰×۴۰ سانتی‌متر کشت شدند. بین تیمارهای مختلف آبیاری، فاصله کشت دو متر در نظر گرفته شد. در ابتدا همه گیاهان به‌صورت یکسان با فاصله دو روز یک‌بار آبیاری شده و پس از استقرار کامل گیاهان، در مرحله شروع گلدهی تیمارهای آزمایشی آغاز شد. تیمار کائولین (سپیدان WP95) در سه سطح شاهد (محلول‌پاشی با آب)، ۲/۵ و پنج درصد سوسپانسیون به‌صورت محلول‌پاشی برگی تا پوشش کامل سطوح برگ‌ها اعمال شد و یک ماه بعد تکرار گردید. سپس گیاهان تحت سه سطح مختلف آبیاری شامل فواصل آبیاری دو، چهار و شش روز یک‌بار قرار گرفتند و تیمار آبیاری تا پایان دوره رشد ادامه یافت. آبیاری گیاهان به‌صورت نواری بود و بر اساس دور آبیاری در روزهای مشخص به‌مدت هشت ساعت انجام شد.

در پایان آزمایش (۸۵ روز بعد از انتقال نشاء) در هر تیمار پنج بوته با در نظر گرفتن اثر حاشیه انتخاب و صفات وزن خشک و تر بوته، تعداد میوه، میانگین وزن میوه و عملکرد کل اندازه‌گیری و ثبت شد.

برای اندازه‌گیری کلروفیل ۰/۱ گرم برگ تازه با استفاده از دو میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی کاملاً ساییده شد. محلول به‌دست آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ (Labnet Prism R) شد. پس از سانتریفیوژ، به یک میلی‌لیتر از محلول بالایی چهار میلی‌لیتر دیگر استون اضافه شد و به‌طور کامل مخلوط گردید. در نهایت جذب محلول در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytik Jena) قرائت شد و میزان کلروفیل بر اساس روش Strain و Svec (۱۹۶۶) محاسبه و گزارش گردید.

اندازه‌گیری محتوای مالون دی آلدهید که بیانگر پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی است، بر اساس روش Stewart و Bewley (۱۹۸۰) انجام گرفت. در این روش ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه تازه گیاهی با استفاده از دو میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (Trichloroacetic Acid; TCA) ۰/۱ درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از عصاره رویی را به یک تیوب جدید منتقل کرده و به آن یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک (Thiobarbituric Acid; TBA) حاوی ۲۰ درصد اسیدتری کلرواستیک اضافه شد. پس از آن تیوب‌ها در حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و پس از آن بلافاصله در آب یخ قرار گرفتند تا واکنش متوقف شود. پس از تکان دادن نمونه‌ها میزان جذب آن‌ها در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت مقدار مالون دی آلدهید هر نمونه با در نظر گرفتن فاکتور رقت (۲۰)، قطر کووت (یک سانتی‌متر) و ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی‌مول بر سانتی‌متر محاسبه و گزارش شد.

استخراج و اندازه‌گیری پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت. برای این کار جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به‌عنوان شاهد دستگاه قرائت شد و میزان پرولین بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر برگ محاسبه و گزارش گردید.

برای اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا ۰/۲ گرم نمونه فریز شده گیاهی در هاون چینی سرد با

استفاده از دو میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار که دارای اتیلن‌دی‌آمین ترا استیک اسید (Ethylenediaminetetraacetic; EDTA) یک میلی‌مولار بود ساییده شد. مراحل استخراج در دمای پایین انجام گرفت و قبل از اینکه حالت فریز نمونه‌ها از بین رود عمل استخراج انجام گرفت. نمونه‌ها به تیوب اختصاصی خود منتقل شده و به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. از روشناور حاصل برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پر اکسیداز استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT, EC 1.11.1.6) بر اساس روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم، پراکسید هیدروژن و عصاره آنزیمی بود. از مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیمی به‌عنوان شاهد اسپکتروفتومتر استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میزان تجزیه شدن پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ۳۹/۴ $mM^{-1}cm^{-1}$ تعیین گردید و بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

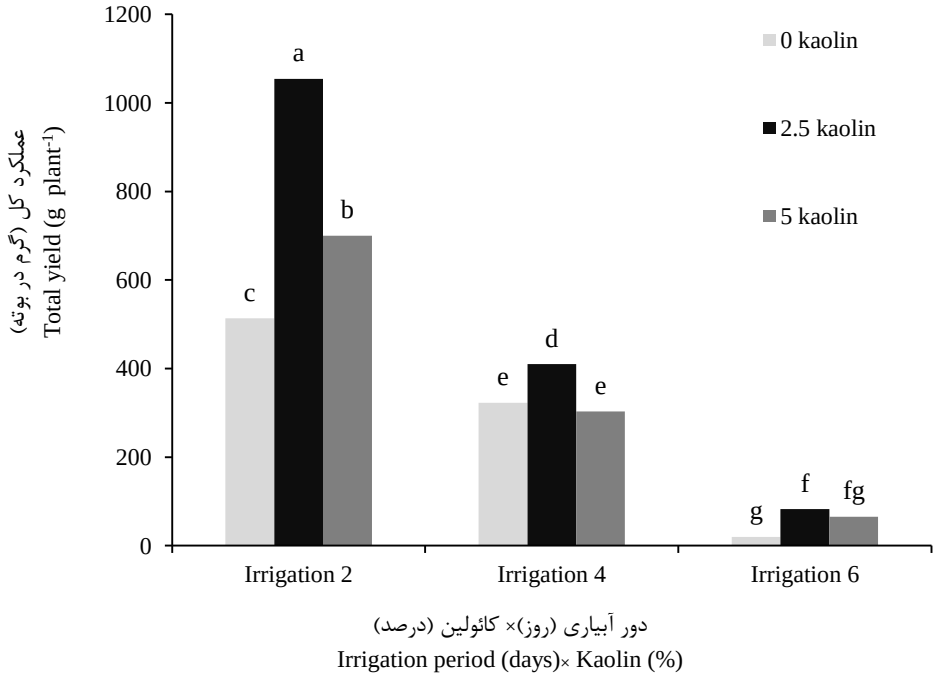
فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD, EC 1.11.1.7) بر اساس روش Plewa و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم، پراکسید هیدروژن، گایوکول و عصاره آنزیمی بود. میزان جذب محلول در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر در طی دو دقیقه قرائت شد و فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و شکل‌ها نیز با Excel رسم گردید.

نتایج

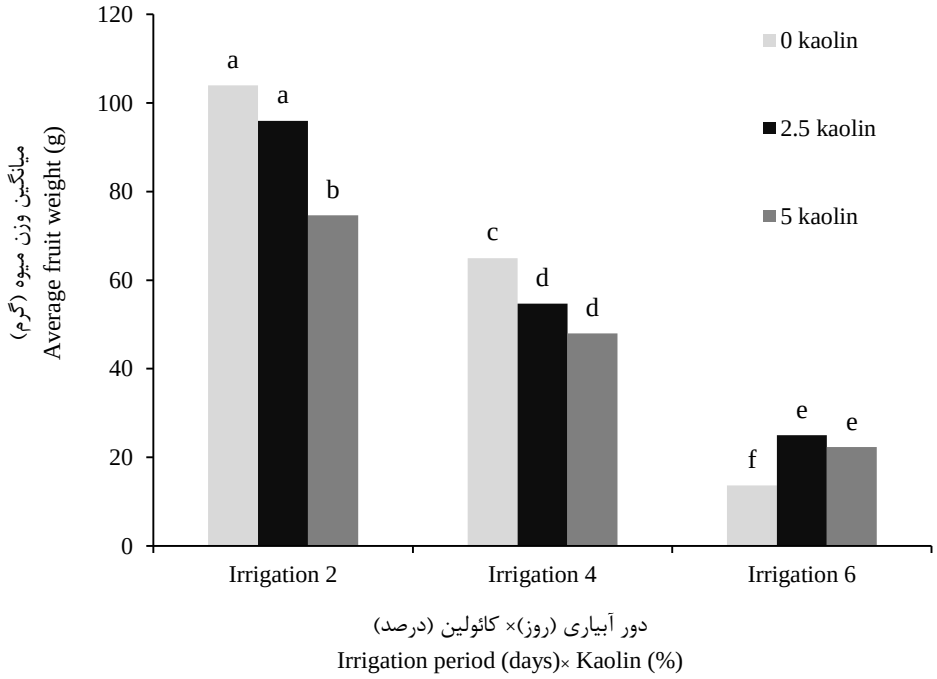
عملکرد

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که با افزایش دور آبیاری میزان عملکرد در گیاه فلفل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به کمترین میزان خود در دور آبیاری شش روز یک‌بار رسید. کاربرد ۲/۵ درصد کائولین در تمام سطوح آبیاری سبب افزایش عملکرد نسبت به شاهد شد. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد پنج درصد کائولین، در سطوح آبیاری چهار و شش روز یک‌بار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کل نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- اثر کائولین بر عملکرد بوته در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 1- Effect of kaolin on plant yield in bell pepper plant in different irrigation period



شکل ۲- اثر کائولین بر میانگین وزن میوه در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 2- Effect of kaolin on Average fruit weight in bell pepper plant in different irrigation period

میانگین وزن میوه

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که در سطوح مختلف آبیاری کاربرد کائولین تأثیر متفاوتی بر میانگین وزن میوه داشت. در دور آبیاری دو روز یک‌بار کاربرد پنج درصد کائولین و در دور آبیاری چهار روز یک‌بار هر دو غلظت ۲/۵ و پنج درصد کائولین میانگین وزن میوه را نسبت به شاهد کاهش دادند. در حالی‌که در دور آبیاری شش روز یک‌بار هر دو غلظت کائولین به‌کار رفته میانگین وزن میوه را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۲).

تعداد میوه در بوته

با افزایش دور آبیاری تعداد میوه در بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطوح آبیاری چهار و شش روز یک‌بار تعداد میوه در بوته به‌ترتیب ۴۰ و ۷۶ درصد نسبت به آبیاری دو روز یک‌بار کاهش یافت. از طرف دیگر نتایج نشان داد که تنها غلظت ۲/۵ درصد کائولین توانست تعداد میوه در بوته را نسبت به شاهد افزایش دهد و غلظت پنج درصد آن تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۱).

وزن تر و خشک بوته

نتایج نشان داد که با طولانی شدن دور آبیاری وزن تر بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین وزن تر بوته (۲۲۲ گرم در بوته) در تیمار آبیاری دور روز یک بار و کمترین آن (۱۰۱ گرم در بوته) در دور آبیاری شش روز یک بار مشاهده شد. هر دو غلظت به‌کار رفته کائولین نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌دار وزن تر بوته شدند ولی غلظت پنج درصد کائولین تأثیر بالاتری در افزایش این صفت نسبت به غلظت ۲/۵ درصد داشت (جدول ۱).

همانند صفات رشدی دیگر با افزایش دور آبیاری وزن خشک بوته نیز کاهش معنی‌داری داشت و به کمترین میزان خود در دور آبیاری شش روز یک‌بار رسید. از طرف دیگر کاربرد کائولین، در هر دو غلظت ۲/۵ و پنج درصد نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته شد (جدول ۱).

پرولین

با افزایش دور آبیاری میزان پرولین در گیاه فلفل دلمه‌ای روند افزایشی داشت؛ به‌طوری‌که کمترین میزان پرولین

(۱۱/۴۹ میکروگرم بر گرم وزن تر) در دور آبیاری دو روز یک بار و بیشترین آن (۴۷/۴۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) در دور آبیاری شش روز یک بار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که هر دو غلظت به‌کار رفته کائولین سبب کاهش معنی‌دار پرولین نسبت به عدم محلول‌پاشی کائولین شدند و بین غلظت‌های ۲/۵ و پنج درصد محلول‌پاشی کائولین اختلاف آماری معنی‌داری برای این صفت مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی دور آبیاری و کائولین بر صفات مورد ارزیابی در گیاه فلفل دلمه
Table 1- Comparison of the mean of the main effects of irrigation period and kaolin on the evaluated traits in bell pepper plant

دور آبیاری (روز) Irrigation period (Day)	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن تر (گرم در بوته) Fresh weight (g plant^{-1})	وزن خشک (گرم در بوته) Dry weight (g plant^{-1})	غلظت پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر) Proline content (µg g^{-1} fresh weight)
2	10.00^{a}	222^{a}	38.66^{a}	11.49^{c}
4	5.92^{b}	173^{b}	31.11^{b}	27.05^{b}
6	2.42c	101^{c}	20.88^{b}	47.48^{a}
کائولین (درصد) Kaolin (%)				
0	4.74^{b}	100^{c}	16.88^{c}	36.15^{a}
2.5	7.65^{a}	228^{a}	40.66^{a}	24.55^{b}
5	5.94^{b}	168^{b}	33.11^{b}	25.31^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means followed by the same letters in each column are not significantly different according Duncan's test (P<0.05).

کلروفیل کل

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که افزایش دور آبیاری سبب کاهش کلروفیل کل شد. از طرف دیگر، کاربرد کائولین در تمام سطوح آبیاری کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش داد. در دور آبیاری دو روز یک‌بار تنها کائولین ۲/۵ درصد کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش داد ولی در سطوح آبیاری چهار و شش روز یک‌بار هر دو غلظت کائولین کلروفیل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳).

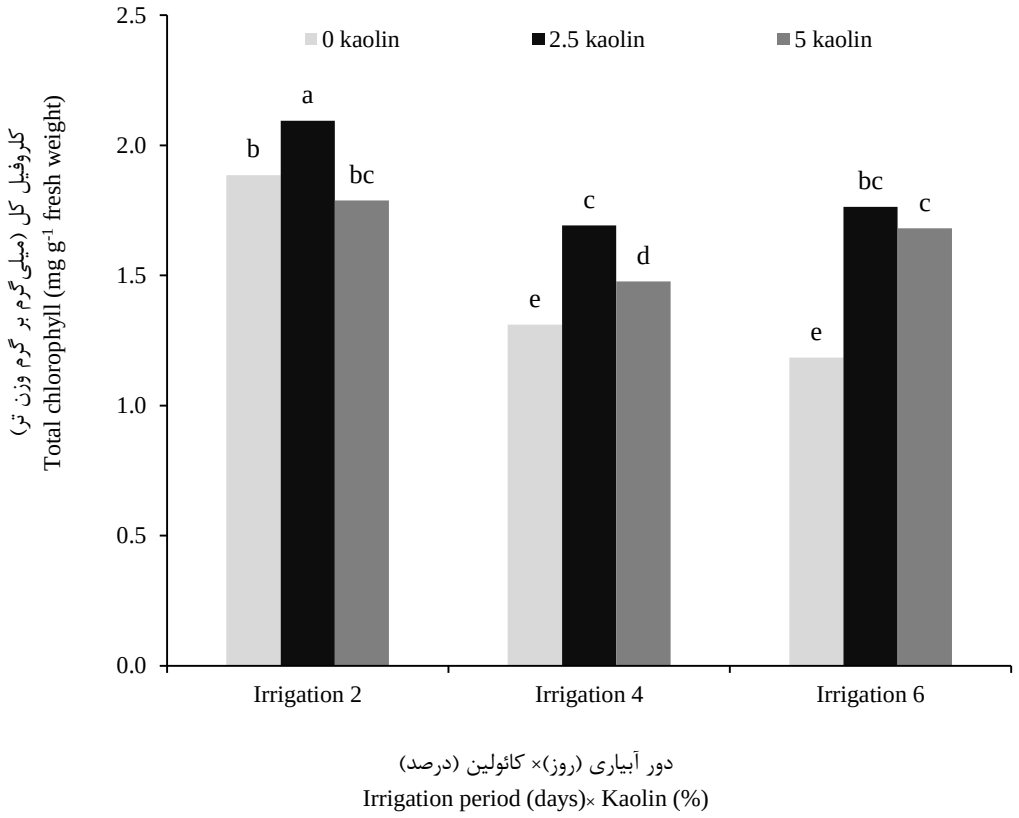
مالون‌دی‌آلدهید

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که افزایش دور آبیاری سبب افزایش معنی‌دار مالون‌دی‌آلدهید در گیاه فلفل شد. در سطوح مختلف آبیاری، کاربرد کائولین تأثیر متفاوتی بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید گیاه فلفل داشت. در دور آبیاری دو روز یک‌بار، کاربرد کائولین تأثیر معنی‌داری بر مالون‌دی‌آلدهید نداشت ولی در دور آبیاری چهار روز یک‌بار، پنج درصد کائولین و در دور آبیاری شش روز یک‌بار هر دو غلظت کائولین نسبت به شاهد میزان مالون‌دی‌آلدهید را کاهش دادند (شکل ۴).

فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

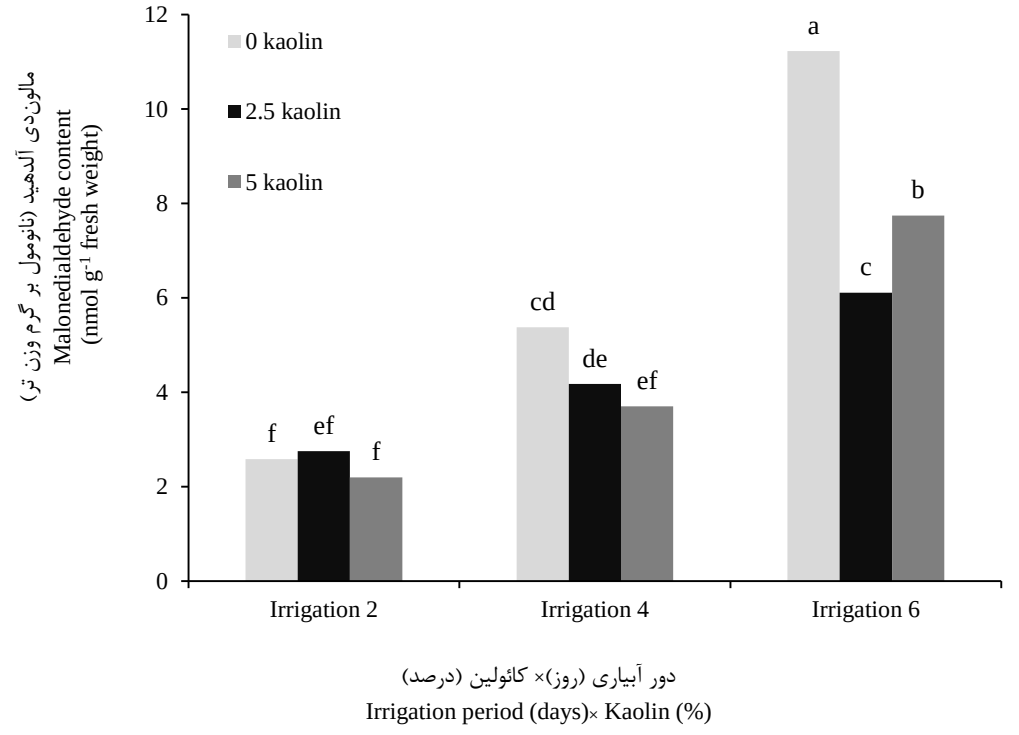
نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کائولین قرار گرفت. به‌طورکلی افزایش دور آبیاری سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد. در تمام سطوح آبیاری (دو، چهار و شش روز یک‌بار) کاربرد ۲/۵ درصد کائولین فعالیت آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین در سطوح آبیاری چهار و شش روز یک‌بار، هر دو غلظت کائولین فعالیت این آنزیم را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۵).

همچنین نتایج نشان داد که در سطوح مختلف آبیاری، کاربرد کائولین تأثیر متفاوتی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشت. در سطح آبیاری دو روز یک‌بار، هر دو غلظت به‌کار رفته کائولین تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نداشتند ولی در سطوح آبیاری چهار و شش روز یک‌بار، هر دو غلظت کائولین به‌کار رفته فعالیت این آنزیم را نسبت به شاهد افزایش دادند. همچنین نتایج نشان داد که در تمام سطوح کائولین، با افزایش دور آبیاری فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۶).



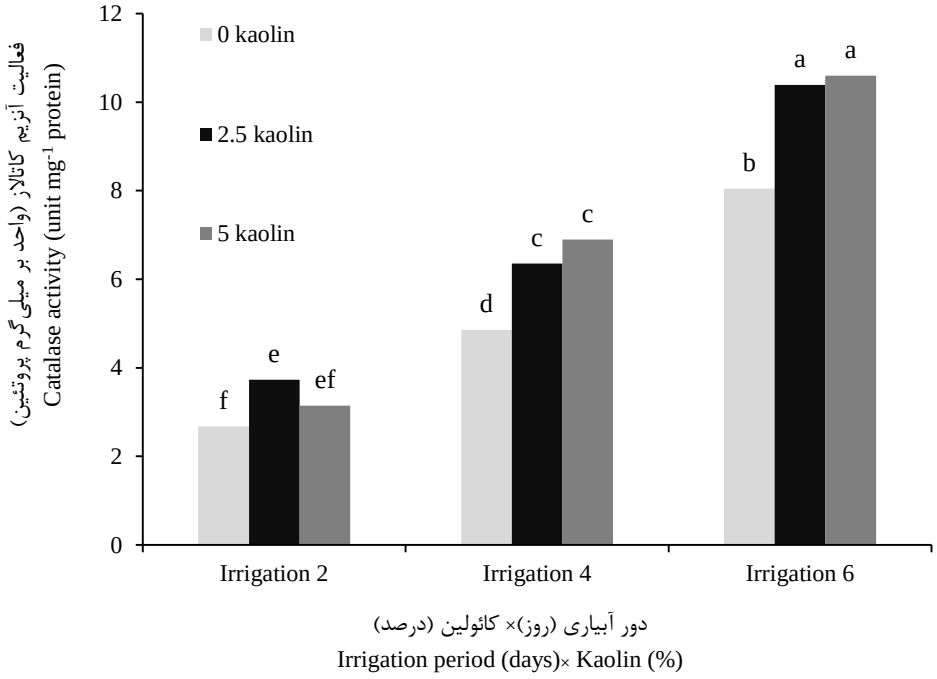
شکل ۳- اثر کائولین بر کلروفیل کل در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 3- Effect of kaolin on total chlorophyll in bell pepper plant in different irrigation period



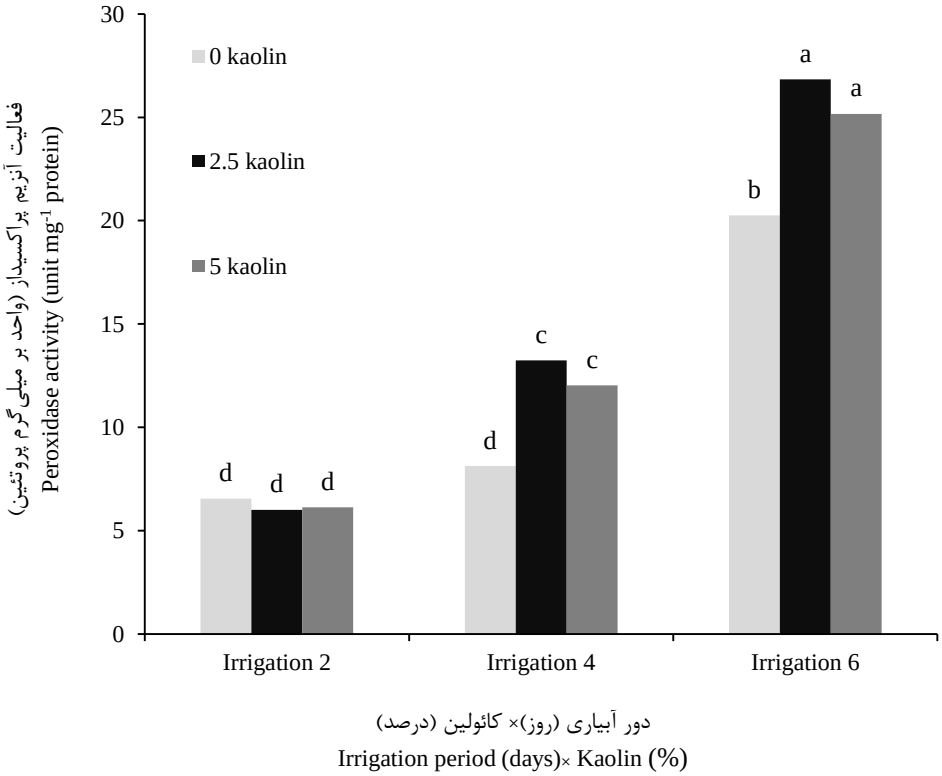
شکل ۴- اثر کائولین بر محتوای مالون دی آلدهید در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 4- Effect of kaolin on malonedialdehyde content in bell pepper plant in different irrigation period



شکل ۵- اثر کائولین بر فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 5- Effect of kaolin on catalase activity in bell pepper plant in different irrigation period



شکل ۶- اثر کائولین بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه فلفل دلمه در دورهای مختلف آبیاری

Figure 6- Effect of kaolin on peroxidase activity in bell pepper plant in different irrigation period

بحث

گیاه فلفل به‌دلیل دارا بودن سطح برگ گسترده، هدایت روزنه‌ای بالا (Alvino *et al*., 1994) و همچنین سیستم ریشه‌ای کم‌عمق (Dimitrov & Ovtcharrow, 1995) یکی از حساس‌ترین گیاهان سبزی به تنش خشکی است. اثرات منفی تنش خشکی بر کمیت و کیفیت گونه‌های مختلف فلفل در تحقیقات زیادی گزارش شده است (Yildizli *et al*., 2018; Copra *et al*., 2020). در این تحقیق نیز افزایش دور آبیاری در گیاه فلفل‌شیرین سبب کاهش پارامترهای رشدی و عملکرد شد. عملکرد به‌عنوان مهمترین ویژگی زراعی گیاه تأثیر بیشتری از تنش خشکی پذیرفت به‌طوری‌که، در شرایط بدون کاربرد کائولین، در دور آبیاری شش روز یک‌بار میانگین عملکرد گیاه حدود ۲۵ برابر نسبت به آبیاری دو روز یک‌بار کاهش یافت. در این رابطه گزارش شده است که تنش خشکی آثار منفی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Haghighi & Najafi, 2020). در شرایط تنش خشکی متابولیسم طبیعی سلول‌های گیاهی دچار اختلال شده و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود. در این شرایط گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive oxygenic species, ROS) تولید شده و تخریب کلروفیل، پروتئین‌ها و غشاهای سلولی شدت می‌یابد (Carvalho *et al*., 2015). در این تحقیق نیز برخی اثرات منفی تنش خشکی ایجاد شده با آبیاری طولانی بر فیزیولوژی گیاه فلفل‌شیرین مشاهده شد. افزایش دور آبیاری در این گیاه موجب کاهش کلروفیل شده و محتوای پرولین، مالون دی آلدهید و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد. گزارش شده است که در ژنوتیپ‌های مختلف فلفل، تنش خشکی سبب افزایش مالون دی آلدهید شده و گیاه برای مقابله با خشکی سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان خود را بالا می‌برد (Copra *et al*., 2020)؛ در نتیجه انرژی گیاه بیشتر برای مقابله با آثار خشکی صرف شده و رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی گیاه فلفل با کائولین سبب افزایش رشد و عملکرد آن در سطوح مختلف آبیاری شد. در این رابطه گزارش شده است که تیمار کائولین با افزایش وزن میوه سبب بهبود عملکرد گیاهان مختلف در شرایط تنش خشکی می‌شود (Cantore *et al*., 2009). از آنجا که سرعت رشد میوه رابطه مثبتی با دمای میوه دارد، با این‌حال، دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، حتی اگر منجر به افزایش بیشتر در رشد میوه شود، فرآیند رسیدن میوه را تسریع می‌کند، که منجر به کاهش وزن میوه می‌شود (Boari *et al*., 2016). بنابراین، از آنجا که دمای هوا در مزرعه محل آزمایش در طول دوره رشد از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود، احتمالاً کاهش درجه حرارت میوه توسط کائولین، به کند شدن روند رسیدن و در نتیجه افزایش میانگین وزن در شرایط تنش خشکی شدید کمک کرده است. از طرف دیگر در این پژوهش محلول‌پاشی کائولین تعداد میوه در بوته را افزایش داد، زیرا اولین محلول‌پاشی کائولین در مرحله شروع میوه‌دهی انجام شد، بنابراین تیمار کائولین تعداد گل‌هایی که تبدیل به میوه شده‌اند را افزایش داده است. همچنین اثر مثبت کائولین بر رشد و عملکرد گیاه با افزایش سطح خشکی افزایش می‌یابد (Glenn, 2012). این اثر احتمالاً به‌دلیل عملکرد ضد تعریق کائولین است که به‌طور قابل‌توجهی وضعیت آبی گیاهان تحت تنش را بهبود بخشیده است (Boari *et al*., 2014) و همچنین به‌دلیل کاهش دمای کانوپی گیاهان تحت تنش که منجر به کاهش اثر تنش بر گیاه می‌شود (Boari *et al*., 2015).

کاهش آسیب اکسیداتیو و همچنین بهبود عملکرد فلفل در شرایط مختلف رطوبتی، بیانگر فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی ایجاد شده به‌وسیله کاربرد خارجی کائولین می‌باشد. در این تحقیق استفاده از کائولین سبب افزایش معنی‌دار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز شد. همچنین کاربرد این ترکیب سبب افزایش کلروفیل و کاهش مقدار پرولین و مالون دی آلدهید شد. در این راستا گزارش شده است که تیمار کائولین با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند تجمع پروتئین و هورمون‌های گیاهی، بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و همچنین حفظ محتوای رطوبت نسبی

سبب کاهش آثار تنش در زیتون (*Olea europaea* L.) شده و عملکرد آن را نسبت به شاهد افزایش داد(Brito *et al*., 2019). بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاهان تحت تنش به‌وسیله کاربرد خارجی کائولین در گیاهان مختلف گزارش شده است (Dinis *et al*., 2016; Abdallah *et al*., 2019) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. تجمع مالون دی آلدهید با میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ارتباط است به‌گونه‌ای که با افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها تحمل تنش در گیاه بهبود یافته و کاهش مالون دی آلدهید را در پی دارد (Farooq *et al*., 2009). همچنین مطالعات نشان داده است که افزایش غلظت پرولین با شدت بیشتر پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در ارتباط است (Carvalho *et al*., 2015). در آزمایشی اثر کائولین بر پرولین برگ گندم تحت تنش خشکی معنی‌دار شد؛ به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش، میزان پرولین با شدت بیشتری تحت اثر کائولین کاهش یافت (Abdallah *et al*., 2019). بنابراین می‌توان گفت تأثیر کائولین برکاهش پرولین و مالون دی آلدهید در ارتباط با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی بوده و بیانگر اثر مفید این ماده در کاهش آثار تنش بر گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دور آبیاری آثار منفی بر رشد و عملکرد گیاه فلفل دارد و در دور آبیاری شش روز یک‌بار تولید محصول اقتصادی به‌شدت کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از کائولین می‌تواند تا حدودی آثار تنش خشکی بر گیاه فلفل را کاهش داد. تأثیر کائولین در ارتباط با بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی، بهبود کلروفیل و کاهش تجمع مالون دی آلدهید و پرولین بود. در مجموع استفاده از تیمار کائولین (به‌ویژه غلظت ۲/۵ درصد آن) با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه سبب بهبود رشد و عملکرد فلفل شیرین در دورهای مختلف آبیاری شد.

References

- Abdallah, M. M. S., El-Bassiouny, H. M. S. & AbouSeeda, M. A. (2019). Potential role of kaolin or potassium sulfate as anti-transpirant on improving physiological, biochemical aspects and yield of wheat plants under different watering regimes. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-12.
- Alvino, A., Centritto, M. & Lorenzi, F. D. (1994). Photosynthesis response of sunlit and shade pepper (*Capsicum annuum*) leaves at different positions in the canopy under two water regimes. *Functional Plant Biology*, 21(3), 377-391.
- Azizi, A., Hokmabadi, H., Piri, S. & Rabie, V. (2013). Effect of kaolin application on water stress in pistachio cv.,,ohadi. *Journal of Nuts*, 4(3), 9-14.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Boari, F., Cucci, G., Donadio, A., Schiattone, M. I. & Cantore, V. (2014). Kaolin influences tomato response to salinity: physiological aspects. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 64(7), 559-571.
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I. & Cantore, V. (2015). Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management*, 147, 154-162.
- Boari, F., Donadio, A., Pace, B., Schiattone, M. I. & Cantore, V. (2016). Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. *Agricultural Water Management*, 167, 29-37.
- Brito, C., Dinis, L. T., Luzio, A., Silva, E., Gonçalves, A., Meijon, M. & Correia, C. M. (2019). Kaolin and salicylic acid alleviate summer stress in rainfed olive orchards by modulation of distinct physiological and biochemical responses. *Scientia Horticulturae*, 246, 201-211.
- Cantore, V., Pace, B. & Albrizio, R. (2009). Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology,

yield and quality. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 279-288.
- Cao, X., Guo, J., Li, W., Yang, X., Jiang, K. & Qin, L. (2010). Anti-transpiration foliar fertilization on regulatory function of drought resistance. *Journal of Northwest A & F University-Natural Science Edition*, 38(9), 61-65.
- Carvalho, L. C., Vidigal, P., & Amancio, S. (2015). Oxidative stress homeostasis in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Environmental Science*, 3, 20-25.
- Copra, T., Sekara, A., Pokluda, R., Ferby, V. & Caruso, G. (2020). Screening of chilli pepper genotypes as a source of capsaicinoids and antioxidants under conditions of simulated drought stress. *Plants*, 9(3), 364-372.
- Denaxa, N. K., Roussos, P. A., Damvakaris, T. & Stournaras, V. (2012). Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. Chondrolia Chalkidikis under drought. *Scientia Horticulture*, 137, 87-94.
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93-101.
- Dimitrov, Z. & Ovtcharrova, A. (1995). The productivit of peppers and tomatoes in case of insufficient water supply. *Proceedings of ICID Special Technical Session on the Role of Advanced Technologies in Iirrigation and Drainage System*, 1, 91-95.
- Dinis, L. T., Bernardo, S., Conde, A., Pimentel, D., Ferreira, H., Felix, L. & Moutinho-Pereira, J. (2016). Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. *Journal of Plant Physiology*, 191, 45-53.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In Sustainable agriculture (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.
- Glenn, D. M. (2012). The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience*, 47(6), 710-711.
- Haghighi, M. & Najafi, H. (2020). The effect of humic acid on alleviating drought stress effects in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), 147-158. (In Persian)
- Mohammadi, M., Saidi, M. & Khademi, O. (2018). Evaluation of effect of gibberellins and calcium spray in different growth stages on some qualitative and quantitative traits of sweet pepper. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48, 823-832. (In Persian)
- Peyvast, G. (2006). Vegetable Production. Fourt Edition. Danesh Pazir Press. Rasht, Iran. 485 p. (In Persian)
- Plewa, M. J., Smith, S. R. & Wagner, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 247(1), 57-64.
- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A. & Restrepo-Diaz, H. (2018). Effect of Kaolin Application on Growth, Water Use Efficiency, and Leaf Epidermis Characteristics of *Physalis peruviana* L. Seedlings under Two Irrigation Regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(6), 1585-1596
- Stewart, R. R. & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 65(2), 245-248.
- Strain, H. H. & Svec, W. A. (1966).

Extraction, separation, estimation, and isolation of the chlorophylls. *The Chlorophylls*, 21-66.

- Verbruggen, N. & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759.
- Yildizli, A., Cevik, S. & Unyayar, S. (2018). Effects of exogenous myo-inositol on leaf water status and oxidative stress of *Capsicum annuum* under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 122.