



Effect of Pinching and Thidiazuron on Morphophysiological and Biochemical Properties of *Pelargonium graveolens* Under Water Deficit Stress

Abbass Yasemi¹ , Abdolhossein Rezaei Nejad^{2✉} , Sadegh Mousavi-Fard³ ,
Farhad Beiranvand⁴ 

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: abassyasemi@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: rezaeinejad.h@lu.ac.ir
3. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal Bakhtiari, Iran. E-mail: Mousavifard.S@sku.ac.ir
4. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: Farhadbeiranvand@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	In order to investigate the effect of pinching and foliar spraying of thidiazuron on improving the tolerance to water-deficit stress in <i>Pelargonium graveolens</i> plants, a factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with four replications in the research greenhouses of the Faculty of Agriculture of Lorestan University in 2022. The first factor was water deficit stress (80 (control), 50 and 20% available water in the soil (AWC)), the second factor was pinching and non-pinching, and the third one included thidiazuron foliar spraying (zero, 5 and 10 mg/liter). The results showed that water deficit stress had a decrease effect on the indices of plant height, number of lateral branches, total fresh and dry weight, relative water content and essential oil percentage, whereas it had an increase impact on electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity. Pinching of plants and foliar application of thidiazuron in the control level decreased the plant height, number of leaves and the relative water content of the leaves, but increased total fresh and dry weight, root growth, concentration of photosynthetic pigments and electrolyte leakage. However, under the water deficit stress, plant height, number of lateral branches, number of leaves, root growth, total fresh and dry weight, relative leaf water content and essential oil yield increased and electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity decreased. In general, the results showed that the application of pinching and thidiazuron, particularly at a concentration of 5 mg/liter, resulted in a reduction of the adverse effects of water deficit stress by improving the water balance and promoting root growth.
Article history: Received: 31 July 2023 Received in revised form: 10 November 2023 Accepted: 26 December 2023 Published online: Summer 2024	
Keywords: <i>Drought,</i> <i>Number of branches,</i> <i>Photosynthetic pigments,</i> <i>Plant height,</i> <i>Relative water content.</i>	

Cite this article: Yasemi, A., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S. & Beiranvand, F. (2024). Effect of Pinching and Thidiazuron on Morphophysiological and Biochemical Properties of *Pelargonium graveolens* Under Water Deficit Stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 215-240. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

The growth and development of plants in arid and semi-arid areas is limited by lack of water, resulting in changes in their physiological and biochemical characteristics, such as an imbalance in hormonal levels that can cause a decrease in plant growth. Therefore, the utilization of plant growth regulators can be an effective factor in improving tolerance to abiotic stresses. On the other hand, in plants with a strong dominance of terminal bud, application of plant growth regulators causes the promotion of branching and enhancement of

plant yield. Thidiazuron affects many aspects of the plant, including shoot formation and multiplication. It is also resistant to internal cytokinin oxidases, which makes it stable in the plant. Aromatic geranium is a slow-growing, perennial plant that is used as an ornamental and medicinal plant. The present study aims to investigate the effect of thidiazuron foliar application and pinching in reducing the adverse effects of water deficit stress on some morphophysiological and biochemical characteristics of aromatic geranium in greenhouse conditions.

Materials and methods

The factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three factors and four replications in the research greenhouses of Lorestan Agricultural College in spring and summer of 2022. The first factor was water deficit stress at three levels of 80, 50 and 20% of available water content in the soil, the second factor was pinching at two levels including without pinching and with pinching and the third factor was thidiazuron foliar spraying at three levels of zero (control), 5 and 10 mg/l. Stem cuttings of aromatic geranium were induced to rooting by application of an auxin rooting hormone. Then transplanted to the substrate containing sand, field soil and manure 1:1:1. After the establishment of cuttings, the water deficit stress was calculated with the help of pressure plate device and gravimetrically method. Pinching was performed by hand in the morning. Thidiazuron treatment was also carried out by spraying on plants. Three months after the application of water deficit stress, the morphophysiological and biochemical characteristics in addition to percentage and yield of the essential oil were measured.

Results and discussion

The results showed that the stress of water deficit decreased the height of the plant, the number of lateral stems, the total fresh and dry weight, the relative water content of leaf and the percentage of essential oil, but it increased electrolyte leakage, malondialdehyde content and catalase enzyme activity. Pinching and foliar spraying of thidiazuron on plants at the level of 80% of available water led to a decrease in height, number of leaves and relative water content of leaves. Although the total fresh and dry weight, root growth, concentration of photosynthetic pigments and electrolyte leakage increased under the condition of water deficit stress, but plant height, number of lateral branches, number of leaves, root growth, total fresh and dry weight, concentration of photosynthetic pigments, relative content of leaf water and essential oil yield increased and electrolyte leakage rate, malondialdehyde content and catalase enzyme activity decreased. Among the examined concentrations of thidiazuron, the concentration of 5 mg/liter showed a better effect on the growth and development of plants. Drought-resistant plants can show resistance to water deficit conditions through morphological and physiological adaptations and molecular signals. In fact, the decrease in plant height can be due to the decrease in turgor pressure and as a result, the decrease in cell division and enlargement in drought stress conditions. The effect of thidiazuron and the action of pinching can increase cell division, chlorophyll accumulation, biosynthesis of photosynthetic pigments (conversion of etioplast to chloroplast) and delay the aging of plant leaves by reducing terminal dominance and stimulating cytokinin production. Also, through the positive effect on cell division, it increases the potential of the physiological reservoir and thereby increases the photosynthetic capacity and plant growth. By increasing the irrigation intervals, the essential oil content enhanced, while the yield of oil declined, which can be related to the reduction of vegetative growth as a result of water deficit stress. Thidiazuron as a growth stimulant can affect secondary metabolites depending on the time and the concentration used.

Conclusion

The results of the present experiment showed that pinching and the foliar application of thidiazuron can increase the resistance of the *Pelargonium graveolens* water deficit stress by improving root growth and inhibiting terminal dominance. However, more research is needed in order to use thidiazuron for decapitation in other plants.



تأثیر سربرداری و تیدیا زورون بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

عباس یاسمی^۱ | عبدالحسین رضایی نژاد^۲ | صادق موسوی فرد^۳ | فرهاد بیرانوند^۴

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: abassyasemi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: rezaeinejad.h@lu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال بختیاری، ایران. رایانامه: Mousavifard.S@sku.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: Farhadbeiranvand@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	به منظور بررسی اثر سربرداری و محلول پاشی تیدیا زورون روی بهبود تحمل به تنش کم آبیاری در گیاهان شمعدانی معطر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتور اول تنش کم آبیاری (۸۰ شاهد)، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک)، فاکتور دوم سربرداری و عدم سربرداری و فاکتور سوم شامل محلول پاشی تیدیا زورون (صفر، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری تأثیر کاهشی بر مولفه‌های ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و خشک کل، محتوای نسبی آب و درصد اسانس داشت، اما نشت الکترولیت، محتوای مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. سربرداری گیاهان و محلول پاشی تیدیا زورون در سطح شاهد، باعث کاهش ارتفاع، تعداد برگ و محتوای نسبی آب برگ شدند، اما وزن تر و خشک کل، رشد ریشه، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و نشت الکترولیت را افزایش دادند. با این وجود، تحت شرایط تنش کم آبیاری، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، رشد ریشه، وزن تر و خشک کل، غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد اسانس را افزایش و میزان نشت الکترولیت، محتوای مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش دادند. به طور کلی، نتایج نشان داد کاربرد سربرداری و تیدیا زورون به ویژه در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر از طریق بهبود تعادل آبی و افزایش رشد ریشه، باعث کاهش اثرات نامطلوب کم آبیاری شدند.
مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳	
کلیدواژه‌ها:	
ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، خشکی، محتوای نسبی آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی.	

استناد: یاسمی، عباس؛ رضایی نژاد، عبدالحسین؛ موسوی فرد، صادق و بیرانوند، فرهاد (۱۴۰۳). تأثیر سربرداری و تیدیا زورون بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵ (۲)، ۲۴۰-۲۱۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.363042.2117>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

تغییرات آب و هوایی جهانی مشکل خشک‌سالی را تشدید می‌کند و می‌تواند دامنه آن را در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش داده و رشد و نمو گیاهان را محدود کند (Liu *et al.*, 2022; Kaur *et al.*, 2000). بنابراین، برای مدیریت بهتر منابع آبی باید به دنبال راهکارهای بلند مدت و کوتاه مدت بود (Alvarez *et al.*, 2019). تحت شرایط تنش خشکی، رشد گیاهان به دلیل عدم تعادل هورمون‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند عاملی در بهبود تحمل به تنش‌های غیر زیستی باشد (Kaur *et al.*, 2000). از طرفی دیگر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به منظور بهبود شاخه‌زایی، به‌ویژه در گیاهانی با غالبیت انتهایی قوی و شاخه‌دهی ضعیف نسبت به عمل سربرداری شاخه‌ی اصلی، بسیار موثر است (Gudarowska & Szewczuk, 2002) و عملکرد گیاهان را به دلیل حذف غالبیت انتهایی و در نتیجه تحریک نمو جوانه‌های محوری افزایش دهد (Dorajeero & Mokashi, 2012). زیرا تحریک به رشد شاخه‌های جانبی و افزایش کیفیت و بازارپسندی گیاهان گل‌دهنده و برگساره‌ای‌گلدانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در گیاهان، هورمون‌های گیاهی، فعالیت‌های مختلف سلولی و پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی را تنظیم می‌کنند (Karnwal TDZ; 1-phenyl-urea (3-(1,2,3-thiadiazol-5-yl) تنظیم‌کننده رشد گیاهی که فعالیت شبه سایتوکینینی (فاقد حلقه پورین) است که جنبه‌های زیادی از مراحل گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

شمعدانی معطر گیاهی کند رشد، چند ساله به رنگ سبز خاکستری است که به دلیل برگ‌های مضرس با بریدگی عمیق به رنگ سبز تا سبز کم‌رنگ با بوی شبیه عطر گل سرخ و گلچه‌ها کوچک و صورتی می‌تواند علاوه بر کاربردهای دارویی، به عنوان گیاهی زینتی مورد استفاده قرار گیرد (Rezaei Nejad & Ismaili, 2014). گیاه شمعدانی معطر در مناطق مدیترانه‌ای، در باغ‌ها و پارک‌ها به عنوان یک گونه زینتی کشت و کار می‌شود (Motsa *et al.*, 2006). با توجه به اهمیت گیاهان زینتی در زندگی امروزی و نیاز به شناخت بهتر واکنش آنها به شرایط کمبود آب و البته حفظ بازارپسندی مناسب، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد تیدیازورون و سربرداری در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر در شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

پیشینه پژوهش

تحقیقات روی گیاهان پروانش (Zomorodi *et al.*, 2022) و مریم‌گلی زینتی (Beiranvand *et al.*, 2023) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش صفات فنولوژیک (ظهور جوانه گل، عمر گل روی بوته)، مورفولوژیک (وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن خشک گل، سطح برگ) و سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شد و مقدار نشت الکترولیت، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) را افزایش داد. انسداد روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، فراهمی دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی محدود کرده و در نتیجه از رشد گیاه و قدرت گلدهی گیاه کاسته می‌شود. تحت تاثیر تنش خشکی در سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های گیاه، گونه‌های فعال اکسیژن تجمع می‌یابند. برای دفع سمیت این ترکیبات، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته و به غریبال گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدها کمک می‌کند تا زنده‌مانی و تمامیت اندام‌ها و غشای سلولی حفظ شود (Liu *et al.*, 2022). در بررسی تاثیر تنش کم‌آبیاری (سطوح ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بر رشد، عملکرد، میزان اسانس شمعدانی معطر گزارش کردند تنش خشکی به شدت باعث کاهش ارتفاع ساقه، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، عملکرد ماده تر و خشک در گلدان و همچنین عملکرد اسانس شد. در بین سطوح تنش کم‌آبیاری، سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین

تاثير منفی را بر رشد و نمو گیاه نشان داد و کمترین عملکرد خشک و عملکرد اسانس به دست آمد. (Rezaei Nejad *et al.*, 2013).

در گیاهان ورد، جعفری آفریقایی و گوجه فرنگی، سربرداری گیاهان باعث کاهش ارتفاع گیاه و تاخیر در گلدهی شد، اما تعداد گل جانبی، قطر ساقه و زیست توده گیاهی را افزایش داد (Zieslin *et al.*, 1975; Singh *et al.*, 2019; Sehrawat *et al.*, 2003; Ki-Yun *et al.*, 2004). همچنین تاخیر در سربرداری (۴۰ روز) گیاهان جعفری آفریقایی، با حداکثر تعداد شاخه و عملکرد گل همراه بود (Sehrawat *et al.*, 2003). در یک بررسی روی گیاه آنتوریوم سرزنی باعث کاهش ارتفاع گیاه و تاخیر در گلدهی شد اما تعداد گل جانبی را افزایش داد. کاربرد پاکلوبوترازول نیز گیاهان متراکمتری را ایجاد کرد و ارتفاع گیاه را کاهش داد. کاربرد پاکلوبوترازول در مراحل اولیه رشد تاثیر بیشتری روی کاهش ارتفاع گیاهان نشان داد (Wainwright & Irwin, 1987).

مطالعات نشان داده است که کاربرد تیديازورون در گونه‌های گیاهی از جمله میخک (Nugent *et al.*, 1991) و ورد (Lu, 1993)، تاثیر بیشتری در مقایسه با بنزیل آدنین، کینیتین و زه‌آتین در القای باززایی شاخساره دارد. تیمار تیديازورون (صفر، ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) روی میخک در مرحله قبل و بعد از برداشت باعث کاهش طول ساقه در مقایسه با تیمار شاهد شد و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار به‌طور قابل توجهی عمر گلجای گل شاخه بریده را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. گل‌های تیمار شده با تیديازورون، وزن تر نسبی بیشتری نیز نشان دادند (Chamani & Esmaeilpour, 2007).

در بررسی تاثیر تیديازورون روی گل رز گلدانی سربرداری شده، دو هفته پس از تیمار با ۱۰۰ میلی‌مولار تیديازورون، گیاهان فشرده، شاخه‌ها کوتاه‌تر و میانگره‌ها ضخیم‌تر شدند و ارتفاع ساقه‌های جدید به نصف ارتفاع گیاهان شاهد کاهش یافت، اما قطر ساقه حدود ۴۰ درصد بیشتر از شاهد شد. همچنین تیمار تیديازورون از طریق تعدیل بیوسنتز جیبرلین، طول و قطر ساقه را در گیاهان گل رز تنظیم کرد (Celikel *et al.*, 2021). بر خلاف دیگر سیتوکینین‌ها، تیديازورون به اکسیدازهای درونی سیتوکینین مقاوم است که باعث ثبات آن در گیاه می‌شود (Dewir *et al.*, 2018). همچنین، تیديازورون فعالیت سیتوکینین اکسیداز/دهیدروژناز را مهار می‌کند که می‌تواند منجر به افزایش تجمع پورین سیتوکینین در بافت گیاهان شود. از طرفی تیمار با تیديازورون، ژن‌های مرتبط با تنش را فعال (Radhakrishnan *et al.*, 2009) و تجمع مولکول‌های سیگنال‌دهی تنش از جمله اسید آسبیزیک و پرولین را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، به‌طور نسبی تیديازورون جریان ورودی و خروجی کلسیم را نیز تغییر می‌دهد (Dewir *et al.*, 2018).

روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و چهار تکرار در گلخانه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی لرستان (دمای روزانه ۲۸-۲۰ و شبانه ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و شدت نور ۵۰۰-۴۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) در بهار و تابستان ۱۴۰۱ انجام شد. فاکتور اول شامل تنش کم آبیاری در سه سطح ۸۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در خاک، فاکتور دوم سربرداری در دو سطح شامل بدون سربرداری و با سربرداری و فاکتور سوم محلول‌پاشی تیديازورون در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود. قلمه‌های شمعدانی معطر از سرشاخه گیاهان مادری از گلخانه دانشکده کشاورزی لرستان تهیه و پس از ریشه‌دار شدن با استفاده از هورمون اکسین در گلدان‌هایی (۱/۵ کیلوگرمی، هر گلدان حاوی یک گیاه) شامل مخلوط ماسه، خاک زراعی و کود پوسیده گندزدایی شده به نسبت مساوی ۱:۱:۱ (با بافت خاک لومی رسی-شنی، ظرفیت زراعی ۲۳/۲۲ درصد، نقطه پژمردگی ۱۷/۶۶ درصد، حاوی ۰/۰۸۳ درصد نیتروژن

1 *Rosa hybrida* 'Baccara'

2 *Tagetes erecta* L.

3 *Dianthus caryophyllus* 'Lunetta'

به علاوه فسفر قابل جذب، پتاسیم، منیزیم و آهن، به ترتیب ۱/۸۶، ۰/۲۲، ۰/۴۵۲ و ۰/۰۲۲ میلی گرم در کیلوگرم) کشت شد. پس از استقرار قلمه‌ها (به مدت سه ماه از زمان قلمه‌گیری تا استقرار کامل) در گلدان، تیمار کم آبیاری با کمک دستگاه صفحات فشاری و روش وزنی محاسبه و اعمال شد. سرزنی با دست در صبح و دو هفته بعد از اعمال تنش کم آبیاری انجام شد. همچنین اعمال تیمار تیدیاژورون (با فرمول: C₉H₈N₄O₅ و وزن مولکولی ۲۲۰/۲۵ گرم بر مول) به صورت محلول پاشی در دو مرحله و با فاصله زمانی یک هفته، بعد از استقرار گیاهان و همزمان با اعمال تنش کم آبیاری انجام شد. گلدان‌های تیمار شاهد نیز با آب مقطر محلول پاشی شدند. سه ماه بعد از اعمال تنش کم آبیاری ویژگی‌های زیر اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شامل ارتفاع بوته و طول ریشه از محل طوقه (سانتی‌متر)، تعداد ساقه، قطر ساقه (میانگره سوم از پایین) و حجم ریشه (از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرارگیری ریشه در حجم مشخص آب بر اساس قانون ارشمیدوس)، وزن تر ریشه و وزن تر و خشک کل گیاه اندازه‌گیری شد. کارآیی مصرف آب (Jaleel *et al.*, 2008) و شاخص مقاومت به تنش خشکی (Fischer and Maurer, 1978) نیز به ترتیب طبق روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$\text{رابطه ۱)} \quad \frac{\text{وزن خشک کل}}{\text{آب مصرفی کل}} = (\text{گرم وزن خشک تقسیم بر کیلوگرم آب}) \text{ کارآیی مصرف آب}$$

$$\text{رابطه ۲)} \quad 100 \times \frac{\text{وزن خشک کل}}{\text{وزن خشک شاهد}} = (\text{درصد}) \text{ شاخص مقاومت به تنش}$$

محتوای نسبی آب برگ طبق روش Ritchie & Nguyen (1990) و رابطه ۳ اندازه‌گیری شد. در این رابطه RWC نشان دهنده محتوای نسبی آب برگ؛ FW وزن تر؛ DW وزن خشک و TW وزن در حالت تورژسانس نمونه‌های برگ است.

$$\text{رابطه ۳)} \quad \text{RWC (\%)} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})$$

نفوذپذیری غشاء سلولی، بر اساس روش Lutts *et al.* (1996)، در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ در ابعاد ۱ سانتی‌متری بریده و سپس با آب مقطر شسته شد. هدایت الکتریکی اولیه پس از ۲ ساعت نگهداری نمونه‌ها در آب مقطر و دمای اتاق و هدایت الکتریکی ثانویه پس از ۲۰ دقیقه اتوکلاو در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و سپس سرد شدن قرائت شدند. نشت الکترولیت برگ از رابطه ۴ به دست آمد.

$$\text{رابطه ۴)} \quad \text{EL (\%)} = (\text{E1/E2}) \times 100$$

در این رابطه EL نشت الکترولیت؛ E1 هدایت الکتریکی اولیه و E2 هدایت الکتریکی ثانویه می‌باشد.

برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (1987) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم از برگ در هاون چینی با ازت مایع خرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون خالص مخلوط شد. عصاره به دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. استون به عنوان محلول شاهد برای تنظیم صفر جذب نوری اسپکتروفتومتر استفاده شد. در نهایت غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه و بر اساس میلی‌گرم در گرم محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۵)} \quad \text{Chla} = (11.24 \times \text{A662}) - (2.04 \times \text{A645})$$

$$\text{رابطه ۶)} \quad \text{Chlb} = (20.13 \times \text{A645}) - (4.19 \times \text{A662})$$

$$\text{رابطه ۷)} \quad \text{Total Chl} = 7.05 \times (\text{A662}) + 18.09 \times (\text{A645})$$

$$\text{رابطه ۸)} \quad \text{Car} = 1000 \times (\text{A470} - 1.90 \times \text{Chl a} - 63.14 \times \text{Chl b}) / 214$$

میزان مالون دی‌آلدئید با استفاده از تیوباربیتوریک اسید به عنوان معرف و بر اساس روش Wang *et al.* (2009) انجام شد. یک دهم گرم از بافت تازه گیاه (برگ) با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد، سپس ۵ میلی‌لیتر از محلول نیم درصد تیوباربیتوریک اسید (حل شده در تری‌کلرو استیک اسید) به آن اضافه شد. به منظور انجام واکنش، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند پس از آن، بلافاصله با استفاده از یخ سرد شدند. مخلوط در

۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب روشناور در سه طول موج ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و سپس میزان مالون دی آلدئید بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۹ محاسبه گردید.

$$\text{MDA} = 6.45(\text{OD}532 - \text{OD}600) - 0.56(\text{OD}450) \quad (\text{رابطه ۹})$$

در این رابطه MDA محتوای مالون دی آلدئید و OD میزان جذب در طول موج مشخص می باشد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (Chance & Maehly, 1981) انجام شد. مقدار ۰/۳ گرم نمونه برگ در هاون چینی و بر روی یخ با ازت مایع خرد و کاملاً پودر شد. میزان ۱/۵ میلی لیتر بافر استخراج آنزیم (شامل فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار PVP ۲ درصد EDTA ۱ میلی مولار) جهت له شدن کامل بافت برگ به آن اضافه شد. سوسپانسیون حاصل در دستگاه سانتریفیوژ یخچال دار به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و در ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس میزان جذب روشناور حاصل در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت مقدار فعالیت آنزیم بر اساس رابطه زیر محاسبه شد.

$$\text{Activity (U/ml)} = (\Delta A240 \times l \times Vt \times df) / (\epsilon \times l \times t \times Vs) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در این رابطه U: واحد آنزیمی؛ $\Delta A240$: تفاوت میزان جذب مخلوط واکنش در زمان شروع و پایان واکنش؛ I: با توجه به ضریب در معادله تعیین می شود که معادل ۲ می باشد. Vt: حجم مخلوط واکنش؛ Df: فاکتور رقیق کننده؛ t: مدت زمان واکنش و Vs: حجم نمونه می باشد.

استخراج اسانس از ساقه و برگ خشک و خرد شده با استفاده از روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر و به مدت ۳ ساعت صورت گرفت. اسانس به دست آمده توسط سولفات سدیم خشک و آب گیری و وزن شد. درصد و عملکرد اسانس نیز بر اساس روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه شدند (Amani Machiani et al., 2018).

$$\text{رابطه ۱۱} \quad 100 \times \text{وزن خشک سرشاخه ها} / \text{وزن اسانس استخراج شده} = \text{درصد اسانس}$$

$$\text{رابطه ۱۲} \quad \text{وزن خشک بوته} \times \text{درصد اسانس} = \text{عملکرد اسانس}$$

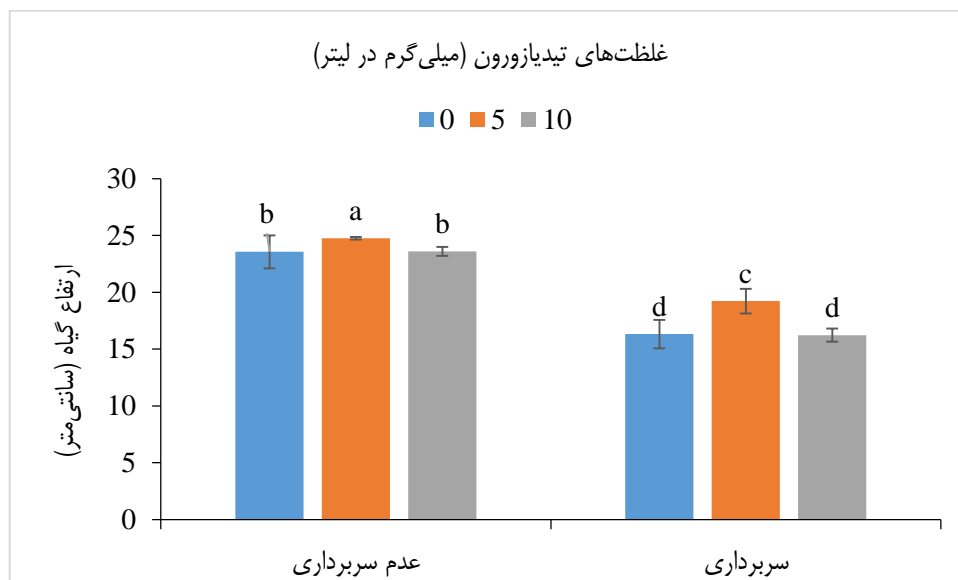
تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار آماری Minitab 18، مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD و رسم نمودارها با نرم افزار Excel صورت گرفت.

یافته های پژوهش

ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد ساقه جانبی و برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای تنش کم آبیاری، سربرداری و تیديازورون، همچنین اثر متقابل تیمارهای تنش کم آبیاری × سربرداری و تیمارهای سربرداری × تیديازورون بر ارتفاع گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر تنش کم آبیاری × تیديازورون و اثر متقابل سه گانه کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون معنی دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاهان شمعدانی در هر دو تیمار سربرداری و عدم سربرداری شد. عمل سربرداری نیز باعث کاهش ۳۳/۳ درصدی ارتفاع گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم سربرداری در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) شد (جدول ۱). کاربرد تیديازورون (به ویژه غلظت ۵ میلی گرم در لیتر) روی هر دو گروه گیاهان سربرداری شده و سربرداری نشده باعث افزایش ارتفاع گیاهان شد. در مجموع بیشترین ارتفاع (۲۴/۷۵ سانتی متر) در گیاهان تیمار شده با تیديازورون با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر که سربرداری نشده بودند ثبت شد. کمترین

ارتفاع نیز در گیاهان سربرداری شده و در غلظت صفر (۱۶/۳۲ سانتی‌متر) و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تیدیا زورون (۱۶/۲۲ سانتی‌متر) به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر سربرداری و تیدیا زورون بر ارتفاع گیاه شمعدانی معطر (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیدیا زورون بر قطر ساقه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱). اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیدیا زورون نیز در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل کم آبیاری × سربرداری و سربرداری × تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل سه گانه کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی‌دار نشد. قطر گیاهان تحت تنش کم آبیاری کاهش یافت و تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم سربرداری) باعث کاهش ۱۴/۵ درصدی در قطر گیاهان شد. تیمار شاهد نیز با ۶/۶۶ میلی‌متر بیشترین قطر گیاه را نشان داد. محلول‌پاشی تیدیا زورون در سطوح تنش ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، افزایش قطر را به همراه داشت، اما در سطح شاهد منجر به کاهش شاخص مورد نظر شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیا زورون و همچنین اثر تنش کم آبیاری × سربرداری بر تعداد ساقه در گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر تنش کم آبیاری × تیدیا زورون، سربرداری × تیدیا زورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی‌دار نشد (جدول ۱). تعداد ساقه در گیاهان تحت تاثیر تنش کم آبیاری به شدت کاهش پیدا کرد. با این وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، استفاده از سربرداری باعث افزایش تعداد ساقه در گیاهان شد. در بین تیمارهای مختلف نیز تیمار شاهد و عدم سربرداری در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس به ترتیب بیشترین (۱۶/۳۳ عدد) و کمترین (۶/۸۹ عدد) تعداد ساقه جانبی را نشان دادند (جدول ۳). استفاده از تیدیا زورون نیز با افزایش غلظت باعث افزایش تعداد ساقه در گیاهان شد، به طوری که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش ۱۶/۷۷ درصدی در این شاخص نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۷).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، سربرداری × تیدیا زورون بر تعداد برگ گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر تنش کم آبیاری × تیدیا زورون بر وزن خشک برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تعداد برگ تحت تاثیر تنش کم آبیاری به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد و در تنش شدید کم آبیاری کاهش ۵۹/۹ درصدی نشان داد. در سطح ۸۰

درصد آب قابل دسترس بدون سربرداری، محلول پاشی تیديازورون باعث کاهش تعداد برگ شد، اما در گیاهان سربرداری شده افزایش تعداد برگ را نشان داد. در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس در هر دو گروه گیاهان، کاربرد تیديازورون تعداد برگ را افزایش داد. با این وجود، بیشترین تعداد برگ (۷۹/۳۳ عدد) در تیمار عدم محلول پاشی تیديازورون در گیاهان بدون سربرداری و در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس به دست آمد. همچنین، در تیمار تنش سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیديازورون در گیاهان سربرداری نشده کمترین (۳۷/۳۳ عدد) مقدار شاخص مورد نظر ثبت گردید (جدول ۴).

ویژگی های ریشه (حجم، طول، وزن تر و خشک ریشه)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیديازورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون بر حجم ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر سربرداری × تیديازورون معنی دار نشد (جدول ۱). تنش کم آبیاری باعث کاهش حجم ریشه شد، به طوری که تنش شدید کم آبیاری کاهش ۳۷/۷ درصدی را نشان داد. عمل سربرداری و محلول پاشی تیديازورون در همه تیمارها منجر به افزایش حجم ریشه گیاهان شدند. در بین تیمارهای آزمایشی، غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر تیديازورون در گیاهان سربرداری شده در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین حجم ریشه (۲۵/۳۳ سانتی متر مکعب) را نشان داد. در تیمار تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیديازورون نیز کمترین حجم ریشه (۱۲/۶۶ سانتی متر مکعب در هر دو گروه گیاهان) ثبت شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیديازورون بر طول ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیديازورون و اثر تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون معنی دار نشد (جدول ۱). طول ریشه تحت تاثیر تنش کم آبیاری در هر دو تیمار سربرداری و عدم سربرداری، کاهش پیدا کرد و در سطح تنش ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین مقدار را در هر دو گروه گیاهان نشان داد (جدول ۳). کاربرد تیديازورون در سطوح ۸۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش طول ریشه شد، اما در سطح آبیاری ۵۰ درصد آب قابل دسترس، بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری مشاهده نشد. بیشترین طول ریشه در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر تیديازورون (۳۴/۹۱ سانتی متر) ثبت شد، کمترین مقدار آن نیز در تیمار ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد تیديازورون (۲۵/۴۱ سانتی متر) به دست آمد (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون بر وزن تر ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیديازورون در سطح احتمال آماري ۵ درصد معنی داری شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیديازورون معنی دار نشد (جدول ۱). وزن تر ریشه تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش یافت و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کاهش ۴۱/۹ درصدی را نشان داد. تیديازورون باعث افزایش وزن تر ریشه در همه گیاهان شد. سربرداری گیاهان نیز در سطوح مختلف تنش کم آبیاری (بجز غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تیديازورون در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس) باعث افزایش وزن تر ریشه گیاهان شد. در مجموع، غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تیديازورون در گیاهان سربرداری شده در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین (۱۶/۰۶ گرم) وزن تر ریشه را نشان داد. سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیديازورون در گیاهان سربرداری نشده نیز کمترین مقدار شاخص مورد نظر (۷/۵۷ گرم) را داشت (جدول ۴).

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیديازورون بر وزن خشک ریشه گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد.

اثر متقابل سربرداری × تیدیا زورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی داری شد (جدول ۱). تنش کم آبیاری در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس باعث کاهش وزن خشک ریشه تا ۵۰/۵ درصد در وزن خشک ریشه شد. در گیاهان سربرداری شده تحت سطوح مختلف تنش کم آبیاری، کاربرد تیدیا زورون منجر به افزایش وزن خشک ریشه شد. در گیاهان بدون سربرداری اختلاف معنی داری بین تیمارها مشاهده نشد. بیشترین وزن خشک ریشه (۳/۰۲ گرم) در غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تیدیا زورون در گیاهان سربرداری شده در ۸۰ درصد آب قابل دسترس به دست آمد. همچنین سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیدیا زورون در گیاهان سربرداری نشده نیز کمترین مقدار این شاخص (۱/۱۵ گرم) را نشان داد (جدول ۴).

وزن تر و خشک کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیا زورون بر وزن تر کل گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیا زورون و سربرداری × تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی دار نشد (جدول ۱). وزن تر کل گیاه تحت شرایط تنش کم آبیاری کاهش یافت، به طوری که بیشترین (۸۷/۲۶ گرم) و کمترین (۴۲/۷۶ گرم) وزن تر کل گیاه به ترتیب در تیمارهای ۸۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس ثبت شد (جدول ۵). اما سربرداری گیاهان، افزایش وزن تر کل را نشان داد (جدول ۶). کاربرد تیدیا زورون نیز باعث افزایش وزن تر کل شد. با این وجود، بین غلظت‌های آن تفاوت معنی داری دیده نشد (جدول ۷).

بررسی تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیا زورون بر وزن خشک کل گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیا زورون و سربرداری × تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی دار نشد (جدول ۱). تنش کم آبیاری باعث کاهش وزن خشک کل شد و کمترین وزن تر کل (۷/۶۵ گرم) در تیمار ۲۰ درصد آب قابل دسترس به دست آمد. بیشترین (۱۵/۶۷ گرم) مقدار این شاخص مربوطه نیز در سطح آبیاری ۸۰ درصد آب قابل دسترس ثبت شد (جدول ۳). اعمال سربرداری و محلول پاشی تیدیا زورون نیز افزایش وزن خشک کل را نشان دادند (جدول ۶).

شاخص مقاومت به تنش خشکی و کارآیی مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری و تیدیا زورون بر شاخص مقاومت به تنش خشکی در گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیا زورون و سربرداری × تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی دار نشدند (جدول ۱). شاخص مقاومت به تنش خشکی تحت تاثیر تنش کم آبیاری کاهش پیدا کرد و در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس کمترین مقدار (۴۹/۸۷ درصد) را داشت. بیشترین مقدار آن نیز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس (۱۰۲/۳۰ درصد) به دست آمد (جدول ۵). کاربرد تیدیا زورون تنها در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش شاخص مقاومت به تنش را نشان داد (جدول ۷).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیا زورون بر کارآیی مصرف آب گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری، تنش کم آبیاری × تیدیا زورون و سربرداری × تیدیا زورون و همچنین اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیا زورون معنی دار نشدند (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد تنش کم آبیاری باعث افزایش کارآیی مصرف آب شد. با این حال، بیشترین مقدار آن در تیمار ۵۰ درصد آب

قابل دسترس (۱/۶۳ گرم وزن خشک بر کیلوگرم آب) حاصل شد (جدول ۵). عمل سربرداری و کاربرد تیديازورون نیز کارایی مصرف آب را افزایش دادند (جدول ۶).

ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و مقدار مالون دی آلدئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیديازورون بر محتوای نسبی آب برگ گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیديازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون معنی دار نشدند (جدول ۲). محتوای نسبی آب برگ در هر دو گروه گیاهان تحت شرایط تنش کم آبیاری، کاهش پیدا کرد. بیشترین محتوای نسبی آب (۸۹/۹۰ درصد) در سطح آبیاری ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری ثبت شد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و در هر دو تیمار عدم سربرداری و سربرداری (به ترتیب ۷۲/۵۴ و ۷۱/۷۸ درصد) به دست آمد (جدول ۳). محلول پاشی تیديازورون در سطوح مختلف تنش کم آبیاری نیز باعث افزایش محتوای نسبی آب شد. با این حال، اختلاف معنی داری بین دو غلظت ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر تیديازورون مشاهده نشد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیديازورون و اثر متقابل تنش کم آبیاری × تیديازورون و سربرداری × تیديازورون بر نشت الکترولیت گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون در سطح احتمال آماری ۵ درصد معنی داری شد (جدول ۲). نشت الکترولیت تحت تاثیر تنش کم آبیاری در گیاهان سربرداری شده و عدم سربرداری افزایش یافت. در حالی که کاربرد تیديازورون در گیاهان تحت تیمار سربرداری و عدم سربرداری در هر سه سطح تنش کم آبیاری، باعث کاهش نشت الکترولیت شد. در بین تیمارهای آزمایشی، بیشترین نشت الکترولیت در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس بدون تیديازورون در گیاهان عدم سربرداری (۷۵/۸۵ درصد) و سربرداری شده (۷۴/۹۶ درصد) به دست آمد. کمترین مقدار نشت الکترولیت نیز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری و کاربرد غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر تیديازورون (۱۵/۵۱ درصد) ثبت شد (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و تیديازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیديازورون بر مقدار مالون دی آلدئید شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل سربرداری × تیديازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیديازورون معنی دار نشد (جدول ۲). مقدار مالون دی آلدئید با افزایش تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان افزایش یافت. به طور کلی، بیشترین مقدار مالون دی آلدئید در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم سربرداری (۱/۶۲ میکرومول بر گرم وزن تر) ثبت شد. در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس در تیمارهای عدم سربرداری و سربرداری نیز کمترین مقدار مالون دی آلدئید (به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۳). محلول پاشی تیديازورون نیز در هر سه سطح تنش کم آبیاری باعث کاهش مالون دی آلدئید شد و در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر عملکرد بهتری نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۸).

رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارونوئیدها)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیديازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیديازورون بر محتوای کلروفیل a گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد

معنی دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی دار نشد (جدول ۲). اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری موجب کاهش محتوای کلروفیل a شد، در حالی که با اعمال سربرداری محتوای کلروفیل a افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد محلول پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد (۸۰ درصد آب قابل دسترس) تاثیر معنی داری روی غلظت کلروفیل a نداشت، اما در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد و بیشترین مقدار آن در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس و غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر (۱۰/۹۸ میلی گرم در گرم وزن تر) به دست آمد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم محلول پاشی تیدیازورون (۸/۱۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) ثبت شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری، تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کلروفیل b شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی دار نشد (جدول ۲). تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری باعث کاهش محتوای کلروفیل b شد، اما در گیاهان سربرداری شده مقدار آن را افزایش داد (جدول ۳). محلول پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد باعث کاهش محتوای کلروفیل b شد. با این وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، استفاده از تیدیازورون منجر به افزایش محتوای کلروفیل b شد. در مجموع، بیشترین محتوای کلروفیل b در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس و عدم کاربرد تیدیازورون (۴/۰۷ میلی گرم در گرم وزن تر) و کمترین مقدار آن نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس و عدم محلول پاشی تیدیازورون (۳/۱۰ میلی گرم در گرم وزن تر) ثبت شد (جدول ۸).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری و اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کاروتنوئید گیاه شمعدانی معطر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر ساده سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد، اما اثر ساده تیدیازورون و اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی دار نشد (جدول ۲). اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان سربرداری نشده باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد، اما در گیاهان سربرداری شده، تنها در سطح تنش کم آبیاری ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد و در بین تیمارهای مختلف بیشترین مقدار (۳/۴۳ میلی گرم در گرم وزن تر) را ثبت کرد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد، محلول پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد (۸۰ درصد آب قابل دسترس) و ۵۰ درصد آب قابل دسترس باعث افزایش مقدار کاروتنوئید شد، اما در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس، موجب کاهش محتوای کاروتنوئید شد. در مجموع غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر تیدیازورون در سطح ۵۰ درصد آب قابل دسترس بیشترین مقدار کاروتنوئید (۳/۲۶ میلی گرم در گرم وزن تر) را نشان داد. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر تیدیازورون (۲/۷۱ میلی گرم در گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۸).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تنش کم آبیاری، سربرداری و تیدیازورون و همچنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × سربرداری و تنش کم آبیاری × تیدیازورون بر محتوای کلروفیل کل شمعدانی معطر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد، اما اثر متقابل سربرداری × تیدیازورون و اثر متقابل سه گانه تنش کم آبیاری × سربرداری × تیدیازورون معنی دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد اعمال تنش کم آبیاری در گیاهان بدون سربرداری باعث کاهش محتوای کلروفیل کل شد، با این حال، با اعمال سربرداری در سطح تنش کم آبیاری ۲۰ درصد آب قابل دسترس، محتوای کلروفیل کل افزایش یافت، به طوری که بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱۹/۱۹ میلی گرم در گرم وزن تر) را نشان داد. کمترین مقدار کلروفیل کل (۱۵/۴۰ میلی گرم در گرم وزن تر) نیز در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس در تیمار عدم سربرداری مشاهده شد (جدول ۳). همچنین محلول پاشی تیدیازورون در تیمار شاهد باعث کاهش جزئی در مقدار کلروفیل کل شد، اما در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، سبب افزایش محتوای کلروفیل کل شد. در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین کلروفیل کل در سطح ۵۰ درصد آب

قابل دسترس در غلظت ۱۰ ميلي گرم بر ليتر تيديازورون (۱۸/۲۲ ميلي گرم در گرم وزن تر) ديده شد. همچنين كمترين مقدار شاخص مذکور نيز در سطح تنش كم آبياري ۲۰ درصد آب قابل دسترس و بدون تيديازورون (۱۴/۵۹ ميلي گرم در گرم وزن تر) به دست آمد (جدول ۸).

فعاليت آنزيم کاتالاز

نتايج تجزيه واريانس داده‌ها نشان داد كه اثر ساده تنش كم آبياري، سربرداری و تيديازورون و اثر متقابل تنش كم آبياري \times سربرداری و تنش كم آبياري \times تيديازورون و سربرداری \times تيديازورون و همچنين اثر متقابل سه گانه تنش كم آبياري \times سربرداری \times تيديازورون بر فعاليت آنزيم کاتالاز گياه شمعداني معطر در سطح احتمال يك درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقايسه ميانگين داده‌ها نشان داد فعاليت آنزيم کاتالاز تحت تاثير تنش كم آبياري افزايش يافت. در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس، عمل سربرداری باعث کاهش فعاليت آنزيم کاتالاز شد و کاربرد تيديازورون نيز افزايش فعاليت آنزيم مربوطه را در مقايسه با تيمارهاي عدم سربرداری، نشان داد. با اين وجود، در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، کاربرد تيديازورون در هر دو گروه گياهان، کاهش فعاليت آنزيم کاتالاز را در مقايسه با تيمارهاي شاهد (بدون تيديازورون در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس) نشان داد. همچنين در سطوح ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، اعمال سربرداری نيز منجر به کاهش فعاليت آنزيم مذکور شد. به طور كلي در بين تيمارهاي آزمايشي، سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس، بيشتريين ميزان فعاليت آنزيم کاتالاز (به ترتيب ۲/۰۱۲ ميكرومول بر دقيقه در گرم وزن تر) را نشان دادند. همچنين در تيمار عدم سربرداری، غلظت ۵ ميلي گرم در ليتر تيديازورون در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس نيز كمترين فعاليت آنزيم مربوطه (۰/۳۳۶۴ ميكرومول بر دقيقه در گرم وزن تر) را ثبت كرد (جدول ۴).

درصد و عملکرد اسانس

نتايج تجزيه واريانس داده‌ها نشان داد كه اثر تنش كم آبياري و تيديازورون بر درصد اسانس گياه شمعداني معطر در سطح احتمال يك درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده سربرداری و اثر متقابل تنش كم آبياري \times سربرداری، تنش كم آبياري \times تيديازورون و سربرداری \times تيديازورون و همچنين اثر متقابل سه گانه تنش كم آبياري \times سربرداری \times تيديازورون معنی‌دار نشدند (جدول ۲). نتايج نشان داد تنش كم آبياري باعث افزايش درصد اسانس شد، به طوري كه بيشتريين درصد اسانس در سطح تنش كم آبياري ۲۰ درصد آب قابل دسترس (۰/۴۳ درصد) به دست آمد (جدول ۵). با اين وجود، کاربرد تيديازورون منجر به کاهش درصد اسانس در مقايسه با تيمار شاهد شد و در غلظت ۵ ميلي گرم در ليتر، كمترين درصد اسانس (۰/۳۴۳ درصد) را نشان داد. بيشتريين مقدار اسانس (۰/۳۸۹ درصد) نيز در تيمار شاهد به دست آمد هر چند با غلظت ۱۰ ميلي گرم در ليتر تيديازورون اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

بررسی تجزيه واريانس داده‌ها نشان داد اثر تنش كم آبياري بر عملکرد اسانس گياه شمعداني معطر در سطح احتمال يك درصد معنی‌دار شد و اثر ساده سربرداری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده تيديازورون و اثر متقابل تنش كم آبياري \times سربرداری، تنش كم آبياري \times تيديازورون و سربرداری \times تيديازورون و همچنين اثر متقابل سه گانه تنش كم آبياري \times سربرداری \times تيديازورون معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتايج مقايسه ميانگين نشان داد تحت تاثير تنش كم آبياري، عملکرد اسانس کاهش يافت، به طوري كه كمترين مقدار آن در سطح تنش كم آبياري ۲۰ درصد آب قابل دسترس (۲/۶۸ گرم در گياه) مشاهده شد. بيشتريين عملکرد اسانس نيز در سطح ۸۰ درصد آب قابل دسترس (۳/۸۸ گرم در گياه) به دست آمد (جدول ۳). همچنين بررسی مقايسه ميانگين داده‌ها نشان داد سربرداری گياهان باعث افزايش ۱۰/۹ درصدی عملکرد اسانس در مقايسه با گياهان سربرداری نشده شد (جدول ۶).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سربرداری و تیدیاژورون بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	تعداد ساقه	تعداد برگ	حجم ریشه	طول ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر کل	وزن خشک کل	کارایی مصرف آب	شاخص مقاومت به تنش
کم آبیاری	۲	۱۲۱/۵۷**	۱/۹۴۸**	۴۰/۰۷**	۲۱۰۶/۰**	۱۹۰/۳۵**	۳۳/۷۲**	۱۱۴/۴۶**	۵/۳۲**	۸۹۴۸/۴**	۲۹۱/۶**	۰/۳۷۶**	۱۲۴۳۵/۵**
سربرداری	۱	۶۰۸/۶۳**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۴۵۶/۴۶**	۶۴۰/۶**	۷۵/۸۵**	۱۹/۲۰*	۳۸/۲۱**	۰/۷۸**	۳۵۰/۳**	۱۵/۰۳**	۰/۲۸۵**	۸/۳ ^{ns}
تیدیاژورون	۲	۲۵/۵۹**	۱/۴۱۵**	۱۲/۵۷**	۱۹۱/۶**	۵۹/۰۱**	۴۴/۴۵**	۱۷/۹۹**	۰/۶۸**	۳۱۶/۳**	۶/۳۱**	۰/۱۳**	۲۶۷/۵**
کم آبیاری × سربرداری	۲	۲۸/۹۰**	۰/۱۵۰ ^{ns}	۴۵/۸۵**	۶۰۰/۸**	۵۵/۳۵**	۱۵/۲۷*	۱۳/۰**	۰/۱۰**	۱۶/۸ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۱۹/۳ ^{ns}
کم آبیاری × تیدیاژورون	۴	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۵۷۶*	۲/۳۵ ^{ns}	۴۶/۳*	۶/۵۷**	۵۲/۴۸**	۱/۵۶*	۰/۰۷**	۲۳/۹ ^{ns}	۲/۳۳ ^{ns}	۰/۰۵۰ ^{ns}	۹۷/۱ ^{ns}
سربرداری × تیدیاژورون	۲	۴/۷۵**	۰/۰۳۳ ^{ns}	۳/۱۳ ^{ns}	۸۴/۳**	۱/۶۸ ^{ns}	۸/۵۴ ^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۰/۰۹*	۵۷/۰ ^{ns}	۱/۸۱ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۷۵/۷ ^{ns}
کم آبیاری × تیدیاژورون	۴	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۱۶۰ ^{ns}	۱/۵۱ ^{ns}	۸۷/۸**	۹/۳۵**	۱۱/۳۲ ^{ns}	۲/۹۸**	۰/۰۷*	۲۳/۱۱ ^{ns}	۱/۳۷ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۵۵/۹ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۴	۰/۸۲۷	۰/۱۷۷	۱/۶۵۹	۱۲/۵۶	۱/۰۵۸	۴/۳۹۴	۰/۴۹۰	۰/۰۱۹	۳۱	۱/۰۹۹	۰/۰۲۰	۴۶/۱
ضریب تغییرات	-	۴/۵۱	۷/۰۴	۱۲/۷۳	۶/۸۹	۵/۳۴	۶/۷۳	۶/۰۷	۷/۱۹	۸/۸۱	۹/۶۵	۱۰/۲۵	۹/۵۴

ns و **: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس اثر سربرداری و تیدیاژورون بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و اسانس شمعدانی معطر تحت تنش کم آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیت	مالون دی‌آلدئید	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کاتالاز	درصد اسانس	عملکرد اسانس
کم آبیاری	۲	۹۷۹/۸**	۵۹۵۷/۳**	۱/۶۸۱**	۱۰/۳۸۵**	۱/۰۵۸**	۰/۴۷۵*	۲۰/۸۲۱**	۱/۰۳۱**	۰/۰۸۵۷**	۰/۰۰۰۶۷۲**
سربرداری	۱	۱۵۹/۵**	۵۱۷/۱**	۰/۰۲۲ ^{ns}	۳۴/۰۹۱**	۲/۹۱۶**	۰/۶۲۷*	۶۹/۵۳۴**	۰/۷۱۷**	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۶۶*
تیدیاژورون	۲	۵۰۸/۸**	۲۵۴۵/۷**	۱/۹۹۸**	۷/۶۰۱**	۰/۹۱۵**	۰/۱۲۱ ^{ns}	۱۱/۸۴۹**	۲/۴۳۳**	۰/۰۰۹۶**	۰/۰۰۰۰۰۴ ^{ns}
کم آبیاری × سربرداری	۲	۳۰/۷*	۳۵/۶*	۰/۱۶۰**	۶/۲۹۲**	۰/۶۰۶**	۱/۱۳۰**	۱۵/۵۰۰**	۰/۴۰۶**	۰/۰۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۰ ^{ns}
کم آبیاری × تیدیاژورون	۴	۸۰/۷**	۳۶۱/۷**	۰/۲۰۳**	۲/۷۱۸**	۰/۵۴۹**	۰/۴۴۰**	۴/۷۹۰**	۰/۱۲۳**	۰/۰۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۲ ^{ns}
سربرداری × تیدیاژورون	۲	۲/۶ ^{ns}	۱۴۰/۲**	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۲۴۹ ^{ns}	۰/۰۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۵۵۴ ^{ns}	۰/۶۱۷**	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۸ ^{ns}
کم آبیاری × سربرداری	۴	۲/۵ ^{ns}	۳۸/۵*	۰/۰۴۷ ^{ns}	۰/۲۲۳ ^{ns}	۰/۰۴۵ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۴۸۴ ^{ns}	۰/۰۶۸**	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲۴ ^{ns}
خطای آزمایشی	۳۴	۶/۳۷	۹/۸۴	۰/۰۲۰	۰/۵۲۹	۰/۱۰۸	۰/۰۹۹	۱/۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۳۲
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۳۰	۷/۶۳	۱۱/۹۵	۷/۱۴	۸/۶۳	۱۰/۵۷	۵/۸۲	۱۳/۴۷	۱۱	۱۶/۷۸

ns و **: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تید یازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

سربرداری	تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد ساقه (در گیاه)	طول ریشه (سانتی‌متر)	نسبی آب (درصد)	محتوای دی‌آلدئید (میکروگرم در گرم)	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل
عدم سربرداری	۸۰	a28/22	a16/33	a32/06	a89/91	d0/857	c9/377	b3/917	c2/759	c16/414
	۵۰	b23/00	b10/56	ab31/19	c80/90	c1/075	d9/090	c2/474	bc2/926	d15/490
	۲۰	c20/68	b11/56	bc29/39	e72/55	a1/625	d8/967	c2/352	b3/089	d15/408
سربرداری	۸۰	d18/80	c6/89	a31/67	b83/92	d0/928	b10/935	ab4/004	b3/117	b18/057
	۵۰	e16/67	c7/11	c27/89	d77/34	c1/141	a11/568	a4/197	a3/435	a19/200
	۲۰	e16/29	c7/00	bc29/50	e71/78	b1/367	b19/419	cd9/419	c2/782	cd15/951

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تید یازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

سربرداری	تید یازورون (میلی‌گرم در لیتر)	تعداد برگ (در گیاه)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	نشست الکترولیت (درصد)	کاتالاز (میکرومول بر دقیقه در گرم وزن تر)	تنش کم آبیاری (آب قابل دسترس در خاک)
عدم سربرداری	۵	b71/33	bc14/633	b2/547	a25/00	hi18/31	g0/3364	۸۰
	۱۰	b69/00	ab15/347	b2/478	a25/33	i15/51	g0/3871	
	۲۰	cd55/67	fg46/33	d13/339	bc21/33	bc21/33	fg25/25	
سربرداری	۵	c59/67	e71/78	a16/055	a3/020	gh120/40	de0/6657	۵۰
	۱۰	de52/00	cd13/308	d12/869	c2/163	hi19/19	fg0/4716	
	۲۰	cd55/67	ef10/782	d1/745	ef18/33	b61/58	cd0/8505	
عدم سربرداری	۵	ef49/67	efg10/591	d1/773	def18/67	cd35/66	ef0/6256	۲۰
	۱۰	cd55/67	fg10/046	de1/711	ef18/33	e28/43	de0/6701	
	۲۰	cd55/67	cd55/67	d13/308	c2/145	b21/67	ef0/6217	
سربرداری	۵	ef49/67	efg10/312	efg10/312	c2/163	a24/00	g0/4253	۸۰
	۱۰	cd55/67	efg10/312	efg10/312	c2/163	a24/00	g0/4253	
	۲۰	cd55/67	efg10/312	efg10/312	c2/163	a24/00	g0/4253	

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تید یازورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

عملکرد اسانس (گرم در گیاه)	درصد اسانس	کارایی مصرف آب (گرم)	شاخص مقاومت به تنش (درصد)	وزن خشک کل (گرم)	وزن تر کل (گرم)	تنش کم آبیاری (درصد آب قابل دسترس در خاک)
3/884 ^a	2/688 ^b	1/352 ^c	10 ^a	15/68 ^a	87/26 ^a	۸۰
3/503 ^b	3/503 ^c	1/640 ^a	73 ^b	11/15 ^b	62/48 ^b	۵۰
2/687 ^c	3/884 ^a	1/471 ^b	50 ^c	7/65 ^c	42/77 ^c	۲۰

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می باشد

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیاژورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تیمار	وزن تر کل گرم	وزن خشک کل گرم	کارایی مصرف آب (گرم وزن خشک در آب مصرفی)	عملکرد اسانس (گرم در گیاه)
سربرداری	۶۶/۷۳ ^a	۱۲/۰۲ ^a	۱/۵۶۰ ^a	۳/۵۳۴ ^a

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) می باشد

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیاژورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

تیدیاژورون (میلیگرم در لیتر)	تعداد ساقه (در گیاه)	وزن تر کل گرم	وزن خشک کل	شاخص مقاومت به تنش (درصد)	کارایی مصرف آب (گرم وزن خشک در آب مصرفی)	درصد اسانس
۵	۱۰/۳۳ ^a	۶۷/۵۳ ^a	۱۲/۱۰ ^a	۷۹ ^a	۱/۵۷۰ ^a	۰/۳۴۳ ^b
۱۰	۱۰/۴۴ ^a	۶۵/۵۰ ^a	۱۱/۴۶ ^{ab}	۷۵ ^{ab}	۱/۴۹۲ ^{ab}	۰/۳۷۰ ^{ab}

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) می باشد

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی، سربرداری و تیدیاژورون بر ویژگی‌های شمعدانی معطر

کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل a+b	میلون دی آلدئید (میکروگرم در گرم)	محتوای نسبی آب (درصد)	قطر ساقه (میلی متر)	طول ریشه (سانتی متر)	تیدیاژورون (میلی گرم در لیتر)	تنش کم آبیاری (درصد آب قابل دسترسی در خاک)
۱۷/۴۴۴ ^{abc}	۲/۹۰۷ ^{bcd}	۴/۰۷۱ ^a	۱۰/۴۶۵ ^{ab}	۱/۰۵۳ ^c	۸۴/۵۴ ^b	۶/۶۶ ^a	۳۲/۵۰ ^{ab}	صفر	
۱۷/۰۷۳ ^{bc}	۲/۹۰۵ ^{cd}	۳/۹۲۳ ^{ab}	۱۰/۲۴۴ ^b	۰/۹۰۳ ^{cd}	۸۷/۷۳ ^a	۶/۴۵ ^{ab}	۳۴/۹۲ ^a	۵	۸۰
۱۷/۱۹۰ ^{bc}	۳/۰۰۳ ^{a-d}	۳/۸۸۸ ^{ab}	۱۰/۲۹۹ ^{ab}	۰/۷۲۳ ^e	۸۸/۴۷ ^a	۶/۰۰ ^{b-e}	۲۸/۱۷ ^d	۱۰	
۱۵/۹۴۵ ^{de}	۳/۰۴۸ ^{abc}	۳/۴۹۶ ^c	۹/۴۰۱ ^{cd}	۱/۵۳۳ ^b	۷۳/۹۲ ^f	۵/۵۴ ^{ef}	۳۰/۰۰ ^{cd}	صفر	
۱۷/۸۶۴ ^{ab}	۳/۲۲۴ ^{ab}	۴/۰۳۴ ^a	۱۰/۶۰۵ ^{ab}	۱/۰۰۷ ^c	۸۰/۴۸ ^{cd}	۶/۱۶ ^{bcd}	۳۰/۲۰ ^{bcd}	۵	۵۰
۱۸/۲۲۵ ^a	۳/۲۷۰ ^a	۳/۹۷۵ ^{ab}	۱۰/۹۸۱ ^a	۰/۷۸۵ ^{de}	۸۲/۹۷ ^{bc}	۵/۸۵ ^{cde}	۲۸/۴۳ ^d	۱۰	
۱۴/۵۹۶ ^f	۳/۳۱۴ ^a	۳/۱۰۴ ^d	۸/۱۷۸ ^e	۱/۸۸۶ ^a	۶۱/۵۲ ^g	۵/۶۹ ^{def}	۲۵/۴۲ ^e	صفر	
۱۵/۷۱۳ ^e	۲/۷۱۳ ^d	۳/۷۰۲ ^{bc}	۹/۲۹۷ ^d	۱/۶۳۶ ^b	۷۶/۷۸ ^{bc}	۶/۲۶ ^{abc}	۳۱/۱۷ ^{bc}	۵	۲۰
۱۶/۷۳۱ ^{cd}	۲/۷۸۰ ^{cd}	۳/۸۴۷ ^{ab}	۱۰/۱۰۴ ^{bc}	۰/۹۶۶ ^c	۷۸/۱۹ ^{de}	۵/۳۴ ^f	۳۱/۷۵ ^{bc}	۱۰	

مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) می باشد

بحث

ارتفاع، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ

پاسخ و مقاومت گیاه به تنش خشکی، ترکیبی از مجموعه فرایندهای بیولوژیکی در سطوح سلولی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سطح کل گیاه است. گیاهان مقاوم به خشکی می‌توانند از طریق سازگاری مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و سیگنال‌های مولکولی به شرایط کمبود آب مقاومت نشان دهند (Liu et al., 2022). در پژوهش حاضر تیمار تنش کم آبیاری بر تمامی شاخص‌های مورفولوژیکی مورد آزمایش تاثیر معنی‌داری داشت. نتایج بدست آمده نشان داد اعمال تنش کم آبیاری باعث کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی شد. تیمار سربرداری ارتفاع گیاه را کاهش داد، اما قطر ساقه و تعداد

شاخه جاني گیاه را افزايش داد. کاربرد تيديازورون نيز منجر به افزايش ويژگي های فوق شد. در واقع کاهش ارتفاع گیاه می تواند به علت کاهش فشار تورژسانس و در نتيجه کاهش تقسيم و بزرگ شدن سلول در شرايط تنش خشکی باشد (Liu *et al.*, 2022). تحت شرايط تنش خشکی، اولين نشانه کمبود آب کاهش آماس سلولی است که باعث کاهش در تقسيم و طويل شدن سلول و متابوليت های ضروری مورد نیاز برای رشد و نمو گیاه می شود، که در نتيجه کاهش شاخص های رشد را به همراه خواهد داشت (Kaur *et al.*, 2000).

عمل سربرداری به دليل حذف قسمت انتهایی، ممکن است انرژی بیشتری برای افزايش تعداد شاخه های جاني صرف کند (Kumar *et al.*, 2019). تحقيقات روی گونه های گیاهی مختلف از جمله آنتوریوم (Wainwright & Irwin, 1987)، ورد (Zieslin *et al.*, 1975) و جعفری آفريقايی (Kumar *et al.*, 2019) نشان داده است سربرداری در گیاهان به دليل حذف غالبيت انتهایی باعث افزايش توزيع مواد غذایی (فرآورده های فوتوسنتزی مثل قند، نشاسته و کربوهيدرات) در قسمت های مختلف گیاه شده و افزايش تعداد شاخه جاني و قطر ساقه را به همراه داشته است، در صورتی که منجر به کاهش ارتفاع شده است. کاهش تعداد ساقه جاني در پژوهش حاضر به احتمال زياد به دليل سربرداری زود هنگام (تعداد گره کم ساقه اصلی) و رشد شاخه های جاني ابتدایی و در نتيجه تأثير غالبيت آنها بر رشد شاخه های جاني بعدی باشد. در صورتی که در گیاهان سربرداری نشده به دليل غالبيت انتهایی، رشد ساقه اصلی تا زمان ظهور گل افزايش يافته (تعداد گره بیشتر در مقایسه با گیاهان سربرداری شده) و بعد از آن ظهور گل منجر به کاهش رشد انتهایی شده و رشد ساقه های جاني را به همراه دارد که مشابه سربرداری دير هنگام عمل می کند.

نتايج بررسی تيديازورون روی گل لاله، داوودی (Ferrante *et al.*, 2003) و ميخک (Chamani & Esmaeilpour, 2007) نشان داد طول ساقه کاهش و تعداد شاخه های جاني افزايش پيدا کرد. با اين حال، تحقيقات روی گیاه *Ajuga bracteosa* نشان داد که کاربرد تيديازورون باعث افزايش تعداد و طول شاخه شد (Ali *et al.*, 2018). نتايج پژوهش حاضر نيز نشان داد که کاربرد تيديازورون باعث افزايش تعداد شاخه جاني و طول آنها شد، اما با افزايش غلظت از مقدار آنها کاسته شد. در بررسی تأثير تيديازورون روی گل رز گلدانی سربرداری شده گزارش شد که دو هفته پس از تیمار با غلظت ۱۰۰ میلی مولار تيديازورون، گیاهانی با میان گره های کوتاه تر و ضخيم و شاخه های کوتاه تشکیل شد. همچنين تیمار تيديازورون باعث تحريك توليد اتيلن توسط گیاهان شد. علاوه بر این تیمار تيديازورون از طريق تعديل بيوسنتز جبيرلين، طول و قطر ساقه را در گیاهان گل رز تنظيم می کند (Celikel *et al.*, 2021). نتايج بررسی تأثير غلظت های مختلف بنزיל آدنين، کينيتين و تيديازورون به ترتيب در غلظت های ۱، ۳ و ۵ میلی گرم در ليتر بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و ساقه گیاه *Hemerocallis fulva* نشان داد که بیشترین ارتفاع و تعداد برگ در تیمار ۳ میلی گرم در ليتر بنزيل آدنين حاصل می شود. استفاده از تيديازورون نيز باعث افزايش شاخص های مذکور شد. با اين وجود، بیشترین تعداد ساقه در تیمار ۵ میلی گرم در ليتر تيديازورون به دست آمد (Shalan *et al.*, 2023). همچنين، مطالعات درون شیشه ای نشان داده است که اضافه کردن تيديازورون به محيط کشت آلستروميا (Hutchinson *et al.*, 2014) منجر به باززايی شاخساره در غلظت کم می گردد، که با نتايج حاضر همخوانی دارد. ممانعت تيديازورون از طويل شدن شاخه (شاخساره) ممکن است به دليل فعاليت بالای سيتوکينيني آن باشد، در حالی که یک گروه فنيل در تيديازورون ممکن است باعث ناهنجاری در جوانه شاخه شود (Huetteman & Preece, 1993). همچنين، بازدارندگی از رشد شاخساره ممکن است به متابوليسم جبيرلين یا بيوسنتز پرولين مربوط شود، هر چند اين موضوع هنوز ناشناخته است (Dewir *et al.*, 2018). تحقيقات نشان داده است اگرچه تيديازورون در مقایسه ديگر سيتوکينين ها، کارایی بیشتری جهت تکثير شاخساره دارد، اما مشکلاتی از جمله فشردگی و کوتاهی شاخه در برخی گونه های گیاهی از جمله گردوی

سیاه، بیریبای وحشی و زرنباد گزارش شده است که نشان می‌دهد تاثیر تیديازورون روی گیاهان به غلظت، زمان کاربرد و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (Dewir *et al.*, 2018).

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش تعداد برگ در گیاه شمعدانی شد و با اعمال تیمار تیديازورون باعث اثر تنش خشکی کاهش یافت و تعداد برگ افزایش پیدا کرد. تنش خشکی با تاثیر بر سلول‌های اولیه برگ و تمایز آنها باعث کاهش تعداد برگ می‌شود. در واقع، کاهش سطح و تعداد برگ با افزایش تنش خشکی سبب کاهش اتلاف آب، تعرق و متعاقب آن افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌شود که نوعی سازش مورفولوژیکی و عاملی برای انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه است (Kaur *et al.*, 2000). تنش خشکی با تحریک تولید هورمون آبسزیک اسید و تاثیر بر تولید اتیلن باعث تحریک فرآیند ریزش می‌شود. تحقیقات نشان داده است که جلوگیری از عمل اتیلن، ریزش برگ را کاهش داده و تعداد آن را افزایش می‌دهد (El Lateef Gharib *et al.*, 2019). تاثیر مثبت تیديازورون روی رشد برگ گیاهان مختلف از جمله *Ajuga bracteosa* (Ali *et al.*, 2018) و تربچه (Hussain *et al.*, 2019) گزارش شده است. بررسی تاثیر سربرداری بر رشد، گلدهی، ویژگی‌های آناتومی و ترکیبات شیمیایی شمعدانی معمولی (*Pelargonium zonale*) نیز نشان داد که سربرداری باعث افزایش تعداد شاخه‌ها در بوته و قطر ساقه شد، همچنین وزن تر و خشک برگ را نیز افزایش داد (Abd El-Ramady *et al.*, 2016). در واقع عمل سربرداری با حذف غالبیت انتهایی منجر به افزایش هورمون سیتوکینین و کاهش اکسین می‌شود. از طرفی دیگر، هورمون تیديازورون آنالوگ سیتوکینین بوده و می‌تواند تاثیراتی مشابه آن داشته باشد. سیتوکینین‌ها ممکن است از طریق تحریک تنظیم اسمزی، تاثیرات مخرب تنش خشکی را کاهش دهند (Blackman & Davies, 1984). با این حال، سیتوکینین در سلول‌های نگهبان روزنه به‌طور مستقیم در القاء قطبی شدن غشاء درگیر بوده و با افزایش فعالیت پمپ پروتون، چرخه آدنیلات و ارتباط سیستم کلسیم - کالمودولین، باعث باز شدن روزنه‌ها شده و منجر به افزایش تعرق و کاهش دمای برگ می‌شود و کاربرد آن تحت شرایط تنش خشکی از طریق غربال رادیکال‌های آزاد باعث تاخیر در پیری برگ شده و خسارت وارده به غشای سلولی را کاهش می‌دهد (Abd El-Ramady *et al.*, 2016; Sayd *et al.*, 2010).

خصوصیات ریشه

نتایج آزمایش نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش حجم و طول ریشه در گیاه شمعدانی شد. با این حال، وزن تر و خشک ریشه را کاهش داد. عمل سربرداری در سطوح مختلف تنش کم آبیاری باعث کاهش طول ریشه شد، اما حجم ریشه و وزن تر و خشک را افزایش داد. اعمال تیمار تیديازورون تحت سطوح مختلف تنش کم آبیاری و عمل سربرداری (بجز غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش ویژگی‌های ریشه (حجم، طول، وزن تر و خشک ریشه) شد. گیاهان برای بهبود حفظ آب و مقاومت به خشکی، سیستم ریشه‌ای و ظرفیت جذب آب را نیز افزایش می‌دهند (Liu *et al.*, 2022). تنش خشکی باعث کاهش مقدار اکسین شده و انتقال آن از واحدهای سازنده به مریستم انتهایی و برگ‌ها را دچار اختلال می‌کند. از طرفی دیگر، تولید سیتوکینین در ریشه و انتقال آن به برگ‌ها نیز کاهش یافته و تجزیه آن در ریشه و برگ اتفاق می‌افتد (Pospisilova *et al.*, 2003). همچنین، وضعیت مواد غذایی گیاه باعث تنظیم سیتوکینین می‌شود از طرفی دیگر نسبت سیتوکینین به اکسین، سرعت رشد ریشه و اندام هوایی را نیز تعیین می‌کند (Taiz & Zeiger, 2006). غلظت بالای سیتوکینین باعث تحریک رشد اندام هوایی می‌شود و بر عکس، غلظت بالای اکسین، رشد ریشه را افزایش می‌دهد (Liu *et al.*, 2022). یک بررسی روی گیاهان تربچه نشان داد که کاربرد تیديازورون باعث افزایش ویژگی‌های ریشه گیاهان تحت تیمار شد (Hussain *et al.*, 2019). همچنین، سربرداری در گیاه تکوما (*Tecoma capensis*) نیز باعث بهبود شاخص‌های ریشه شد (Mohamed *et al.*, 2019).

1. *Juglans nigra*

2. *Rollinia mucosa*

3. *Alpinia zerumbet*

(Liu et al., 2022) رشد گیاهان به طور مستقیم یا غیر مستقیم متأثر از هورمون های گیاهی است که تحت تاثیر خشکی دچار اختلال شده و متعاقب آن رشد و نمو گیاه را کاهش می دهند. افزایش رشد ریشه در اثر کاربرد تید یازورون و یا سربرداری (به عنوان محرک تولید سیتوکینین) نیز ممکن است به دلیل حفظ تعادل هورمونی در گیاهان باشد (Liu et al., 2022).

وزن تر و خشک کل، کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش

تنش خشکی بسته به سطح تنش و مرحله نمو گیاه از طریق کاهش سطح برگ، پیری برگ، افزایش مقاومت روزنه ای و کاهش مقدار رنگدانه های فتوسنتزی، رشد رویشی و عملکرد گیاه را کاهش می دهد (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan, 2016). با این وجود، تاثیر تید یازورون و عمل سربرداری می تواند از طریق سیتوکینین باعث افزایش تقسیم سلولی، تجمع کلروفیل، بیوسنتز رنگیزه های فتوسنتزی (تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست) و تاخیر در پیری برگ گیاهان شود (Taiz & Zeiger, 2006)، همچنین از طریق تاثیر مثبت بر تقسیم سلولی، پتانسیل مخزن فیزیولوژیک (اندام های زایشی یا ذخیره ای، برگ های نابالغ) را افزایش داده و بدین وسیله ظرفیت فتوسنتزی و رشد گیاه را نیز افزایش می دهد، زیرا حرکت مواد فتوسنتزی از منبع (شاخ و برگ) به سوی مخزن مبتنی بر ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی (منبع) و ظرفیت مصرف مواد فتوسنتزی (مخزن) است و در صورت عدم تعادل بین این دو، عملکرد گیاه کاهش پیدا می کند (Zhang et al., 2022).

در پژوهش حاضر نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری کارایی مصرف آب را افزایش و شاخص مقاومت به تنش خشکی را کاهش داد. سربرداری گیاهان و کاربرد تید یازورون موجب افزایش کارایی مصرف آب و شاخص مقاومت به تنش خشکی شد و غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر آن عملکرد بهتری داشت. پژوهش ها نشان داده است تنظیم از پایین دست سیتوکینین منجر به بیان سیستم ریشه ای شده و نسبت ریشه به شاخساره را افزایش می دهد که این سطح جذب آب ریشه ها را افزایش می دهد. از طرف دیگر، شاخه ها و سطح برگ به نسبت کوچک در مقایسه با ریشه ها می تواند به طور موثری تعرق گیاه را کاهش دهد (Calvo-Polanco et al., 2019; Werner et al., 2010)، بنابراین کل گیاه می تواند محتوای نسبی آب نسبتاً بالایی را حفظ کند و تحمل به خشکی را بهبود بخشد. علاوه بر این، تنظیم از پایین دست سیتوکینین ها ممکن است به افزایش در تحمل به خشکی از طریق تاثیرات سیستم اکسیداتیو باشد (Calvo-Polanco et al., 2019). همچنین نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تیمار سیتوکینین توانسته است با تأثیر بر عوامل غیرروزنه ای باعث کارایی بیشتر در افزایش نرخ فتوسنتز خالص گردد (Pospisilova et al., 2005).

محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و میزان مالون دی آلدئید

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان بدون سربرداری و سربرداری شده شمعدانی باعث کاهش محتوای نسبی آب و افزایش نشت الکترولیت و غلظت مالون دی آلدئید شد. کاربرد تید یازورون موجب افزایش محتوای نسبی، آب کاهش نشت الکترولیت و غلظت مالون دی آلدئید گردید. تحقیقات مختلف روی گیاهان پروانش (Zomorrodi et al., 2022)، مریم گلی زینتی (Beiranvand et al., 2023) و گل حنا (Safari et al., 2022) در شرایط تنش خشکی نیز افزایش نشت الکترولیت و مالون دی آلدئید و کاهش محتوای نسبی آب برگ را نشان داده اند که با پژوهش حاضر همخوانی دارد. در بین اجزا گیاهی، غشای سلولی اولین بخش از سلول است که در مواجهه با تنش خشکی آسیب می بیند. تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه های فعال اکسیژن در سلول های گیاهی، منجر به اکسیداسیون اسیدهای چرب دیواره سلولی شده که در نتیجه با تخریب غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری یون ها در اثر افزایش حلالیت پراکسیداسیون چربی های غشا، نشت الکترولیت و محتوای مالون دی آلدئید را افزایش و محتوای نسبی آب در گیاهان را کاهش می دهد (Demidchik et al., 2014). تاکنون گزارشی مبنی بر بررسی مستقیم تاثیر تید یازورون و سربرداری روی گیاهان تحت تنش خشکی انجام نشده است، هر چند می توان تاثیر آنها روی گیاهان را به سیتوکینین نسبت داد. مطالعات نشان داده

است سیتوکینین در شرایط تنش با افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی باعث حذف رادیکال‌های آزاد شده و ثبات غشا سلولی را افزایش داده و از این طریق رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Sayd *et al.*, 2010).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری باعث کاهش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل شد. در صورتی که سربرداری گیاهان شمعدانی موجب افزایش میزان کلروفیل شد. کاربرد تیدیا زورون در تنش کم آبیاری ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل دسترس، موجب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گردید. از راهکارهای موثر برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی می‌توان به تنظیم دستگاه فتوسنتزی اشاره کرد. در واقع، خشکی از طریق افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در سلول باعث تخریب رنگدانه‌ها و پروتئین‌های D_1 و D_2 در فتوسیستم دو می‌شود که در نتیجه سبب بی‌نظمی در غشای تیلاکوئید می‌شود (Mittler, 2004). تحقیقات مختلف روی گیاهان مریم گلی زینتی و پروانش (Beiranvand *et al.*, 2023; Zomorodi *et al.*, 2022) نشان داده است که تنش خشکی ملایم میزان کلروفیل را افزایش می‌دهد، اما با ادامه شدت تنش، کاهش پیدا می‌کند که با داده‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. وقوع تنش به دلیل کاهش اندازه‌ی سلول از میزان سطح برگ می‌کاهد، در نتیجه به دلیل وجود سلول‌های بیش‌تر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش پیدا می‌کند (Nonami *et al.*, 1997). نتایج تحقیقات روی گیاه گل شاخه بریده رز (Rasouli *et al.*, 2015) و گل شاخه بریده لاله و داوودی (Ferrante *et al.*, 2003) نشان داد که اعمال تیدیا زورون از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و غلظت آن را افزایش می‌دهد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. مطالعات نشان داده است که سیتوکینین‌ها از طریق کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز و فعال کردن آنزیم NADH پروتوکلروفیلید ردوکتاز در مسیر بیوسنتز کلروفیل، محتوای کلروفیل را افزایش می‌دهند (Zavaleta-mancera *et al.*, 2007). تحقیقات روی گیاهان شمعدانی (Mutui *et al.*, 2008) و آلسترومریا (Mutui *et al.*, 2004) نشان داده است که سیتوکینین به دلیل تأخیر در تخریب کلروفیل و حفظ قابلیت دستگاه فتوسنتزی از زردی برگ گیاهان جلوگیری می‌کند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد غلظت کاروتنوئید در گیاهان سربرداری شده و بدون سربرداری تحت تیمار تیدیا زورون در سطوح ۸۰ و ۵۰ درصد آب قابل دسترس افزایش یافت، اما در سطح ۲۰ درصد آب قابل دسترس از مقدار آن کاسته شد. کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی اکسیدان غیر آنزیمی از طریق خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد فرآیند اکسیداسیون را متوقف می‌کنند و نقش مهمی در تعدیل اثرات مخرب تنش در گیاهان دارند (Mittler, 2004). تحقیقات مختلف روی گیاهان نشان داده است که با افزایش نسبی سطح تنش کم آبیاری بر مقدار کاروتنوئید برگ می‌شود، اما با تشدید تنش خشکی از مقدار آنها کاسته شده است (Beiranvand *et al.*, 2023; Zomorodi *et al.*, 2022). کاروتنوئیدها می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را جذب کرده و اکسیژن یک‌تایی را به اکسیژن سه‌تایی تبدیل کنند و با جذب رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش آنتی اکسیدانی خود را بروز دهند (Qi *et al.*, 2018).

سیستم آنتی‌اکسیدانی: آنزیم کاتالاز

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری در هر دو گروه گیاهان بدون سربرداری و سربرداری شده شمعدانی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد. با این حال، کاربرد تیدیا زورون، فعالیت آنزیم کاتالاز را کاهش داد. زمانی که گیاهان در معرض تنش قرار می‌گیرند میزان گونه‌های فعال اکسیژن، به عنوان اولین لایه دفاعی در آنها تجمع پیدا می‌کند (Mittler, 2004). سطح معمول گونه‌های فعال اکسیژن، سبب حفظ همئوستازی مناسب در سلول می‌شود، در حالی که تولید بیش از حد آنها سبب آسیب و مرگ سلول خواهد شد. گیاهان برای مقابله با چنین شرایطی با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی باعث حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Qi *et al.*, 2018; Mittler, 2004). با این وجود، برخی مواقع

ممکن است به واسطه فعاليت کم فتوسنتزی برای کاهش توليد گونه‌های فعال اکسيژن از طريق کلروپلاست‌ها، سيستم آنزيمي نسبت به تنش‌های محيطی فعاليت يا حساسيت کمتری داشته باشد (Apel & Hirt, 2004). بررسی اثر کاربرد تيديازورون روی *Ajuga bracteosa* نشان داد که تأثير تيديازورون به غلظت و مرحله رشد گیاه بستگی دارد، به طوری که تيديازورون در غلظت ۱/۲ پی‌پی‌ام، فعاليت آنزيم‌های سوپراکسيد ديسموتاز، پراکسيداز و آسکوربات پراکسيداز را در ساقه‌ها، افزايش داد. با اين وجود، حداکثر فعاليت آنزيم کاتالاز در غلظت بالای ۵ پی‌پی‌ام مشاهده شد (Ali et al., 2018). همچنين T تحقيقات روی گیاه آرابيدوپسيس تحت تأثير تیمار بنزیل آدنین و تنش شوری نشان داد که بیان بیش از حد سيتوکينين‌ها باعث بیان *AtIPT8* (ژن کد کننده ايزوپنتیل ترانسفراز) و تنظيم از پايين دست ژن‌های مرتبط با غربال گونه‌های فعال اکسيژن شد و فعاليت آنزيم‌های کاتالاز و سوپراکسيد ديسموتاز را کاهش داد. از طرفی ديگر، تنظيم از پايين دست سيتوکينين می‌تواند با توليد بیش از حد سيتوکينين اکسيداز به دست آید (Werner et al., 2010) و منجر به کاهش رشد گیاهان و افزايش محتوای ترکیبات محافظت کننده شده و تحمل خشکی در آرابيدوپسيس (Werner et al., 2010) و بادام زمینی (Khandal et al., 2020) را افزايش دهد.

درصد و عملکرد اسانس

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش کم آبیاری درصد اسانس را افزايش و عملکرد اسانس را کاهش داد. سربرداری گیاهان شمعدانی موجب افزايش عملکرد اسانس شد. با این حال، کاربرد تيديازورون باعث کاهش درصد اسانس گردید. زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد توليد ماده موثره آن به دليل جلوگیری از اکسيداسيون درون سلولی افزايش می‌یابد. افزايش درصد اسانس تحت تنش خشکی در ريحان (Omidbaigi & Hassani, 2002) و بادرشبو (Hassani, 2006) گزارش شده است. افزايش میزان محتوای اسانس و کاهش عملکرد اسانس با افزايش دور آبیاری تا حدودی نشان می‌دهد که تنش آبی با کاهش رشد رويشی بر عملکرد کل اسانس تأثیر منفي می‌گذارد (Eiasu et al., 2008). افزايش دور آبیاری در گیاه شمعدانی موجب افزايش اسانس و کاهش عملکرد اسانس شد (Eiasu, 2008). همچنين، در مطالعه ديگری نیز تنش خشکی سبب کاهش عملکرد اسانس گیاه شمعدانی شد (Eiasu et al., 2012). در پژوهشی بررسی اثرات تیمارهای مختلف آبیاری بر خصوصيات مورفولوژیکی و رشدی گل مکزيکی (*Agastache foeniculum*) نشان داد که تیمار خشکی باعث کاهش عملکرد اسانس و افزايش درصد اسانس شد (Mahmoudi Surestani & Omidbeigi, 2012) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در مقایسه با ديگر تنظيم کننده‌های رشد گیاهی، تيديازورون به‌عنوان یک ترکیب موثر و کارآمد بر افزايش سطوح متابوليت‌های مهم در بسياری از گیاهان دارویی شناخته شده است (Unal et al., 2018). به تازگی نیز مطالعات نشان داده است که تيديازورون به‌عنوان یک تنظيم کننده رشد در بازایی مستقيم شاخساره و توليد ترکیبات فعال زیستی و معطر در گیاه *Ajuga bracteosa* نقش به‌سزایی دارد (Ali et al., 2018). تيديازورون به‌عنوان یک محرک رشد بسته به زمان و غلظت مورد استفاده می‌تواند روی متابوليت‌های ثانويه تأثير گذار باشد. با وجود اینکه بیش از ۴۰ سال است که از تيديازورون به طور گسترده‌ای در مطالعات علمی جهت تحريك پاسخ‌های مورفوژنتیکی در گیاهان استفاده می‌شود، سازوکار دقيق آن هنوز ناشناخته است (Catalano et al., 2022).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که عمل سربرداری و کاربرد تيديازورون می‌تواند از طريق بهبود رشد ریشه و حذف غالبیت انتهایی باعث افزايش مقاومت گیاه به تنش کم آبیاری شوند. در بین غلظت‌های تيديازورون نیز غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر تأثير به مراتب بهتری روی رشد و نمو گیاهان به همراه داشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، به‌منظور استفاده از تيديازورون جهت عمليات سربرداری در گیاهان مختلف، نیاز به تحقيقات بیشتری در این زمینه می‌باشد.

منابع

- بیرانوند، فرهاد، زاهدی، بهمن، و رضایی نژاد، عبدالحسین. (۱۴۰۱). بررسی تاثیر محلول پاشی سلنیوم روی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مریم گلی زینتی تحت شرایط تنش کم آبیاری، مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۱ (۴۷)، ۳۲۳-۳۳۳.
- حسینی، عباس. (۱۳۸۵). بررسی تاثیر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۲ (۳)، ۲۵۶-۲۶۱.
- رضایی نژاد، عبدالحسین، فیضیان، محمد، سپهوند، کبری. (۱۳۹۲). تاثیر تنش کم آبی بر رشد، عملکرد، میزان و ترکیب‌های اسانس شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens L.*)، دو فصلنامه فناوری تولیدات گیاهی، ۵ (۱)، ۹۴-۸۳.
- محمودی سورستانی، محمد، و امیدبگی، رضا. (۱۳۹۱). مقایسه عملکرد بدن رویشی، مقدار و ترکیب اسانس گل مکزیکی (*Agastache foeniculum Kuntze*) در شرایط مزرعه و گلخانه تحت تیمار تنش خشکی. تولیدات گیاهی، ۳۶ (۴)، ۵۳-۴۳.

REFERENCES

- Ali, H., Khan, M. A., Kayani, W. K., Khan, T., & Khan, R. S. (2018). Thidiazuron regulated growth, secondary metabolism and essential oil profiles in shoot cultures of *Ajuga bracteosa*. *Industrial Crops and Products*, 121, 418-427.
- Ali, S. Z., Sandhya, V., Grover, M., Linga, V. R., & Bandi, V. (2011). Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting *Pseudomonas putida* strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum spp.*) under heat stress. *Journal of Plant Interactions*, 6(4), 239-246.
- Alvarez, S., Gómez-Bellota, M. J., Acosta-Motos, J. R., & Sánchez-Blanco M. J. (2019). Application of deficit irrigation in *Phillyrea angustifolia* for landscaping purposes, *Agricultural water Water management Management*, 218, 193-202.
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean, *Industrial. Crops and Products*, 111, 743-754.
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual. Review. Plant Biology.*, 55, 373-399.
- Beiranvand, F., Zahedi, B., & Rezaei Nejad, A. (2023). Investigation of the effect of selenium foliar application on morphophysiological and biochemical characteristics of ornamental salvia under irrigation regime. *Plant Process and Function*, 11 (47), :323-339. (In Persian)
- Blackman, P. G., & Davies, W. J. (1984). Age-related changes in stomatal response to cytokinins and abscisic acid. *Annals of Botany*, 54(1), 121-126.
- Calvo-Polanco, M., Armada, E., Zamarreño, A. M., García-Mina, J. M., & Aroca, R. (2019). Local root ABA/cytokinin status and aquaporins regulate poplar responses to mild drought stress independently of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor*. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 6437-6446.
- Catalano, A., Ceramella, J., Iacopetta, D., Mariconda, A., Scali, E., Bonomo, M. G., & Sinicropi, M. S. (2022). Thidiazuron: New trends and future perspectives to fight *Xylella fastidiosa* in olive trees. *Antibiotics*, 11(7), 947.
- Çelikel, F. G., Zhang, Q., Zhang, Y., Reid, M. S., & Jiang, C. Z. (2021). A cytokinin analog thidiazuron suppresses shoot growth in potted rose plants via the gibberellic acid pathway. *Frontiers in Plant Science*, 12, 639717.
- Chamani, E., & Esmaeilpour, B. (2007). Thidiazuron effects on physiochemical characteristics of carnation during pre and postharvest periods. *Journal of Applied. Horticulture*, 9, 115-117.
- Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalas and proxidase. In S. P.: Colowick, S.P., & N. D. Kaplan (eds). *Methods in Enzymology*. Academic Press, New York, 764-775.
- Demidchik, V., Straltsova, D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik, A., & Yurin, V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*, 65(5), 1259-1270.
- Dewir, Y. H., Nurmansyah, Naidoo, Y., & Teixeira da Silva, J. A. (2018). Thidiazuron-induced

- abnormalities in plant tissue cultures. *Plant Cell Reports*, 37, 1451-1470.
- Dorajeerao, A. V. D., & Mokashi, A. N. (2012). Growth analysis as influenced by pinching time in garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.). *J Agric Res Technol Global Journal of Bioscience and Biotechnology*, 371(32), 373242-379247.
- Eiasu, B. K., Steyn, J. M., & Soundy, P. (2012). Physiomorphological response of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) to irrigation frequency. *South African Journal of Botany*, 78, 96-103.
- El Lateef Gharib, F. A., Zeid, I. M., Ghazi, S. M., & Ahmed, E. Z. (2019). The response of cowpea (*Vigna unguiculata* L) plants to foliar application of sodium selenate and selenium nanoparticles (SeNPs). *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology*, 8(4), 1-15.
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H. S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S. E. D. A., ... & Schnug, E. (2016). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters*, 14(1), 123-147.
- Ferrante, A., Tognoni, F., Mensuali-Sodi, A., & Serra, G. (2003). Treatment with thidiazuron for preventing leaf yellowing in cut tulips and chrysanthemum. *Acta Horticulturae*, 624, 357-363.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29 (5), 897-912.
- Gudarska, E., & Szewczuk, A. (2002). Wplyw czynnikow agrotechnicznych i bioregulatorow na stopien rozgalezienia jednorocznych i dwuletnich drzewek jabloni odmian GALA i ALWA na podkladce M. 26. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach*, 10, 29-37.
- Hassani, A. (2006). Effect of water deficit stress on growth, yield and essential oil Content of *Dracocephalum moldavica*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22 (3), 256-261. (In Persian)
- Huetteman, C. A., & Preece, J. E. (1993). Thidiazuron: a potent cytokinin for woody plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 33, 105-119.
- Hussain, F., Hadi, F., & Akbar, F. (2019). Magnesium oxide nanoparticles and thidiazuron enhance lead phytoaccumulation and antioxidative response in *Raphanus sativus* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 30333-30347.
- Hutchinson, M. J., Onamu, R., Kipkosgei, L., & Obukosia, S. D. (2014). Effect of Thidiazuron, NAA and BAP on in vitro propagation of *Alstroemeria aurantiaca* C. V. 'Rosita' from shoot tip explants. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 16(2), 58-72.
- Jaleel C. A., Gopi R., Manivannan P., Gomathinayagam M., Murali P.V., & Panneerselvam R. (2008). Soil applied propiconazole alleviates the impact of salinity on *Catharanthus roseus* by improving antioxidant status. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90(2): 135-139.
- Karnwal, A., Shrivastava, S., Al-Tawaha, A. R. M. S., Kumar, G., Kumar, A., & Kumar, A. (2023). PGPR-mediated breakthroughs in plant stress tolerance for sustainable farming. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11013-z>.
- Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2000). Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regulation*, 30(1), 61-70.
- Khan, A., & Singh, A. V. (2021). Multifarious effect of ACC deaminase and EPS producing *Pseudomonas* sp. and *Serratia marcescens* to augment drought stress tolerance and nutrient status of wheat. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37, 1-17.
- Khandal, H., Gupta, S. K., Dwivedi, V., Mandal, D., Sharma, N. K., Vishwakarma, N. K., & Chattopadhyay, D. (2020). Root-specific expression of chickpea cytokinin oxidase/dehydrogenase 6 leads to enhanced root growth, drought tolerance and yield without compromising nodulation. *Plant Biotechnology Journal*, 18(11), 2225-2240.
- Ki-Yun, J., Bong-Hwa, K., Yu-Jin, P., & Jung-Myung, L. (2004). Producing double-stemmed tomato seedling by cutting propagation, pinching and plant bioregulators application. *HortScience*, 39(4), 758C-758.

- Kumar, V., Singh, V., Kumar, L., & Maurya, S. K. (2019). A Review on effect of pinching on growth, flowering and flower yield of marigold. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 7, 493-501.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: –pigments of photosynthetic biomembrances. In H. Sies, R. Douce, N. Clowick & N. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology Plant Cell Membranes*, 148 (pp. 350-381). Academic Press, San Diego (CA).
- Liu, Y., Wang, X., Wang, X., Gao, W., & You, C. (2022). Identification and functional characterization of apple MdCKX5. 2 in root development and abiotic stress tolerance. *Horticulturae*, 8(1), 62.
- Lu, C. Y. (1993). The use of thidiazuron in tissue culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 29, 92-96.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & 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.
- Mahmoudi Surestani, M., & Omidbeigi, R. (2012). Comparison of vegetative body performance, amount and composition of essential oil of Mexican flower (*Agastache foeniculum* Kuntze) in field and greenhouse conditions under drought stress treatment. *Plant Products*, 36 (4), 43-53. (In Persian)
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498.
- Mohamed, Y. F. Y., Zewail, R. M., Sami, R., Al-Mushhin, A. A., Alyamani, A., Aljahani, A. H., & El-Desouky, H. S. (2022). Effect of pinching and paclobutrazol on, flowering, chemical constituents, and histological features of *Tecoma capensis* (Thunb.) Lindl. *Science of Advanced Materials*, 14(3), 447-461.
- Motsa, N. M., Soundy, P., Steyn, J. M., Learmonth, R. A., Mojela, N., & Teubes, C. (2006). Plant shoot age and temperature effects on essential oil yield and oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) grown in South Africa. *Journal of Essential Oil Research*, 18(sup1), 106-110.
- Mutui, T. M., Emongor, M. J., & Hutchinson, M. J. (2004). Influence of plant growth regulators on postharvest characteristics of Alstroemeria cut flowers. *Discovery and Innovation*, 16(3), 195-201.
- Mutui, T. M., Mibus, H., & Serek, M. (2008). Effects of phytohormones and dark storage on postharvest quality of Pelargonium cuttings. *African Journal of Horticultural Science*, 1, 19-32.
- Nonami, H., Wu, Y., & Boyer, J. S. (1997). Decreased growth-induced water potential (a primary cause of growth inhibition at low water potentials). *Plant Physiology*, 114(2), 501-509.
- Nugent, G., Wardley-Richardson, T., & Lu, C. Y. (1991). Plant regeneration from stem and petal of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Plant Cell Reports*, 10(9), 477-480.
- Omidbaigi, R., Hassani, A., & Sefidkon, F. (2003). Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential oil-bearing plants*, 6(2), 104-108.
- Pospisilova, J. (2003). Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biologia Plantarum*, 46, 491-506.
- Pospisilova, J., Vagner, M., Malbeck, J., Travnickova, A., & Batkova, P. (2005). Interactions between abscisic acid and cytokinins during water stress and subsequent rehydration. *Biologia Plantarum*, 49, 533-540.
- Qi, J., Song, C. P., Wang, B., Zhou, J., Kangasjarvi, J., Zhu, J. K., & Gong, Z. (2018). Reactive oxygen species signaling and stomatal movement in plant responses to drought stress and pathogen attack. *Journal Integrative Plant Biology*, 56, 1-23.
- Radhakrishnan, R., Ramachandran, A., & Ranjitha Kumari, B. D. (2009). Rooting and shooting: dual function of thidiazuron in in vitro regeneration of soybean (*Glycine max* L). *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 1213-1217.
- Rasouli, O., Ahmadi, N., Behmanesh, M., & Nergi, M. D. (2015). Effects of BA and TDZ on

- postharvest quality and expression of laccase and aquaporin genes in cut rose 'Sparkle'. *South African Journal of Botany*, 99, 75-79.
- Rezaei Nejad, A., & Ismaili, A. (2014). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 905-910.
- Rezaei Nejad, A., Faizian, M., & Sephond, K. (2013). Effect of water deficit stress on growth, yield, essential Oil oil content and composition of *Pelargonium graveolens* L. *Plant Production Technology*, 5(1), 83-94. (In Persian).
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111.
- Safari, M., Mousavi-Fard, S., Rezaei Nejad, A., Sorkheh, K., & Sofo, A. (2022). Exogenous salicylic acid positively affects morpho-physiological and molecular responses of *Impatiens walleriana* plants grown under drought stress. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 969-984.
- Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. In M. A. Hossain, S. H. Wani, S. Bhattacharjee, D. J. Burritt & L. P. Tran (Eds.), *Drought stress tolerance in plants* 1, 1-16.
- Sayd, S. S., Taie, H. A., & Taha, L. S. (2010). Micropropagation, antioxidant activity, total phenolics and flavonoids content of *Gardenia jasminoides* ellis as affected by growth regulators. *International Journal of Academic Research*. 2, 184-191.
- Sehrawat, S. K., Dahiya, D. S., Singh, S. & Rana, G. S. (2003). Effect of nitrogen and pinching on growth, flowering and yield of marigold (*Tagetes erecta* L.) cv. African Giant Double Orange. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*. 32, 59-60.
- Shalan, E. E., Soliman, S. S., Mahmoud, A. A., Al-Khayri, J. M., ALshamrani, S. M., Safhi, F. A., & Hassanin, A. A. (2023). Micropropagation of daylily (*Hemerocallis fulva*) from crown-tip explants and assessment of somaclonal variation of in vitro- propagated plants using SCoT markers. *Phyton*, 92(7), 2183-2196.
- Taiz, L. D., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. Sunderland (Massachusetts): Sinauer Associates.
- Turkyilmaz Unal, B. (2018). Thidiazuron as an elicitor in the production of secondary metabolite. In N. Ahmad & M. Faisal, *Thidiazuron: from urea derivative to plant growth regulator*. Springer Singapore.
- Wainwright, H., & Irwin, H. L. (1987). The effects of paclobutrazol and pinching on *Antirrhinum* flowering pot plants. *Journal of Horticultural Science*, 62(3), 401-404.
- Wang, F., Zeng, B., Sun, Z., & Zhu, C. (2009). Relationship between proline and Hg²⁺-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56, 723-731.
- Wang, Y., Shen, W., Chan, Z., & Wu, Y. (2015). Endogenous cytokinin overproduction modulates ROS homeostasis and decreases salt stress resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1004.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In H. Sies, R. Douce, N. Clowick & N. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology Plant Cell Membranes*, 148 (pp. 350-381). Academic Press, San Diego (CA).
- Werner, T., Nehnevajova, E., Köllmer, I., Novák, O., Strnad, M., Krämer, U., & Schülling, T. (2010). Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance, and leaf mineral enrichment in *Arabidopsis* and tobacco. *The Plant Cell*, 22(12), 3905-3920.
- Zavaleta-Mancera, H. A., López-Delgado, H., Loza-Tavera, H., Mora-Herrera, M., Trevilla-García, C., Vargas-Suárez, M., & Ougham, H. (2007). Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology*, 164(12), 1572-1582.
- Zhang, M., Liu, L., Chen, C., Zhao, Y., Pang, C., & Chen, M. (2022). Heterologous expression of a

- Fraxinus velutina* SnRK2 gene in Arabidopsis increases salt tolerance by modifying root development and ion homeostasis. *Plant Cell Reports*, 41(9), 1895-1906.
- Zieslin, N., Hurwitz, A., & Halevy, A. H. (1975). Flower production and the accumulation and distribution of carbohydrates in different parts of Baccara rose plants as influenced by various pruning and pinching treatments. *Journal of Horticultural Science*, 50(4), 339-348.
- Zomorodi, N., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S., Feizi, H., Tsaniklidis, G., & Fanourakis, D. (2022). Potency of titanium dioxide nanoparticles, sodium hydrogen sulfide and salicylic acid in ameliorating the depressive effects of water deficit on periwinkle ornamental quality. *Horticulturae*, 8(8), 675.