Journal of Plant Environmental Physiology
ISSN: 7671-2423 (Print), 2783-4689 (Online) http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.679554
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.65.6.9

Islamic Azad University
Gorgan Branch

The effect of nano-potassium fertilizer, potassium sulfate, and salicylic acid on physiological characteristics of *Calendula officinalis* L. under water stress

Somayeh Erfani Alamdari[1], Mohammad Ali Rezaei[1]*, Farhad Farahvash[2], Mehr Ali Mahmoud Janloo[1]

[1]Department of Biology, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran, Email: m.rezaee@gorganiau.ac.ir
[2]Department of Biology, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Serial 65, 17th year, Number 1, Spring 2022 (71-91)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2020/09/22
Revised: 2020/10/23
Accepted: 2020/11/1

Keywords
Proline
Photosynthetic pigments
Catalase
Glycine betaine
Calendula officinalis L.

Abstract

Water deficiency is one of the limiting factors for growth, and oxidative stress is a secondary stress resulting from drought and dehydration. In order to study the effects of levels of potassium nano-chelate fertilizers, potassium sulfate, and salicylic acid on mitigating the effects of drought in terms of a number of physiological indicators of *Calendula officinalis* L., an experiment was performed as a factorial based on a completely randomized design with three replications in 1398 in the Research Greenhouse of the Islamic Azad University, Gorgan Branch. Factors involved included irrigation at two levels, consumption of potassium fertilizer at two levels of potassium nano-chelate and potassium sulfate, and salicylic acid at three levels of zero, one and two milliliters. Physiological traits including photosynthetic pigments, proline, total phenols, superoxide dismutase, catalase, soluble sugars, protein, and glycine betaine were evaluated. Based on the results of this study, dehydration stress significantly increased the levels of proline, peroxidase, catalase, glycine betaine, and sugar while reducing the levels of chlorophyll a, b, and total of leaves and also total protein. Foliar application of salicylic acid under drought stress significantly increased sugar, total protein, glycine betaine, and total phenol. Generally, application of potassium nano-chelate and potassium sulfate improved plant tolerance in drought stress conditions and increased physiological traits compared to control.

Please cite this article as Sara Somayeh Erfani Alamdari, Mohammad Ali Rezaei, Farhad Farahvash, Mehr Ali Mahmoud Janloo. 2022. The effect of nano-potassium fertilizer, potassium sulfate, and salicylic acid on physiological characteristics of *Calendula officinalis* L. under water stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 65(1): 71-91.

© 2022. All Rights Reserved

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی
http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir شاپا: (چاپی) ۲۴۲۳-۷۶۷۱ (آنلاین) ۴۶۸۹-۲۷۸۳،
Doi: 10.30495/iper.2021.679554
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.65.6.9
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

بررسی اثر کود نانوکلات پتاسیم، سولفات پتاسیم و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش کمبود آب

سمیه عرفانی علمداری[۱]، محمدعلی رضایی[۱*]، فرهاد فرح وش[۲]، مهرعلی محمود جانلو[۱]

[۱]گروه زیست‌شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران،رایانامه: m.rezaee@gorganiau.ac.ir

[۲]گروه زیست‌شناسی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

سال هفدهم، شماره ۶۵، بهار ۱۴۰۱ / صفحات: ۹۱-۷۱

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹ /۰۷/۱
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

واژه‌های کلیدی:
پرولین
رنگیزه‌های فتوسنتزی
کاتالاز
گلایسین بتائین
همیشه‌بهار

چکیده

کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد می‌باشد و تنش اکسیداتیو به‌عنوان یک تنش ثانویه در نتیجه تنش خشکی و کم آبی بوجود می‌آید. به‌منظور بررسی سطوح کودهای نانوکلات پتاسیم، سولفات پتاسیم و سالیسیک اسید در کاهش اثرات کم آبی بر تعدادی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان انجام شد. عامل‌های مورد بررسی شامل آبیاری در دو سطح، مصرف کود پتاسیم در دو سطح نانوکلات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و سولفات پتاسیم (۲/۵ گرم در لیتر) و سالیسیلک اسید در سه سطح صفر، یک و دو میلی‌مولار بودند. صفات فیزیولوژیکی از قبیل رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، فنل کل، فعالیت آنزیم سوپراکسیداز و کاتالاز، قندهای محلول، پروتئین و گلایسین بتائین مورد ارزیابی قرار گرفت. برپایه نتایج بدست آمده از این پژوهش تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری میزان پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز وکاتالاز، مقدار گلایسین بتائین و قندهای محلول را افزایش داده و میزان کلروفیل a، b، کل برگ و پروتئین کل را کاهش داد. کاربرد برگی اسیدسالیسیلک در شرایط تنش کم آبی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قندهای محلول، پروتئین کل، گلایسین بتائین و فنل کل شد. به‌طورکلی کاربرد نانوکلات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث بهبود تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی شد و موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی نسبت به شاهد گشت.

استناد: سمیه عرفانی علمداری، محمدعلی رضایی، فرهاد فرح وش، مهرعلی محمود جانلو. (۱۴۰۱). بررسی اثر کود نانوکلات پتاسیم، سولفات پتاسیم و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش کمبود آب. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۵ (۱)، ۹۱-۷۱.

مقدمه

گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendual officinals* L.) از خانواده Asteraceae و یکی از معروفترین و پرکاربردترین گیاهان دارویی است. این گیاه به‌طور وسیعی به‌منظور استفاده از عصاره آن در طب سنتی و گیاه درمانی پرورش می‌یابد. عمده‌ترین مواد مؤثره همیشه بهار شامل ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، کومارین، کوییونون، اسانس، کارتنوئید و اسیدهای آمینه می‌باشد (Butnariu and Zepa Coradini, 2012). عصاره همیشه بهار دارای اثرات دارویی از قبیل التیام زخم، ضدالتهاب، ضدباکتری، تحریک ایمنی، ضدتومور، ضدایدز و غیره است (Azzaz et al., 2007) اثرات ضدویروسی، ضدتوموری، آنتی‌موتاژنی و آنتی‌اکسیدانی گل‌های همیشه بهار نیز مشخص شده است. اما در حال حاضر، یکی از مهمترین استفاده‌های آن، درمان بیماری‌های پوستی و التهابی، درمان سوختگی‌ها و خراشیدگی‌های خفیف، محافظت کبدی، ضداسپاسم، محافظت از نور و آفتاب سوختگی‌ها می‌باشد (Butnariu and Zepa Coradini, 2012; Jiménez-Medina et al., 2006; Pintea et al., 2003; Okoh et al., 2008; Butnariu and Zepa Coradini, 2012). گل‌های همیشه‌بهار همراه با کاسبرگ و یا بدون آن، در برخی از فارماکوپه‌ها به‌عنوان دارو معرفی شده‌اند (Omidbaigi, 2008).

تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که تولید محصولات زراعی را کاهش می‌دهد (Lambers et al., 2008). میانگین بارندگی سالیانه ۲٤۰ میلی‌متر، ایران را در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرارداده است و تنش خشکی، به‌ویژه در اواخر فصل (مراحل انتهایی رشد) یکی از مهمترین و شایع‌ترین عوامل محدودکنندهٔ رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید (Turhan and Baser, 2004). رطوبت کم خاک منجر به کمبود عناصر کم مصرف به‌ویژه عناصر آهن و روی در گیاه می‌شود (Sanches-Rodrigues et al., 2010). کاربرد خاکی مواد غذایی تحت شرایطی که آب در دسترس کم است، در افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به شاخ و برگ گیاه همیشه مؤثر نیست، در چنین شرایطی کاربرد کودها در خاک در نتیجه افزایش شوری محلول خاک می‌تواند مضر باشد و استفاده از روش محلول پاشی شاخ و برگ گیاه مفیدتر از کاربرد خاکی مواد غذایی برای بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه است (Marshener, 2012). اخیراً به عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانو ذرات توجه بسیاری شده است. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica and Cremonini, 2009). نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو است (Zhu et al., 2008). گزارش‌هایی مبنی بر تاثیر مثبت مواد غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان از جمله بادام زمینی (Prasad et al., 2012)، نخود (Pandey et al., 2010)، اسفناج (Yang et al., 2006) و ریحان (Peyvandi et al., 2011) وجود دارد.

پتاسیم نقش اصلی در فعالیت رشد و نمو گیاهان دارد. همچنین، این عنصر دارای نقش فیزیولوژیکی در رابطه با سلامت گیاه و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. کمبود پتاسیم به‌صورت ضعف در رشد و کاهش عملکرد کمی و کیفی نمود پیدا می‌کند. نقش فیزیولوژیک پتاسیم شامل فعال کردن آنزیم‌ها، متعادل کردن سنتز تزکیبات آلی، روابط آبی گیاه و کنترل روزنه‌ها، فتوسنتز، انتقال مواد زیستی، پاسخ گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و تنش‌های زیستی (Oosterhuit et al., 2013)، جلوگیری از پیری گیاه،

حفظ ظرفیت مقصد در گیاه (Lv et al., 2017) و تسریع در بهبود اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Zahoor et al., 2017).

تاکنون گزارش‌هایی در مورد تاثیر پتاسیم در کاهش تنش کم آبی (Martineau et al., 2017)، تنش شوری (Ullah Jan et al., 2017)، تنش سرما (Karimi, 2017)، بیماری‌های قارچی (Zimerman-Lax et al., 2018) ارائه شده است. اعتقاد بر این است افزایش دسترسی گیاه به پتاسیم در شرایط استرس کم آبی باعث افزایش جذب آب توسط سلول‌های ریشه خواهد شد که در نتیجه باعث افزایش پتانسیل اسمزی و گسترش ریشه‌ها شده و این امر موجب دسترسی به آب و عناصر غذایی مانند نیتروژن و افزایش رشد و نمو می‌گردد (Grzebisz et al., 2013). بنابراین، کاربرد کودهای حاوی پتاسیم باعث افزایش کارآیی مصرف آب و عملکرد تحت شرایط استرس کم آبی نسبت به شرایط عدم کفایت پتاسیم می‌گردد (Martineau et al., 2017). نتایج یک تحقیق نشان داد که کاربرد پتاسیم به هر دو شکل کلرید پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث کاهش تأثیر تنش کم آبی دورهای بر رشد و فیزیولوژی برنج گردید که کارآیی کلرید پتاسیم از سولفات پتاسیم در کاهش تنش کم آبی بیشتر بود (Amelia Muhd Zain and Razi Ismail, 2016). نتایج برخی تحقیقات نشان‌دهنده تأثیر مثبت پتاسیم در کاهش تنش خشکی در گلرنگ (Abedi Baba Arabi et al., 2012)، توتون (Norastehnia and farjadi, 2016)، کلزا (Fanaei et al., 2011)، کنجد (Aien, 2012)، گندم (Ramezanpour et al, 2009) و سورگوم علوفه‌ای (Khezerloo et al., 2010) بوده است.

اسید سالسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید یکی از ترکیب‌های فنلی تولیدی در گیاهان است و نقش مهمی در مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند (Belkhadi et al., 2010) و سبب القای گلدهی، رشد و نمو، افزایش طول عمر گل و به تاخیر انداختن پیری با جلوگیری از ساخت (سنتز) اتیلن و تنفس می‌شود (Metwally et al., 2003) که این اثر اسید سالیسیلیک در بنفشه آفریقایی (Jabbarzadeh et al., 2009) و گل تکمه‌ای (Kamali et al., 2013) مشاهده شده است. اسیدسالیسیلیک بسته به غلظت به کار رفته روی گیاه، گونه، دوره رشدی و شرایط محیطی، نقش محوری در تنظیم برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله نورساخت، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، ساخت سبزینه و پروتئین، جذب و انتقال عنصرها دارد (Iqbal et al., 2012). سازوکار عمل اسید سالیسیلیک در برابر تنش‌ها، به نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیب‌های دارای گونه‌های اکسیژن فعال در گیاه بر می‌گردد (Shi and Zhu, 2008). افزایش فعالیت آنزیم‌های همانند کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پلی فنل‌اکسیداز در شرایط تنش کم‌آبی با کاربرد اسیدسالیسیلیک در آویشن گزارش شده است (Bahari et al., 2015). در بررسی اثر متقابل محلول پاشی اسید سالیسیلیک و تیمارهای مختلف آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی، کیفی و تنظیم‌کننده‌های اسمزی ریحان مشاهده شد که محلول پاشی اسیدسالیسیلیک سبب افزایش همه ویژگی‌های مورد بررسی شد (Ramrudi and Khamar, 2013). کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری در همیشه بهار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه و محتوای نسبی آب برگ شد (Moradi et al., 2010; Dehghan Niri et al., 2016).

علیرغم بررسی اثرات خشکی بر کیفیت و عملکرد گیاه همیشه بهار تو سط سایر محققین، اثرات نانوکلات پتاسیم، سولفات پتاسیم و سالیسیلک اسید بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار تحت شرایط کم آبی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است،

لذا ما در این مطالعه سعی کرده‌ایم در کنار بررسی تأثیرات تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیکی گل همیشه بهار، به نقش اثرات نانوکلات پتاسیم، سولفات پتاسیم و اسیدسالیسیلک در تحلیل تنش خشکی نیز بپردازیم.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف سالیسیلک اسید، سولفات پتاسیم و نانوکلات پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی بر خواص فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان به اجرا در آمد. تنش خشکی در دو سطح مختلف تنش به‌ترتیب آبیاری در سطح ۵۰ (تنش) و ۱۰۰ درصد (شاهد) نیاز آبی گیاه اعمال گردید. برای تعیین تیمارهای مقادیر آب در هر گلدان ابتدا مقدار ۱۱۰۰ گرم بستر خاک گلدان در داخل آون در درجه حرارت ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ٤٨ ساعت توزین شده و وزن خاک خشک تعیین گردید. سپس خاک خشک در گلدانی ریخته شده و به آرامی و تا حداشباع آب به آن اضافه شد. پس از خروج کامل آب ثقلی، گلدان توزین شده و پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک، مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین گردید (Amiri et al., 2014). میزان رطوب خاک در طول دوره اعمال تیمار تنش در شاهد (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به کمک دستگاه رطوبت‌سنج TDR دنبال شد و تیمار تنش با توجه به مقدار آب مصرف شده برای تیمار شاهد، متناسب با سطوح تنش، آبیاری شد. رابطه بین پتانسیل آب خاک و مقدار آب نیز به کمک منحنی رطوبتی خاک که قبلاً در آزمایشگاه گردید بود برقرار شد. سالیسیلیک اسید شامل سه سطح بدون سالیسیلیک اسید (شاهد)، یک و دو میلی‌مولار و کود سولفات پتاسیم (۲/۵ گرم در لیتر) و کود نانوکلات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در یک سطح مورد استفاده قرار گرفت. بستر مورد نیاز برای این آزمایش شامل حاوی ۵۰ درصد کوکوپیت، ٤٥ درصد پیت‌ماس و ۵ درصد پرلیت بود. از گلدان‌های با قطر تقریبی ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۸ سانتی‌متر استفاده شد. تعداد ۱۱ عدد بذر گل همیشه بهار، در هر یک از گلدان‌های که ٤٦٠ گرم بستر کشت پر شده بود، کشت شدند. سپس به‌منظور جلوگیری از ایجاد رقابت بین بوته‌ای، از مرحله چهار برگی اقدام به تنک کردن بوته‌های اضافی گردید، به‌طوری‌که در هر گلدان ۵ بوته باقی ماند.

سنجش میزان رنگیزه‌ای فتوسنتزی: اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کاروتنوییدها با استفاده از روش Lichtenthaler و Wellburn (1983) انجام شد. بدین‌منظور ۰/۲ گرم بافت تر برگ درهاون با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا یک بافت سبز رنگ باقی بماند و پس از آن به مدت ۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفت. بعد در داخل لوله های سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۵ دقیقه قرار داده شد تا یک محلول زلال سبز رنگ حاصل شود و پس از آن محلول حاصله را با استفاده از کاغذ صافی و قیف درون بالن ژوژه صاف گردید، سپس حجم محلول به دست آمده با استون ۸۰ درص‌د به ۲۰ م‌یلی‌لیتر رسانده شد و جذب محلول‌ها به‌طور جداگانه در طول موج‌های ٦٦٣ نانومتر برای کلروفیل a و ٦٤٥ نانومتر برای کلروفیل b و ٤٧٠ نانومتر برای کاروتنوییدها توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت با استفاده از روابط زیر، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوییدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

میلی‌گرم =[(12.25×$A_{663.2}$) - (2.79×$A_{646.8}$)] V/1000W
کلروفیل a در هر گرم برگ تر

میلی‌گرم = [(21.5×$A_{646.8}$) – (5.10×$A_{663.2}$)] V/1000W
کلروفیل b در هر گرم برگ تر

Chl.a + Chl.b = میلی‌گرم کلرفیل کل در هر گرم برگ تر

در روابط بالا A برابر میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم محلول صاف شده برحسب میلی‌لیتر، w وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان فنل کل: برای سنجش مقدار ترکیبات فنل‌های کل، حدود ۱ گرم از گل‌های تازه را در ۱۰ میلی‌لیتر متانول به‌مدت ۲ دقیقه ساییده و محلول به‌دست آمده با کاغذ صافی، صاف شد. برای اندازه‌گیری فنل کل ابتد ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی با ۵ میلی‌لیتر فولین سیوکالتیو (۱ به ۱۰ رقیق شده با آب مقطر) مخلوط و سپس به آن ٤ میلی‌لیتر کربنات سدیم یک مولار اضافه شد. برای شاهد بجای عصاره، تنها از متانول استفاده شد و بعد فولین سیوکال‌چوو کربنات سدیم اضافه گردید. جذب محلول فوق بعد از قرار گرفتن در ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار ٤۰ درجه سانتی‌گراد، در طول موج ۷٦۵ نانومتر خوانده شد (Slinkard and Singleton, 1977). برای رسم منحنی کالیبراسیون از غلظت‌های متفاوت استاندارد گالیک اسید (R^2= ۰/۹۹۸ y = ۰/۰۱ x + ۰/۰۰۷۵) استفاده شد.

فعالیت سنجی آنزیم‌های سوپراکسیداز، کاتالاز: مقدار ۰/۱ گرم از بخش هوایی توزین و درون هاون روی یخ قرار داده شد و ۱/۵ میلی‌لیتر از بافر نمک‌های فسفات حاوی PVP با اسیدیته برابر ۷/٤ به آن افزوده شد. بافت مورد نظر درهاون ساییده شد. بافت‌های عصاره‌گیری شده به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند

برای بررسی فعالیت POD از طول موج ٤۷۰ نانومتر طبق روش Hammerschmidt (1982) استفاده شد. بافر استخراج برای این آنزیم در ٤ درجه سانتی‌گراد، بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH۷ شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار بود.

بررسی میزان فعالیت کاتالاز با بررسی کاهش مقدار H_2O_2 در ۲٤۰ نانومتر برای یک دقیقه انجام شد. مخلوط واکنش شامل: بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (اسیدیته=۷)، ۱۵ میلی‌مولار H_2O_2 و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در یک حجم ۳ میلی‌لیتر بود. میزان فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی ۰/۰۳۹ بر میلی‌مولار بر سانتی‌متر محاسبه و بر حسب یک واحد (میکرومول پراکسید هیدروژن مصرف شده در دقیقه) به ازای میلی‌گرم پروتئین بیان شد (Aebi, 1984).

پرولین: برای اندازه‌گیری پرولین برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ‌تر در۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد باهاون، همگن شده و عصاره بدست آمده صاف شد. ۲ میلی‌لیتر اسید استیک و ۲ میلی‌لیتر ناین هیدرین به ۲ میلی‌لیتر از این عصاره صاف شده، اضافه شد. محلول بدست آمده به مدت ۱ ساعت در حمام آب و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش درون یک بستر یخی قرار گرفتند و ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد. غلظت پرولین نمونه‌های در تولوئن با استفاده از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب میلی‌گرم بر وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

سنجش پروتئین کل: اندازه‌گیری میزان پروتئین کل با استفاده از عصاره تهیه شده، معرف رنگی کوماسی برلیانت بلو G–250 در اتانول ۹۵ درصد و ارتوفسفریک اسید ۸۵ درصد انجام شد (Bradford, 1976). از پروتئین گاما گلوبولین پلاسمای گاوی (BSA)، به‌عنوان پروتئین استاندارد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. بدین منظور مایع رویی آنزیمی

استخراج شده، به ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف برادفورد اضافه و محتویات لوله‌ها پس از مخلوط شدن به‌مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت تام پروتئینی بر اساس مقایسه با منحنی استاندارد تهیه شده، محاسبه شد.

سنجش قندهای محلول: برای اندازه‌گیری قندهای محلول، از محلول سولفات مس و فسفومولیبدیک اسید استفاده شد. شدت جذب رنگ محلول‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین شد و با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت قند احیا بر حسب میلیگرم بر گرم محاسبه گردید (Somogyi, 1952).

سنجش گلایسین بتائین: میزان گلایسین بتائین به روش Grieve و Grattan (1983) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها خشک شد، سپس به ۰/۵ گرم از برگ و ریشه ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر قرار داده شد. یک میلی‌لیتر از عصاره گیاهی با یک میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۲ نرمال مخلوط و در حمام آب یخ قرار گرفت و نهایتا ۰/۲ میلی‌لیتر از یدید پتاسیم و ید را به مخلوط شد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای صفر درجه سانتی‌گراد با rpm ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد. مقدار جذب آن در ۳٦۵ نانومتر قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندار از بتائین استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

رنگیزه‌های فتوسنتزی: جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۱) اثر خشکی، سالیسلیک اسید، پتاسیم و اثرات متقابل آن‌ها بر کلروفیل a در سطح یک درصد، اثر مستقل پتاسیم، اثرات متقابل سالیسیلیک اسید و خشکی و همچنین اثرات متقابل خشکی، سالیسیلیک اسید و پتاسیم در سطح یک درصد بر روی صفت کلروفیل b معنی‌دار شد. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که سطوح پتاسیم، اثر متقابل پتاسیم × خشکی، پتاسیم × سالیسیلیک اسید و خشکی × سالیسیلیک اسید × پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل به‌ترتیب با میانگین ۵/۰۳، ۸/۵۹ و ۱۲/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تیمار آبیاری کامل (عدم تنش خشکی)، سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و سولفات پتاسیم حاصل شد (جدول ۸). اثر تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل در گل‌همیشه بهار معنی‌دار بود به طوری که تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل گردید (جدول ۲). سالیسیلیک اسید باعث کاهش میزان کلروفیل شد هر چند که اثر معنی‌داری بین سطوح سالیسیلیک اسید وجود نداشت. با افزایش مصرف پتاسیم، میزان کلروفیل a، b و کل افزایش یافت. بیشترین افزایش در تیمار مصرف سولفات پتاسیم مشاهده شد.

جدول ۱: تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.) تحت سطوح مختلف تنش خشکی و سالیسیلیک اسید و پتاسیم.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	پرولین	فنل کل	پراکسیداز	کاتالاز
خشکی (D)	۱	٤/۱٥۹**	۱/٥۳۱ns	۰/۳٤٦ns	۰/۰۰۰۳ns	٦۰/۹٥**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰٤۳**
سالسیلیک‌اسید(SA)	۲	۳/٦۳٥**	۰/۱۳٤ns	۲/٤۹۱ns	۰/۰۰۰۰۰۰۷ns	۰/۸۹۲ns	۰/۰۰۳۲**	۰/۰۰۸٦ns
پتاسیم (K)	۲	٦/۷٦۹**	۱۱/۲۱۰**	۳۳/٥٥۸**	۰/۰۰۰۰۰۰۷ns	۱۲/٥۸۸**	۰/۰۰۳٦**	۰/۰۱۱٦**
SA ×D	۲	۰/٤۳۲ns	٥/۹٥٥**	٦/٦٥۷ns	۰/۰۰۰۰٦ns	۲/٥۱٥ns	۰/۰۰٤۹**	۰/۰۰۲٤ns
K × D	۲	۸/٦٤۰**	۰/٦٤٤ns	۱۲/۱۸۹**	۰/۰۰۰۰٤ns	٤/٥٦٥*	۰/۰۰٤۱**	۰/۰۰۹٦ns
K ×SA	٤	۲/۱۹۳**	٤/٥۲٦ns	٦/٥٥٥**	۰/۰۰۰۰۰۸ns	۲/۳۹۷ns	۰/۰۰۱٤**	۰/۰۰۸۹ns
K×SA×D	٤	۰/۱۸۲**	٥/۱۲۰**	۳/۸۳۱*	۰/۰۰۰۰٤ns	۲/٦۰۱**	۰/۰۰۲٦**	۰/۰۳۱۸**
خطای آزمایشی	۳٦	۰/۳۲۳	۱/۹۲۹	۲/۱۷۲	۰/۰۰۰۰۰٥	۱/۰۲٦	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰٤٤
ضریب تغییرات		۱٥/۹٦	۲۳/۷۸	۱٥/٥۸	۲/۷۱	۱٥/۹۰	۱٥/۷۳	۲۹/۲٥

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار.

ادامه جدول ۱: تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات بیوشیمیایی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.) تحت سطوح مختلف تنش خشکی و سالیسیلیک اسید و پتاسیم.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قند برگ	قند ریشه	پروتئین برگ	پروتئین ریشه	گلایسین‌بتائین برگ	گلایسین‌بتائین ریشه
خشکی (D)	۱	۰/۰۰۰۰۰٦*	۰/۰۰۰۰٤۹**	۱۷/٦۳٥**	۱٤/۳۱۳**	۰/۰۰۸۲*	۰/۰۰۰۰۰۱*
سالسیلیک‌اسید (SA)	۲	۰/۰۰۰۳۳**	۰/۰۰۰۱۸**	٥/۷۰۹ns	۱۷/۱٦۹**	۰/۰٥۰۲**	۰/۰۱۳۱ns
پتاسیم (K)	۲	۰/۰۰۰۰۲۳ns	۰/۰۰۰۲۲**	٥/۹۷۹ns	۲۹/۳٥٥**	۰/۰۰٥۲ns	۰/۰٥۲*
SA ×D	۲	۰/۰۰۰۰٥*	۰/۰۰۰۰۱ns	٥/٦٥۹ns	۱۳/۰۲۲**	۰/۰۷٦٥**	۰/۰٤٦*
K × D	۲	۰/۰۰۰٤٦**	۰/۰۰۰۰۸*	۱۷/۳۳۳**	۱۸/٤۰۰**	۰/۰٥۷**	۰/۰٥٥*
K ×SA	٤	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۲٤ns	۲/٥٦٥ns	۲۰/۸۰٥**	۰/۰۲۳*	۰/۰٦٤**
K×SA×D	٤	۰/۰۰۰۰٦**	۰/۰۰۰۰۰۷**	۳/٤۲٦**	۱۱/٤۰۱**	۰/۰٦۹٦**	۰/۰٤۷**
خطای آزمایشی	۳٦	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱۸	۲/۹۸٥	۰/۸۰۳	۰/۰۰٦٥	۰/۰۱۱۱
ضریب تغییرات		۲/٦٥	۳/۳۹	۲۲/۰٥	۲٦/۰٥	۱۲/٥٥	۱٦/۲٥

*و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار.

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر سطوح خشکی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه‌بهار (*C. officinalis* L.)

تیمار / صفات	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	پرولین (میکرومول بر گرم)	فنل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میکرومول بر گرم)	کاتالاز (میکرومول بر گرم)
آبیاری کامل	۳/۸٤a	٦/۰۱a	۹/٥۳a	۰/۲۷۰a	۷/٤۳a	۰/۱۱٤b	۰/۱۹۹b
تنش	۳/۲۸b	٥/٦۷b	۹/۳۷a	۰/۲۷۹a	٥/۳۰b	۰/۱۱۹a	۰/۲٥٦a

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. واحدها براساس وزن خشک برگ محاسبه شدند.

ادامه جدول ۲: مقایسه میانگین اثر سطوح خشکی برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه همیشه‌بهار (*C. officinalis* L.)

صفات / تیمار	قندهای برگ (میلی‌گرم بر لیتر)	قندهای ریشه (میلی‌گرم بر لیتر)	پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	گلایسین‌بتائین برگ (میکرومول بر گرم)	گلایسین‌بتائین ریشه (میکرومول بر گرم)
آبیاری کامل	۰/۱۲۸^{b}	۰/۱۲۷^{b}	۵/۹۶^{a}	۳/۹۵^{a}	۰/۶۵۶^{a}	۰/۶۴۰^{b}
تنش	۰/۱۲۹^{a}	۰/۱۲۹^{a}	۴/۸۱^{b}	۲/۹۲^{b}	۰/۶۳۱^{b}	۰/۶۶۹^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. واحدها براساس وزن خشک برگ محاسبه شدند.

جدول ۳: مقایسه اثر سطوح سالیسیلیک اسید برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه‌بهار (*C. officinalis* L.)

صفات / تیمار	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پرولین (میکرومول بر گرم)	فنل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میکرومول بر گرم)	کاتالاز (میکرومول بر گرم)
۰	۴/۰۸^{a}	۵/۹۲^{a}	۹/۸۸^{a}	۰/۲۷۰۰^{a}	۶/۳۹^{a}	۰/۱۳۲^{a}	۰/۲۴۹^{a}
۱ میلی‌مولار	۳/۳۶^{b}	۵/۸۴^{a}	۹/۲۴^{b}	۰/۲۷۰۵^{a}	۶/۱۳^{b}	۰/۱۱۵^{b}	۰/۲۰۵^{a}
۲ میلی‌مولار	۳/۲۵^{b}	۵/۷۵^{a}	۹/۲۴^{b}	۰/۲۶۹۲^{a}	۶/۵۷^{a}	۰/۱۰۶^{c}	۰/۲۲۸^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. واحدها براساس وزن خشک برگ محاسبه شدند.

ادامه جدول ۳: مقایسه اثر سطوح سالیسیلیک اسید برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه همیشه‌بهار (*C. officinalis* L.)

صفات / تیمار	قندهای برگ (میلی‌گرم بر گرم)	قندهای ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	گلایسین‌بتائین برگ (میکرومول بر گرم)	گلایسین‌بتائین ریشه (میکرومول بر گرم)
۰	۰/۱۲۴^{c}	۰/۱۲۶^{b}	۵/۸۴۲^{a}	۲/۵۴۸^{c}	۰/۶۰۵^{b}	۰/۶۱۸^{b}
۱ میلی‌مولار	۰/۱۳۰^{b}	۰/۱۳۱^{a}	۵/۵۶۸^{a}	۳/۲۸۹^{b}	۰/۶۲۱^{b}	۰/۶۶۶^{a}
۲ میلی‌مولار	۰/۱۳۲^{a}	۰/۱۲۶^{b}	۴/۷۵۹^{a}	۴/۴۸۴^{a}	۰/۷۰۴^{a}	۰/۶۶۴^{a}

میانگین‌هایی دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. واحدها براساس وزن خشک برگ محاسبه شدند.

جدول ۴: مقایسه اثر سطوح پتاسیم برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.)

صفات / تیمار	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پرولین (میکرومول بر گرم)	فنل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میکرومول بر گرم)	کاتالاز (میکرومول بر گرم)
سولفات پتاسیم	۴/۱۹^{a}	۶/۵۸^{a}	۱۰/۷۷^{a}	۰/۲۶۹^{a}	۶/۴۱^{b}	۰/۱۱۵^{b}	۰/۲۰۱^{b}
نانوکلات	۳/۵۳^{b}	۵/۹۲^{a}	۹/۶۱^{b}	۰/۲۶۹^{a}	۷/۱۸^{a}	۰/۱۳۳^{a}	۰/۲۲۹^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۴: مقایسه اثر سطوح پتاسیم برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.)

صفات / تیمار	قند برگ (میلی‌گرم بر گرم)	قند ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین برگ **(میلی‌گرم بر گرم)**	پروتئین ریشه **(میلی‌گرم بر گرم)**	گلایسین‌بتائین برگ **(میکرومول بر گرم)**	گلایسین‌بتائین ریشه **(میکرومول** بر گرم)
سولفات پتاسیم	۰/۱۲۹^{a}	۰/۱۳۲^{a}	۴/۷۲^{b}	۴/۴۳^{a}	۰/۶۲^{b}	۰/۶۳^{a}
نانوکلات	۰/۱۲۷^{b}	۰/۱۲۷^{b}	۵/۷۶^{a}	۳/۸۸^{b}	۰/۶۴^{a}	۰/۶۰^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

پرولین: نتیجه تجزیه واریانس اثر تنش آب، سالیسیلیک اسید، پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها بر روی میزان پرولین گیاه همیشه بهار در جدول ارائه ۱ گردیده است. براساس نتایج حاضر، میزان پرولین به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای به گیاه قرار نگرفت. بر این اساس تنش آب میزان پرولین رو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نداد ولی با این وجود هم بیشترین میزان پرولین در تنش آبی حاصل شد.

فنل کل: تیمارهای تنش خشکی و پتاسیم و همچین اثرات متقابل خشکی× سالیسیلیک اسید× پتاسیم بر میزان فنل در گل همیشه بهار در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان فنل مربوط به اثر متقابل سالیسیلیک اسید (۲ میلی‌مولار) و کود نانوکلات پتاسیم تحت آبیاری کامل (عدم تنش) با میانگین ۹/۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بوده است (جدول ۸). نتایج حاضر از مطالعه حاضر بیان داشت که کاربرد پتاسیم سبب افزایش در میزان فنل کل در گیاه همیشه بهار می‌شود (جدول ٤). تنش خشکی در گیاه همیشه بهار موجب کاهش میزان فنل شد (جدول ۲).

آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای خشکی، سالیسیلیک اسید و پتاسیم و همچنین اثرات متقابل آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه را افزایش داد. کاربرد تیمارهای کودی پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز از گیاه همیشه بهار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز با میانگین ۰/۱۸۰ در تیمار تنش خشکی و کاربرد تیمار کودی نانوکلات پتاسیم حاصل شد (جدول ۸). نتایج مقایسه تأثیر مستقل تنش خشکی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز همیشه بهار نشان داد با افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد کود پتاسیم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه همیشه بهار نشان‌دهنده بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار کود نانوکلات پتاسیم بود (جدول ٤).

آنزیم کاتالاز: مشاهدات بدست آمده از جدول تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر تنش خشکی و پتاسیم و همچنین اثرات متقابل آن‌ها خشکی× سالیسیلیک اسید× پتاسیم بر روی صفت فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). اثرات ساده تیمار خشکی نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش و پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌شود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت کاتالاز در تیمار کودی نانوکلات پتاسیم و عدم تنش خشکی حاصل شد (جدول ۸).

قندهای محلول در برگ و ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی (در سطح ۵ درصد)، سالیسیلیک اسید (در سطح یک درصد) و اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید × پتاسیم (در سطح یک درصد) بر روی صفت قندهای محلول برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات متقابل سه گانه این تیمارها در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان می‌دهد که در شرایط تنش و کاربرد سالیسیلیک اسید و نانوکود پتاسیم بیشترین میزان قند برگ و ریشه را به خود اختصاص داد.

پروتئین برگ و ریشه: نتایج حاصل از سنجش میزان پروتئین نشان داد که تنش خشکی، برهمکنش خشکی× پتاسیم و اثر متقابل خشکی× سالیسیلیک اسید × پتاسیم در سطح یک درصد بر این صفت معنادار شد (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی از میزان پروتئین برگ کاسته شد، لذا بیشترین مقدار آن در گیاهانی مشاهده شد که

تحت تنش خشکی قرار نداشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین پروتئین برگ در کاربرد سالیسیلیک اسید و نانوکلات پتاسیم در شرایط عدم تنش (آبیاری کامل) حاصل شد. تیمار با پتاسیم سبب افزایش میزان پروتئین برگ نسب به شاهد شد (جدول ٤). براساس نتایج حاصل شده اختلاف معنی‌داری بین سطوح خشکی، سالیسیلیک اسید و پتاسیم و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر روی پروتئین ریشه معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین ریشه مربوط به کاربرد سالیسیلیک اسید (۲ میلی‌مولار) و نانوکلات پتاسیم در شرایط عدم تنش خشکی (آبیاری کامل) بود (جدول ۸).

گلایسین بتائین برگ و ریشه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس میزان گلایسین بتائین برگ نشان می‌دهد که منبع تغییر خشکی، سالیسیلیک اسید و همچنین اثر متقابل تنش خشکی × سالیسیلیک اسید × پتاسیم در سطح احتمال پنج و یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۱). براساس نتایج بدست آمده اثر ساده تنش خشکی و پتاسیم و نیز اثرات متقابل خشکی‌ی × سالیسیلیک اسید × پتاسیم بر میزان گلایسین‌بتائین ریشه در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین میزان گلایسین بتائین برگ و ریشه نشان داد که مقدار گلایسین بتائین در اثر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین میزان گلایسین بتائین برگ و ریشه مربوط به کاربرد سالیسیلیک اسید و نانوکلات پتاسیم در شرایط تنش خشکی بدست آمد (جدول ۸).

جدول ۸: مقایسه میانگین اثرات متقابل خشکی، سالیسیلیک‌اسید و پتاسیم برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.)

آبیاری	سالسیلیک‌اسید	کود پتاسیم	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل(میلی‌گرم بر گرم)	پرولین (م‌یکرومول بر گرم)	فنل کل (میلی‌گرم بر گرم)	پراکسیداز (میکرومول بر گرم)	کاتالاز (میکرومول بر گرم)
آبیاری ۱۰۰ درصد (کامل)	۰ میلی‌مولار	۰	۲/٤٤^{hi}	٥/۸٥^{b}	۸/۲۹^{cd}	۰/۲٦۹^{ab}	٦/۱۳^{bc}	۰/۰۸۷^{de}	۰/۲٤۷^{bcd}
	۰ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	٤/۸٦^{ab}	٦/۰۲^{ab}	۱۰/۸۹^{abc}	۰/۲٦۹^{ab}	۷/٦۹^{ab}	۰/۱۳۸^{bc}	۰/۱۸۹^{bcd}
	۰ میلی‌مولار	نانوکلات‌پتاسیم	٤/٥۰^{abcd}	٤/۲۲^{bc}	۸/۷۳^{bcd}	۰/۲٦۹^{ab}	۷/۸۱^{ab}	۰/۱٤۲^{bc}	۰/۳۹٦^{a}
	۱ میلی‌مولار	۰	۲/٥۷^{fghi}	٥/۹٥^{ab}	۸/۸۷^{bcd}	۰/۲۸۱^{a}	٦/۲۹^{bc}	۰/۰۹٤^{de}	۰/۲٥۷^{bcd}
	۱ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	٥/۰۳^{a}	۸/٥۹^{a}	۱۲/۱۳^{a}	۰/۲٦۹^{ab}	۷/٤٤^{ab}	۰/۱٤۹^{ab}	۰/۲۳٥^{bcd}
	۱ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۳/۲۲^{fgh}	٥/۲۸^{b}	۸/٥۱^{cd}	۰/۲٦۹^{ab}	۷/۳۰^{ab}	۰/۱٤۱^{bc}	۰/۱۷٤^{cd}
	۲ میلی‌مولار	۰	۲/٥۱^{ghi}	٥/۹۹^{ab}	۸/۸۷^{bcd}	۰/۲٦۹^{ab}	۸/۲۸^{bc}	۰/۰۹۲^{de}	۰/۲٥۷^{bcd}
	۲ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۳/۷٥^{cde}	٥/٤۷^{b}	۹/۲۳^{bcd}	۰/۲٦۹^{ab}	۹/۳۰^{a}	۰/۱۰٥^{cd}	۰/۳۰۳^{ab}
	۲ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۲/۱٦^{i}	٦/٦۷^{ab}	۸/۸۳^{bcd}	۰/۲٦۹^{ab}	۸/۸۹^{a}	۰/۰٦۱^{e}	۰/۲٤۳^{bcd}
آبیاری ٥۰ درصد (تنش)	۰ میلی‌مولار	۰	٤/۱٥^{abcde}	٥/٤۲^{b}	۹/۹۰^{abc}	۰/۲۷۲^{ab}	٤/۸۸^{cd}	۰/۱۳۳^{bc}	۰/۲٦٤^{bcd}
	۰ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۳/٥۳^{def}	٦/۳۲^{ab}	۱۱/۳٦^{ab}	۰/۲٦۹^{ab}	٤/۷۹^{cd}	۰/۱۱٥^{bcd}	۰/۲٤۳^{bcd}
	۰ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۳/٤٦^{efg}	٦/٦٥^{ab}	۱۰/۱۲^{abc}	۰/۲٦۹^{ab}	۷/۰٦^{b}	۰/۱۸۰^{a}	۰/۱٥۳^{cde}
	۱ میلی‌مولار	۰	٤/۷٦^{abc}	٦/۱۳^{ab}	۱۰/۷٦^{abc}	۰/۲٦٤^{b}	٤/۷۱^{cd}	۰/۱۱۰^{cd}	۰/۲٤۱^{bcd}
	۱ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۳/۸۸^{bcde}	٦/٤٤^{ab}	۱۰/۳۳^{abc}	۰/۲٦۹^{ab}	٦/۰٦^{bc}	۰/۰٦۲^{e}	۰/۰٥٥^{e}
	۱ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۲/۱٦^{i}	۲/٦۷^{c}	٤/۸٤^{e}	۰/۲٦۹^{ab}	٥/۰۰^{cd}	۰/۱۳٥^{bc}	۰/۲۷۰^{bc}
	۲ میلی‌مولار	۰	٤/۷۸^{ab}	٦/۱۷^{ab}	۱۰/۹٥^{abc}	۰/۲٦۷^{ab}	٤/۷٦^{cd}	۰/۱۱۳^{bcd}	۰/۲٦٤^{bcd}
	۲ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	٤/۰٦^{abcde}	٦/٦٥^{ab}	۱۰/۷۱^{abc}	۰/۲٦۹^{ab}	۳/٤۷^{d}	۰/۱۲۳^{bcd}	۰/۱۸۲^{bcd}
	۲ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۲/۲٥^{hi}	٤/٥۷^{bc}	٦/۸۲^{de}	۰/۲۷۰^{ab}	۷/۰۱^{ab}	۰/۱٤۱^{bc}	۰/۱۳۷^{de}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ٥ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۸: مقایسه میانگین اثرات متقابل خشکی، سالیسیلیک‌اسید و پتاسیم برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه همیشه بهار (*C. officinalis* L.)

آبیاری	سالسیلیک‌اسید	کود پتاسیم	قندهای برگ (میلی‌گرم بر گرم)	قندهای ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین برگ (میلی‌گرم بر گرم)	پروتئین ریشه (میلی‌گرم بر گرم)	گلایسین‌بتائین برگ (میکرومول بر گرم)	گلایسین‌بتائین ریشه (میکرومول بر گرم)
آبیاری ۱۰۰ درصد (کامل)	۰ میلی‌مولار	۰	۰/۱۳٤^{ab}	۰/۱۲۳^{def}	۵/۲۷^{abcde}	۳/۱۱^{cd}	۰/۵۸۱^{efg}	۰/٦۹۵^{abcde}
	۰ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۳۳^{ab}	۰/۱۲۰^{ef}	٤/٦۱^{bcde}	۳/۱۸^{cd}	۰/۵۰۸^{fgh}	۰/٦۸۰^{bcde}
	۰ میلی‌مولار	نانوکلات‌پتاسیم	۰/۱۱۳^{g}	۰/۱۲٤^{cdef}	۷/٦۲^{a}	۵/٦۲^{b}	۰/٦٤٦^{bcdef}	۰/۳۳۷^{h}
	۱ میلی‌مولار	۰	۰/۱۳۷^{a}	۰/۱۳۰^{bcd}	۵/۱۱^{abcde}	۳/۲۱^{cd}	۰/۵۸٤^{efg}	۰/۷۱۷^{abc}
	۱ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۲٦^{cde}	۰/۱۲۳^{def}	۷/۰۳^{ab}	۳/٦۸^{c}	۰/٦٦٦^{bcde}	۰/۷٤۳^{abc}
	۱ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۰/۱۳۱^{abcd}	۰/۱۳۰^{bcd}	۷/۹۰^{a}	۲/۱۷^{cde}	۰/۷۹۱^{b}	۰/۷۰۰^{abcd}
	۲ میلی‌مولار	۰	۰/۱۳۱^{abcd}	۰/۱۲۵^{bcdef}	۵/۳۷^{abcde}	۲/۹۷^{cd}	۰/٦۳۱^{cdef}	۰/۸۲۰^{ab}
	۲ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۳۳^{abc}	۰/۱۳۲^{abcd}	٤/۳۱^{bcde}	۹/۷٤^{a}	۰/٦۲۹^{cdef}	۰/۵۱۷^{ef}
	۲ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۰/۱۳۱^{abcd}	۰/۱۲۲^{ef}	٦/۳۹^{abc}	۱/۸۹^{de}	۰/٦٤۵^{bcdef}	۰/۵۹۵^{cdef}
آبیاری ۵۰ درصد (تنش)	۰ میلی‌مولار	۰	۰/۱۱۸^{fg}	۰/۱۲۰^{e}	۵/۷۷^{abcd}	۰/۸۹^{e}	۰/۷۱۹^{bcd}	۰/٦۵۵^{bcdef}
	۰ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۲۹^{bcd}	۰/۱۲٦^{bcdef}	٦/۳۰^{abcd}	۰/۸۸^{e}	۰/۷۳۷^{bc}	۰/٦٦۳^{bcdef}
	۰ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۰/۱۲۹^{bcd}	۰/۱۲۸^{bcdef}	۵/٤٦^{abcde}	۱/۵۹^{de}	۰/٤٤۳^{gh}	۰/٦۸۰^{bcde}
	۱ میلی‌مولار	۰	۰/۱۲٦^{de}	۰/۱۲٤^{cdef}	٦/۲۲^{abcd}	۰/۸۹^{e}	۰/۷۱۹^{bcd}	۰/٦٦۵^{bcdef}
	۱ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۳۲^{abcd}	۰/۱۳۲^{abc}	۳/۳۹^{de}	۳/۰۳^{cd}	۰/۵٤۵^{efgh}	۰/٦۹٦^{abcde}
	۱ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۰/۱۳۱^{abcd}	۰/۱۳۳^{ab}	۳/۷۳^{cde}	٦/۷۳^{b}	۰/٤۲۳^{h}	۰/٤۸۷^{gh}
	۲ میلی‌مولار	۰	۰/۱۲۷^{bcd}	۰/۱۲٦^{bcdef}	٦/۲۸^{abcd}	۰/۹۱^{e}	۰/۷۲٦^{bcd}	۰/٦٦٦^{bcdef}
	۲ میلی‌مولار	سولفات پتاسیم	۰/۱۳۱^{abcd}	۰/۱۲۹^{bcde}	۲/٦۹^{e}	٦/۱۰^{b}	۰/٦۷۰^{bcde}	۰/۵۱۹^{def}
	۲ میلی‌مولار	نانوکلات پتاسیم	۰/۱۳۷^{a}	۰/۱۳۹^{a}	۳/٤۷^{cde}	۵/۲۷^{b}	۰/۹۲۲^{a}	۰/۸٦۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بحث

تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل گردید. Mohsenzadeh و همکاران (2006) بیان کردند که کاهش در میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند در اثر تخریب کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده باشد. آن‌ها همچنین بیان کردند که کاهش در میزان آسیمیلاسیون گاز کربنیک به هنگام تنش شدید می‌تواند به‌دلیل کاهش در مقدار کلروفیل، فلیت و میزان آنزیم روبیسکو و انتقال ضعیف الکترون فتوسنتزی باشد. Mansouri-Far و همکاران (2010) بیان نمودند که اعمال شرایط کمبود آب منجر به کاهش مقادیر کلروفیل برگ می‌شود. بر اساس نظر Schutz و Fangmier (2001) کاهش میزان کلروفیل‌ها در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیز می‌گردند. سالیسیلیک اسید باعث کاهش میزان کلروفیل شد. گاهی سالیسیلیک اسید اثر منفی روی محتوای کلروفیل برخی از گیاهان داشته است. غلظت ۲۰۰ ppm از سالیسیلیک اسید، روی کلروفیل گیاه پیاز اثر منفی داشت (Amin et al., 2007).

با افزایش مصرف پتاسیم، میزان کلروفیل a، b و کل افزایش یافت. Kumar و Kumar (2001) گزارش کردند که با افزایش مصرف سولفات پتاسیم

افزایش در محتوی نسبی کلروفیل دیده شد. این محقق اعلام داشت بالا رفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش محتوی نسبی کلروفیل در برگ‌ها به واسطه نقش پتاسیم در سنتز پیش ماده رنگدانه‌های کلروفیل می‌تواند باشد و افزایش محتوی نسبی کلروفیل در برگ‌ها انتقال انرژی تابشی را به داخل انرژی شیمیایی اولیه در شکل ATP و NADPH در کلروپلاست‌ها بهبود می‌بخشد.

کاهش میزان پرولین در اثر تنش خشکی توسط Kang و Wang (2003) در گندم، Mardani و همکاران (2011) در گندم دوروم و Safarnejad و همکاران (2007) در یونجه گزارش شد. Slama و همکاران (2005) اظهار داشتند که میزان پرولین گیاه علف فرشیان (*Sesuvium potolacastrm*) تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به شاهد سه برابر افزایش یافت. علت این موضوع تحریک فعالیت آنزیم بیوسنتزی پرولین (اورنیتین آمینوترانسفراز) و مهار آنزیم کاتابول یکی (پرولین دهیدروژناز) است. در ادامه یافتن دلایل این افزایش باید به یافته‌های Verslues و همکاران (1998) اشاره کرد که دریافتند تنش خشکی سبب افزایش نسخه‌برداری mRNA ژن کنترل کننده آنزیم‌های مسیر بیوسنتز پرولین و در نهایت افزایش میزان پرولین می‌شود. بررسی‌ها موید این است که سه عامل مهم شامل تحریک سنتز، مهار تجزیه و جلوگیزی از ورود پرولین به درون پروتئین‌ها در تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی مطرح است.

در مورد پرولین نیز پژوهش‌های بسیاری در گیاهان مختلف مبنی بر افزایش این اسید آمینه در شرایط تنش خشکی وجود دارد. از جمله در گلرنگ (Movahhedi Dehnavi et al., 2004) و گندم (Civosimarde, 2003) که افزایش در میزان پرولین گیاهان تحت تنش خشکی مشاهده شد. چنین نتایجی همچنین در گیاهانی چون بادرنجبویه (Abbas-Zade et al., 2007)، زیتون (Arji et al., 2003) نیز گزارش شده است. مقادیر تجمع پرولین در گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف متفاوت است. Hanson و همکاران (1997) مقادیر متفاوت تجمع پرولین‌های تنش را در سه رقم جو، به اختلاف در میزان کاهش پتانسیل آب برگ نسبت دادند. از دلایل تجمع پرولین می‌تواند تخریب پروتئین‌ها باشد. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش خشکی مشاهده شده است (Moran et al., 1994). استعمال برگی پتاسیم نیز به‌طور معنی‌داری محتوای پرولین گیاه ماش را افزایش داد (Thalooth et al., 2006). Dehqanzadeh و همکاران (2008) گزارش کردند که تنش باعث افزایش معنی‌دار مقادیر پرولین و قندهای آزاد محلول در گندم گردید.

فنل‌ها جزء متابولیت‌های ثانویه محسوب شده و می‌توانند به‌عنوان یک سازوکار دفاعی در مقابل تنش خشکی عمل کنند. این مواد از طریق افزایش پتانسیل اسمزی و به‌دنبال آن اجتناب از دهیدراته شدن سلول‌ها و یا تنظیم پتانسیل رداکس و از بین بردن اکسیژن‌های فعال گیاهان تحت تنش خشکی را حفاظت می‌کنند. البته نقش حفاظت‌های آنها در مقابل اکسیژن‌های فعال به‌عنوان آنتی‌اکسیدان بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (Nazari et al., 2013; Redha et al., 2012)، با این حال در برخی مواقع تنش خشکی تأثیری روی تولید مواد فنلی ندارند (Nazari et al., 2013)، یا گاها سبب کاهش تولید این مواد می‌شوند. Nazari و همکاران (2013) دلیل تفاوت گیاهان در تولید متابولیت‌های ثانویه تحت تنش‌های محیطی را به منشاء زیستی متفاوت این گیاهان نسبت داد. به گفته وی از آنجا که گونه‌های مختلف گیاهی دامنه وسیعی از سازوکارهای مقاومت به خشکی را نشان می‌دهند.

سازگاری‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاهان با یکدیگر متفاوتند.

تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در همیشه بهار شد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های ذکر شده در یک راستا قرار دارد. Amiri و همکاران (2013) بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را در تنش شدید ۲۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه تایید کردند. نتایج مقایسه میانگین Zali و همکاران (2015) نشان داد که میزان فعالیت این آنزیم در شرایط تنش در مرحله به ساقه رفتن نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافته است. Ghobadi و همکاران (2013) اظهار داشتند که تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شرایط بدون تنش در گیاه جو معنی‌دار نبود.

در ارتباط با فعالیت آنزیم کاتالاز تحقیقات متعددی وجود دارد که حاکی از رفتارهای مختلف این آنزیم در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی می‌باشد. Jiang و Huang (2001) گزارش کردند که فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش خشکی کاهش یافت. اما نتیجه تحقیقات Shahab و همکاران (2010)، روی گیاه *Oryza sativa* حاکی از افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط خشکی می‌باشد. Zamani و همکاران (2012)، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه زردچوبه (*Curcuma longa* L.) تحت شرایط خشکی را گزارش کردند. پتاسیم نقش فیزلوژیک مهمی در شرایط نامساعد محیطی در سلول ایفا می‌کند و زیاد بودن آن موجب افزایش تحمل گیاه می‌شود (Cakmak, 2005). افزایش نیاز به پتاسیم در گیاهان تحت تأثیر خشکی وابسته به این حقیقت است که پتاسیم در حفظ تثبیت CO_2 فتوسنتزی موثر است. تنش خشکی با بستن روزنه‌ها ضمن کاهش تثبیت CO_2 سبب تولید شکل‌های فعال اکسیژن شده که با کاهش پتاسیم تشکیل آن‌ها تشدید می‌شود (Mittler, 2002). این عنصر، در سنتز پروتئین‌ها، فتوسنتز و انتقال مواد حاصل از آن نقش اساسی دارد و در صورت کمبود آن، فعالیت آنزیم‌های مانند: سینتتازها، اکسیدوردکتازها، دهیدورژنازها، ترانسفرازها و کینازها مختل می‌شود (Kanai et al., 2007).

بیشترین میزان قند برگ و ریشه در شرایط تنش و کاربرد سالیسیلیک اسید و نانوکود پتاسیم بدست آمد. انباشت قندهای محلول در شرایط تنش خشکی و شوری، در تنظیم اسمزی سلولی، حفظ تورژسانس و پایداری مولکول‌های زیستی و غشاها نقش مهم ایفا کرده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ تورگر تحت شرایط تنش خشکی داخل سلول باقی بماند (Farahat et al., 2007) در این تحقیق در شرایطی که گیاه رازیانه تحت تنش خشکی قرار داشت مقدار قندهای محلول افزایش قابل توجهی نشان داد. این نتایج با سایر گزارش‌های دیگر در مورد گیاه ترخون (Lotfi et al., 2014) و سیاهدانه (Rezapor et al., 2011) مطابقت دارد. Ahmadi و همکاران (2005) گزارش کردند که قندهای احیاکننده در گیاهان تحت تنش کم آبی، افزایش معنی‌داری را نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند. در یک بررسی روی کلم صورت گرفت، مشاهده شد با افزایش میزان تنش، مقادیر گلوکز و فروکتوز که جزء قندهای احیاء کننده هستند، در ساقه‌های این گیاه افزایش و مقدار نشاسته، کاهش یافت، در هنگام کاهش پتانسیل آب برگ، تجمع قندهای محلول می‌تواند در تنظیم اسمزی نقش اساسی را ایفا کند (Sato et al., 2004). نتایج مشابه توسط Damayanthi و همکاران (2010) و Masoudi-Sadaghiani و همکاران (2011) گزارش شده است.

تنش خشکی موجب کاهش پروتئین برگ و ریشه شد. افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها ناشی از افزایش قابل توجه تنش اکسیداتیو است

(Sivaci and Elmas, 2012). گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده تحت ناسازگار محیطی مانند تنش خشکی انباشته می‌شود. در این زمان افزایش H_2O_2 سبب افزایش اکسیداسیون پروتئین در بعضی گونه‌های گیاهی می‌شود. خشکی سبب کاهش فعالیت روبیسکو و همچنین ناسازگاری در گیاه شود (Inze and Montagu, 2002). اسید سالیسیلیک در تنظیم پاسخ به خشکی در گیاهان نقش دارد و به‌نظر می‌رسد که تنظیم‌کنندهٔ رشد بالقوه‌ای برای بهبود رشد گیاه تحت تنش آبی باشد. تأثیر اسید سالیسیلیک بر افزایش مقدار نیترات و افزایش فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز و محافظت از این آنزیم در برابر غیرفعال شدن نیز از دلایل افزایش مقدار پروتئین در گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک ذکر شده است (Hayat and Ahmad, 2007). تیمار با اسید سالیسیلیک منجر به تجمع اسید آبسزیک می‌شود که پیشسازگاری گیاهچه‌های تحت تنش را تحریک می‌کند. در نتیجه اسید آبسزیک، سنتز محدودهٔ وسیعی از پروتئین‌های ضدتنش را القاء می‌کند و باعث ایجاد مقاومت در گیاه گندم می‌شود (Shibli et al., 2007). حفظ مقدار پروتئین در گیاه گندم تحت تنش خشکی توسط اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Sivaci and Elmas, 2012).

سطوح مختلف پتاسیم موجب افزایش پروتئین برگ و ریشه شد. این احتمال وجود دارد که پتاسیم به‌عنوان عنصر ضدتنش با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش رادیکال‌های آزاد ضمن حفظ عملکرد پروتئین‌ها از ساختار آن‌ها محافظت و از تجزیه آن‌ها در این شرایط جلوگیری کند. زیرا تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث اکسیداسیون زنجیره‌های پلی‌پپتیدی آمینواسیدها می‌شود (Jiang and Huang, 2001). پتاسیم در آخرین مرحله فرایند ساخت پروتئین شرکت دارد و آن را هدایت می‌کند. لذا در داخل گیاه وقتی میزان پتاسیم کم می‌شود، میزان پروتئین هم کاهش یافته و به‌جای آن غلظت آمیدها و اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد (Chakraborty et al., 2016). حفظ نسبت مناسب پتاسیم به سدیم جهت داشتن آماس، تنظیم اسمزی سلول، باز و بسته شدن روزنه‌ها، بیوسنتز پروتئین و فتوسنتز ضروری است (Abbasi et al., 2012). گلایسین بتائین نیز از ترکیبات آلی است که اثرات محافظت کنندگی اسمزی نیز در سلول دارند. میزان آن در گیاهان تحت تنش خشکی برای افزایش مقاومت گیاه در برابر شرایط تنش‌زا افزایش می‌یابد، گلایسین بتائین در بسیاری از گیاهان زراعی از جمله اسفناج، جو، گندم و سورگوم در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارند (Yang et al., 2003). همچنین نتایج این آزمایش با بررسی‌های Tale Ahmad و Haddad (2011) و Carlos و همکاران (2009) انطباق دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان گلایسین بتائین تحت تنش خشکی در گیاهان گندم و سیب‌زمینی از گیاهان شاهد بیشتر است.

نتیجه‌گیری نهایی

گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی متعددی روبه رو می‌شوند که هر یک از این تنش‌ها می‌تواند با توجه به حساسیت و مرحله رشد گونه گیاهی آثار متفاوتی در رشد و عملکرد آنها داشته باشند و سبب تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، متابولیکی، بیوشیمیایی و مولکول‌های متعددی در آن‌ها شود که این امر موجب بازدارندگی شدیدی در رشد گیاه و در نتیجه کاهش محصول می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهند که خشکی باعث کاهش عناصر غذایی و افزایش پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، گلایسین بتائین گردیده است.

گیاه همیشـه بهار در مواجهه با تنش خشـکی سعی در حفظ فشـار اسمزی خود دارد که این کار را با افزایش اسـمولیت‌هایی از جمله پرولین و گلایسـین بتائین و پتاسـیم انجام می‌دهد به این دلیل که پتاسـیم نقش کـاتـالیز کردن فرایندهای سـلولی را به عهده دارد و موجب می‌شـود تا گیاه عناصـر ضروری خود را برای افزایش اسـمولیت‌ها بهتر و راحت تر به‌دسـت آورد. کاربرد پتاسـیم به‌صـورت نانو کلات تأثیر بیشـتری در کاهش اثرات سـوء تنش خشـکی بر گیاه همیشـه بهار نشان داد و بیشترین مقدار پارامترهای ذکر شده مربوط به نانو کلات پتاسـیم بود که احتمالاً به خاطر داشـتن سـطح ویژه و سـطح واکنش‌پذیری بالای نانو کلات پتاسیم می‌باشد و با به کارگیری نانوکلات پتاسیم زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شـود، لذا گیاه قادر به جذب بیشـترین مقـدار مواد غـذایی بوده و در نتیجـه ضـمن کـاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد و همچنین نتـایج نشـان دادند که افزایش سـطح تنش خشـکی باعث کاهش کارایی مصـرف آب می‌گردد و مصـرف کود کلات و نانوکلات پتاسـیم باعث افزایش کارایی مصـرف آب شد. لذا محلول پاشی کودی برای کاهش اثرات سـوء تنش خشکی و رسیدن به عملکرد مطلوب قابل توصیه است.

Refrences

Abbasi, G. H., Akhtar, J., Haq, M. A. and Ahmad, N. (2012). Screening of maize hybrids for salt tolerance at seedling stage under hydroponic condition. Soil and Environment. 31: 83-90.

Abbas-Zade, B., Sharifi Ashour-Abadi, A., Lebaschi, M.H., Naderi Haji-Bagher Kandi, M. and Maghdami, F. (2007). Effect of drought stress on proline, soluble sugars, chlorophyll and relative water content of *Melissa officinalis* L. Journal of Reserch Aromatic Plants Iran. 23: 4. 504-513.

Abedi Baba- Arabi, S., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A.R. and Adhami, E. (2012). Effects of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. Electronic Journal of Crop Production. 4(1): 75- 95.

Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology. 105: 121-126.

Ahmadi, M.A., Manuchehri, K.H. and Torkzadeh, M. (2005). Effect of type of Brasinoestroid on accumulation of Malon Aldeid, Proline, sugar and photosynthetic pigments in Rapeseed in situation of water stress. Journal of Biologyof Iran. 18: 295-306.

Aien, A. (2012). Proline and soluble carbohydrate contents and potassium, zinc calcium uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under drought stress. Journal of Crop Production in Environmental Stress. 4(3): 39-48.

Amalia Mohd Zain, N. and Razi Ismail, M. (2016). Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic water stress. Agriculture Water Management. 164(1): 83-90.

Amin, A.A., El-Shahin, M., Rashad., H. and El-Bagy, M.H. (2007). Physiological effect of Indol-3-butric acid and Salicylic acid on growth, yield and chemical constituents of Onion plants. Journal of Applied Science Research. 3(11): 1554-1563.

Amiri, A., Bagheri, A.A., Khajeh, M., Najafabadipour, F. and Yadollahi, P. (2014). The effect of silicone foliar application on the performance and activity of safflower antioxidant enzymes in low irrigation conditions. Journal of Agricultural Research. 5 (4): 372-361.

Arji, A., Arzani, K. and Ebrahim-Zadeh, M.H. (2003). Quantitative study of proline and soluble carbohydrates in five olive cultivars under drought stress. Journal of Biological Chemistry. 16: 4. 59-47.

Azzaz, N.A., Hassan, E.A. and Elemarey, F.A. (2007). Physiological, anatomical, and biochemical studies on pot marigold (*Calendula officinalis* L.) plants. African Crop Science Conference Proceeding. 8: 1727-38.

Bahari, A. A., Sokhtesaraei, R., Chaghazardi, H. R., Masoudi, F. and Nazari, H. (2015). Effect of waterdeficit stress and foliar application of salicylic acidon antioxidants enzymes activity in leaves of *Thymusdaenensis* subsp. *lancifollius*. Cercetări Agronomiceîn Moldova. 17(1): 57-67.

Bates, L. S., Waldran. R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. Plant Soil. 39: 205-208.

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W. and Djebali, W. (2010). Effects ofexogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in (*Linum usitatissimum* L.). Ecotoxicology and Environmental Safety. 73(5):1004-1011.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72: 248- 254.

Butnariu, M. and Zepa Coradini, C. (2012). Evaluation of biologically active compounds from *Calendula officinalis* flowers using spectrophotometry. Butnariu and Coradini Chemistry Central Journal. 6 (35): 1-7.

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.

Carlos, A.C.C., Adriano, L.P., Leandro, B.L., Rogerio, P.S. and Giuseppina, P.P.L. (2009). Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. Crop Science. 49: 949-954.

Chakraborty, K., Bhaduri, D., Meena, H. N. and Kalariya, K. (2016). External potassium (K+) application improves salinity tolerance by promoting Na+ - exclusion, K+ - accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. Plant Physiology and Biochemistry. 103: 143-153.

Ciosamarde, A. (2003). Physiological aspects of wheat cultivars in relation to drought resistance. PhD Thesis, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran.

Damayanthi, M.M.N., Mohtti, A.J. and Nissanka, S.P. (2010). Comparison of tolerant ability of mature field grown tea (*Camellia sinensis* L.) cultivars exposed to a drought stress in *Passara* Area. Tropical Agriculture Research. 22: 66-75.

Dehghan Niri, F., Saffari, V. R. and Maghsoudi Moud, A.A. (2016). Salicylic acid effects on stomatal characteristics and some growth of calendula plants (*Calendula officinalis* L.) under salt stress. Journal of Horticultural Science. 47(2):193-202.

Dehqanzadeh, H., Khajehpour, M.R., Heidari Sharif Abad, H. and Soleimani, A.S. (2008). Effect of limited irrigation on the accumulation of proline, free soluble sugars and potassium in bread wheat cultivars. 10th Iran Cong Agron and Plant Breed Sci. 430p.

Demiralay, M., Sağlam, A. and Kadıoğlu, A. (2013). Salicylic acid delays leaf rolling by inducingantioxidantenzymes & modulating osmoprotectant content in *Ctenanthe setosa* under osmoticstress. Turkish Journal of Biology. 37: 49-59.

Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A. and Shirani-rad. H. (2011). Effect of drought stress and potassium on solutes accumulation and chlorophyll of canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Journal of Water and Soil Science. 15(57): 141-156.

Farahat, M.M., Ibrahim, M.M.S., Taha, L.S. and El-Quesni, E.M.F. (2007). Response of vegetative growth and some chemical constituents of *Cupressus sempervirens* L. to foliar application of ascorbic acid and zinc at Nubaria. World Journal of Agricultural Sciences. 3(4): 496-502.

Ghobadi, M., Taherabadia, S., Ghobadi, M.E., Mohammadi, Gh.R. and Jalali-

Honarmand, S. (2013). Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. Industrial Crops and Products. 50: 29-38

Grieve, C.M. and Grattan, S.R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. Plant Soil. 70: 303–307.

Grzebisz, W., Gransee, A., Szczepaniak, W. and Diatta, J. (2013). The effect of potassium fertiliziation on water- use efficiency in crop plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 176(3): 355-374.

Hammerschmidt, R., Nuckler, E.M., and Kuc, J. (1982). Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to Colletotrichum lagenaricum. Physiology Plant. 20: 73-82.

Hanson, A.D., Nelsen, C.E. and Evanson, E.H. (1977). Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. Crop Scienc. 17: 720-726.

Hayat, S. and Ahmad, A. (2007). Salicylic Acid: A Plant Hormone. Springer. Pp. 97-99.

Inze, D. and Montagu, M.V. (2000). Oxidative stress in plants, T J International Ltd, padstow, Cornawall, Great Britain, 321 pages.

Iqbal, D., Habib, U., Abbasi, N. A. and Chaudhry, A.N. (2012). Improvement in postharvest attributes of Zinnia (*Zinnia elegans* cv. Benarys Giant) cut flowers by the application of various growth regulators. Pakistan Journal of Botany. 44: 1091-1094.

Jabbarzadeh, Z., Khosh-Khui, M. and Salehi, H. (2009). The Effect of Foliar-applied Salicylic Acid on Flowering of African Violet. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 3: 4693-4696.

Jiang, Y. and Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation contribution No. 00-227-J from Kansas. Agric. Exp. Stn. Crop Science. 41: 436-442.

Jiménez-Medina, E., Garcia-Lora, A., Paco, L., Algarra, I., Collado, A. and Garrido, F. (2006). A new extract of the plant *Calendula officinalis* produces a dual in vitro effect: cytotoxic antitumor activity and lymphocyte activation. BMC Cancer. 6 (119): 1 - 14.

Kamali, M., Kharazi, S., Tehranifar, M. and Selahvarzi, Y. (2013). Effect Salicylic asid on growth and Some morpho-physiological traits of *Gompherna globosa* L. under salt stress. Journal of Horticultural Science. 26(1): 104-112.

Kanai, S., Ohkura, J., Adu-Gyamfi, P., Mohapatra, H., Saneoka, A. and Fujita, K. (2007). Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. Journal of Experimental Botany. 58: 2917-2928.

Kang, G. and Wang, CH. (2003). Salicylic acid changes activities of H_2O_2-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings, Environmental and Experimental Botany. 50:9-15.

Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticulturae. 215(24): 184-194.

Khezerloo, F., Jalili, F. and Khalili Mahaleh, J. (2010). Drought stress and nitrogen and potassium on sorghum (Var. Speed feed) forage production. Journal of Research in Agronomy Science. 2(8): 51-66.

Kumar, A. R. and Kumar M. (2008). Studies on the efficacy of sulphate of potash on physiological, yield and quality parameters of Banana cv. Robusta (Cavendish- AAA). EurAsian Journal of BioScience. 2:102-109.

Lambers, H., Chapin, F.S. and Pons, T.L. (2008). Plant physiology ecology, 2nd edition Springer, New York.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total

carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions.11(5): 591-592.

Lotfi, M., Abbaszadeh, B. and Mirza. M. (2014). The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 30(1): 19-29.

Lv, X., Li, T., Wen, X., Liao, L. and Liu, Y. (2017). Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. Field Crops Research. 206: 95-105.

Mansouri-Far, C., Modarres Sanavy, S.A.M., and Saberali, S.F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. Agric. Water Manag. 97 (1): 12-22

Mardani, H., Bayat, H. and Azizi, M. (2011). Effect of foliar application of salicylic acid on morphological and physiological parameters of cucumber (*Cucumis sativus*) under drought stress. Journal of Horticultural Science. 25: 320-326.

Marshener, P. (2012). Marshener's mineral nutrition of higher of plants. Academic London, London.

Martineau, J.C., Domec, A., Bosc, P., Denoroy, V., Asensio Fandino, J., Lavres L. and Meille, J. (2017). The effect of potassium nutrition on water use in field- grown maize (*Zea mays* L.). Environmental and Experimental Botany. 134: 62-71.

Masoudi- Sadaghiani, F., Abdollahi Mandoulakani, B., Zardoshti, M. R., Rasouli Sadaghiani, M. H. and Tavakoli, A. (2011). Response of proline, souluble sugar, photosynthetitic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science. 5: 55-60.

Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. (2003). Salicylic acid alleviated thecadmium toxicity in barley seedling. Physiology and Biochemistry of Plant. 132: 272-281.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7: 405-410.

Monica, R.C. and Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. Jounal of Cytology, Cytosystematics and Cytogenetics. 6: 161-165.

Moran, J.F., Becana, M., Ormaetxe, I.I., Frechilla, S.L., Klucasc, R.V. and Tejo, D.A. (1994). Drought induces oxidative stress in pea plants. Plant. 194: 346-352.

Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A.M., Soroush-Zade, A. and Jalali, M. (2004). Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. Biaban, 9: 1. 93-110.

Nazari, M., Zolfaghari, R. and Fayyaz, P. (2013). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran. Journal of Forest and Wood Product. 66: 1-14.

Norastehnia, A. and Farjadi, M. (2016). The effect of the interaction between water stress and potassium nitrate on some of the physiological responses of *Nicotiana tabacum* L. Nova Biologica Reperta. 2(4): 260-271.

Okoh, O.O., Sadimenko, A.P., Asekun, O.T. and Afolayan, A.J. (2008). The effects of drying on the chemical components of essential oils of *Calendula officinalis* L. African Journal of Biotechnol. 7(10): 1500 - 2.

Omidbaigi, R. (2008). Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Beh Nashr Press. Iran. Vol. 1 & 2.

Oosterhuit. D.M., Loka, D.A. and Raper, T.B. (2013). Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 176(3): 331-343.

Pandey, A.C., Sanjay, S.S. and Yadav, R.S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicer arietinum. Journal of Experimental Nano Science. 5:488-497.

Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. (2011). Comparison of the effect of iron nano-chelate with iron chelate on growth parameters and activity of basil antioxidant enzymes. New Journal of Cellular-Molecular Biotechnology. 1(4): 89-98.

Pintea, A., Bele, C., Andrei, S. and Socaciu, C. (2003). HPLC analysis of carotenoids in four varieties of *Calendula officinalis* L. flowers. Acta Biologica Szegediensis. 47(1-4): 37-40.

Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, N., Munaswamy, P., Raja, V., Reddy, R., Sreep Rasad **T.S., Sajanlal, P. and Pradeep, T. (2012).** Effect of Nano scales zinc oxid on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35: 905-927.

Ramrudi, M. and Khamar, A.R. (2013). Interaction effects of foliar spray of salicylic acid and different irrigation treatments on some of the quantity, quality and osmotic regulators of basil. Journal of Plant Ecophysiology Applied Research. 1(1):19-31.

Redha, A., Mansor, N.A.L, Suleman, P., Hasan, R.A. and Afzal, M. (2012). Modulation of antioxidant defenses in Conocarpus lancifolius under variable abiotic stress. Biochemical Systematics and Ecology. 43: 80–86.

Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M. and Ramrodi, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grian yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27(3):384-396.

Safarnejad, A., Salami, M. and Hamidi, H. (2007). Investigation of morphological characteristics of Asfarzeh medicinal plants against salinity stress. Journal of Research and Construction in Natural Resources. 75: 152-160.

Sanches-Rodrigues, E., Rubio-Welhelmi, M.D., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Leyva, R., Romero, L. and Ruiz, J.M. (2010). Study of the ionome and uptake fluxes in cherry tomato plants under moderate water stress conditions. Plant Soil. 335:339-347.

Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A. and Tokuda, S. (2004). Physiological response of cabbage pig seedling to water stress during low-temperature storage in darkness. Journal of Horticultural Science. 101: 349-357.

Schutz, H. and Fangmier, E. (2001). Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated Co_2 and water limitation. Environmental Pollution. 114:187-194.

Shi, Q. and Zhu, Z. (2008). Effects of exogenous salicylic acid on manganesetoxicity, element contentsand antioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany. 63: 317-326.

Shibli, R.A., Kushad, M., Yousef, G.G. and Lila, M.A. (2007). Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant Growth Regulation. 51: 159-169.

Sivaci, A. and Elmas, E. (2012). The combined effects of cadmium and salinity on some pigments and total phenolic compounds of Myriophyllum heterophyllum Michx. and Potamogeton crispus L. Agricultural Research. 7(26): 3813-3818.

Slama, I., Messedi, D., Ghanaya, T., Savoure, A. and Abdelly, C. (2005). Effects of water deficit on growth and proline metabolism in Sesuvium portulacastrum. Environmental and Experimental Botany. 56: 231-238.

Somogyi, M. (1952). Notes on sugar determination. Journal of Biological Chemistry. 195: 19-23.

Tale Ahmad, S. and Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Journal of Genetics and Plant Breeding. 47: 17-27.

Thalooth, A.T., Tawfik, M.M. and Magda Mohamed, H. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on

growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World Journal of Agricultural Sciences. 2(1): 37-46.

Turhan, H. and Baser, I. (2004). In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). Helia. 27: 227-23.

Ullah Jan, A., Hadi, F., Midrarullah, M., Asif Nawaz, M. and Rahman, K. (2017). Potassium and zinc increase tolerance to salt stress in wheat (*Triricum aestivum* L.). Plant Physiology and Biochemistry. 116: 139-149.

Verslues, P.E., Ober, E.S. and Sharp, R.E. (1998). Root growth and oxygen relations at low water potentials, Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions. Plant Physiol. 116: 1403-1412.

Yang, F., Hong, W., You, J., Liu, C., Gao, F.Q., Wu, C. and Yang, P. (2006). Influences of nanoanatas Tio on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research. 110: 179- 190.

Yang, W.J., Rich, P.J., Axtell, J.D., Wood, K.V., Bonham, C.C. and Ejeta, G. (2003). Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. Crop Science. 43: 162-169.

Zahoor, R., Zhao, W., Dong, H., Snider, J.L., Abid, M., Iqbal, B. and Zhou, Z. (2017). Potassium improves photosynthetic tolerance to and recovery from episodic drought stress in functional leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Physiology and Biochemistry. 119: 21-32.

Zali, H., Hasanlu, T., Sefalian, A., Asghari, A. and Zeinal Abedini, M. (2016). The effect of drought stress on physiological parameters and amino acid accumulation in canola. Journal of Crop Breeding. 8 (18): 203-191.

Zamani, Z. Tenants, A. and Asghari, Gh. (2012). Effect of drought stress on growth and activity of antioxidant enzymes catalase and ascorbate peroxidase in turmeric (*Curcuma longa* L). Journal of Plant Science Research. 27 (3). 23-39.

Zhu, H., Han, J.J., Xiao, Q. and Jin, Y. (2008). Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. Journal of Environmental Monitoring. 10: 713-717.

Zimerman-Lax, N., Tamir- Ariel, D., Shenker, M. and Burdman, S. (2017). Decreased potassium fertilization is associated with increased pathogen growth and disease severity caused by Acidovorax citrulli in melon foliage. Journal of General Plant Pathology. 84(1): 27-34.