

Effect of Potassium Sulfate on Yield, Yield Components and Some Biochemical Properties of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Drought Stress

Nadia Rahimi¹, Fariba Mohammadifard², Mohammad Moghaddam^{3*}

1- Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

nadiyarahimi2015@gmail.com

2- Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

fariba.mohammadifard@gmail.com

3- Corresponding author and Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

m.moghaddam@um.ac.ir

Received Date: 2021/03/13

Accepted Date: 2021/01/03

Abstract

Introduction: Drought stress is one of the non-living environmental stresses that affect the quantity and quality of plant yield (Eyni-Nargeseh et al., 2020), and it is the most important factor in reducing yield and crop production in plants (Xu et al., 2020). Elements such as potassium play an important role in controlling water loss from the plant (Farahani et al. 2019). Potassium is an essential nutrient and is one of the most abundant cations in plants, which plays an important role in plant growth and in almost all related functions (Zahoor et al., 2017). Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) is one of the most widely used medicinal plants. It is an herbaceous or perennial plant and a member of the aromatic plants of the family Mint (Lamiaceae), which has a rodent flower, the flowers appear in the axils of the upper leaves, the flowers are male and female and are seen in white to purple colors (Yazdanpanah et al., 2011). Finding solutions to reduce the effects of drought stress and improve plant growth and yield is essential. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of the application of different levels of potassium sulfate on increasing yield, biochemical properties, and drought resistance in Summer Savory.

Material and methods: This research was carried out as a factorial split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Ferdowsi University in 2015-2016. The main factors included drought stress at three levels (50, 70, and 100% of field capacity) and potassium sulfate fertilizer at four levels (0, 100, 200, and 300 kg/ha) and the sub-factor of two harvest times. All traits were measured at the flowering stage. The studied traits included growth characteristics (using conventional methods), photosynthetic pigments (Lutts et al., 1996), soluble carbohydrates (Paquin et al., 1979), antioxidant activity (Moon et al., 1998), potassium (Emami, 1996) and total phenol (Singleton et al., 1965). Minitab17 software was used to analyze the data. The mean comparison was performed based on the Bonferroni test.

Results and discussion: The results showed that with increasing drought stress, the amounts of chlorophyll a, b, total, soluble carbohydrate, antioxidant activity, potassium and total phenol increased. However, with increasing drought stress, growth characteristics and carotenoids decreased. So that with increasing drought stress, the amount of plant height at the highest drought stress level (50% of field capacity) decreased by 33.99% compared to the control. Based on the results of this study, the application of potassium sulfate fertilizer under drought stress conditions reduced the effect of drought stress, as the highest amount of growth characteristics and photosynthetic pigments were observed in the application of potassium sulfate fertilizer. At the highest level of drought stress and application of 300 kg/ha of potassium sulfate in the first harvest time increased plant height, chlorophyll a, b, and total by 62.14, 82.36, 93.09, and 87.35%, respectively, but decreased antioxidant activity (13.86%) and total phenol content (34.38%).

Conclusions: Based on the findings of this study, the use of potassium sulfate fertilizer reduces destructive effects under environmental stresses, including drought stress. In particular, the application of 300 kg/ha of potassium sulfate fertilizer had the best results in drought stress conditions in Summer Savory which can be used as a management solution in drought-prone areas.

Keywords: Nutrients, Photosynthetic pigments, Plant height, Soluble carbohydrates, Yield, Water deficit.

تأثیر سولفات پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش خشکی

نادیا رحیمی^۱، فریبا محمدی فرد^۲، محمد مقدم^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

nadiarahimi2015@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

fariba.mohammdifard@gmail.com

۳- نویسنده مسئول و دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

moghaddam75@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

چکیده

تنش خشکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که به‌طور قابل توجهی روی گیاهان تأثیرگذار است. به همین منظور پژوهشی به‌صورت اسپیلت فاکتوریل در زمان در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کود سولفات پتاسیم در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فاکتور فرعی دو چین برداشت بود. صفات مورد ارزیابی شامل خصوصیات رشدی، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، پتاسیم و کربوهیدرات محلول بود. نتایج نشان داد که کمترین خصوصیات رشدی در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم مشاهده شد. استفاده از کود پتاسیم باعث بهبود خصوصیات رشدی، میزان کربوهیدرات محلول، کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تمامی سطوح تنش خشکی در گیاه شد. به‌طوری‌که در چین اول برداشت در بالاترین سطح تنش و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم افزایش ۶۲/۱۴، ۸۲/۳۶، ۹۳/۰۹ و ۸۷/۳۵ درصدی به‌ترتیب در ارتفاع بوته، کلروفیل a، b و کل مشاهده شد؛ ولی موجب کاهش ۱۳/۸۶ درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ۳۴/۳۸ درصد فنل کل در گیاه شد. نتایج حاکی از آن بود که مقدار خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که کمترین مقدار خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی در چین دوم برداشت مشاهده شد. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد سولفات پتاسیم به‌ویژه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب بهبود خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی مرزه تحت تنش خشکی شد.

کلمات کلیدی: ارتفاع گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عناصر غذایی، کربوهیدرات محلول، کم‌آبی.

مقدمه

فراوانترین کاتیون‌ها در گیاهان می‌باشد، که نقشی مناسب بر رشد گیاه و تقریباً در تمام عملکردهای مرتبط دارد (Zahoor et al., 2017a). اهمیت پتاسیم بیشتر به خاطر نقش آن در برخی پروسه‌های فیزیولوژیکی از قبیل روابط آبی، فتوسنتز، انتقال آسمیلات‌ها و فعالیت‌های آنزیمی است که این پروسه‌ها به‌طور مستقیم بر میزان تولید گیاه اثر می‌گذارند (Dewdar and Rady, 2013). در پژوهشی که بر روی گیاه ماش سیاه در شرایط کاربرد پتاسیم و تنش خشکی صورت گرفت، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و سطح برگ در گیاه شد، ولی باعث افزایش نشت الکترولیت و پرولین در گیاه گردید، در صورتی که کاربرد پتاسیم از طریق کاهش میزان نشت الکترولیت و افزایش میزان کربوهیدرات محلول باعث بهبود زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و سطح برگ در گیاه شد (Kumar et al., 2019). همچنین تحقیقی که روی گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که تنش خشکی باعث کاهش خصوصیات رشدی و محتوای نسبی آب برگ در گیاه شد؛ ولی کاربرد کود نانو پتاسیم باعث بهبود خصوصیات رشدی و میزان محتوای نسبی آب برگ در گیاه شد (Saedi et al., 2020).

یکی از گیاهان دارویی پرکاربرد مرزه می‌باشد. مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاه علفی یک یا چند ساله و جزء گیاهان معطر متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است که دارای تعداد زیادی ساقه به طول ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد که رنگ آن‌ها تیره‌تر از برگ‌ها است. ساقه‌ها و شاخه‌ها معمولاً با کرک پوشیده شده‌اند. دارای گل‌آذین گرزنی بوده، گل‌ها در محور برگ‌های بالایی ظاهر می‌شوند، گل‌ها نر و ماده بوده و به رنگ‌های سفید تا ارغوانی دیده می‌شوند (Yazdanpanah et al., 2011). از این گیاه برای درمان دردهای عضلانی، حالت تهوع، بیماری‌های عفونی و اسهال استفاده می‌شود و همچنین هضم‌کننده غذا، ادرارآور، خلط‌آور، ضد درد، ضد سرطان،

میزان آب موجود یکی از عوامل مهم اقلیمی در توزیع گیاهان در سراسر جهان است که می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان شود (Sodaeizadeh et al., 2016). تنش خشکی یکی از تنش‌های محیطی غیرزنده است که بر کمیت و کیفیت عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (Eyni-Nargeseh et al., 2020) و مهمترین عامل کاهش عملکرد و تولید محصولات در گیاهان محسوب می‌شود (Xu et al., 2020). پاسخ فیزیولوژیکی گیاهان به تنش خشکی شامل تنظیم اسمزی و بسته شدن روزنه است که برای حفظ رطوبت درون بافت و همزمان جذب آب از محیط استفاده می‌شود، بنابراین فعالیت‌های طبیعی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سلول‌ها حفظ می‌شود (Junior et al., 2020). تنش خشکی باعث کاهش چشمگیر صفات مورفولوژی در گیاه دارویی ریحان^۱ (Askarnejad et al., 2019)، چیا^۲ (Jamshidi et al., 2020) و آویشن باغی^۳ (Goshasbi et al., 2020) شد. همچنین در پژوهشی که بر روی گیاه لوبیا^۴ در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید فولیک صورت گرفت، نتایج نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش قابل توجهی در خصوصیات رشدی گیاه و محتوای نسبی آب برگ شد؛ ولی باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول، مالون‌دی‌آلدئید، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه شد (Ibrahim et al., 2020).

شرایط تنش خشکی به دلیل کمبود مقدار آب اثر مستقیمی بر روی رشد گیاه می‌گذارد. در این شرایط حفظ و متعادل سازی عناصر غذایی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. عناصری غذایی مانند پتاسیم نقش مهمی در کنترل تلفات آب از گیاه دارند (Farahani et al., 2019). پتاسیم یک ماده مغذی ضروری است و از

- 1 . *Ocimum basilicum* L.
- 2 . *Salvia hispanica* L.
- 3 . *Thymus vulgaris* L.
- 4 . *Phaseolus vulgaris*

مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی متری تهیه و آنالیز شد (جدول ۱). مقادیر ۱۵۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب کود نیتروژن و فسفر قبل از کشت با توجه به توصیه کودی به زمین داده شد. ضمناً مقادیر مختلف کود سولفات پتاسیم هم قبل از کشت در کرت‌های فرعی به زمین داده شد. بذرها مرزه مورد بررسی در این پژوهش از شرکت Persian seeds اصفهان تهیه گردید و در تاریخ بیستم فروردین (۱۳۹۵/۱/۲۰) در زمین به صورت ردیف‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی متر کشت شدند. آبیاری کرت‌ها بطور مرتب انجام شد تا بذرها جوانه زدند. سپس گیاهچه‌ها در مرحله هشت برگی تنک شدند؛ بصورتی که فاصله ۱۰ سانتی متر بر روی ردیف‌ها تعیین گردید. تیمار تنش خشکی (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در مرحله ۱۲-۱۰ برگی در زمانی که بوته‌ها استقرار یافتند به وسیله دستگاه TDR (Time Domain Reflectometry) اعمال گردید. صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در مرحله گلدهی گیاهان و در دو چین مختلف برداشت اندازه‌گیری شد. به طوری که چین اول برداشت در تاریخ تاریخ پنجم خردادماه (۱۳۹۵/۳/۵) صورت گرفت و همچنین اندازه‌گیری صفات در چین دوم برداشت در پنجم تیرماه (۱۳۹۵/۴/۵) انجام شد.

محرک و مقوی معده می‌باشد (Hajhashemi et al., 2000). با توجه به خشکسالی‌های اخیر در کشور که به دنبال آن موجب کاهش رشد و عملکرد و اختلال در جذب عناصر غذایی مورد نیاز در گیاه می‌شود، یافتن راهکارهایی جهت کاهش اثرات تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد گیاهان ضروری است. به همین دلیل هدف از این مطالعه بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف سولفات پتاسیم در افزایش عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی و مقاومت به خشکی در گیاه مرزه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلنت فاکتوریل در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح (۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کود سولفات پتاسیم در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فاکتور فرعی دو چین برداشت بود. ابتدا زمینی به مساحت ۵۰۰ مترمربع را انتخاب کرده و در آخر فروردین ماه شخم‌زده و سپس تسطیح و کرت‌های اصلی ایجاد گردید. سپس درون هر کرت اصلی، کرت‌های فرعی به ابعاد ۲×۱/۵ متر ایجاد شد. نمونه‌ای از خاک

جدول ۱- آنالیز خاک مزرعه.

Table 1. Farm soil analysis.

Soil texture	K mg/kg	P mg/kg	N (%)	Organic matter (%)	OC (%)	pH	EC (dS/m)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
Sandy loamy	29	38	0.685	0.93	0.54	7.68	0.94	8.5	19.3	72.1

سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل ABIASA. CO) استفاده شد. جهت تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نمونه‌ها به‌طور جداگانه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار دادند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. همچنین برای اندازه‌گیری میزان عملکرد پیکرویشی از یک کادر ۱×۱ متر مربع استفاده شد که کادر

ارزیابی صفات مورفولوژیکی

صفات مورفولوژیکی مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه و قطر ساقه بودند. بدین منظور پنج بوته به‌طور تصادفی و با حذف اثرات حاشیه‌ای از هر تکرار در مرحله گلدهی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند و میانگین پنج بوته برای هر صفت در هر تکرار ثبت شد. برای تعیین

گرم (۲۰۰ میلی گرم) برگ تازه از برگ‌های جوان و کاملاً توسعه یافته را جدا کرده و آن را در هاون چینی با ۱۰ میلی متر متانول ۹۹ درصد برای استخراج رنگدانه‌ها ساییده، سپس به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت (Lutts et al., 1996). سپس عصاره استخراج شده را برداشته و با استفاده از اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۶۵۳، ۴۷۰ و ۶۶۶ نانومتر قرائت گردید.

$$\begin{aligned} \text{Chla} &= (15.65 \times \text{A666}) - (7.34 \times \text{A653}) \\ \text{Chlb} &= (27.05 \times \text{A653}) - (11/21 \times \text{A666}) \\ \text{Cx+c} &= (1000 \times \text{A470} - 2.860 \times \text{Chla} - 129.2 \times \text{Chlb})/245 \\ \text{Chlt} &= \text{Chla} + \text{Chlb} \end{aligned}$$

عصاره تغلیظ شده با ۳ میلی لیتر معرف آنترون مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها پس از سرد شدن در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Paquin and Lechasseur, 1979).

اندازه‌گیری پتاسیم اندام گیاهی

جهت اندازه‌گیری فسفر در نمونه‌های گیاهی، ابتدا مقدار ۰/۳ گرم نمونه آسیاب شده گیاه وزن و داخل کروزه ریخته شد، سپس کروزه به مدت چهار ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده و پس از سرد شدن کروزه، خاکستر حاصل داخل بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته و مقدار ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به ظرف اضافه گردید. سپس به مدت ۱۰ دقیقه بر روی هیتر با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد گذاشته شد و با استفاده از آب مقطر حجم نمونه به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. در نهایت محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۶۶۰ نانومتر قرائت شد. میزان پتاسیم موجود در نمونه گیاهی نیز توسط دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین گردید (Emami., 1996).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab17 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون Bonferroni انجام شد.

را داخل کرت گذاشته و بوته‌های داخل آن را جمع‌آوری کرده و بعد آنها را توزین نموده و عملکرد وزن تر در هکتار محاسبه گردید و سپس بوته‌ها را در محل سایه به مدت یک هفته گذاشته تا خشک شود و بعد دوباره آنها را وزن کرده و عملکرد وزن خشک در هکتار محاسبه گردید.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری کلروفیل a, b و کل و کارتنوئید، ۰/۲

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی (Antioxidant activity) عصاره برگ مرزه، ابتدا عصاره‌های متانولی با استفاده از متانول خالص در دمای اتاق تهیه شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با ایجاد کمی تغییرات از طریق غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد شده توسط ماده DPPH صورت پذیرفت (Moon and Terao, 1998). جذب محلول‌های حاصل و شاهد (حاوی کلیه مواد غیر از نمونه) در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. درصد بازداری از DPPH با مقایسه نمونه‌های عصاره و نمونه شاهد و استفاده از رابطه زیر به دست آمد.

$$\% \text{AA} = 1 - \frac{\text{A } 517 (\text{sample})}{\text{A } 517 (\text{control})} \times 100$$

فنل کل

فنل کل در عصاره برگ با معرف فولین سیکالتو اندازه‌گیری شد (Singleton and Rossi, 1965). مقدار جذب محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد و مقدار ترکیبات فنلی کل براساس معادل میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن خشک بیان گردید.

کربوهیدرات محلول

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول ۰/۲ میلی لیتر از

نتایج و بحث

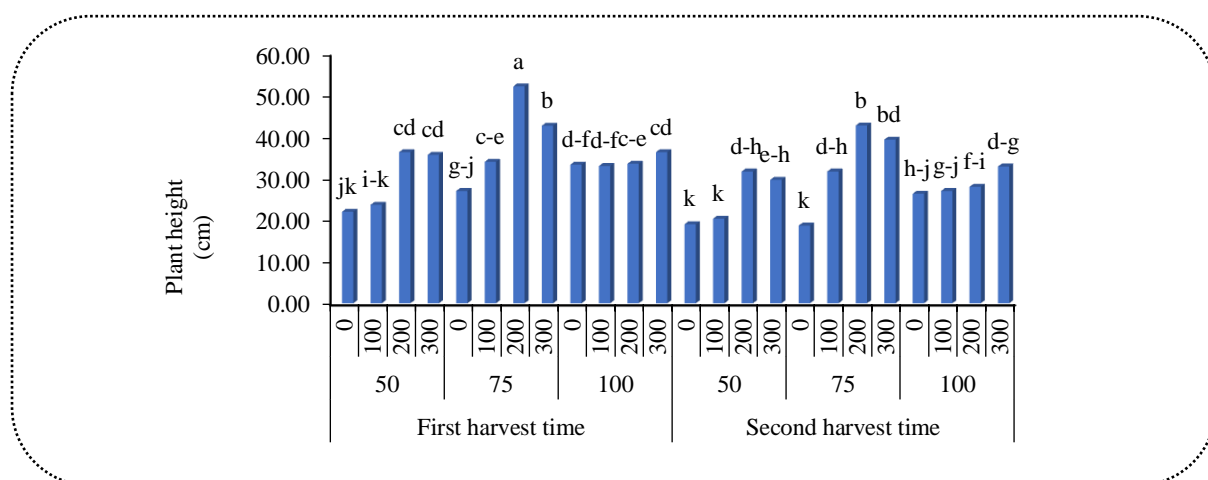
بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت بر همه صفات رشدی اندازه‌گیری شده به جز ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌فرعی (سطح احتمال پنج درصد) در گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد (جدول ۳) که در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) صفاتی از جمله ارتفاع گیاه (شکل ۱)، قطر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه در گیاه از روندی کاهشی برخوردار بود. براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها کمترین قطر ساقه (۲ میلی‌متر)، وزن تر ساقه (۳ گرم در گیاه)، وزن خشک ساقه (۱/۳۳ گرم در گیاه)، وزن تر ریشه (۷/۶۷ گرم در گیاه)، وزن خشک ریشه (۳ گرم در گیاه)، عملکرد تر (۰/۴۸ تن در هکتار) در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم مشاهده شد.

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که بهره‌وری محصولات را محدود می‌کند (Paquin and Lechasseur, 1979) و یکی از مهمترین عوامل محدود کننده رشد و نمو می‌باشد (Basu et al., 2016). تنش خشکی مانع از تقسیم سلولی و بزرگ شدن آن می‌گردد که یکی از عوامل اصلی موثر در کاهش ارتفاع، وزن خشک ساقه و ریشه گیاه می‌باشد (Hussain et al., 2018; Paul et al., 2018). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر این مطلب بود که کاربرد کود سولفات پتاسیم باعث بهبود صفات رشدی در گیاه مرزه در طول دوره تنش خشکی شد. به‌طوری‌که بالاترین مقدار صفات رشدی در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مشاهده شد. در چین اول برداشت و بالاترین سطح تنش خشکی در شرایط کاربرد کود سولفات پتاسیم (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم کاربرد آن میزان ارتفاع گیاه (۶۲/۱۴ درصد)،

تعداد شاخه جانبی (۸۹/۳ درصد)، قطر ساقه (۱۶۶/۵ درصد)، وزن تر ساقه (۸۸/۸۹ درصد)، وزن خشک ساقه (۱۲۸/۰۴ درصد)، وزن تر ریشه (۵۳/۷۵ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۱۶/۷۵ درصد) و عملکرد تر (۷۶/۱۶ درصد) با افزایش همراه بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تمامی صفات رشدی در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت با روندی کاهشی مواجه شدند. پژوهشی که بر روی گیاه ریحان رقم کشکنی لولو در شرایط کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب و در دو چین مختلف برداشت صورت گرفت، بیانگر این مطلب بود که میزان زیست‌توده تر و خشک اندام هوایی در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت از روندی کاهشی برخوردار بود (Farsari and Moghaddam, 2020)، که هم‌راستا با نتایج این پژوهش بود. علاوه‌براین نتایج این تحقیق با تحقیقی که در گیاه دارویی نعناع فلفلی صورت گرفت، هم‌راستا بود، به‌طوری‌که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه شد؛ ولی کاربرد کود نانو پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع آن شد (Saedi et al., 2020). عناصر معدنی نقش مهمی در مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری ایفا می‌کنند و پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر مهم مورد نیاز گیاه نقش مهمی در نگهداری فشار تورگر در شرایط تنش خشکی دارد (Yuncaı and Schmidhalter, 2005). در دسترس بودن پتاسیم در هنگام تنش خشکی از طریق تعدیل تنظیم روزنه، هدایت مزوفیل، رشد سلول، ساقه، برگ و آوندهای چوبی بر بسیاری از واکنش‌ها تأثیر می‌گذارد (Lu et al., 2019).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با شاهد روندی افزایشی



شکل ۱- اثر متقابل کود سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر ارتفاع گیاه مرزه در دو چین برداشت.

Figure 1. The mutual effect of potassium sulfate fertilizer (0, 100, 200, 300 kg⁻¹) and drought stress (50, 75, 100 %FC) on plant height of summer savory in two harvest times.

سولفات پتاسیم، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. بیشترین میزان کلروفیل a (۲۹/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، b (۲۷/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و کلروفیل کل (۵۷/۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و چین اول برداشت مشاهده شد (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر این مطلب بود که مرحله برداشت تاثیر معنی‌داری بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت. به نحوی که در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم) در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت با کاهش به میزان ۵۴/۰۹، ۷۲/۶۴، ۶۵/۴ و ۶۲/۸۱ درصد به ترتیب در کلروفیل a، b، کارتنوئید و کلروفیل کل همراه بود. در پژوهشی که بر روی گیاه ریحان رقم کشکنی لولو در شرایط تنش شوری صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت از روندی کاهشی برخوردار بود (Farsari and Moghaddam, 2020) که هم راستا با نتایج این پژوهش بود. همچنین نتایج تحقیقی که بر روی گیاه

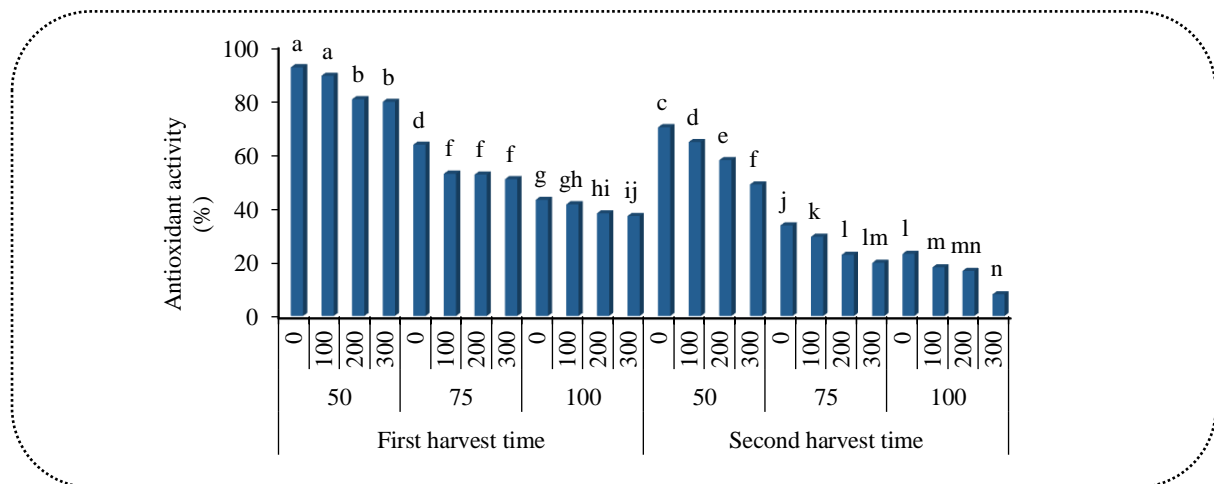
داشتند؛ ولی مقدار کارتنوئید در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) از روندی کاهشی برخوردار بود. مطابق نتایج، کمترین مقدار کارتنوئید (۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در بالاترین سطح تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین مقدار کلروفیل a، b و کل در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد (جدول ۳). رنگدانه‌های فتوسنتزی نه تنها در تعیین رنگ و روند فتوسنتز موثر هستند، بلکه به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در بافت گیاه نیز عمل می‌کنند (Khaleghi et al., 2015). در زمان تنش خشکی به دلیل کاهش سطح برگ و تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی غلظت کلروفیل افزایش پیدا می‌کند (Mohammadi Torkashvand et al., 2018). در پژوهشی که بر روی گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی انجام گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان رنگیزه‌های کلروفیل افزایش پیدا کرد (Sodaiizadeh et al., 2016). دلیل افزایش کلروفیل در شرایط تنش خشکی این است که رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل تا حدی به کاهش آب مقاوم هستند (Schutz and Fangmeir, 2001). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح کود

(Zafar et al., 2018).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه مرزه تحت تاثیر اثرات متقابل سه‌گانه کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در هر دو چین برداشت در گیاه مرزه شد. بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۲/۱ درصد) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم و در چین اول برداشت به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح تنش خشکی داشت (شکل ۲).

نعناع فلفلی در شرایط تنش خشکی و کود نانو پتاسیم صورت گرفت، حاکی از آن بود که با افزایش سطح تنش میزان کلروفیل b روندی صعودی داشت و کاربرد پتاسیم باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه شد (Saedi et al., 2020) که با نتایج این پژوهش کاملاً مطابقت دارد. در بین عناصر غذایی معدنی، پتاسیم نقش کلیدی در تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی ایفا می‌کند (Davis et al., 2018). به‌عنوان مثال، پتاسیم در شرایط تنش خشکی در تنظیم متابولیسم نیتروژن برای تشکیل کلروفیل نقش دارد (Zahoor et al., 2017b). همچنین پتاسیم بر بسیاری از فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی نیز موثر است و باعث بهبود روابط آبی و میزان کلروفیل در گیاه می‌شود (Kambe et al., 2015;)



شکل ۲- اثر متقابل کود سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرزه در دو چین برداشت.

Figure 2. The mutual effect of potassium sulfate fertilizer (0, 100, 200, 300 kg⁻¹) and drought stress (50, 75, 100 %FC) on antioxidant activity of summer savory in two harvest times.

می‌کند (Alizadeh et al., 2020) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. واکنش آنتی‌اکسیدانی یک پروسه مهم برای محافظت از گیاهان از آسیب‌های اکسیداتیو است که در اثر طیف وسیعی از تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی پدیدار می‌شود (Mittler et al., 2004) که خود دلیل افزایش این ترکیبات در این پژوهش می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کود سولفات پتاسیم باعث کاهش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه

در پژوهشی که در گیاه نعناع سبز^۱ در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید هیومیک صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه شد (Rostami et al., 2019). محققین اعلام کردند که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه مرزه تحت تنش خشکی افزایش پیدا

1 . Mentha spicata L.

ترکیبات فنلی در سیستم دفاعی گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش مهمی ایفا می‌کنند. ترکیبات فنلی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه می‌توانند در طول دوره تنش خشکی از گیاهان محافظت کنند (Ghasemi Pirbalouti et al., 2014). ترکیبات فنلی می‌توانند از پراکسیداسیون لیپید جلوگیری کرده و هنگامی که گیاهان در معرض شرایط مختلف استرس‌زا قرار می‌گیرند، اشکال مختلف اکسیژن فعال را از بین ببرند (Thanh Quan et al., 2016). براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با افزایش سطوح کود سولفات پتاسیم محتوای فنل کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین میزان فنل کل (۳/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار کودی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳) که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) در همین سطح رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌میزان ۸۱/۳۶ درصد با کاهش همراه بود. همچنین چین برداشت تأثیر معنی‌داری بر محتوای فنل کل در گیاه مرزه داشت، به‌طوری‌که میزان فنل کل در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به مقدار ۴۸/۷ درصد (۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم) با افزایش همراه بود. در پژوهشی که در زیتون رقم آمیگدا لیفولیا^۱ صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که با افزایش سطح نیترات پتاسیم میزان ترکیبات فنلی در گیاه کاهش پیدا کرد (Ramezani and Shkafandeh Nobandagani, 2012) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. ترکیبات فنلی معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی و تغذیه‌ای قرار می‌گیرند (Bravo, 1998). دلیل کاهش میزان ترکیبات فنلی در این پژوهش را اینگونه می‌توان بیان کرد که پتاسیم با افزایش پایداری غشای سلول و همچنین افزایش استحکام بافت‌های گیاه، رشد ریشه، سطح برگ و وزن خشک کل گیاه تحت شرایط کم آبیاری و بهبود جذب و نگهداری آب سبب تعدیل اثرات زیانبار تنش خشکی می‌شود (Wang et al., 2013).

شد، به‌طوریکه کمترین مقدار آن (۸ درصد) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و در چین دوم برداشت مشاهده شد (جدول ۳). علت کاهش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در این پژوهش در شرایط کاربرد کود سولفات پتاسیم را اینگونه می‌توان توجیه کرد که پتاسیم از طریق جلوگیری از تخریب ساختمان لیپیدهای دیواره سلولی باعث ثبات و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی در گیاهان می‌شود (Johnson et al., 2003).

علاوه‌براین پتاسیم تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود باعث کاهش آسیب اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2018). در این پژوهش، چین برداشت تأثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه داشت، به‌طوری‌که در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود) در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به میزان ۴۶/۵۱ درصد با کاهش همراه بود (جدول ۳).

محتوای فنل کل

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فنل کل برگ مرزه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان ترکیبات فنلی در هر دو چین برداشت از روندی کاملاً صعودی برخوردار بود. به‌طوری‌که بیشترین (۶۳/۸۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) محتوای فنل کل در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (عدم کاربرد کود) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود) به میزان ۲۲۲/۶۳ درصد با افزایش همراه بود (شکل ۳). نتایج پژوهش‌هایی که در گیاه نعنای سبز (Rostami et al., 2019) و مرزه (Alizadeh et al., 2020) انجام گرفت، نشان داد که میزان ترکیبات فنلی طی تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند که مطابق با نتایج این پژوهش می‌باشد.

1. *Olea europaea* L. cv. *Amygdalifolia*

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی مرزه تحت تنش خشکی و کاربرد سولفات پتاسیم.
 Table 2. Results of analysis of variance (mean squares) of yield, yield components and biochemical properties of summer savory under drought stress and potassium sulfate application.

Source of Variance	df	Plant height	Number of branches	Stem diameter	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Fresh yield	Dry yield
Block	2	12.57*	476.26**	0.681**	0.889 ^{ns}	0.552 ^{ns}	2.06**	1.82**	9.38**	0.0979**
Fertilizer	3	722.39**	651.14**	34.24**	218.39**	108.72**	104.8**	42.7**	154.07**	0.3239**
Drought stress	2	457.54**	62.38**	40.39**	116.51**	55.18**	374.6**	55.09**	513.35**	0.4189**
Fertilizer × Drought stress	6	140.48**	10.94 ^{ns}	0.185**	1.24 ^{ns}	2.41**	1.49**	2.88**	55**	0.0969**
Error (B × F × S)	12	17.23	11.57	0.491	0.799	0.251	0.79	0.54	4.21	0.0235**
Harvest time	1	514.46**	1791.21**	0.057 ^{ns}	977.85**	206.11**	24.24**	20.68**	15.92**	0.0001 ^{ns}
Drought stress × Harvest time	2	5.42 ^{ns}	213.83**	0.165**	13.93**	2.37*	0.08**	0.069**	0.05 ^{ns}	0.0022 ^{ns}
Fertilizer × Harvest time	3	10.59*	7.01 ^{ns}	0.158**	5.99**	0.187 ^{ns}	0.51**	0.074**	0.07 ^{ns}	0.0069**
Harvest time × Drought stress × Fertilizer	6	7.77*	28.82*	0.09**	6.39**	2.53**	0.09**	0.081**	0.13**	0.0048**
Error	24	2.71	9.95	0.02	1.22	0.553	0.004	0.006	0.04	0.0007

ادامه جدول ۲.
 Table 2. Continued

Source of Variance	df	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoid	Total chlorophyll	Antioxidant activity	Soluble carbohydrate
Block	2	0.04 ^{ns}	5.78 ^{ns}	34.43**	5.9 ^{ns}	1.7 ^{ns}	15.6 ^{ns}
Fertilizer	3	255.19**	201.7**	428.48**	908.62**	616.5**	282.2**
Drought stress	2	682.98**	465.2**	3032.93**	2207.93**	12672.2**	15227.8**
Fertilizer × Drought stress	6	6.56**	13.64**	1851.52**	38.83**	149.6**	103.6**
Error (B × F × S)	12	0.88	4.47	13.95	6.4	11.9**	5.7
Harvest time	1	1487.49**	2143.16**	1317.56**	7201.6**	11815.2**	23002.6**
Drought stress × Harvest time	2	100.73**	171.64**	22.1**	535.12**	40.2**	3863.1**
Fertilizer × Harvest time	3	28.24**	69.49**	8.93 ^{ns}	185.89**	42.8**	58.5**
Harvest time × Drought stress × Fertilizer	6	1.83**	7.59**	23.36**	10.83**	11.1**	50.5**
Error	24	0.46	1.77	3.93	1.88	1.3	6.7

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
^{ns}، * و **: None significant and significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی مرزه تحت تنش خشکی و کاربرد سولفات پتاسیم.
 Table 3. Results of mean comparison of yield, yield components and biochemical properties of summer savory under drought stress and potassium sulfate application.

Harvest time	Drought stress (%FC)	Fertilizer	Number of branches	Stem diameter (mm)	Shoot fresh weight (g/plant)	Shoot dry weight (g/plant)	Root fresh weight (g/plant)	Root dry weight (g/plant)	Fresh yield (t/ha)	Dry yield (t/ha)	
First harvest time	50	0	17.67±4.93c-h	2.00±0.0k	9.00±1.0h-l	4.60±0.52gjk	8.67±0.577s	4.00±1.0m	1.72±0.88j-l	0.04±0.021fg	
		100	19.33±4.51c-h	3.11±0.19lij	11.67±1.528f-i	5.67±0.577h-k	10.33±0.577q	6.52±0.501k	1.28±0.668l-n	0.04±0.01552fg	
		200	24.00±6.08b-e	4.44±0.768h	15.33±0.577d-f	9.00±1.0d-g	13.11±1.018mn	8.00±0.455g	8.00±0.455g	1.94±0.695j-l	0.06±0.0284e-g
		300	33.45±9.01ab	5.33±0.289ef	17.00±1.0c-e	10.49±0.5b-e	13.33±1.155m	8.67±0.577f	8.67±0.577f	3.03±0.05777hi	0.24±0.026d
	75	0	20.00±0.0c-h	4.22±0.387h	11.33±1.528g-j	8.00±1.0e-h	14.00±1.0l	7.33±1.155i	7.33±1.155i	1.83±0.722j-l	0.14±0.089e
		100	26.44±9.64bc	5.77±0.387de	16.67±1.528c-e	10.00±0.0b-f	17.00±1.0g	8.18±1.051g	8.18±1.051g	11.60±0.926d	0.29±0.0952b-d
		200	34.67±3.51ab	7.00±0.0bc	19.33±1.155a-c	10.33±1.155b-e	20.33±1.041b	10.23±0.681c	10.23±0.681c	12.54±1.308c	0.33±0.1017b-d
		300	40.83±4.07a	7.56±0.51a	23.22±1.676a	12.44±1.397ab	20.63±0.548a	11.00±1.0a	11.00±1.0a	16.58±4.66a	0.37±0.1241b
	100	0	17.67±0.577c-h	3.44±0.51i	13.33±1.528e-g	5.67±0.577h-k	15.67±0.577j	9.11±0.746e	9.11±0.746e	0.94±0.292m-o	0.03±0.0223g
		100	21.67±2.89c-g	4.67±1.041gh	18.33±0.577b-d	11.33±0.577a-d	17.67±0.577f	9.00±0.0e	9.00±0.0e	2.36±1.332ij	0.29±0.281b-d
		200	21.74±3.71c-f	5.67±0.577de	19.67±1.528a-c	12.00±1.0a-c	19.56±0.51cd	10.00±0.0c	10.00±0.0c	3.32±0.0764h	0.32±0.218b-d
		300	27.00±2.65bc	6.77±0.387c	21.67±0.577ab	13.41±0.522a	20.33±0.577b	10.67±0.577b	10.67±0.577b	6.55±2.09f	0.71±0.1044a
Second harvest time	50	0	10.33±6.81gh	2.00±0.0k	3.00±1.0n	1.33±0.577l	7.67±0.577t	3.00±1.0n	0.48±0.413o	0.05±0.01153e-g	
		100	12.67±5.51e-h	2.89±0.191j	7.33±2.08k-m	4.33±1.155jk	9.33±0.577r	5.48±0.501l	5.48±0.501l	0.5±0.458o	0.06±0.00643e-g
		200	15.00±6.24d-h	4.22±0.387h	7.00±1.0lm	5.00±1.0i-k	11.22±1.072p	6.99±0.545j	6.99±0.545j	1.27±0.321l-n	0.06±0.0572e-g
		300	21.89±9.14c-f	5.33±0.289ef	11.00±1.0g-k	7.33±0.577f-i	12.33±1.155o	7.67±0.577h	7.67±0.577h	2.00±0.0j-l	0.13±0.055ef
	75	0	8.67±3.06h	5.11±0.191fg	8.67±0.577i-m	4.33±0.577jk	13.00±1.0n	6.33±1.155k	6.33±1.155k	0.96±0.404m-o	0.28±0.1053b-d
		100	12.00±5.57f-h	5.89±0.191d	8.67±0.577i-m	6.67±0.577g-j	16.00±1.0i	7.11±1.018ij	7.11±1.018ij	10.71±0.578e	0.27±0.1116cd
		200	16.44±8.26c-h	7.00±0.0bc	12.00±0.0f-i	8.00±0.0e-h	18.33±1.041e	9.28±0.625e	9.28±0.625e	11.26±1.612de	0.28±0.0996b-d
		300	18.83±8.89c-h	7.44±0.51ab	13.78±0.387e-g	9.30±0.577c-g	19.70±0.612c	10.00±1.0c	10.00±1.0c	15.48±4.66b	0.35±0.1045bc
	100	0	9.33±4.93h	3.56±0.51i	5.00±0.0mn	3.33±0.577kl	14.67±0.577k	7.33±0.546i	7.33±0.546i	0.55±0.229no	0.03±0.0223g
		100	13.33±8.39e-h	4.67±1.041gh	7.67±0.577j-m	5.67±0.577h-k	16.67±0.577h	8.00±0.0g	8.00±0.0g	1.53±0.934k-m	0.29±0.281b-d
		200	21.04±5.51c-g	5.67±0.577de	11.33±0.577g-j	8.00±0.0e-h	18.44±0.51e	9.00±0.0e	9.00±0.0e	2.22±0.0764jk	0.32±0.218b-d
		300	25.22±5.7b-d	6.89±0.191c	12.67±0.577f-h	9.00±0.0d-g	19.33±0.577d	9.67±0.577d	9.67±0.577d	5.45±2.09g	0.71±0.1044a

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون Bonferroni می باشد.

Similar letters in each column shows non-significant difference according to Bonferroni test at 5% level.

ادامه جدول ۳
Table 3. Continued

Harvest time	Drought stress (%FC)	Fertilizer	Chlorophyll a (mg g-IFW)	Chlorophyll b (mg g-IFW)	Carotenoid (mg g-IFW)	Total chlorophyll (mg g-IFW)
First harvest time	50	0	16.27±1.419e	14.33±0.577c	8.67±1.155j-m	30.60±1.442de
		100	21.33±1.528d	20.67±1.155b	8.33±3.06j-m	42.00±2.65c
		200	26.67±0.577b	25.00±1.0ab	13.00±4.36ij	51.67±1.155b
		300	29.67±0.577a	27.67±0.577a	23.33±1.528gh	57.33±0.577a
	75	0	11.33±1.528gh	10.67±2.08e-f	22.67±2.52gh	22.00±2.65fg
		100	14.72±1.435ef	11.67±0.577c-e	23.33±5.13gh	26.39±1.99ef
		200	16.67±0.577e	15.00±1.0c	40.66±0.577c-e	31.67±1.155d
		300	24.00±1.73c	25.67±3.79a	51.33±1.528b	49.67±2.08b
	100	0	4.00±1.0kl	3.00±1.0ijk	37.33±3.21de	7.00±2.0k-m
		100	7.36±0.918ij	7.67±1.528d-i	65.33±2.08a	15.02±2.22hi
		200	10.33±1.155h	9.33±1.155d-g	12.00±1.0i-k	19.67±2.31gh
		300	13.33±0.577fg	12.33±0.577cd	18.67±6.03hi	25.67±1.155ef
Second harvest time	50	0	7.47±0.45li	3.92±0.1443h-k	3.00±1.73m	11.38±0.465i-k
		100	10.00±1.0h	4.73±0.462g-k	4.00±1.73lm	14.73±0.643hi
		200	11.83±0.764gh	6.92±1.88e-j	5.67±2.08k-m	18.75±1.89gh
		300	13.33±0.577fg	8.33±2.08d-h	13.00±2.0ij	21.67±2.52fg
	75	0	4.10±0.361kl	2.33±0.289jk	13.00±2.0ij	6.43±0.513k-m
		100	5.00±0.0jkl	3.50±0.5i-k	15.33±3.51ij	8.50±0.5j-m
		200	7.50±0.5i	4.50±0.5h-k	34.00±1.73ef	12.00±0.5ij
		300	11.17±0.764gh	6.67±1.258f-j	43.33±2.08cd	17.83±0.577gh
	100	0	1.50±0.5m	3.25±4.98i-k	27.00±4.0fg	4.75±5.43m
		100	3.86±0.799lm	1.75±0.901k	47.00±5.2bg	5.16±1.61lm
		200	4.50±0.5kl	2.33±1.269jk	5.68±1.528k-m	6.83±1.77k-m
		300	6.33±0.289ijk	3.83±0.577h-k	11.00±4.58j-l	10.17±0.764i-l

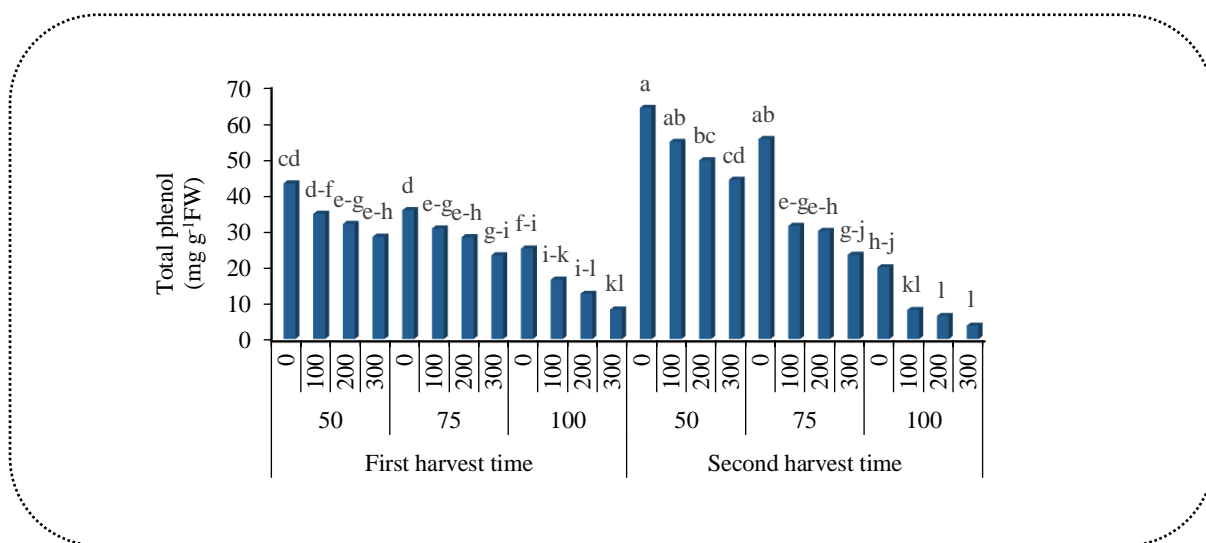
Similar letters in each column shows non-significant difference according to Bonferroni test at 5% level.

۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی میزان ترکیبات فنلی در هر دو چین برداشت از روندی کاملاً صعودی برخوردار بود. به طوری که بیشترین (۶۳/۸۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) محتوای فنل کل در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (عدم کاربرد کود) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود) به میزان ۲۲۲/۶۳ درصد با افزایش همراه بود (شکل ۳). نتایج پژوهش‌هایی که در گیاه نعناع سبز (Rostami et al., 2019) و مرزه (Alizadeh et al., 2020) انجام گرفت، نشان داد که میزان ترکیبات فنلی طی تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند که مطابق با نتایج این پژوهش می‌باشد. ترکیبات

علاوه بر این پتاسیم تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه را کاهش می‌دهد، که به نوبه خود باعث کاهش آسیب اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2018). در این پژوهش، چین برداشت تاثیر معنی داری بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه داشت، به طوری که در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود) در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به میزان ۴۶/۵۱ درصد با کاهش همراه بود (جدول ۳).

محتوای فنل کل

طبق نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت در سطح احتمال یک درصد بر محتوای فنل کل برگ مرزه معنی دار بود (جدول



شکل ۳- اثر متقابل کود سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر میزان محتوای فنل کل مرزه در دو چین برداشت.

Figure 3. The interaction effect of potassium sulfate fertilizer (0, 100, 200, 300 kg h⁻¹) and drought stress (50, 75, 100 %FC) on total phenolic content of summer savory in two harvest times.

عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم) با افزایش همراه بود. در پژوهشی که در زیتون رقم آمیگدا لیفولیا^۱ صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که با افزایش سطح نیترات پتاسیم میزان ترکیبات فنلی در گیاه کاهش پیدا کرد (Ramezani and Shkafandeh Nobandagani, 2012) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. ترکیبات فنلی معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی و تغذیه‌ای قرار می‌گیرند (Bravo, 1998). دلیل کاهش میزان ترکیبات فنلی در این پژوهش را اینگونه می‌توان بیان کرد که پتاسیم با افزایش پایداری غشای سلول و همچنین افزایش استحکام بافت‌های گیاه، رشد ریشه، سطح برگ و وزن خشک کل گیاه تحت شرایط کم آبیاری و بهبود جذب و نگهداری آب سبب تعدیل اثرات زیانبار تنش خشکی می‌شود (Wang et al., 2013).

کربوهیدرات محلول

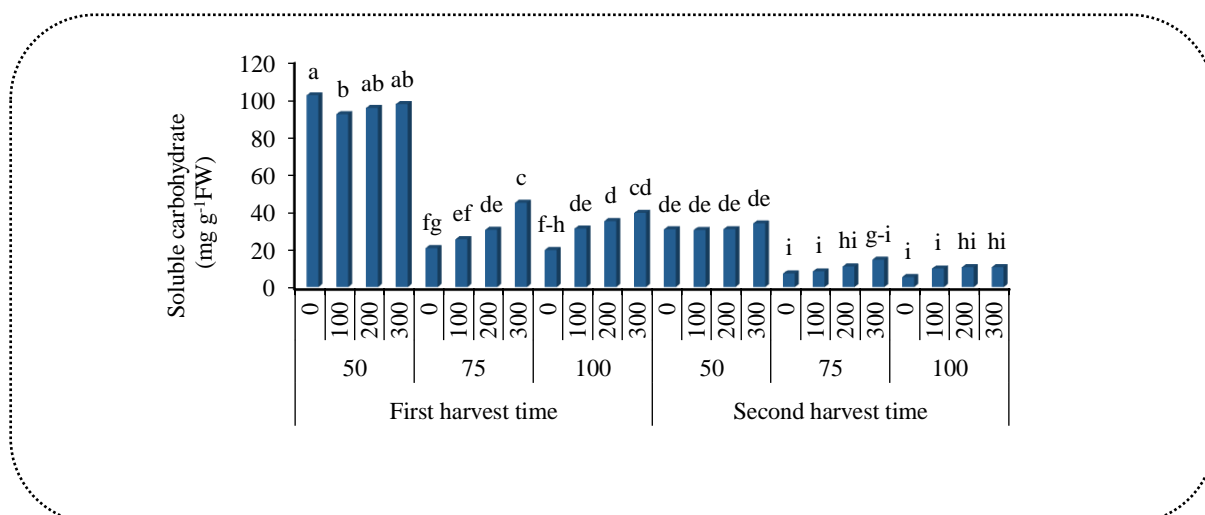
نتایج نشان داد که اثرات متقابل کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت بر محتوای کربوهیدرات محلول برگ گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد

فنلی در سیستم دفاعی گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش مهمی ایفا می‌کنند. ترکیبات فنلی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه می‌توانند در طول دوره تنش خشکی از گیاهان محافظت کنند (Ghasemi Pirbalouti et al., 2014). ترکیبات فنلی می‌توانند از پراکسیداسیون لیپید جلوگیری کرده و هنگامی که گیاهان در معرض شرایط مختلف استرس‌زا قرار می‌گیرند، اشکال مختلف اکسیژن فعال را از بین ببرند (Thanh Quan et al., 2016). براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با افزایش سطوح کود سولفات پتاسیم محتوای فنل کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که کمترین میزان فنل کل (۳/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار کودی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳) که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) در همین سطح رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌میزان ۸۱/۳۶ درصد با کاهش همراه بود. همچنین چین برداشت تأثیر معنی‌داری بر محتوای فنل کل در گیاه مرزه داشت، به‌طوری‌که میزان فنل کل در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به مقدار ۴۸/۷ درصد (۵۰ درصد ظرفیت زراعی و

1. *Olea europaea* L. cv. *Amygdalifolia*

2018) و علاوه بر این از طریق کاهش تعرق باعث افزایش تحمل تنش خشکی در گیاه می شود (Guo et al., 2018). استفاده از کود سولفات پتاسیم باعث افزایش محتوای کربوهیدرات محلول در گیاه شد (جدول ۳). همچنین چین های مختلف برداشت تاثیر معنی داری بر میزان کربوهیدرات محلول در گیاه مرزه داشت. نتایج حاکی از آن بود که مقدار کربوهیدرات محلول در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد. مطابق با نتایج این پژوهش، سایر محققین اعلام کردند که محلول پاشی پتاسیم در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول در گیاه دارویی نعناع فلفلی شد (Saedi et al., 2020). پتاسیم نقش کلیدی در متابولیسم قند در شرایط تنش خشکی ایفاء می کند (Allah et al., 2020). نتایج مطالعات قبلی نشان داده است که پتاسیم در تحریک فعالیت آنزیم های تجزیه کننده کربوهیدرات نقش دارد (Hu et al., 2015) که خود می تواند دلیلی برای افزایش میزان کربوهیدرات محلول در این پژوهش باشد.

معنی دار شد (جدول ۲). با توجه به یافته های این مطالعه، با افزایش تنش خشکی، میزان کربوهیدرات محلول به طور قابل توجهی افزایش یافت (شکل ۴). بیشترین میزان کربوهیدرات محلول (۱۰۱/۶۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم) مشاهده شد، که در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به میزان ۴۱۶/۸۹ درصد با افزایش همراه بود. نتایج پژوهشی که بر روی گیاه مرزه صورت گرفت بیانگر این مطلب بود، که میزان کربوهیدرات محلول در طی تنش خشکی افزایش پیدا کرد (Alizadeh et al., 2020)، که هم راستا با نتایج این تحقیق می باشد. افزایش میزان کربوهیدرات های محلول در شرایط تنش خشکی باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می شود و همچنین فعالیت متابولیسمی گیاه را در این شرایط حفظ می کند (Patakas, 2000). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش، علاوه بر نقش های مهم فیزیولوژیکی که در تأمین انرژی و جلوگیری از مرگ حتمی گیاه ایفاء می کنند، همچنین از طریق تنظیم اسمزی موجب بالا نگاه داشتن محتوای نسبی آب در گیاه شده (Benhmimou et al.,



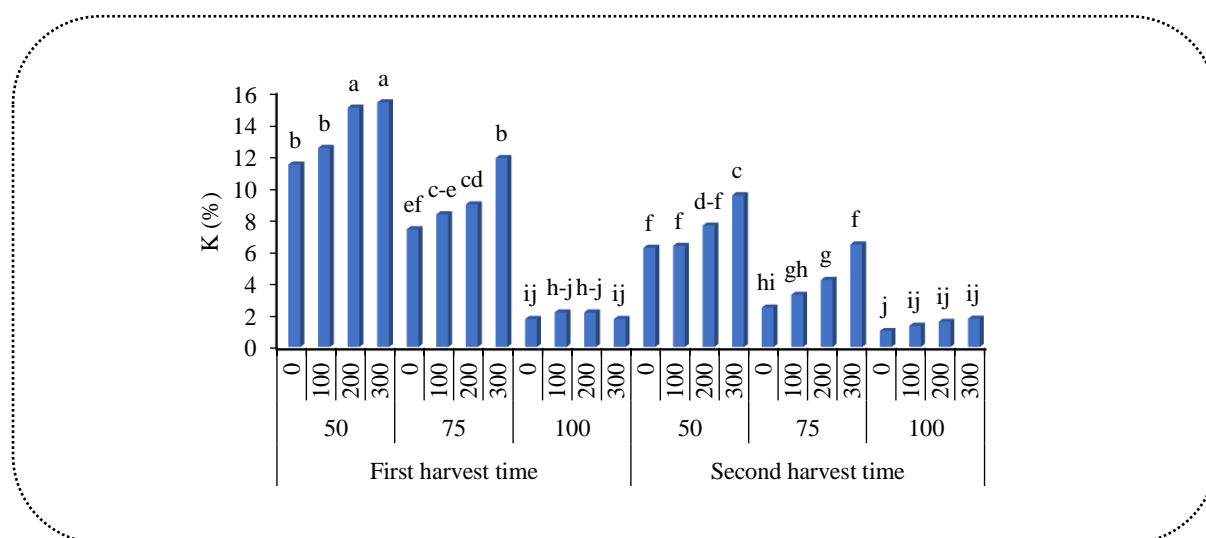
شکل ۴- اثر متقابل کود سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر میزان کربوهیدرات محلول برگ مرزه در دو چین برداشت

Figure 4. The interaction effect of potassium sulfate fertilizer (0, 100, 200, 300 kg h⁻¹) and drought stress (50, 75, 100 %FC) on soluble carbohydrates content in leaves of summer savory in two harvest times.

پتاسیم

۵). به طوری که بیشترین میزان جذب پتاسیم (۱۵/۳۳ درصد) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد کود سولفات پتاسیم (۳۰۰ کیلوگرم برهکتار) مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد کود) به میزان ۳۴/۱۲ درصد با افزایش همراه بود (شکل ۵). همچنین زمان برداشت تاثیر معنی داری بر میزان جذب پتاسیم در گیاه مرزه داشت، به طوری که در بالاترین سطح تنش و عدم کاربرد کود سولفات پتاسیم میزان جذب پتاسیم در چین دوم برداشت در مقایسه با چین اول برداشت به مقدار ۴۳/۸۳ درصد با کاهش همراه بود. کاربرد کود پتاسیم باعث افزایش اسیدیته خاک و عدم تثبیت پتاسیم می شود که افزایش دسترسی این عنصر در خاک و جذب آن در گیاه را به دنبال خواهد داشت (Javanmard et al., 2015). محققین در پژوهش های خود که بر روی گوجه فرنگی (Seyed Hajizadeh et al., 2021) و همیشه بهار (Bahrampoor et al., 2019) انجام دادند، اعلام کردند که کاربرد کود پتاسیم سبب افزایش جذب عنصر پتاسیم در گیاه می شود که همراستا با نتایج این پژوهش می باشد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل کود سولفات پتاسیم، تنش خشکی و چین برداشت بر میزان جذب پتاسیم برگ گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). با توجه به یافته های این مطالعه، با افزایش تنش خشکی، میزان جذب پتاسیم به طور قابل توجهی در مرزه افزایش یافت (شکل ۵). به طوریکه در بالاترین سطح تنش (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در چین اول برداشت با افزایش به میزان ۸۷۶/۴۳ درصد همراه بود (جدول ۳). در پژوهشی که بر روی درخت انار رقم نادری در شرایط تنش خشکی و محلول پاشی با کود آمینواسیددار در شرایط تنش خشکی صورت گرفت، نتایج بیانگر این مطلب بود که در طی اعمال تنش خشکی میزان جذب پتاسیم در گیاه افزایش پیدا کرد (Hasanzade et al., 2015). نحوه ی جذب فعال یون پتاسیم دلیل افزایش آن در طی تنش خشکی می باشد (Cakmak, 2005). بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش سطوح کود سولفات پتاسیم میزان جذب پتاسیم به طور معنی داری افزایش یافت (شکل



شکل ۵- اثر متقابل سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر میزان جذب پتاسیم در مرزه تحت دو چین برداشت.

Figure 5. The interaction effect of potassium sulfate fertilizer (0, 100, 200, 300 kg h⁻¹) and drought stress (50, 75, 100 %FC) on potassium absorption in summer savory in two harvest times.

نتیجه گیری

خصوصیات مورد بررسی در این پژوهش در چین دوم برداشت در گیاه مشاهده شد. نتایج این پژوهش بیانگر این مطلب بود که کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم بهترین نتیجه را در شرایط تنش خشکی در گیاه مرزه داشت. در پایان پیشنهاد می گردد که مطالعه اثر سایر تنش های محیطی بر روی گیاه مرزه در شرایط کاربرد کود سولفات پتاسیم نیز مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت های مالی دانشگاه فردوسی مشهد دانشکده کشاورزی قدردانی می گردد.

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی دار خصوصیات رشدی، عملکرد و میزان کارتنوئید در گیاه مرزه گردید؛ اما سبب افزایش معنی دار کلروفیل a، b، کل، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل و کربوهیدرات محلول در گیاه شد. کاربرد کود سولفات پتاسیم خسارات ناشی از تنش خشکی را در گیاه کاهش داد. به طوری که باعث افزایش خصوصیات رشدی، عملکرد، رنگیزه های فتوسنتزی و کربوهیدرات محلول در گیاه شد؛ ولی میزان فعالیت آنتی اکسیدانی و فنل کل در شرایط کاربرد کود سولفات پتاسیم از روندی نزولی برخوردار بودند. نتایج نشان داد که کمترین مقادیر تمامی

منابع

- Alizadeh, A., Moghaddam, M., Asgharzade, A., and Sourestani, M.M. 2020. Phytochemical and physiological response of *Satureja hortensis* L. to different irrigation regimes and chitosan application. *Industrial Crops and Products*. 158: 112990.
- Askarnejad, M., Sodaeeizadeh, H., Mosleh Arani, A., and Yazdani-Biouki, R. 2019. Effect of silicon on some characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*. 20(1): 21-30.
- Bahrampoor, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., and Gholamnezhad, J. 2019. Effect of different substrates and nano potassium fertilizer on morpho-physiological characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Horticultural Science and Technology*. 20(1): 65-78.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., and Pereira, A. 2016. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*. 5: 1554.
- Benhmimou, A., Ibriz, M., Al Faiz, C., Gaboun, F., Shaimi, N., Amchra, F., and Lage, M. 2018. Effects of water stress on growth, yield, organic matter (percentage) nitrogen (ppm) quality and physiological responses of two stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) varieties in Rabat region, Morocco. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 6: 21-34.
- Bravo, A. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*. 56(11): 317-333.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 521-530.
- Danish, S., and Zafar-Ul-Hye, M. 2019. Co-application of ACCdeaminase producing PGPR and timber-waste biochar improves pigments formation, growth and yield of wheat under drought stress. *Scientific Reports*. 9(1): 1-13.
- Davis, J.L., Armengaud, P., Larson, T.R., Graham, I.A., White, P.J., Newton, A.C., and Amtmann, A. 2018. Contrasting nutrient-disease relationships: potassium gradients in barley leaves have opposite effects on two fungal pathogens with different sensitivities to jasmonic acid. *Plant Cell and Environment*. 41: 2357-2372

- Dewdar, M.D.H., and Rady, M.M. 2013. Influence of soil and foliar applications of potassium fertilization on growth, yield and fiber quality traits in two *Gossypium barbadense* L. varieties. African Journal of Agricultural Research. 8(19): 2211-2215.
- Emami, A. 1996. Methods of plant decomposition. Publications of Soil and Water Research Institute.
- Eyni-Nargeseh, H., Aghaalikhani, M., Shirani Rad, AH., Mokhtassi-Bidgoli, A., and Modares Sanavy, S.A.M. 2020. Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. Archives of Agronomy and Soil Science. 66(1): 126-137.
- Farahani, S., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., and Noormohammadi, G. 2019. Effect of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of canola cultivars upon late-season drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition. 42(13):1543-1555.
- Farsari, S., and Moghaddam, M. 2020. Morphophysiological and biochemical response of basil cultivar Keshkeni luvelluo under salinity stress and super absorbent polymers application. Journal of Plant Research. 33(4): 973-984.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Samani, M.R., Hashemi, M., and Zeinali, H. 2014. Salicylic acid affects growth, essential oil and chemical compositions of thyme (*Thymus daenensis Celak.*) under reduced irrigation. Plant Growth Regulation. 72 (93): 289-301.
- Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S., and Makarian, H. 2020. Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Horticultural Plants Nutrition. 3(1): 51-68.
- Guo, R., Shi, L.X., Jiao, Y., Li, M.X., Zhong, X.L., Gu, F.X., Liu, Q., Xia, X., and Li, H.R. 2018. Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought sensitive wheat genotype seedlings. Annals of Botany Plants. 10(2): ply016.
- Hajhashemi, V., Sadraei, H., Ghannadi, A.R., and Mohseni, M. 2000. Antispasmodic and anti-diarrhoeal effect of *Satureja hortensis* L. essential oil. Journal of Ethnopharmacology. 71(1-2): 187-192.
- Hasanuzzaman, M., Bhuvan. M.H.M., Nahar, K., Hossain, M., Mahmud, J.A., Hossen, M., Masud, A.A.C., and Fuiita, M. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. Agronomy. 8(3): 31.
- Hasanzade, S., Habibi, F., Amiri, M., and Naeni, M. 2017. Study of aril and leaf mineral composition of pomegranate cv. Naderi with spraying fertilizer containing amino acid under drought stress conditions. Journal of Horticultural Science. 48(1): 229-236
- Hu, W., Yang, J., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., Zhao, W., Oosterhuis, D.M., and Zhou, Z. 2015. Potassium application affects carbohydrate metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll and its relationship with boll biomass. Field Crops Research. 179: 120-131.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., and Nawaz, A. 2018. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. Agriculture Water Management. 201: 152-167.
- Ibrahim, M.F., Ibrahim, H.A., and Abd El-Gawad, H.G. 2020. Folic acid as a protective agent in snap bean plants under water deficit conditions. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 96(1): 94-109
- Jamshidi, A., Ahmadi, A., Karimi, M., and Motesharezadeh, B. 2020. Evaluation of some growth and physiological responses of Chia (*Salvia hispanica* L.) to various moisture regimes. Iranian Journal of Field Crop Science. 50(4): 99-110

- Javanmard, A., Mustafavi, H., Khezri, A., and Mohammadi, S. 2015. Improvement of macro and micro nutrients accumulation in maize (*Zea mays* L.) grain by application of chemical and biological fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25(2-1): 27-30.
- Johnson, S.M., Doherty, S.J., and Croy, R.R.D. 2003. Biphasic superoxide generation in potato tubers: self-amplifying response to stress. *Plant Physiology*. 131(3): 1440-1449.
- Junior, S.D.O.M., de Andrade, J.R., dos Santos, C.M., Silva, A.L.J., Endres, L., Silva, J.V., and dos Santos Silva, L.K. 2020. Osmoregulators' accumulation minimizes the effects of drought stress in sugarcane and contributes to the recovery of photochemical efficiency in photosystem II after rewatering. *Acta Physiologiae Plantarum*. 42(4): 1-11.
- Kambe, T., Tsuji, T., Hashimoto, A., and Itsumura, N. 2015. The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. *Physiological Reviews*. 95: 749-784.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N., and Barzegar, M. 2015. The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard' grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chemistry*. 166: 35-41.
- Kumar, R., Shahi, S., and Srivastava, M. 2019. Amelioration of drought stress in black matpe bean (*Vigna mungo* L.) by foliar application of potassium. *Indian Journal of Agricultural Research*. 53(3): 327-332.
- Lu, Z., Xie, K., Pan, Y., Ren, T., Lu, J., Wang, M., Shen, Q., and Guo, S. 2019. Potassium mediates coordination of leaf photosynthesis and hydraulic conductance by modifications of leaf anatomy. *Plant Cell and Environment*. 42: 2231-2244.
- Lutts, S., Kinet, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78(3): 389-398.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., and Vanbreusegem, F. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Science*. 9(10): 490-498.
- Mohammadi Torkashvand, A., Tofighi Alikhani, T., Kaviani, B., and Ghasemnejad, M. 2018. Impact of potassium on the yield of lily (*Lilium longifolium* × Asiatic cv. Termoli) and antioxidant enzymes activity under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*. 7(25): 29-38.
- Moon, J.H., and Terao J. 1998. Antioxidant activity of caffeic acid and dihydrocaffeic acid in lard and human low-density lipoprotein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(12): 5062-5065.
- Paquin, R., and Lechasseur, P. 1979. Observation sur la méthode de dosage de la proline libérée dans les extraits de plantes. *Canadian Journal Botany*. 57: 1851-1854.
- Patakas, A. 2000. Changes in the solutes contributing to osmotic potential during leaf ontogeny in grapevine leaves. *American Journal of Enology and Viticulture*. 51(3): 223-226.
- Paul, S., Aggarwal, C., Manjunatha, B., and Rathi, M.S. 2018. Characterization of osmotolerant rhizobacteria for plant growth promoting activities in vitro and during plant microbe association under osmotic stress. *Indian Journal of Experimental Biology*. 56(8): 582-589.
- Ramezani, S., and Shkafandeh Nobandagani, A. 2012. Influence of Zn and K sprays on fruit and pulp growth in olive (*Olea europaea* L. cv. 'Amygdalifolia'). *Iranian Agricultural Research*. 30(1-2): 1-10.
- Rostami, G., Moghaddam, M., Saeedi Pooya, E., and Ajdanian, L. 2019. The effect of humic acid foliar application on some morphophysiological and biochemical characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1): 95-110.

Saedi, F., Sirousmehr, A., and Javadi, T. 2020. Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. Journal of Plant Research. 33(1): 35-45.

Schutz, M., and Fangmeir, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. Environmental Pollution. 114: 187-194.

Seyed Hajizadeh, H., Kamrani Alileh, M., Behtash, F., and Mousavi, S. 2021. Interaction effect of cadmium and potassium on the antioxidant activity and nutrients concentration of tomato. Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology. 11(4): 33-49.

Singleton, V.L., and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3): 144-158.

Sodaiizadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, AM., and Hakimzadeh, M.A. 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. Journal of Plant Process and Function. 5(15). 1-12.

Thanh Quan, N., Anh, L.H., Khang, D.T., Thi Tuyen, P., Toan, N.P., Minh, L.T., Bach, D.T., Thu Ha, P.T., Elzaawely, A.A., Khanh, T.D., Trung, K.H., and Xuan, T.D. 2016. Involvement of secondary metabolites in response to drought stress of rice (*Oryza sativa* L.). Agriculture. 6(2): 1-14.

Ul-Allah. S., Ijaz. M., Nawaz. A., Sattar. A., Sher. A., Naeem. M., and Mahmood. K. 2020. Potassium application improves grain yield and alleviates drought susceptibility in diverse maize hybrids. Plants. 9(1): 75.

Wang. M., Zheng. O., Shen. O., and Guo, S. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Sciences. 14: 7370-7390.

Xu, J., Zhou, Y., Xu, Z., Chen, Z., and Duan, L. 2020. Combining physiological and metabolomic analysis to unravel the regulations of coronatine alleviating water stress in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). Biomolecules. 10(1): 99.

Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., and Abbassi, F. 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. African Journal of Agricultural Research. 6(4): 798-807.

Yuncaı, H., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of the effects of drought and salinity. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 168: 541-549.

Zafar, S., Ashraf, M.Y., and Saleem, M. 2018. Shift in physiological and biochemical processes in wheat supplied with zinc and potassium under saline condition. Journal of Plant Nutrition 41: 19-28.

Zahoor. R., Dong. H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., and Zhou, Z. 2017 a. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. Environmental and Experimental Botany. 137: 73-83.

Zahoor, R., Zhao, W., Abid, M., Dong, H., and Zhou, Z. 2017 b. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress. Journal of Plant Physiology. 215: 30-38.