Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.11, No.2, Fall & Winter, 2023-2024
p. 297-313
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2024.7024.1229
Original Article

University of Birjand

The Effect Potassium Sulfate and Seaweed Extract on the Photosynthetic Pigments of Leaves and Some Stigma Active Substances of Saffron (*Crocus sativus* L.)

Mohammad Hossein Aminifard[1*], Ali Khaksari Moghaddam[2], Hassan Bayat[3] and Hamid-Reza Fallahi[4,5]

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science and the Research Center for Special Plants of the Region, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- M.Sc. Student in Medicinal Plants, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
4- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
5- Plant and Environmental Stresses Research Group (PESRG), University of Birjand, Birjand, Iran
*Corresponding Author Email: *mh.aminifard@birjand.ac.ir*

Received 06 December 2023; Accepted 10 February 2024

Extended Abstract

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.) is the most expensive agricultural product and one of the most valuable medicinal and spice plants that have many uses in the food and medicine industries. Iran is the largest producer and exporter of saffron in the world, and about 90% of the world's annual saffron production is produced in Iran, mainly in Razavi Khorasan and South Khorasan provinces. A balanced supply of nutrients is one of the main important factors in the sustainable saffron production, especially in arid and semi-arid areas. Potassium and sulfur, as two essential and widely used elements, play a significant role in the synthesis of proteins, activating enzymes, transferring sugar, increasing carbon dioxide absorption and photosynthesis. Seaweed extract is also one of the compounds that stimulate plant growth and the quality of products. The aim of this study was to investigate the effect of potassium sulfate and seaweed extract on the stigma quality and the content of leaf photosynthetic pigments.

Materials and Methods: This experiment was carried out in the growing seasons of 2018 and 2019, as factorial based on a randomized complete block design with three replications, in Sarayan, Iran. Experimental factors were four levels of potassium sulfate (0, 100, 200, and 300 kg ha^{-1}) and three levels of Acadian seaweed (0, 1, and 2 per thousand). Before conducting the experiment, soil sampling was done from a depth of 0-30 cm (Table 1). Plots dimension was 2×1 m, with for planting rows in each. The distance between the plots was 0.5 m and between the blocks was 1.5 m. Before planting, the corms (8-10 g) were disinfection with benomyl fungicide. Potassium sulfate applied simultaneously with corms planting. For application of seaweed extract, after preparing the solutions with desired concentrations, foliar spraying was done using a sprayer three times in 20th February and 5th and 20th March, 2018. The flowers in the first growing

season (autumn of 2017), were not harvested, because the treatments were not yet fully applied. Simultaneously with the beginning of flowering, in the second flowering season (in late November 2018), the flowers of each plot were collected daily. The stigmas were dried under laboratory condition at the shade for a week. Then, the qualitative parameters of stigma (anthocyanin, antioxidant, phenol, crocin, picrocrocin and safranal) were measured. In addition, during vegetative growth, the content of photosynthetic pigments (carotenoids, chlorophylls a, b and total) of leaves were determined. Statistical analysis of data was done using SAS 9.4 software. Means were compared using a protected LSD test at the 5% level of probability.

Results and Discussion: The interaction effect of experimental factors was significant on the content of picrocrocin, safranal and antioxidant of stigma as well as the amount of chlorophyll and carotenoid in the leaves. The highest amounts of picrocrocin, safranal and antioxidant activity were obtained in the combined application of 300 kg ha^{-1} potassium sulfate + foliar spraying of seaweed extract with a concentration of 2 per thousand, which were respectively, 32.8, 23.9 and 21.1% more than the control treatment (no use of potassium sulfate and seaweed extract). The highest values of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids (0.17, 0.037, 1.99 and 1.01 mg g^{-1} FW, respectively) were gained with the combined application potassium sulfate (100 to 300 kg ha^{-1}) plus seaweed extract (1-2 per thousand), which were 54.4, 60.8, 131.3 and 68.3% higher than the control, respectively. The simple effect of experimental factors was significant on crocin and anthocyanin content of stigma. Increasing the application rate of potassium sulfate from 0 to 300 kg ha^{-1}, improved the amount of crocin by three times and the amount of anthocyanin by 8.9%. In addition, the amount of crocin and anthocyanin in the condition of seaweed extract application (concentration of 2 parts per thousand) was 166.7 and 12.7% higher than the control (no-seaweed application).

Conclusion: Based on the results of this research, the combined application of potassium sulfate and seaweed extract is recommended to improve the biochemical properties and bioactive compounds of saffron.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to the work.

Keywords: Antioxidant, Carotenoids, Chlorophyll, Picrocrocin, Safranal.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد یازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
شماره صفحه: ۳۱۳-۲۹۷
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2024.7024.1229

مقاله پژوهشی

اثر کاربرد سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و برخی مواد مؤثره کلالهٔ زعفران (*Crocus sativus* L.)

محمدحسین امینی‌فرد[1*]، علی خاکساری‌مقدم[2]، حسن بیات[3]، حمیدرضا فلاحی[4،5]

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش فیزیولوژی گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۵- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
* نویسنده مسئول: *Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱

چکیده

عناصر غذایی از عوامل مهم مؤثر بر رشد گیاه و کیفیت کلالهٔ زعفران می‌باشند. در این آزمایش اثر مصرف خاکی سولفات پتاسیم و محلول‌پاشی برگی عصاره جلبک دریایی، بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و مواد مؤثره کلالهٔ زعفران بررسی شد. این تحقیق در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان سریان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح سولفات پتاسیم (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سه سطح عصاره جلبک دریایی آکادین (صفر، ۱ و ۲ در هزار) بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل محتوای آنتی‌اکسیدان، فنول، آنتوسیانین، کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله و نیز مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید برگ بودند. بیشترین مقادیر پیکروکروسین، سافرانال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار مصرف تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم همراه با محلول‌پاشی عصاره جلبک با غلظت دو در هزار بدست آمد که به‌ترتیب ۳۲/۸، ۳۲/۹ و ۲۱/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد (عدم مصرف عصاره جلبک و سولفات پتاسیم) بود. بیشترین مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید (به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۰۳۷، ۱/۹۹ و ۱/۰۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در شرایط مصرف تلفیقی سطوح ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم همراه با سطوح ۱ یا ۲ در هزار عصارهٔ جلبک دریایی به دست آمد که به‌ترتیب ۵۴/۵، ۶۰/۸، ۱۳۱/۳ و ۶۸/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد برتری داشت. افزایش کاربرد سولفات پتاسیم از صفر به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار کروسین را تا سه برابر و مقدار آنتوسیانین را ۸/۹ درصد بهبود بخشید. همچنین، مقدار کروسین و آنتوسیانین در شرایط مصرف عصارهٔ جلبک دریایی با غلظت دو در هزار به‌ترتیب ۱۶۶/۷ و ۱۲/۷ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف عصارهٔ جلبک بود. در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده، کاربرد تلفیقی سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی جهت بهبود صفات بیوشیمیایی و مواد موثره زعفران توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پیکروکروسین، سافرانال، کاروتنوئید، کلروفیل.

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گران‌بهاترین محصول کشاورزی و از با ارزش‌ترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی است که کاربردهای بسیاری در صنایع غذایی و دارویی دارد (Khandan Deh-Arbab et al., 2020). کلاله مهم‌ترین اندام گیاه زعفران است که حاوی بیش از ۱۵۰ ترکیب مختلف می‌باشد. مهم‌ترین ترکیبات کلاله شامل کروسین (ایجادکننده رنگ)، پیکروکروسین (عامل طعم) و سافرانال (عامل عطر و بو) هستند. این ترکیبات اثرات دارویی مؤثری به ویژه در پیشگیری از سرطان و تومورهای مغزی دارند (Bhandari, 2015; Askary et al., 2023). ایران بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان است و حدود ۹۰ درصد تولید سالانه زعفران دنیا در ایران به خصوص در استان‌های خراسان صورت می‌گیرد (Golzari Jahan Abadi et al., 2016). بر اساس آمارنامه سال ۱۴۰۱ وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت زعفران در ایران بیش از ۱۱۲ هزار هکتار است که حدود ۱۰۵ هزار هکتار آن در سه استان خراسان رضوی (۸۴۸۲۶ هکتار)، خراسان جنوبی (۱۶۰۳۱ هکتار) و خراسان شمالی (۴۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) قرار دارد. میزان تولید سالانهٔ کلاله خشک زعفران در ایران، ۴۰۸ تن و میانگین عملکرد مزارع نیز حدود ۴ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (IMA, 2023).

متعادل بودن عناصر غذایی بر پایه مدیریت صحیح کودی یکی از مؤثرترین عوامل در پایداری تولید زعفران به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Behdani & Fallahi, 2015). پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر ضروری و پرمصرف نقش بسزایی در سنتز پروتئین‌ها، فعال کردن آنزیم‌ها و انتقال قند دارد. هم‌چنین، نقش آن در حفظ فشار اسمزی و افزایش جذب دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز و تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و بهبود ساختاری در ترکیباتی از قبیل لیگنین و سلولز مشخص شده است (Hosseini et al., 2019). در خاک‌های ایران به دلیل بارش کم و عدم آبشویی زیاد، انتظار می‌رود که میزان پتاسیم خاک در حد مناسبی برای رشد گیاهان باشد. با این وجود، در خاک‌های شنی و در شرایط مصرف کم مواد آلی و نیز در اثر کاشت متوالی گیاهان ممکن است مقدار این عنصر کاهش پیدا کند (Fallahi et al., 2021a; Malakoiti et al., 2010). در پژوهشی گزارش شد مصرف عناصر فسفر و خصوصاً پتاسیم در مزارع زعفران تربت‌حیدریه چندان متداول نیست، به‌طوری‌که ۷۱ درصد کشاورزان معمولی، ۵۵ درصد کشاورزان ماهر و ۷۲ درصد کشاورزان پیشرو به هیچ عنوان کود پتاسیم مورد استفاده قرار نمی‌دهند. در تحقیق مذکور، میانگین محتوای ماده آلی مزارع ۰/۶۸ درصد، نیتروژن ۰/۰۴۱ درصد، فسفر ۱۶/۱ و پتاسیم ۲۹۲ قسمت در میلیون (در مقایسه با توصیه آزمایشگاه با ۳۰۰ قسمت در میلیون) بود (Fallahi & Salaryian, 2023).

در پژوهشی در خاکی با محتوای پتاسیم ۱۴۵ قسمت در میلیون، مصرف سالانه حدود ۲۰ کیلوگرم پتاسیم خالص در مزرعه از منبع سولفات پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زعفران شد (Zabihi & Feizi, 2014). در پژوهش دیگری در شرایط اقلیمی کرمانشاه در خاکی با محتوای پتاسیم ۲۶۸ قسمت در میلیون، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم اثر قابل توجهی بر بهبود گلدهی زعفران نداشت که این موضوع به مناسب بودن محتوای پتاسیم خاک نسبت داده شد (Basatpour et al., 2022). حسنیان بادی و همکاران (Hassanian Badi et al., 2019) گزارش کردند که در اثر محلول‌پاشی پتاسیم با غلظت ۱۰ در هزار، میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در کلالهٔ زعفران به‌ترتیب به‌میزان ۱۸، ۱۳ و ۴۸ درصد افزایش یافت. همچنین در مطالعه اکبریان و همکاران (Akbarian et al., 2012) مصرف برگی پتاسیم موجب بهبود نسبی عملکرد کلاله و محتوای سافرانال شد. در تحقیق دیگری نیز بهبود کیفیت کلاله در اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی گزارش شد (Fallahi et al., 2019).

کود سولفات پتاسیم که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، در کنار تأمین عنصر پتاسیم برای گیاه، از حیث فراهمی گوگرد نیز دارای اهمیت است. عنصر گوگرد نقش‌های مهمی در تثبیت ساختار پروتئین‌ها، فعالیت‌های متابولیکی ویتامین‌ها، سنتز اسیدهای آمینه ضروری و کوآنزیم آ و تشکیل کلروفیل دارد. این عنصر به خصوص در خاک‌های قلیایی، قابلیت جذب سایر عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد (Basatpour et al., 2022). در آزمایشی مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هر هکتار گوگرد، تعداد گل زعفران را از ۳۹/۱ به ۵۵/۵ عدد در مترمربع و عملکرد

گل را از ۲۱/۳ به ۲۸/۷ گرم در مترمربع افزایش داد (Basatpour et al., 2022).

عصاره جلبک دریایی یکی از ترکیبات محرک رشد گیاه است که بر خلاف کودهای شیمیایی فاقد پیامدهای زیست‌محیطی بوده و ترکیبی غیرسمی است (Del Pozo et al., 2007). این منبع تغذیه‌ای حاوی مواد مختلف از جمله شبه‌هورمون‌های محرک رشد، عناصر غذائی و انواع مواد ضدتنش می‌باشد که در توسعه بهتر ریشه، افزایش جذب آب و املاح معدنی، افزایش میزان کلروفیل، افزایش گلدهی و افزایش کمیت و کیفیت محصول تأثیر دارد (Behdani et al., 2020; Khandan Deh-Arbab et al., 2021). خندان ده-ارباب و همکاران (Khandan Deh-Arbab et al., 2020) در پژوهشی دریافتند کاربرد عصاره جلبک تأثیر معنی‌داری بر بهبود محتوای کاروتنوئید و فعالیت آنتی-اکسیدانی گلبرگ و همچنین میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین کلاله داشت. در آزمایش بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2020) نیز اثر مثبت محلول‌پاشی عصارهٔ جلبک بر افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران گزارش گردید.

با توجه به اثر مدیریت تغذیه‌ای و حاصلخیزی خاک بر بهبود گلدهی زعفران و نظر به اینکه تاکنون اثرات مصرف تلفیقی کودهای سولفات پتاسیم و عصارهٔ جلبک دریایی، در زراعت زعفران مورد تحقیق قرار نگرفته است، در این تحقیق اثرات این دو منبع تغذیه‌ای بر محتوای رنگدانه-های فتوسنتزی و کیفیت کلالهٔ زعفران بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایش

این آزمایش در شرایط مزرعه در سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهرستان سرایان، در شمال غربی استان خراسان جنوبی انجام شد. سرایان در عرض جغرافیایی ۳۳ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجهٔ شرقی واقع است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰ متر می‌باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل مصرف خاکی سولفات پتاسیم در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف برگی عصاره جلبک دریایی در سه سطح (۰، ۱ و ۲ در هزار) بودند. میزان محلول مصرف شده در هر نوبت در تیمار محلول‌پاشی معادل ۳۵۰ لیتر در هکتار بود. کود سولفات پتاسیم (حاوی ۵۰ درصد پتاسیم محلول و ۱۷/۵ درصد گوگرد) از شرکت خدمات حمایتی کشاورزی تهیه شد و بصورت خاک مصرف و در یک مرحله همزمان با کاشت مصرف شد. عصاره جلبک دریایی آکادین تولید کشور کانادا بود که محتویات آن مطابق با گزارش شرکت سازنده در جدول ۱ ارایه شده است. قبل از اجرای تحقیق، نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی-متری برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفت (جدول ۲).

جدول ۱. محتویات عصارهٔ جلبک دریایی مورد استفاده بصورت محلول‌پاشی.

Table 1. The content of seaweed extract used as foliar nutrition.

ماده آلی Organic matter (%)	آلجینیک اسید Alginic acid (%)	پتاسیم K (%)	آمینواسید Amino acids (%)	مانیتول Mannitol (%)
70	4	17	4	4

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای تحقیق

Table 2- Physical and chemical properties of soil in the experimental station

هدایت الکتریی EC ($mS.cm^{-1}$)	درصد رطوبت وزنی Saturation percentage (%)	شاخص واکنش pH	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	پتاسیم K (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	بافت Texture	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)
8.31	38	7.7	0.032	270	4.5	0.64	لومی Loamy	48	18	34

عملیات زراعی

در ابتدای اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ اقدام به شخم زمین با گاوآهن به عمق ۳۰ سانتی‌متر گردید. جهت خرد کردن کلوخه‌ها، دو بار دیسک عمود بر هم زده شد و سپس اقدام به ایجاد کرت‌هایی با طول دو متر و عرض یک متر شد. فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک-ها با احتساب جوی‌های مورد استفاده جهت آبیاری کرت‌ها ۱/۵ متر بود. بنه‌های مادری با وزن ۸ تا ۱۰ گرم، پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل با غلظت دو در هزار در ۱۰ شهریور ۱۳۹۷ در عمق ۱۵ سانتی‌متر کشت شدند. هرکرت شامل چهار ردیف کاشت با فواصل بین-ردیفی ۲۵ سانتی‌متر بود. فاصله بنه‌ها در روی هر ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد و بر این اساس تراکم کاشت بنه ۸۰ عدد در هر مترمربع بود.

برای اعمال تیمار محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی، پس از آماده‌سازی محلول‌ها با غلظت‌های مورد نظر، عملیات محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش پشتی و پس از کالیبره کردن آن انجام شد. محلول‌پاشی طی سه نوبت به فاصله ۱۵ روز در اول و نیمه اسفند ماه ۱۳۹۷ و اول فروردین‌ماه ۱۳۹۸ انجام گردید. به منظور جلوگیری از پاشش عصارهٔ جلبک به کرت‌های پیرامونی، محلول‌پاشی در زمانی‌که هوا آرام بود صورت گرفت و برای کرت‌های مجاور از جداکننده پلاستیکی استفاده شد. در کرت‌های مربوط به غلظت صفر عصارهٔ جلبک، محلول‌پاشی با آب مقطر صورت گرفت.

عملیات آبیاری با آب چاه دارای هدایت الکتریکی ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام پذیرفت. اولین آبیاری در ۱۵ مهرماه سال‌های ۹۷ و ۹۸ صورت گرفت. آبیاری‌های بعدی در هر دو سال، بعد از اتمام دوره‌ی گلدهی و سپس در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت‌ماه انجام شد. در طول مراحل اجرای آزمایش هیچ‌گونه کود شیمیایی، آفت‌کش و علف‌کش شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت و کنترل علف‌های هرز در طی دوره‌ی رشد گیاه از طریق وجین دستی انجام شد. در انتهای اولین فصل رشد (اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸) برگ‌های زعفران خشک شد و گیاه وارد مرحلهٔ رکود گردید. در ابتدای فصل رشد بعدی (۱۵ مهر ماه سال ۱۳۹۸) اولین آبیاری انجام شد و پنج روز بعد سله‌شکنی صورت گرفت. همزمان با شروع گلدهی (اواخر آبان ماه سال ۱۳۹۸)، گل‌های زعفران بصورت روزانه برداشت شدند. سپس کلاله با دست از سایر اجزای گل جدا گردید و در محیط آزمایشگاه با دمای میانگین ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و دور از نور مستقیم (سایه) خشک گردید (Behdani & Fallahi, 2015). نمونه‌های کلاله جهت تعیین محتوای ترکیبات موثره و برخی ترکیبات بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. گلدهی سال اول زعفران کمتر تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای قرار می‌گیرد، زیرا بین تاریخ کاشت (مصرف سولفات پتاسیم) با وقوع گلدهی زمان بسیار اندکی بود، از طرفی تیمار مصرف عصارهٔ جلبک دریایی در این زمان اعمال نشده بود. بر این اساس، خصوصیات کیفی کلاله در فصل دوم گلدهی گیاه (پاییز ۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفت. در ادامهٔ دومین فصل رشد گیاه و در اسفند ۱۳۹۸ محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ‌های گیاه اندازه‌گیری شد.

صفات بیوشیمیایی و کیفی کلاله

آماده‌سازی عصاره

به منظور آماده‌سازی عصاره جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی، یک گرم کلاله خشک شده زعفران در ۱۰۰ سی‌سی اتانول ۸۰ درصد حل شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید (Khandan Deh Arbab, 2018).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلاله

جهت تعیین میزان مهار رادیکال آزاد (DPPH) کلاله زعفران از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی و با کمک ۲،۲-دی‌فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید (Turkmen et al., 2005). برای این منظور دو میلی‌لیتر از محلول اتانولی ۰/۱۵ میلی‌مولار DPPH به لوله آزمایش حاوی یک میلی‌لیتر عصاره کلاله زعفران اضافه شد. سپس محلول حاصل به مدت ۳۰ ثانیه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. در مرحلهٔ بعد محلول به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق تثبیت گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (UNICO,2000,Germany) خوانده شد و سپس محتوای آنتی‌اکسیدانت به کمک رابطه ۱ تعیین شد.

رابطه ۱

$$\text{درصد آنتی اکسیدان} = 1 - \frac{\text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} \times 100$$

محتوای فنول کلاله

برای اندازه‌گیری محتوی فنول کل کلاله زعفران از روش گالیک اسید و معرف فولین سیوکالچو استفاده شد (Chuah et al., 2008). بدین منظور، ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیوکالچو به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره کلاله زعفران و استانداردهای گالیگ اسید اضافه و سپس به محلول حاصل چهار میلی‌لیتر سدیم کربنات یک مولار اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. سپس مقدار کل ترکیبات فنولی نمونه ها با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید محاسبه گردید.

محتوای آنتوسیانین کلاله

اندازه‌گیری آنتوسیانین کلاله به روش pH افتراقی انجام گرفت. آنتوسیانین غالب زعفران سیانیدین -۳ گلیکوزید می‌باشد و طول موج حداکثر آن ۵۲۰ می‌باشد. برای این منظور از دو بافر شامل پتاسیم کلرید و کلریدریک اسید با pH = ۱ و سدیم استات و کلریدریک اسید با pH ۴/۵ = استفاده شد. نمونه‌ها با بافر به حجم رسانده شدند و سپس در دو طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر میزان جذب برای هر دو بافر قرائت شد. میزان آنتوسیانین از رابطه ۲ محاسبه گردید (Wrosotad, 1976).

رابطه ۲

$$A = (Amax - A700nm)pH1 - (Amax - A700)\ pH4.5$$

$$\text{آنتوسیانین کل} \frac{mg}{L} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\varepsilon \times d}$$

Amax = جذب در طول موج ۵۱۰، DF= درجه رقت (۱۰)، £ = ۱۵۶۰۰، MW = وزن مولکولی پلارگونیدین ۳- گلیکوزاید که ۴۳۳/۳۹ گرم بر مول می‌باشد.

محتوای آپوکاروتنوئیدهای کلاله

جهت اندازه‌گیری ترکیبات کیفی موجود در کلاله گل از روش استاندارد ملی ایران (INSO, 2013) استفاده گردید. میزان مواد مؤثره زعفران بر مبنای ثبت تغییرات حاصل از چگالی نوری در طول موج‌های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر در دمای متوسط تعیین می‌گردد. برای این منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه کلاله پودر شده به یک بالن حجمی ۱۰۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و به آن ۹۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس این ترکیب به مدت یک‌ساعت در تاریکی به کمک همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه حل شد و بالن حجمی به‌کمک آب مقطر تا خط نشانه به حجم رسید. سپس درب بالن حجمی را بسته و هم زده شد تا محلول یکنواختی بدست آید. در مرحلهٔ بعد بوسیلهٔ پیپت ۲۰ میلی‌لیتری محلول به یک بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و تا خط نشانه با آب مقطر به حجم رسید. سپس درب بالن بسته شد و هم زده شد تا محلول یکنواختی حاصل شود. محلول با کمک صافی و دور از نور، به سرعت صاف شد تا محلول شفافی بدست آید. میزان جذب محلول آبی یک درصد در طیف‌های ۲۵۷، ۳۳۰ و۴۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (UNICO,2000,Germany) قرائت شدند. از آب مقطر به‌عنوان مایع مرجع استفاده شد. عدد به دست آمده در رابطه ۳ قرار داده شد و به ترتیب مقدار پیکروکروسین، سافرانال و کروسین اندازه‌گیری شد (INSO, 2013).

رابطه ۳

$$E_{1cm}^{1\%} = \frac{D \times 10000}{M(100-H)}$$

D= میزان جذب عصاره آبی زعفران، M= جرم نمونه بر حسب گرم، H= میزان رطوبت نمونه که معمولاً بین ۱۰-۸ درصد می‌باشد.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

رنگدانه‌های فتوسنتزی زعفران در دومین فصل رشد گیاه در اسفند ۱۳۹۸ و از برگ‌های جوان توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد. مقادیر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از روش آرنون (Arnon 1967) تعیین شد. برای این منظور ۰/۱ گرم از بافت تَر برگ در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس حجم محلول با استون به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاضر به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. سپس میزان کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر، کلروفیل b در طیف جذبی ۶۴۵ نانومتر و کاروتنوئید در

طیف ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. رابطه‌های ۴ تا ۷ برای تعیین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ مورد استفاده قرار گرفتند.

رابطه ۴

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W$$

رابطه ۵

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W$$

رابطه ۶

$$\text{Total Chlorophyll} = (20.2 \times A645 + 8.02 \times A663) \times V \times 1000/W$$

رابطه ۷

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W= وزن تَر نمونه بر حسب گرم

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات بیوشیمیایی و کیفی کلاله

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلاله

اثرات اصلی مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح احتمال پنج درصد بر فعالیت آنتی-اکسیدانی کلاله زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل نشان داد بیشترین مقدار آنتی‌اکسیدان معادل۳۰/۳۰ درصد بود که متعلق به ترکیب تیماری مصرف تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و محلول‌پاشی با غلظت دو در هزار عصاره جلبک دریایی بود. کم‌ترین مقدار این صفت (۲۵/۰۱ درصد) در تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم و عصارهٔ جلبک) به دست آمد که البته از لحاظ آماری با ترکیب تیماری کاربرد یک در هزار عصاره جلبک و عدم کاربرد سولفات پتاسیم، اختلاف معنی‌داری نداشت. در سطوح صفر، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف سولفات پتاسیم، با افزایش غلظت عصارهٔ جلبک دریایی از صفر به دو در هزار، مقدار آنتی‌اکسیدان افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۴). در سطح صفر کاربرد عصارهٔ جلبک دریایی با افزایش مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، در سطح یک در هزار عصارهٔ جلبک با افزایش مقدار مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سطح دو در هزار عصارهٔ جلبک با افزایش مقدار مصرف سولفات پتاسیم از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار آنتی‌اکسیدان بطور معنی‌داری افزایش یافت، و بین سایر سطوح کاربرد سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

در پژوهش خندان ده‌ارباب و همکاران (Khandan Deh-Arbab et al., 2020) نیز مصرف عصارهٔ جلبک دریایی موجب افزایش محتوای آنتی‌اکسیدان در گلبرگ زعفران شد. مواد مؤثره در گیاهان با هدایت فرآیندهای ژنتیکی و تحت فعالیت آنزیم‌ها و کوآنزیم‌ها ساخته می‌شوند، ولی ساخت آن‌ها به‌طور بارزی متأثر از عوامل محیطی نیز می‌باشد، به‌طوری که این عوامل منجر به تغییراتی در رشد گیاهان دارویی و کیفیت مواد مؤثره موجود در آن‌ها می‌گردد (Omid Beigi, 2000). فعالیت بسیاری از آنزیم‌های گیاهی به فراهمی عنصر پتاسیم بستگی دارد یا توسط پتاسیم تشدید می‌شود. پتاسیم و سایر کاتیون‌های تک ظرفیتی با ایجاد تغییراتی در پروتئین، آنزیم‌ها را فعال می‌کنند (Uchida, 2000) و سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی می‌شوند (Arshad et al., 2019). افزایش فراهمی عناصر غذایی در نتیجه مصرف عصاره جلبک دریایی، با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو منجر به افزایش میزان فتوسنتز خالص در گیاه می‌شود. پتاسیم نیز با فعال کردن آنزیم‌های درگیر با بیوسنتز نشاسته و پروتئین در سنتز ترکیبات ثانویه، نقش ایفا می‌کند (Ghasemzadeh & Jaafar, 2011). هر عاملی که باعث بهبود فتوسنتز شود، میزان فلاونوئید و فنول در گیاه را نیز افزایش داده که این امر خود منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود. می-توان بیان داشت که ارتباطی مستقیم و وابسته بین میزان فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد و همزمان با افزایش مقدار ترکیبات فنولی در گیاه، مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش می‌یابد (Wang et al., 2003).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر کاربرد سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر صفات بیوشیمیایی و مواد مؤثره کلاله زعفران.

Table 3. Results of analysis of variance (mean of squares) for the effect of potassium sulfate and seaweed extract application on biochemical indices and apocarotenoids contents of saffron stigma.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	آنتی‌اکسیدان Antioxidants	فنول Phenols	آنتوسیانین Anthocyanin	پیکروکروسین Picrocrocin	کروسین Crocin	سافرانال Safranal
بلوک Block	2	0.46^{ns}	8.34^{ns}	1.27^{ns}	2.85^{ns}	23.93^{ns}	1.90^{ns}
سولفات پتاسیم Potassium sulfate (PS)	3	30.35^{**}	4.72^{ns}	12.14^{**}	23.51^{**}	150.18^{**}	9.84^{**}
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (SE)	2	32.32^{**}	1.79^{**}	6.17^{*}	12.78^{**}	16.73^{**}	170.91^{**}
پتاسیم × جلبک PS×SE	6	2.53^{*}	4.14^{ns}	3.8^{ns}	1.78^{*}	9.28^{ns}	206.66^{*}
خطا Error	22	3.63	0.84	5.05	0.61	8.74	11.51
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	2.6	1.44	4.97	3.39	6.93	1.90

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, ** and * are non-significant and significant at the 0.01 and 0.05 levels of probability, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر صفات کیفی کلاله زعفران

Table 4. Means comparison for the interaction effect of potassium sulfate and seaweed extract application on the quality traits of saffron stigma.

سولفات پتاسیم Potassium sulfate (kg. ha^{-1})	عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (per thousand)	آنتی‌اکسیدان Antioxidants (%)	پیکروکروسین Picrocrocin (absorption of 1% aqueous solution at 257 nm)	سافرانال Safranal (absorption of 1% aqueous solution at 330 nm)
0	0	25.01^{e}	25.34^{f}	25.16^{d}
	1	25.01^{e}	27.52^{e}	25.18^{d}
	2	25.71^{d}	27.57^{e}	26.87^{cd}
100	0	25.74^{d}	27.96^{e}	25.28^{d}
	1	26.28^{d}	28.43^{e}	25.31^{d}
	2	27.05^{cd}	28.99^{de}	26.94^{cd}
200	0	26.34^{d}	29.88^{dc}	26.99^{cd}
	1	28.16^{bc}	30.70^{bc}	32.25^{bc}
	2	28.33^{bc}	31.85^{b}	32.80^{ab}
300	0	26.52^{d}	29.91^{dc}	31.65^{bc}
	1	28.60^{b}	30.70^{bc}	32.47^{ab}
	2	30.30^{a}	33.67^{a}	33.45^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

محتوای فنول کلاله

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تنها اثر اصلی مصرف عصاره جلبک دریایی بر میزان فنول کل کلاله زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین میزان فنول مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف عصارهٔ جلبک) و بیشترین مقدار آن مربوط به محلول-پاشی با غلظت دو در هزار عصاره جلبک دریایی بود که ۲/۶ درصد با هم اختلاف داشتند (جدول ۵). دلیل افزایش محتوای فنول گیاه در شرایط مصرف عصاره جلبک ممکن است به وجود برخی هومون‌های رشد و عناصر غذایی در عصارهٔ جلبک مرتبط باشد که تولید ترکیبات قندی و در نهایت ترکیبات کیفی مانند فنول را تحریک می‌کنند (Khandan Deh Arbab, 2016). نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که کاربرد ترکیبات زیستی و برخی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند میزان ترکیبات فنولی را تا حد قابل توجهی در گیاه افزایش دهد (Wu & Ng, 2008). گرامی صادقیان (Grami Sadeghian, 2019) نیز بیان کرد که مصرف عصاره جلبک دریایی سبب افزایش میزان فنول کلاله زعفران شد. در پژوهشی کاربرد کودهای زیستی میزان ترکیبات فنلی در گیاه دارویی سرخار گل را افزایش داد (Agha Alikhani et al., 2013). محققین دیگری نیز اثر کاربرد عصاره جلبک را بر افزایش ترکیبات فنولی گیاه اسفناج مثبت گزارش کردند (Fan et al., 2011).

محتوای آنتوسیانین کلاله

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی هر دو فاکتور مصرف سولفات پتاسیم (در سطح احتمال یک درصد) و عصاره جلبک دریایی (در سطح احتمال پنج درصد) بر میزان آنتوسیانین کلاله زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به سطوح مختلف کاربرد سولفات پتاسیم نشان داد که بالاترین میزان آنتوسیانین با کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. کمترین مقدار این شاخص نیز در سطح شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم) بدست آمد که به میزان ۸/۱ درصد کمتر از سطح مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود (جدول ۶). آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدهایی با ترکیبات گلوکوزیدی هستند که وجود قند برای تشکیل آن‌ها ضروری است. استفاده از منابع کودی، میزان قند و کربن در گیاه را افزایش می‌دهد و نتیجهٔ آن فراهمی شرایط برای تولید این ترکیبات موثره است (Khandan Deh-Arbab et al., 2020). نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات اصلی عصاره جلبک دریایی نشان داد که بیشترین مقدار آنتوسیانین کلاله در سطح دو در هزار و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (عدم مصرف عصارهٔ جلبک) مشاهده شد که البته با سطح یک در هزار مصرف عصاره جلبک دریایی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. بین سطوح صفر و دو در هزار عصارهٔ جلبک از نظر محتوای آنتوسیانین کلاله ۱۲/۷ درصد اختلاف وجود داشت (جدول ۵). در تحقیقات مشابهی گزارش شده است که استفاده از عصاره جلبک، میزان آنتوسیانین موجود در زعفران را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد (Khandan Deh Arbab et al, 2020; Grami Sadeghian, 2019). عصاره جلبک دریایی با تحریک مسیر فلاونوئید، منجر به تجمع فلاونوئیدها و بالابردن ظرفیت ضد رادیکالی در گیاهان می‌گردد و از بافت گیاه و غشای سلولی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و فروپاشی آنها جلوگیری کرده و از این طریق محتوای ضد اکسایندهایی چون آنتوسیانین را در محصول افزایش می‌دهد (Nair et al., 2012).

محتوای آپوکاروتنوئیدهای کلاله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل این دو فاکتور در سطح احتمال پنج درصد بر میزان پیکروکروسین کلاله زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین مربوط به اثر متقابل، کاربرد تلفیقی بالاترین سطوح سولفات پتاسیم و عصاره جلبک در این تحقیق، منجر به افزایش ۳۲/۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۴). محتوای پیکروکروسین کلاله در آزمایش کنونی کمتر از مقادیر ارایه شده در استاندارد ملی ایران بود (INSO, 2013)، که می‌تواند ناشی از تبدیل این ترکیب به سافرانال در طی مدت ذخیره‌سازی کلاله تا زمان اندازه-گیری محتوای پیکروکروسین در آزمایشگاه باشد (Fallahi et al., 2021b).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر اصلی مصرف عصاره جلبک دریایی بر محتوای فنول، آنتوسیانین و کروسین کلاله زعفران.

Table 5. means comparison for the simple effect of seaweed extract on phenol, anthocyanin and crocin content of saffron stigma.

عصاره جلبک دریایی Seaweed extract (per thousand)	فنول Phenols (mg. 100 g DW[1])	آنتوسیانین Anthocyanin (mg. 100 g DW^{-1})	کروسین Crocin (absorption of 1% aqueous solution at 440 nm)
0	62.07^{c}	23.67^{b}	72.24^{c}
1	62.36^{b}	23.74^{b}	153.40^{b}
2	63.66^{a}	26.68^{a}	192.73^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد سولفات پتاسیم بر محتوای آنتوسیانین و کروسین کلاله زعفران.

Table 6. means comparison of the simple effect of potassium sulfate application on crocin and anthocyanin content of saffron stigma.

سولفات پتاسیم Potassium sulfate (kg ha^{-1})	آنتوسیانین Anthocyanin (mg. 100 g DW^{-1})	کروسین Crocin (absorption of 1% aqueous solution at 440 nm)
0	23.30^{b}	70.20^{c}
100	23.33^{b}	149.44^{b}
200	25.34^{a}	158.50^{b}
300	25.38^{a}	211.66^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی هر دو فاکتور سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر میزان کروسین کلاله زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر اصلی کاربرد سولفات پتاسیم، بالاترین میزان کروسین در تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کم-ترین آن در تیمار شاهد حاصل شد (جدول ۶). همچنین، در مقایسهٔ سطوح مختلف کاربرد عصارهٔ جلبک دریایی، بیشترین مقدار کروسین با مصرف غلظت دو در هزار این ترکیب و کمترین آن در تیمار شاهد (عدم مصرف عصارهٔ جلبک) به‌دست آمد که بین این دو تیمار ۱۶۶/۸ درصد اختلاف وجود داشت (جدول ۵).

نتایج تحقیق نشان داد که اثرات اصلی کاربرد هر دو منبع تغذیه‌ای (سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی) و نیز اثر متقابل این دو فاکتور بر میزان سافرانال کلاله زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان سافرانال در تیمارهای کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به همراه کاربرد غلظت‌های یک و دو در هزار عصاره جلبک دریایی به ثبت رسید که البته با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به همراه کاربرد دو در هزار عصاره جلبک در یک گروه آماری قرار داشتند. کم-ترین میزان سافرانال در تیمار شاهد به‌دست آمد که ۳۲/۹ درصد کمتر از تیمار مصرف تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با غلظت دو در هزار عصارهٔ جلبک دریایی بود (جدول ۴).

محققان دیگری (Naghdibadi et al., 2011; Golzari Jahan Abadi et al., 2016) نیز این نتایج را گزارش کرده‌اند. در همین ارتباط خندان ده ارباب و همکاران (Khandan Deh Arbab et al., 2020)، رئیس میرزایی (Raeis-Mirzaei, 2019) و گرامی صادقیان (Grami Sadeghian, 2019) دریافتند که مصرف عصاره جلبک دریایی بر میزان مواد مؤثره کلاله زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) اثر مثبت و معنی‌داری دارد. همچنین، برخی محققین گزارش کردند که محلول‌پاشی پتاسیم بر میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله اثر معنی‌داری داشت

(Tabatabaeian et al., 2020). محتوای ترکیبات موثرۀ گیاهان تحت تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (هورمون‌ها) قرار دارد. با توجه به اینکه عصاره جلبک دریایی دارای هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکنین، اتیلن و جیبرلین و نیز عناصر غذایی از جمله آهن، مس، روی، مولیبدن، منگنز و نیز ویتامین‌ها و آمینواسیدها است، کاربرد آن می‌تواند تأثیرات مفیدی بر میزان ماده مؤثره گیاهان دارویی داشته باشد (Ross & Holden, 2012). مصرف کودهایی مانند سولفات پتاسیم، ضمن تأمین برخی عناصر غذایی برای گیاه، به دلیل اثر گوگرد بر کاهش pH خاک می‌تواند خصوصاً در خاک‌های قلیایی (جدول ۲) باعث افزایش فراهمی و جذب سایر عناصر غذایی شود. افزایش فراهمی عناصر غذایی باعث افزایش تولید قند در گیاه شده و با تجزیۀ کربوهیدارت‌ها به ترکیبات ثانویه مانند کروسین و پیکروکروسن، محتوای این ترکیبات در گیاه را افزایش می‌دهد (Khandan Deh-Arbab et al., 2022).

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

محتوای کلروفیل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) اثرات اصلی مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a برگ زعفران معنی‌دار بود. بر اساس نتایج اثرات متقابل، بیشترین مقدارکلروفیل a در تیمار مصرف تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم + محلول‌پاشی عصارۀ جلبک با غلظت یک در هزار و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم و جلبک دریایی) مشاهده شد. در تمامی سطوح مصرف سولفات پتاسیم، کاربرد عصارۀ جلبک با غلظت یک در هزار منجر به بهبود محتوای کلروفیل a برگ شد و افزایش غلظت عصارۀ جلبک به دو در هزار اثری بر بهبود این شاخص نداشت (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر هر دو عامل کاربرد سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل b در برگ زعفران معنی‌دار گردید (جدول ۷). بر اساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی، مصرف عصارۀ جلبک در سطوح مختلف سولفات پتاسیم موجب بهبود محتوای کلروفیل b شد. بیشترین میزان کلروفیل b در شرایط مصرف همزمان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و غظت یک در هزار عصارۀ جلبک بدست آمد که البته با تیمارهای ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم + غلظت دو در هزار جلبک، ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم + غلظت یک در هزار جلبک و کاربرد منفرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار کلروفیل b در تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات پتاسیم و عصارۀ جلبک) مشاهده گردید که ۶۰/۸ درصد کمتر از برترین تیمار بود (جدول ۸).

اثرات اصلی و متقابل مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر میزان کلروفیل کل برگ زعفران معنی‌دار بود (جدول ۷). بر اساس نتایج اثرات متقابل، کاربرد منفرد غلظت دو در هزار عصارۀ جلبک دریایی و نیز کاربرد تلفیقی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم با غلظت دو در هزار جلبک و ۳۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم با غلظت دو در هزار عصارۀ جلبک بیشترین محتوای کلروفیل کل برگ زعفران را تولید نمودند. کمترین مقدار کلروفیل کل نیز از تیمار شاهد بدست آمد که ۵۰/۸ درصد کمتر از تیمار برتر بود. در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، افزایش غلظت کاربرد عصارۀ جلبک از یک به دو در هزار موجب کاهش محتوای کلروفیل کل شد (جدول ۸) که ممکن است ناشی از ایجاد سمیت در شرایط فراهمی زیاد عناصر غذایی باشد.

مشابه نتایج آزمایش کنونی، مفاخری (Mafakheri, 2017) گزارش کرد که کاربرد عصاره جلبک میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. افزایش میزان کلروفیل کل در برگ گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus*) نیز در شرایط استفاده از عصاره جلبک گزارش شده است (Thirumaran et al., 2006). احتمالاً وجود عناصر منیزیم و آهن در عصاره جلبک، تأثیر مثبتی در سنتز کلروفیل و در نتیجه در افزایش فتوسنتز دارد (Pise & Sabale, 2010). با توجه به اینکه عمده‌ی رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند (Zgallaï et al., 2006)، لذا حضور اسیدهای آمینه در عصاره جلبک (Holden & Ross, 2012)، بواسطۀ افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و نهایتاً

افزایش رشد گیاه گردد (Ardebili et al., 2011). بتائین موجود در عصاره جلبک نیز بر کاهش تخریب کلروفیل تأثیر مثبت دارد (Shahbazi et al., 2015). نقش پتاسیم نیز در فتوسنتز توسط محققین متعددی گزارش گردیده است (Ebelhar & Varsa, 2000; El-Bassiony et al., 2010). پتاسیم بر بسیاری از رخدادهای بیوشیمیایی درون گیاه اثر دارد و موجب افزایش جذب کربن و بهبود فتوسنتز می‌شود (Marschner, 2012).

محتوای کاروتنوئید

اثرات اصلی و متقابل مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر میزان کاروتنوئید برگ زعفران معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین مربوط به اثرات متقابل فاکتورهای آزمایشی نشان داد که مصرف عصارهٔ جلبک و سولفات پتاسیم موجب افزایش مقدار کاروتنوئید برگ شد. بیشترین مقدار کاروتنوئید برگ مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم + محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت دو در هزار و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف منابع تغذیه‌ای) بود که با یکدیگر ۶۸/۹ درصد اختلاف داشتند (جدول ۸). مشابه نتایج این تحقیق خندان ده-ارباب و همکاران (Khandan Deh Arbab et al., 2020) گزارش کردند که استفاده از عصاره جلبک تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید برگ زعفران داشت. همچنین، افزایش مقدار کاروتنوئید برگ شنبلیه در نتیجه مصرف عصاره جلبک گزارش شده است (Mafakheri, 2017). وجود بتائین در عصاره جلبک بر کاهش تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبت دارد (Shahbazi et al., 2015). همچنین عصاره جلبک سبب افزایش ماندگاری بافت‌های فتوسنتز کننده شده و از طریق افزایش غلظت کلروفیل در برگ زعفران، موجب افزایش کاروتنوئید می‌شود (Khandan Deh-Arbab et al., 2020). با توجه به نقش ترکیبات نیتروژنی در سنتز کاروتنوئید، دلیل افزایش محتوای کاروتنوئید در شرایط مصرف سولفات پتاسیم می‌تواند ناشی از افزایش جذب نیترات باشد (Ranjbar1 et al., 2021). سولفات پتاسیم بدلیل دارا بودن گوگرد می‌تواند بر pH خاک و درنتیجه بهبود جذب عناصری مانند نیتروژن اثر مفیدی داشته باشد.

جدول ۷. میانگین مربعات اثر کاربرد سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ زعفران.

Table 7. Results of analysis of variance (mean of square) for the effect of potassium sulfate and seaweed extract application on the content of photosynthetic pigments of saffron leaves.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنویید Carotenoids
بلوک Block	2	0.309^{ns}	0.136^{ns}	0.061^{ns}	0.032^{ns}
سولفات پتاسیم Potassium sulfate	3	15.472^{**}	2.079^{**}	6.502^{**}	2.608^{**}
جلبک دریایی Seaweed extract	2	2.354^{**}	4.235^{**}	7.540^{**}	2.411^{**}
پتاسیم × جلبک Potassium × Seaweed	6	11.465^{**}	5.459^{**}	12.084^{**}	3.294^{*}
خطا Error	-	0.282	0.312	0.566	0.07
ضریب تغییرات C.V.(%)	-	5.6	15.2	5.7	14.2

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, ** and * are non-significant and significant at the 0.01 and 0.05 level of probability, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف سولفات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ زعفران.

Table 8. Mean comparisons for the interactions effect of potassium sulfate and seaweed extract application on the content of photosynthetic pigments of saffron leaves.

سولفات پتاسیم Potassium sulfate (kg ha^{-1})	عصاره جلبک دریایی Acadian seaweed (per thousand)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg. g FW^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg. g FW^{-1})	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg. g FW^{-1})	کاروتنویید Carotenoids (mg. g FW^{-1})
0	0	0.11^{e}	0.023^{d}	0.863^{d}	0.602^{e}
	1	0.15^{bc}	0.027^{cd}	1.060^{c}	0.798^{cd}
	2	0.15^{bc}	0.031^{bc}	1.283^{a}	1.007^{ab}
100	0	0.12^{de}	0.030^{bc}	1.148^{abc}	0.903^{bc}
	1	0.14^{c}	0.037^{a}	1.097^{bc}	0.772^{d}
	2	0.14^{cd}	0.034^{ab}	1.302^{a}	0.901^{bc}
200	0	0.16^{ab}	0.030^{bc}	1.253^{ab}	0.997^{ab}
	1	0.15^{bc}	0.034^{ab}	1.259^{ab}	0.972^{ab}
	2	0.15^{bc}	0.027^{cd}	1.090^{bc}	0.833^{cd}
300	0	0.15^{bc}	0.034^{ab}	1.210^{abc}	0.998^{ab}
	1	0.17^{a}	0.026^{bc}	1.282^{a}	0.998^{ab}
	2	0.15^{bc}	0.027^{cd}	1.069^{c}	1.017^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% probability level.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاکی از تأثیر مثبت کاربرد عصاره جلبک دریایی به صورت محلول‌پاشی و کود سولفات پتاسیم به صورت کاربرد خاکی بر صفات بیوشیمیایی و مواد مؤثره کلالهٔ زعفران بود. این تأثیرات افزایشی در شرایط کاربرد تلفیقی عصاره جلبک دریایی با سولفات پتاسیم، بیشتر ملموس بود. نتایج نشان داد که می‌توان با محلول‌پاشی عصاره جلبک در غلظت دو در هزار همراه با کاربرد خاکی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم محتوای رنگدانه-های فتوسنتزی و خصوصیات کیفی کلالهٔ زعفران را بهبود بخشید. با توجه به اینکه بیشترین مقدار ترکیبات کیفی کلاله در بالاترین سطوح مصرف سولفات پتاسیم و عصارهٔ جلبک دریایی به دست آمد، بنظر می‌رسد در آزمایشات آتی اثر سطوح بالاتر این منابع تغذیه‌ای نیز می‌تواند مورد تحقیق قرار گیرد.

منابع

Agha Alikhani, M., Iranpour, A., & Naghdi Badi, H. (2013). Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) moench) under urea and three biofertilizers application. *Journal of Medicinal Plants*, 46, 121-136.

Akbarian, M.M., Sharifabad, H.H., Noormohammadi, G., & Kojouri, FD. (2012). The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). *Annals of Biological Research*, *3*(12), 5651-5658.

Ardebili, Z.O., Ardebili, N.O., & Mahdi Hamdi, S.M. (2011). Physiological effects of' *Pseudomonas fluorescens* on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and its possible impact on *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(12), 1631-1638.

Arnon, A.J.A.J. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23*(*1), 112-121.

Arshad, M., Nazarideljo, M.J., & haghshenas, M. (2019). Effect of potassium and calcium foliar application on quantity and quality of strawberry (*ragaria* x *ananassa* Duch cv. Selva). *Journal of Plant Process and Function*, *8*(29), 193-203. [in Persian with English Summary].

Askary, M., Behdani, M.A., Mollaei, H., & Fallahi, H.R. (2023). Evaluation of the effects of organic and conventional cultivation practices on phytochemical and anti-cancer activities of saffron (*Crocus sativus* L.). J*ournal of Agrcultural Science and Technology*, 25(1), 139-154.

Basatpour, G., Kheirkhah, M., & Babaeian, M. (2022). Effect of sulfur and potassium fertilizers on yield and yield components of saffron (*Crocus sativus* L.) in Kermanshah. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 228-242. (In Persian with English Summary).

Behdani, M.A., & Fallahi, H.R. (2015). *Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches*. University of Birjand Press, Birjand, Iran. [in Persian].

Behdani, M.A., Gerami Sadeghian, M., Eslami, S. V., & Hossein Aminifard, M. (2020). Effect of foliar application of seaweed extract and liquid poultry manure on vegetative growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) *Saffron Agronomy & Technology*, 8(3): 307-323. (In Persian with English Summary).

Bhandari, P.R. (2015). *Crocus sativus* L. (saffron) for cancer chemoprevention: a mini review. *Journal of Traditional Complementary Medicine*, *5*(2), 81-87.

Chuah, A.M., Lee, Y.C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.J., & Matoba, T.J. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, *111*(1), 20-28.

Del Pozo, A., Pérez, P., Gutiérrez, D., Alonso, A., Morcuende, R., & Martínez-Carrasco, R. (2007). Gas exchange acclimation to elevated CO_2 in upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves in relation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. *Environmental Experimental Botany*, *59*(3), 371-380.

Ebelhar, S., & Varsa, E. (2000). Applications in sustainable production: Tillage and potassium placement effects on potassium utilization by corn and soybean. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, *31*(11), 2367-2377.

El-Bassiony, A., Fawzy, Z., El-Samad, EA., & Riad, G. (2010). Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science*, *6*(12), 722-729.

Fallahi, H.R., Hosseini, S.A.H., Sahabi, H., Aghhavani-Shajari, M., Zareei, E., Ghaemi-Poor, F., & Maraki, Z. (2019). Effects of nutrients spraying on saffron stigma quality in a one-year-old field. 8th National Congress on Medicinal Plants. 24-25 April, Tehran. p 378.

Fallahi, H.R., Salariyan, A., & Aghhavani-Shajari, M. (2021a). Analytical review on nutritional management of saffron. 6th National Conference on Saffron,Gonabad, Iran (In Persian with English Summary).

Fallahi, H.R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., Behdani, M.A.,Sayyari-Zohan, M.H., & Vatandooste, S. (2021b). Influence of some pre and post-harvest practices on quality of saffron stigmata. *Scientia Horticulturae*, 278, 109846.

Fallahi, H.R., & Salariyan, A. (2023). Evaluation of saffron irrigation and nutritional management among different farmers groups compared to experts recommendations. *Saffron Agronomy and Technology*, 10(4), 371-390 [In Persian with English Summary].

Ghasemzadeh, A., & Jaafar, H.Z. (2011). Effect of CO_2 enrichment on synthesis of some primary and secondary metabolites in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal of Molecular Sciences*, *12*(2), 1101-1114.

Golzari Jahan Abadi, M., Behdani, M.A., Sayyari Zohan, M.H., & Khorramdel, S. (2016). Effect of some fertilizer sources and mother corm weight on growth criteria and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, *4*(2), 172-186. [In Persian with English Summary].

Grami Sadeghian, M. (2019). Study of the effect of different levels of foliar application of Acadian seaweed and Biomex poultry liquid fertilizer on the growth and yield of saffron. Master's Thesis. University of Birjand, Birjand, Iran (In Persian with English Summary).

Hassanian Badi, S., Tabatabaeian, J., & Kadkhodaee, A. (2019). Effect of foliar application of micronutrients on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *16th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran*. [In Persian].

Hosseini, F., Amiri, ME., & Razavi, F. (2019). Improvement of anthocyanin and antioxidant properties of strawberry (cv. amaros) by calcium lactate and potassium sorbate application. *Journal of Plant Productions*, 42(4), 455-468.

IMA (Iran Ministry of Agriculture). 2023. *Agricultural Statistics Report of Year 2022*, Volume 3: Horticultural and Greenhoyse Products, 401p [In Persian].

INSO (Iranian National Standardization Organization). 2013. Saffron: Test Methods (Code: 259-2). 5th Revision. Available at: https://standard.inso.gov.ir/ (In Persian).

Khandan Deh Arbab, S. 2018. Effect of amino acid, algae extract and corm weight on quantitative, qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). M Sc Thesis, University of Birjand, [In Persian].

Khandan Deh-Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2020). Evaluating the effects of growth promoting fertilizer containing seaweed extract and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron. *Plant Productions*, 43(2), 213-226. [In Persian].

Khandan Deh-Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2021). Effects of different levels of algae extract and mother corm weight on photosynthetic pigment content, growth and yield of saffron. Journal of Saffron Research, 9(2), 296-309. [In Persian].

Mafakheri, S. (2017). Effect of application of some organic and chemical fertilizers on morphological and biochemical traits of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Production, 40*(3), 27-41. [in Persian].

Malakouti, M., Malakouti, A., Bybordi, I., & Khamesi, E. (2010). Zinc is the neglected element in the life cycle of plant. *Middle Esatern and Russian Journal of Plant Scinece and Biotechnology*, 1(1), 1-12.

Marschner, P. (2012). *Mineral Nutrition in Higher Plant.* Academic press inc Orlando, Florida.

Naghdibadi, H.A., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotoukian, MH. (2011). Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. *Journal of Medicinal Plants*, 40, 58-68. [in Persian].

Nair, P., Kandasamy, S., Zhang, J., Ji, X., Kirby, C., Benkel, B., Hodges, M.D., Critchley, A.T., Hiltz, D., & Prithiviraj, B. (2012). Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Genomics*, 13, 2-33.

Omid Beigi, R. (2000). Methods of Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 1. Fekr Rooz Publications. [In Persian].

Pise, N.M., & Sabale, A.J.J.P. (2010). Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Phytology, 2*(4), 50-56.

Raeis-Mirzaei, F. (2019). Effect of cultivation methods, urban waste compost and spray of seaweed extracts on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Shahed University Thesis. Tehran. [In Persian].

Ranjbar, M., Esmaeilizadeh,, M., Karimi, H.R., Shamshiri, M.H. 2021. Study of foliar application effects of silicon and potassium on some vegetative indicators and photosynthetic activity of pistachio seedlings cv.Badami E- Riz under salinity stress. The 12th Congress of Horticultural Sciences of Iran, 5-7 September, Rafsanjan, Iran [In Persian].

Ross, R.E., & Holden, D. (2012). A commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* suppresses avocado thrips and persea mites in field-grown 'Hass' avocados, A practical field perspective. *Acta Horticulturae*, 1009: 139-147.

Shahbazi, F., Nejad, M.S., Salimi, A., & Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture Crop Science,. 8*(3), 283-287.

Tabatabaeian, J., Hassanian Badi, S., & Kadkhodaee, A. (2020). Effect of micronutrient foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy Technology, 8*(2), 147-163. [in Persian].

Thirumaran, G., Karmakar, P., & Anantharaman, P. (2006). Effect of seaweed extracts used as fertilizer for *Abelmoschus esculentus*. *Journal of Ecobiology, 19*(4), 373.

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, YS. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry, 93*(4), 713-718.

Uchida, R. (2000). Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, 4*, 31-55.

Wang, S.Y., Bunce, J.A., & Maas, J. (2003). Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. *Journal of Agricultural Food Chemistry, 51*(15), 4315-4320.

Wrosotad, R.E. (1976). *Color and Pigment Analysis in Fruit Products*. Oregon State University Publications Limited, Cornwalis.

Wu, S.J., & Ng, L.T. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activities of wild bitter melon (*Momordica charantia* Linn. var.

abbreviata Ser.) in Taiwan. *Food Science Technology*, *41*(2), 323-330.

Zabihi, H.R., & Feizi, H. (2014). Saffron response to the rate of two kinds of potassium fertilizers. *Saffron Agronomy and Technology*, 2(3), 191-198. [In Persian].

Zgallaï, H., Steppe, K., & Lemeur, R. (2006). Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomatal resistance, protein and chlorophyll content and certain anti-oxidative enzymes in tomato plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, *48*(6), 679-685.

COPYRIGHTS
© 2023-2024 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)