Vol 26, No. 4, Winter 2025

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Effect of Salicylic Acid and Brassinosteroid on Grain Yield and Essential Oil of Coriander under Water Deficit conditions

Mehdi Panahyankivi[1]✉ | AbazarAbbasi[2] | Mahnaz Mohammadzadeh Nasirabadi[3]

1. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: panahyan@pnu.ac.ir
2. Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: a.abbasi@pnu.ac.ir
3. Department of Water Engineering and Agricultural Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. E-mail: nasirabadi55@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 21 May 2023
Received in revised form
28 September 2024
Accepted 14 October 2024
Published online 30 December 2024

Keywords:
Coriander
Epibrassinolide
Growth Regulators
Membrane Stability Index
Water Limitation

ABSTRACT

Objective: The aim of this research is to investigate the effect of salicylic acid (SA) and brassinosteroid on yield and essential oil of coriander under water limitation conditions.

Methods: A field experiment was conducted as a split-plot on the basis of RCB design with three replications in two agricultural seasons of 2020 and 2021. Irrigation intervals (irrigation according to 70 (control), 100, 130 and 160 mm evaporation from class A pan) were assigned to the main-plots and foliar application treatments (control, SA (1 mmol) and brassinosteroid (1 µmol) were allocated to the sub-plots.

Results: The results demonstrated that the application of SA and brassinosteroid significantly increased the relative water content, the membrane stability index, and the leaf area index. SA and brassinosteroid treatments increased the number of umbels per plant (14.1 and 7.3 percent), biological (21.9 and 10.2 percent) and grain (18.6 and 9.6 percent) yield. Essential oil yield increased by 23.5 and 11.9 percent with SA and brassinosteroid, respectively. The highest water use efficiency (WUE) of grain and biological yields (0.62 and 3.95 kg/m^3) was obtained from the SA treatment under irrigation after 100 mm evaporation.

Conclusion: Treatment of plants with SA had a better effect compared to brassinosteroid on increasing grain yield and WUE. Therefore, under moderate and severe stress conditions (irrigation based on 130 and 160 millimeters of evaporation, respectively), the foliar application of salicylic acid can enhance the coriander's tolerance to drought stress.

Cite this article: Panahyankivi, M., Abbasi, A., & Mohammadzadeh Nasriabadi, M. (2025). Effect of Salicylic Acid and Brassinosteroid on Grain Yield and Essential Oil of Coriander under Water Deficit conditions. *Journal of Crops Improvement*, 949-967. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359656.2817

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359656.2817

دوره بیست و ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید بر عملکرد و اسانس دانه گشنیز در شرایط کم‌آبی

مهدی پناهیان کیوی[۱] ✉ | اباذر عباسی[۲] | مهناز محمدزاده نصیرآبادی[۳]

۱. نویسنده مسئول ، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: panahyan@pnu.ac.ir

۲. گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: a.abbasi@pnu.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب و مدیریت کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: nasirabadi55@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

کلیدواژه‌ها:

براسینواستروئید

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی

تیمار آبیاری

شاخص پایداری غشا

گشنیز

چکیده

هدف: هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید بر عملکرد و اسانس دانه گشنیز در شرایط محدودیت آب می‌باشد.

روش پژوهش: آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری براساس ۷۰ (شاهد)، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و سطوح محلول‌پاشی (شاهد، سالیسیلیک‌اسید یک میلی‌مولار و براسینواستروئید یک میکرومولار) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایداری غشا و شاخص سطح برگ با مصرف سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید در تنش کم‌آبی موجب افزایش تعداد چتر در بوته (به‌ترتیب ۱۴/۱ و ۷/۳ درصد)، عملکرد زیستی (به‌ترتیب ۲۱/۹ و ۱۰/۲ درصد) و عملکرد دانه (به‌ترتیب ۱۸/۶ و ۹/۶ درصد) شد. عملکرد اسانس با محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید به‌ترتیب ۲۳/۵ و ۱۱/۹ درصد افزایش یافت. بیش‌ترین بهره‌وری آب برحسب عملکرد دانه و عملکرد زیستی (۰/۶۲ و ۳/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب) از محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در تیمار آبیاری براساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک حاصل شد.

نتیجه‌گیری: تیمار گیاهان با سالیسیلیک‌اسید اثر بهتری نسبت به براسینواستروئید بر افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری آب داشت. بنابراین، در شرایط تنش‌های متوسط و شدید (به‌ترتیب آبیاری براساس ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر) کم‌آبی، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید می‌تواند تحمل گشنیز به تنش خشکی را افزایش دهد.

استناد: پناهیان کیوی، مهدی؛ عباسی، اباذر و محمدزاده نصیرآبادی، مهناز (۱۴۰۳). اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید بر عملکرد و اسانس دانه گشنیز در شرایط کم‌آبی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۴)، ۹۴۹-۹۶۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359656.2817

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

گشنیز[1] گیاهی علفی و یک‌ساله از تیره چتریان است که در بسیاری از کشورها به‌عنوان گیاهی بهاره و در کشورهای حاشیه مدیترانه و جنوب‌شرقی آسیا به‌صورت گیاهی پاییزه کشت می‌شود. گشنیز گیاهی گرمادوست می‌باشد و در اغلب خاک‌ها رشد می‌کند. سرشاخه‌های تازه این گیاه در سالاد و سوپ و دانه آن در صنایع غذایی و به‌عنوان چاشنی استفاده می‌گردد. اسانس گشنیز حاوی ۵۰ درصد لینالول است و در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد و از روغن دانه این گیاه در صنایع غذایی و دارویی استفاده می‌شود (یگانه‌پور[2] و همکاران، ۲۰۱۷). سطح زیر گشنیز در ایران ۲۰۰۰ هکتار با تولید ۴۰۰۰ تن محصول است. در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد تولید سالیانه محصول گشنیز در ایران به استان همدان تعلق دارد که در اغلب اراضی تولید آن مشکل دسترسی به آب وجود دارد (پناهیان کیوی، ۱۳۹۸).

تنش‌های زیستی و غیرزیستی رشد و تولید محصول گیاه را متأثر می‌سازند. یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی، کمبود آب می‌باشد که علاوه بر اثر منفی بر عملکرد گیاه، سبب محدودیت تولید در ۲۵ درصد از اراضی زراعی جهان شده است (فائو[3]، ۲۰۱۹). اغلب اراضی ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). تنش کم‌آبی هنگامی در گیاه رخ می‌دهد که میزان تعرق از سطح برگ‌ها از ظرفیت ریشه‌ها برای جذب آب از خاک بیش‌تر شده و شرایط آب‌وهوایی سبب اتلاف مداوم آب به‌علت تعرق و تبخیر شود، که نتیجه آن رقابت بین گیاهان برای جذب آب از خاک می‌باشد (عباس‌زاده[4] و همکاران، ۲۰۲۰).

کم‌آبی به‌عنوان تنشی چندبعدی، بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه را متأثر می‌سازد. شدت و مدت تنش، گونه گیاهی و نیز مرحله رشد از عوامل تعیین‌کننده میزان واکنش گیاه به تنش خشکی هستند (وانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۶). در شرایط تنش کم‌آبی، توسعه سلول محدود می‌گردد و در نتیجه رشد گیاه به تأخیر می‌افتد. در شرایط تنش خشکی طولانی‌مدت، بسیاری از گیاهان آب خود را از دست داده و از بین می‌روند (ژانگ[6] و همکاران، ۲۰۲۱؛ اصلانی[7] و همکاران، ۲۰۲۳). تنش خشکی موجب بسته‌شدن روزنه‌ها، افت شدت تعرق، کاهش پتانسیل آب بافت‌های گیاه، افت سرعت فتوسنتز و مهار رشد، سنتز پروتئین‌ها و mRNA جدید، تشکیل ترکیبات مهارکننده رادیکال‌های آزاد (مانند آسکوربات، گلوتاتیون و آلفا توکوفرول) و تجمع املاح می‌گردد و بیان ژن‌های ویژه تنش را القا می‌نماید (ژانگ[8] و همکاران، ۲۰۲۱؛ اصلانی[9] و همکاران، ۲۰۲۳).

افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی از شیوه‌های گوناگون مانند به‌نژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد قابل انجام است. در مقایسه با شیوه‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، استفاده از مواد شیمیایی مانند سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید آسان و ارزان‌تر می‌باشد (عباسپور[10] و رضایی[11]، ۲۰۱۴).

سالیسیلیک‌اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیکاسید، ترکیبی فنلی و یک تنظیم‌کننده هورمونی می‌باشد و در پاسخ‌های دفاعی برای مقابله با اثرات منفی تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش دارد. کاربرد سالیسیلات خارجی سبب بهبود تحمل

1. *Coriandrum sativum* L.
2. Yeganehpoor
3. FAO
4. Abbaszadeh
5. Wang
6. Zhang
7. Aslani
8. Zhang
9. Aslani
10. Abaspour
11. Rezaei

گیاهان به تنش خشکی و شوری می‌شود (شائو[1] و همکاران، ۲۰۱۸). سالیسیلات اثر بارزی در گیاهان متأثر از تنش ازجمله اثر بر جذب عناصر غذایی، پایداری غشا و روابط آبی، عملکرد روزنه‌ها و بازدارندگی سنتز اتیلن و افزایش رشد دارد (قاسمی پیربلوطی[2] و همکاران، ۲۰۱۹). سالیسیلیک‌اسید نقش مهمی در تنظیم اغلب فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد گیاهی داشته و موجب سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌گردد.

براسینواستروئیدها اولین بار از دانه گرده کلزا استخراج و به‌عنوان ششمین گروه از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در نظر گرفته شدند (کیریشنا[3] و همکاران، ۲۰۱۹). این تنظیم‌کننده‌های رشد موجب تحریک رشد و تقسیم سلولی شده و بر خصوصیات الکتریکی، نفوذپذیری غشا و پایداری و فعالیت آنزیم‌های غشا تأثیر دارند. تاکنون ۵۹ براسینواستروئید از گیاهان مختلف استخراج و ساختار و عملکرد آن‌ها شناسایی شده است (یین[4] و همکاران، ۲۰۱۹). براسینواستروئیدها تحمل گیاهان به محدوده وسیعی از تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهند. این افزایش اغلب به‌دلیل تولید و رونویسی ژن‌های ضد تنش مانند پروتئین‌های شوک گرمایی به‌منظور بالابردن تحمل به تنش در گیاهان تیمارشده با براسینواستروئید بوده است (احامد[5] و همکاران، ۲۰۱۴).

با توجه به مشکلات کم‌آبی در کشور و کاربرد گسترده گشنیز در صنایع دارویی، آرایشی، بهداشتی و غذایی (یگانه‌پور و همکاران[6]، ۲۰۱۷)، این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید بر برخی از صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل به تنش خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، تولید اسانس و بهره‌وری آب به اجرا درآمد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، به‌علت کاهش سطح برگ، تراکم بالاتر غدد اسانس منجر به افزایش انباشت اسانس در ریحان شده است (پالش[7] و عبدالهی ماندولاکانی[8]، ۲۰۲۰). نصراله‌زاده[9] و آقایی‌قراچورلو[10] (۲۰۱۴) گزارش کردند که درصد اسانس اندام هوایی بالنگو[11] با کاهش دسترسی به آب افزایش یافت، بااین‌حال، بیش‌ترین عملکرد اسانس در واحد سطح در شرایط آبیاری مطلوب تولید شده است. کاهش معنی‌دار صفات مختلف رشدی مانند تعداد برگ و وزن تر و خشک بوته در شرایط تنش کمبود آب در گیاهان دارویی گشنیز (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۳) و شوید (ستایش‌مهر و گنجعلی، ۱۳۹۲) گزارش‌شده است. یگانه‌پور[12] و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید (۱ میلی‌مولار) در شرایط محدودیت آبیاری (آبیاری براساس ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، درصد و عملکرد اسانس دانه و نیز بهره‌وری مصرف آب برحسب عملکرد دانه گشنیز را به‌ترتیب ۲۴/۲، ۱۸/۳ و ۱۵/۶ درصد افزایش داده است.

گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌ویژه با غلظت ۳ میلی‌مولار سبب افزایش عملکرد برگ و اسانس و نیز کارایی مصرف آب رزماری[13] به‌ترتیب به میزان ۳۲/۲، ۱۶/۱ و ۹/۴ درصد شده است (عباس‌زاده[14] و همکاران،

1. Shao
2. Ghasemi Pirbalouti
3. Krishna
4. Yin
5. Ahammed
6. Yeganehpoor
7. Palesh
8. Abdollahi Mandoulakani
9. Nasrollahzadeh
10. Aghaei-Gharachorlou
11. *Lallemantia iberica*
12. Yeganehpoor
13. *Rosmarinus officinalis*
14. Abbaszadeh

۲۰۲۰). باوجود این‌که پژوهش‌های بسیاری در زمینه تأثیر مثبت براسینواستروئید در بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های شوری و دمای بالا انجام شده‌اند (ظفری و همکاران، ۱۳۹۶)، ولی بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که پژوهش‌های محدودی در زمینه اثربخشی کاربرد براسینواستروئید در کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی انجام شده است. برای مثال، همتی[1] و همکاران (۲۰۱۸) عنوان نمودند که کاربرد براسینواستروئید (یک میکرومولار) از طریق افزایش پرولین، محتوای آب برگ و نیز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب بهبود تحمل همیشه‌بهار[2] به تنش خشکی (آبیاری براساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و افزایش عملکرد و اسانس این گیاه شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور اردبیل اجرا شد. این محل با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریای آزاد، زمستان‌های خیلی سرد و بهار و تابستان‌های معتدلی دارد. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالانه در طی یک دوره ۱۵ ساله به‌ترتیب ۷/۹ و ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه حدود ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۲). جدول (۱) میانگین دما و بارندگی در شش ماه اول سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ را در اراضی محل اجرای آزمایش نشان می‌دهد. هم‌چنین، تفکیک مجموع آب مصرفی در دوره رشد براساس حجم آب ناشی از بارندگی و آبیاری در فواصل مختلف آبیاری در دو سال زراعی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. میانگین بارندگی و دما طی سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

ماه	بارندگی (میلی‌متر)		دما (درجه سانتی‌گراد)	
	۱۳۹۹	۱٤۰۰	۱۳۹۹	۱٤۰۰
فروردین	۶۲/۸	۷۵/۱	۷/۴	۷/۳
اردیبهشت	۲۵/۲	۴۷/۵	۱۲/۳	۱۱/۵
خرداد	۷/۳	۱۳/۲	۲۱/۵	۲۱
تیر	۰/۷	۱۷/۵	۲۴/۶	۲۳/۱
مرداد	۰	۴/۵	۲۵/۱	۲۴/۴
شهریور	۳/۲	۱۴/۴	۱۹/۲	۱۹/۳

جدول ۲. تفکیک مجموع آب مصرفی در دوره رشد براساس حجم آب ناشی از بارندگی و آبیاری در فواصل مختلف آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

سال زراعی	فواصل آبیاری	حجم آب ناشی از بارندگی (مترمکعب)	حجم آب آبیاری (مترمکعب)	مجموع آب مصرفی در دوره رشد (مترمکعب)
۱۳۹۹	I۱	۵/۳۱	۲۹/۲۵	۳۴/۵۶
	I۲	۵/۳۱	۱۴/۴	۱۹/۷۱
	I۳	۵/۳۱	۶/۷	۱۲/۰۱
	I۴	۵/۳۱	۴/۶۸	۹/۹۹
۱۴۰۰	I۱	۹/۲۷	۲۵/۹۶	۳۵/۲۳
	I۲	۹/۲۷	۱۰/۸۴	۲۰/۱۱
	I۳	۹/۲۷	۲/۸۹	۱۲/۱۶
	I۴	۹/۲۷	۰/۵۸	۹/۸۵

I_1، I_2، I_3 و I_4: به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A

1. Hemmati
2. *Calendula officinalis*

برای بررسی وضعیت خاک زمین زراعی، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. در جدول (۳) نتایج مربوط به تجزیه خاک نشان داده شده است.

جدول ۳. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش

سال	عمق (سانتی‌متر)	اسیدیته	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۱۳۹۹	۰-۳۰	۷/۶۵	۱۴	۲۴	۶۲	لوم شنی	۱/۲۱
۱۴۰۰	۰-۳۰	۷/۲۱	۱۳	۲۳	۶۴	لوم شنی	۱/۳۲
سال	عمق (سانتی‌متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۱۳۹۹	۰-۳۰	۰/۸۳	۰/۰۶	۱۷/۱	۲۹۴	۰/۸۸	۷/۹
۱۴۰۰	۰-۳۰	۰/۹۴	۰/۰۹	۱۵/۲	۳۲۳	۰/۹۴	۶/۳

شخم زمین محل اجرای آزمایش در پاییز سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام شد. عملیات تکمیلی تهیه زمین (دیسک) و کرت‌بندی نیز در بهار سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ صورت گرفت. هر کرت دارای هشت ردیف کاشت سه متری بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (تراکم ۴۰ بوته در مترمربع) و فاصله دو کرت مجاور از هم یک متر و فاصله تکرارها از یکدیگر ۱/۵ متر بود. دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر واحد آزمایشی، به‌عنوان حاشیه لحاظ شد. بذر گشنیز (توده کرمانشاه) از واحد گیاهان دارویی مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمانشاه تهیه گردید که توده بومی و مورد کشت منطقه می‌باشد. بذرها در سال اول و دوم به‌ترتیب در ۱۴ و ۱۷ اردیبهشت‌ماه در شیارهایی به عمق دو تا سه سانتی‌متر کشت شدند.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فواصل آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4: به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی (سطح آبیاری I_1 به‌عنوان آبیاری مطلوب (بدون تنش کمبود آب) و سایر سطوح آبیاری به‌عنوان تیمارهای تنش کمبود آب در نظر گرفته شدند) (رحیمی و کافی، ۱۳۸۸) و محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید (یک میلی‌مولار) (قاسمی-گلعذانی[1] و همکاران، ۲۰۱۸) و براسینواستروئید (یک میکرومولار) (همتی[2] و همکاران، ۲۰۱۸) و شاهد (آب‌پاشی) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. تنک بوته‌ها بعد از استقرار کامل گیاهچه‌ها (مرحله پنج‌برگی گیاه) انجام شدو پس از آن، آبیاری واحدهای آزمایشی طبق تیمارهای موردنظر و مقدار تبخیر از تشتک انجام شد. محلول‌پاشی در دو نوبت (پنج‌برگی و گل‌دهی کامل به‌منظور اطمینان از اثربخشی کامل تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید (قاسمی‌گلعذانی[3] و همکاران، ۲۰۱۸) و هر بار صبح زود و قبل از تابش مستقیم نور خورشید به مزرعه و در زمان‌هایی که وزش باد وجود نداشت، با سم‌پاش دستی تلمبه‌ای با نازل جت استریم با فشار کاری در محدوده ۴۰ پاسکال انجام شد. وجین علف‌های هرز در چند نوبت و به‌صورت دستی انجام شد. برداشت گشنیز در نیمه دوم مردادماه هر سال، زمانی‌که چترهای اصلی کاملاً رسیده بودند و رنگ آن‌ها به زرد تغییریافته بود، صورت گرفت.

قبل از انجام آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، در حوالی ساعت ۱۲ ظهر چند برگ جوان توسعه‌یافته از پنج بوته هر کرت انتخاب شدند. این برگ‌ها از بوته‌ها جدا گردیده و در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند. کیسه‌ها در

1. Ghassemi-Golezani
2. Hemmati
3. Ghassemi-Golezani

فلاسک یخ قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه زراعت عمومی دانشگاه پیام نور اردبیل منتقل شدند. در آزمایشگاه از نمونه مربوط به هر کرت، ۱۰ دیسک برگی هم‌اندازه تهیه شد و وزن تر آن‌ها تعیین گردید و سپس نمونه‌ها در داخل آب مقطر ریخته شده و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از آن، دیسک‌های برگی از آب خارج گردیده و پس از خشک‌نمودن سطحی برگ‌ها با دستمال نرم تمیز، وزن آماس برگ‌ها تعیین شد. در مرحله بعد دیسک‌های برگی به‌مدت ۲۴ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در نهایت وزن خشک نمونه‌ها به‌دست آمد. برای تعیین محتوای آب نسبی برگ از رابطه زیر استفاده گردید:

رابطه ۱) $RWC= (F_W-D_W) / (T_W-D_W) \times ۱۰۰$

که در آن، F_W وزن تازه، D_W وزن خشک و T_W وزن آماس نمونه می‌باشد (ریتچی[1] و همکاران، ۱۹۹۰).

شاخص پایداری غشا براساس هدایت الکتریکی مواد نشتی از سلول‌های برگ به درون آب مقطر برآورد گردید. در مرحله ۵۰ درصد گلدهی گشنیز، دو نمونه ۰/۱ گرمی برگ تازه از هر کرت توزین شد و هرکدام در داخل یک لوله آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر قرار گرفت. سپس یک نمونه در آونی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه ($EC_۱$) و نمونه دوم به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ($EC_۲$) قرار گرفتند. سپس، هدایت الکتریکی مواد نشتی هر یک از آن‌ها با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (مدل Chauvin Arnoux P01710020 Conductivity Meter، ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشا طبق رابطه (۲) محاسبه شد (قاسمی‌گلعذانی[2] و همکاران، ۲۰۱۶a).

رابطه ۲) $\text{شاخص پایداری غشا} = [EC_1/EC_2] \times ۱۰۰$

در مرحله گلدهی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از ردیف‌های میانی هر کرت انتخاب و برگ‌ها از ساقه جدا شدند. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل LI-COR, Model Li-3100C Area Meter، ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری شد. شاخص سطح برگ نیز با تقسیم سطح برگ بوته بر مساحت زمین پوشش یافته توسط گیاه محاسبه شد.

در پایان دوره رشد به‌منظور تعیین اجزای عملکرد دانه، از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته برداشت شد و تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در هر چتر شمارش گردید. سپس دانه‌های هر بوت از چترها جدا و تعداد دانه در بوته ثبت گردید. هم‌چنین، از هر کرت ۱۰ نمونه صدتایی دانه گشنیز شمارش و میانگین وزن آن‌ها به‌عنوان وزن هزاردانه ثبت گردید. بوته‌های یک مترمربع از خطوط میانی هر واحد آزمایشی برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی و دانه کف‌بر و برداشت شدند و در سایه و هوای آزاد خشک شدند و سپس در گونی‌هایی کوبیده شدند تا دانه آن‌ها جدا شود. درصد رطوبت دانه‌ها در هنگام اندازه‌گیری تقریباً ۱۴ درصد بود. سایر بخش‌های گیاه به‌مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و عملکرد زیستی هر کرت با افزودن وزن دانه تعیین شد. پس از اندازه‌گیری عملکرد زیستی و عملکرد دانه، شاخص برداشت نیز محاسبه گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری درصد اسانس دانه، ۱۰۰ گرم دانه گشنیز در محفظه دستگاه آسیاب که مجهز به تیغه مسی بود ریخته شد و سپس دانه‌های گشنیز آسیاب شدند. اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با بخار آب و با دستگاه کلونجر (مدل British Pharmacopa، ساخت کشور انگلستان) انجام گرفت. طول زمان استخراج اسانس هر نمونه در حدود ۲/۵ تا ۳ ساعت بود و پس از توزین اسانس استخراج شده، درصد وزنی اسانس دانه از رابطه (۳) محاسبه گردید.

رابطه ۳) $\text{درصد اسانس} = \frac{\text{وزن اسانس (گرم)}}{\text{وزن خشک ماده اولیه (گرم)}} \times ۱۰۰$

عملکرد اسانس نیز از حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد دانه محاسبه گردید.

1. Ritchie
2. Ghassemi-Golezani

پس از استقرار بوته‌های گشنیز، آبیاری هر تیمار پس از رسیدن مقدار تبخیر به میزان موردنظر (برحسب هر تیمار) انجام شد. از کنتور آب تعبیه‌شده در مزرعه تحقیقاتی برای اعمال دقیق تیمارهای آبیاری استفاده گردید. حجم آب مصرفی در هر کرت و در هر مرتبه از آبیاری در تیمارهای مختلف برحسب لیتر از رابطه (۴) محاسبه گردید (عباس‌زاده[1] و همکاران، ۲۰۲۰):

$$V = (\theta_{FC} - \theta_{SM}).\rho b.A.d$$ رابطه ۴)

در این رابطه، θ_{FC} درصد وزنی رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_{SM} درصد وزنی رطوبت خاک در هر تیمار آبیاری، d عمق توسعه ریشه (متر)، ρb وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب) و A مساحت هر کرت (مترمربع) می‌باشد.

سپس میزان بارش طی فصل رشد گیاه از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اردبیل (واقع در نزدیکی مزرعه تحقیقاتی) ایستگاه تحقیقاتی استخراج گردید و مجموع حجم آب آبیاری و میزان بارندگی در طول فصل رشد به‌عنوان مجموع آب مصرفی در دوره رشد محاسبه شد. بهره‌وری آب دانه $WUE_{(g)}$ و بهره‌وری آب زیستی $WUE_{(b)}$ نیز از طریق رابطه‌های (۵) و (۶) محاسبه گردید (عباس‌زاده[2] و همکاران، ۲۰۲۰):

$$WUE\ (g) = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{مجموع آب مصرفی در دوره رشد}}$$ رابطه ۵)

$$WUE\ (b) = \frac{\text{عملکرد زیستی}}{\text{مجموع آب مصرفی در دوره رشد}}$$ رابطه ۶)

در این روابط، عملکرد دانه و زیستی برحسب کیلوگرم و مجموع آب مصرفی در دوره رشد برحسب مترمکعب برای محاسبه بهره‌وری آب دانه و زیستی در روابط مذکور مورداستفاده قرار گرفتند و در نهایت بهره‌وری آب دانه و زیستی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد.

پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال‌بودن و یکنواختی واریانس خطای داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف انجام گرفت (پالیوتی[3] و همکاران، ۲۰۱۱) که نتایج این آزمون حاکی از نرمال‌بودن توزیع داده‌های این پژوهش بود. از نرم‌افزارهای MSTAT-C (نسخه ۱/۴۲) و SPSS (نسخه ۲۱) برای تجزیه و تحلیل‌های آماری استفاده گردید. میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و براساس آزمون توکی[4] در سطح احتمال خطای پنج درصد انجام گرفت.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. تأثیر سال

براساس نتایج جدول‌های (۴) و (۵)، شاخص سطح برگ، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و بوته، وزن هزاردانه، عملکرد زیستی، درصد اسانس و بهره‌وری آب براساس عملکردهای دانه و زیستی به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر اثر اصلی سال قرار گرفتند. شاخص سطح برگ در سال دوم زراعی (۳/۷۵) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول زراعی (۳/۷۵) بود (جدول ۷). تعداد چتر در بوته در سال دوم زراعی ۳/۱۱ درصد بیش‌تر از سال اول زراعی بود (جدول ۷). تعداد دانه در چتر در سال دوم به‌طور معنی‌داری نسبت به سال اول زراعی بیش‌تر بود (جدول ۷)

1. Abbaszadeh
2. Abbaszadeh
3. Palliotti
4. Tukey

که می‌تواند به شرایط آب‌وهوایی نامساعدتر در سال اول و تنش خشکی شدیدتر در این سال نسبت داده شود (جدول ۱). تعداد دانه در بوته در سال دوم زراعی (۱۳۹/۲) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول زراعی (۱۲۶/۷) بود (جدول ۷). وزن هزاردانه در سال دوم زراعی ۲/۱۲ درصد بیش‌تر از سال اول زراعی بود (جدول ۷). عملکرد زیستی در سال دوم به‌طور معنی‌داری نسبت به سال اول زراعی بیش‌تر بود (جدول ۷) که می‌تواند به شرایط آب‌وهوایی نامساعدتر در سال اول و تنش خشکی شدیدتر در این سال نسبت داده شود (جدول ۱). درصد اسانس در سال دوم زراعی (۰/۷۹۴) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول زراعی (۰/۷۶۶) بود (جدول ۷). بهره‌وری مصرف آب برحسب کیلوگرم دانه و نیز ماده خشک تولیدی به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی محاسبه گردید. بیش‌ترین بهره‌وری آب براساس عملکرد دانه و زیستی به گیاهان پرورش یافته در سال دوم تعلق داشت که احتمالاً به‌دلیل بروز تنش بیش‌تر در سال اول، ناشی از نامساعدبودن شرایط آب‌وهوایی نسبت به سال دوم باشد (جدول ۱).

۴. ۲. تأثیر اثرات ساده تیمارها

۴. ۲. ۱. تأثیر آبیاری

بین سطوح آبیاری از نظر شاخص سطح برگ، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و بوته، وزن هزاردانه، عملکرد زیستی و درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. با کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاه، شاخص سطح برگ گشنیز افت پیدا کرد. میانگین این صفت (۳/۹۲) در سطح اول (I_1) آبیاری بیش‌تر از سایر تیمارهای آبیاری بود (جدول ۸). تعداد چتر در بوته با کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاه افت پیدا کرد. تعداد چتر در بوته در تیمار I_4، ۴۰/۷ درصد کم‌تر از تیمار I_1 بود (جدول ۸). تشدید کم‌آبی به کاهش میانگین تعداد دانه در چتر منجر گردید. تعداد دانه در چتر در تیمار I_1 (۱۴/۷) از سایر سطوح آبیاری بیش‌تر بود (جدول ۸). میانگین تعداد دانه در بوته با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت. در تیمارهای I_2، I_3 و I_4 تعداد دانه در بوته به‌ترتیب ۱۹/۵، ۴۳/۲ و ۵۶/۳ درصد کم‌تر از سطح اول آبیاری (I_1) بود (جدول ۸). وزن هزاردانه در تیمار I_1 به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر سطوح آبیاری بود و تشدید کم‌آبی به افت وزن هزاردانه گشنیز منجر گردید (جدول ۸). بیش‌ترین عملکرد زیستی به گیاهان آبیاری‌شده با فاصله ۷۰ میلی-متر تبخیر مربوط بود. آبیاری گیاهان براساس ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر به کاهش ۲۳/۲، ۶۲/۴ و ۷۴/۸ درصدی عملکرد زیستی در مقایسه با آبیاری مطلوب (I_1) منجر شد (جدول ۸). میانگین درصد اسانس دانه گشنیز با افزایش فواصل آبیاری تا آبیاری با فاصله ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر (I_3) افزایش پیدا کرد، اما در شرایط تنش شدید کمبود آب (I_4) افت یافت. درصد اسانس در تیمار I_3، ۳۵/۷ درصد بیش‌تر از تیمار I_1 بود (جدول ۸).

۴. ۲. ۲. تأثیر محلول‌پاشی

اثر محلول‌پاشی بر محتوای آب نسبی برگ، شاخص سطح برگ، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و زیستی و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار به‌دست آمد. کاربرد هر دو تنظیم‌کننده رشد سبب بهبود محتوای آب نسبی برگ گشنیز شد، اما محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید بیش‌ترین محتوای آب نسبی برگ را ایجاد کرد که نسبت به شاهد ۷/۹ درصد افزایش را در این صفت نشان داد. بین سطوح محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت معنی‌داری ازنظر آماری مشاهده شد (شکل ۱-الف). محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید، شاخص سطح برگ گشنیز را نسبت به شاهد ۹/۱ درصد افزایش داد، با وجود این، تفاوت معنی‌داری از نظر آماری با محلول‌پاشی براسینواستروئید نداشت (جدول ۸). تیمارهای محلول‌پاشی تعداد چتر در بوته گشنیز را نسبت به شاهد (آب‌پاشی) به‌طور

معنی‌داری بهبود دادند. بیش‌ترین تعداد چتر در بوته (۱۰/۶۱) بر اثر محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید حاصل شد که نسبت به شاهد ۱۳/۸ درصد افزایش نشان داد. بین محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸). بیش‌ترین تعداد دانه در بوته در نتیجه محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۱۶/۸ درصد افزایش نشان داد. بین سطوح تیماری محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد (جدول ۸). کاربرد هر دو تنظیم‌کننده رشد سبب بهبود عملکرد دانه گشنیز شد، اما محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید بیش‌ترین محصول دانه را تولید کرد که نسبت به شاهد ۱۸/۰۹ درصد افزایش را در این صفت ایجاد نمود. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشتند (شکل ۱–ب). محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید بیش‌ترین عملکرد زیستی (۲۵۸۰ کیلوگرم در هکتار) را تولید نمود که نسبت به شاهد میانگین این صفت را ۲۱/۹ درصد بهبود بخشید. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشتند (جدول ۸). بیش‌ترین عملکرد اسانس از تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید حاصل شد که نسبت به شاهد ۲۲/۷ درصد افزایش نشان داد. بین سطوح محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱–ج).

۴. ۳. اثرات برهم‌کنش تیمارها

۴. ۳. ۱. اثر متقابل سال× آبیاری

براساس نتایج جدول‌های (۴) و (۵)، اثر متقابل سال× آبیاری بر محتوای آب نسبی برگ، شاخص پایداری غشا، عملکرد دانه و اسانس معنی‌دار بودند. در هر دو سال انجام آزمایش، با کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاه، محتوای آب نسبی برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای آب نسبی برگ به گیاهان در تیمار آبیاری مطلوب (I_1) در سال دوم با میانگین ۷۶/۸ درصد اختصاص پیدا کرد (جدول ۶). در هر دو سال انجام آزمایش، تنش خشکی منجر به کاهش شاخص پایداری غشا در مقایسه با تیمار آبیار ی مطلوب شد، اما اثر تنش خشکی در میزان کاهش شاخص پایداری غشا در سال اول نسبت به سال دوم بارزتر بود (جدول ۶) که می‌تواند به شرایط مطلوب‌تر آب‌وهوایی در سال دوم نسبت به سال اول (جدول ۱) نسبت داده شود. در هر دو سال انجام آزمایش، با کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاه، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه به گیاهان در تیمار آبیاری مطلوب (I_1) در سال دوم با میانگین ۷۰۲/۶ کیلوگرم در هکتار اختصاص پیدا کرد (جدول ۶). در هر دو سال انجام آزمایش، با کاهش آب قابل‌دسترس برای گیاه، عملکرد اسانس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد اسانس به گیاهان در تیمار آبیاری مطلوب (I_1) در سال دوم با میانگین ۴/۷۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص پیدا کرد (جدول ۶).

۴. ۳. ۲. اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی

شاخص پایداری غشا، بهره‌وری آب براساس عملکرد دانه و زیستی تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول‌های ۴ و ۵). محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید در تیمار آبیاری مطلوب (I_1) و تنش ملایم خشکی (I_2) اثری بر شاخص پایداری غشا نداشتند، ولی اثر این تنظیم‌کننده‌های رشد و به‌ویژه سالیسیلیک‌اسید در افزایش شاخص پایداری غشا در تیمارهای آبیاری I_3 و I_4 معنی‌دار بود (شکل ۲). بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب برحسب عملکرد دانه و زیستی در تیمار I_2 و کم‌ترین آن در تیمار I_4 به‌دست آمد (شکل‌های ۳ و ۴).

جدول ٤. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در گشنیز در سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای آب نسبی برگ	شاخص پایداری غشا	شاخص سطح برگ	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه
سال (Y)	۱	۵۹/۹۵ **	۴۶/۵۶ **	۰/۶۹۸ **	۶/۶۰۱ **	۰/۶۸۱ **	۲۸۰۴/۲ **	۰/۴۵۱ **
تکرار در سال (R/Y)	۴	۸/۱۷	۱۱/۹۱	۰/۱۱۵	۱/۹۴۷	۲/۰۰۹	۲۹۲/۸۹	۰/۲۰۲
آبیاری (I)	۳	۷۷۱/۳۱ **	۱۸۲/۹۵ **	۱/۱۸۶ **	۹۷/۹۶۶ **	۵۴/۸۰۷ **	۴۰۴۰۵/۲ **	۵۲/۳۰۳ **
Y × I	۳	۰/۴۳۴ **	۱۷/۷۲ **	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹	۳/۱۰۹	۰/۰۰۵
خطای اصلی	۱۲	۰/۰۳۶	۱/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۱۱۸	۰/۰۱۳	۳۲/۱۴۱	۰/۰۰۷
تنظیم کننده رشد (G)	۲	۱۵۴/۹۲ **	۶۴/۵۷ **	۰/۶۱ **	۱۰/۰۱۱ **	۱/۳۷۸	۲۵۷۰/۱ **	۰/۲۳۶
Y × G	۲	۰/۳۳	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۲/۰۵۴	۰/۰۰۹
I × G	۶	۳/۲۹	۲۴/۸۹ **	۰/۰۲۴	۰/۲۸۷	۰/۰۰۸	۳۴/۹۲۱	۰/۰۱۵
Y × I × G	۶	۰/۴۹	۰/۰۸۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۳/۸۸۵	۰/۰۰۳
خطای فرعی	۳۲	۶/۴۳	۴/۵۳	۰/۰۸۸	۱/۱۷۲	۱/۵۰۸	۴۱۵/۲۷	۰/۲۱۴
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۶۵	۳/۰۴	۸/۱۱	۱۰/۸۵	۹/۵۹	۱۵/۳۳	۶/۶۳

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در گشنیز در سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس	بهره‌وری آب براساس عملکرد دانه	بهره‌وری آب براساس عملکرد زیستی
سال (Y)	۱	۲۲۳۷۳/۱ **	۸۶۱۸۳۱/۲ **	۰/۳۶۱	۰/۰۱۵ **	۲/۴۵۷ **	۰/۰۲۴ **	۰/۳۴۶ **
تکرار در سال (R/Y)	۴	۲۲۰/۱۶	۹۸۱۳۶/۸	۳/۳۸۸	۰/۰۰۳	۰/۰۹۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲
آبیاری (I)	۳	۹۴۷۸۵۷/۲ **	۳۳۰۸۱۴۷۴/۴ **	۲/۲۱۸	۰/۲۱۶ **	۳۲/۲۴ **	۰/۱۱ **	۴/۹۱ **
Y × I	۳	۲۲۸۳/۶ **	۷۴۸۴۱/۶	۰/۱۵۴	۰/۰۰۰۳	۰/۱۸۷ **	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹
خطای اصلی	۱۲	۱۰۳/۳۸	۳۴۰۹۵/۱	۰/۶۴۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۱
تنظیم کننده رشد (G)	۲	۲۵۴۶۳/۸ **	۱۲۹۴۱۵۸/۳ **	۰/۷۹۶	۰/۰۰۳	۲/۰۹۲ **	۰/۰۲۴ **	۱/۱۵۹ **
Y × G	۲	۲۱/۰۶۴	۲۵۷۶/۱	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۱
I × G	۶	۱۰۰۲/۲۶	۱۲۷۸۶۹/۳	۲/۱۱۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۶	۰/۰۰۲ **	۰/۰۹۶ **
Y × I × G	۶	۱۷/۰۰۵	۱۹۰/۱۶	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۶
خطای فرعی	۳۲	۶۳۷/۴۳۳	۵۷۰۴۱/۱	۵/۱۴۶	۰/۰۰۳	۰/۱۲۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)	–	۶/۴۲	۱۰/۱۹	۱۳/۴۱	۶/۴۷	۱۲/۳	۴/۳۳	۳/۸۶

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

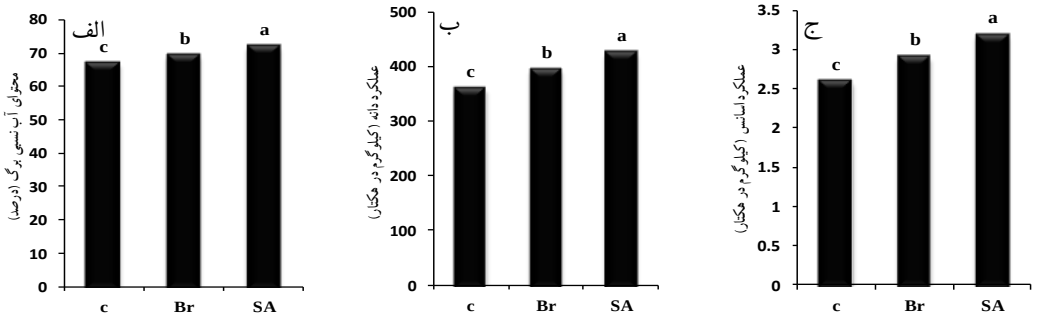
به‌علت بیش‌تربودن درجه آزادی خطای فرعی از اصلی در نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات موردبررسی از ادغام خطای اصلی و فرعی[1] به‌منظور افزایش درجه آزادی خطا و قدرت آزمون استفاده شد و معنی‌داری تیمارها برای صفات براساس خطای جدید حاصل از ادغام خطای اصلی و فرعی سنجیده شد.

جدول ٦. مقایسه میانگین صفات موردبررسی گشنیز در فواصل مختلف آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

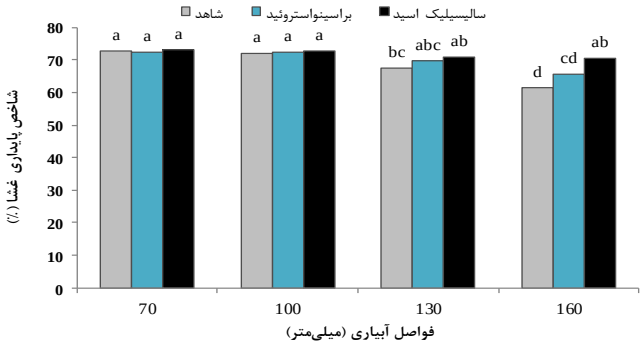
سال زراعی	فواصل آبیاری	محتوای آب نسبی برگ (درصد)	شاخص پایداری غشا (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)
۱۳۹۹	I۱	۷۵/۵۹ b	۷۲/۵۹ a	۶۳/۸ b	۴/۱۱۳ b
	I۲	۷۲/۹۳ c	۷۲/۱۶ a	۴۵۶/۸ d	۳/۲۹۵ d
	I۳	۶۵/۸۳ e	۶۹/۰۳ b	۲۴۰/۱ f	۲/۱۱۵ e
	I۴	۶۰/۸۱ g	۶۳/۶۷ c	۱۵۸/۴ g	۱/۳۲۱ f
۱۴۰۰	I۱	۷۶/۷۸ a	۷۳/۱۱ a	۷۰۲/۶ a	۴/۷۴۱ a
	I۲	۷۴/۸۱ b	۷۲/۶۷ a	۵۰۷/۵ c	۳/۷۲۲ c
	I۳	۶۷/۶۳ d	۶۹/۸۶ b	۲۶۱/۳ e	۲/۳۷۳ e
	I۴	۶۲/۲۴ f	۶۸/۲۴ b	۱۷۲/۱ g	۱/۴۸۵ f

I_1، I_2، I_3 و I_4: به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A.
حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی).

1. Pooling



شکل ۱. تغییرات محتوای آب نسبی برگ (الف)، عملکرد دانه (ب) و اسانس (ج) گشنیز در واکنش به تنظیم‌کننده‌های رشد.
C، Br و SA: به‌ترتیب شاهد و محلول‌پاشی براسینواستروئید و سالیسیلیک‌اسید.
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی).



شکل ۲. شاخص پایداری غشای برگ گشنیز در سطوح مختلف آبیاری در واکنش به تنظیم‌کننده‌های رشد.
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی)

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات موردبررسی گشنیز در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

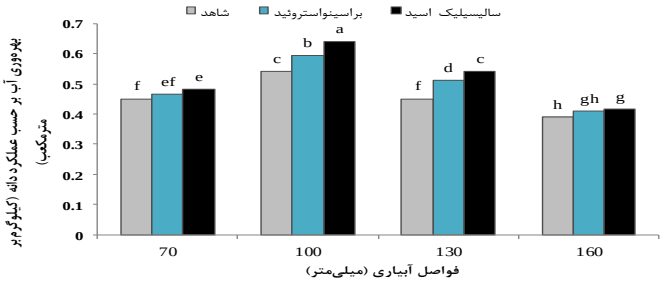
سال زراعی	شاخص سطح برگ	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	درصد اسانس	بهره‌وری آب براساس عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب براساس عملکرد زیستی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۳۹۹	۳/۵۵ b	۹/۹۶ b	۱۲/۷۰ b	۱۲۶/۷ b	۶/۹۰ b	۲۲۳۳/۵ b	۰/۷۶۶ b	۰/۴۷۳ b	۲/۸۴۹ b
۱۴۰۰	۳/۷۵ a	۱۰/۲۷ a	۱۲/۸۹ a	۱۳۹/۲ a	۷/۰۵ a	۲۴۵۲/۳ a	۰/۷۹۴ a	۰/۵۰۹ a	۲/۹۸۸ a

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی).

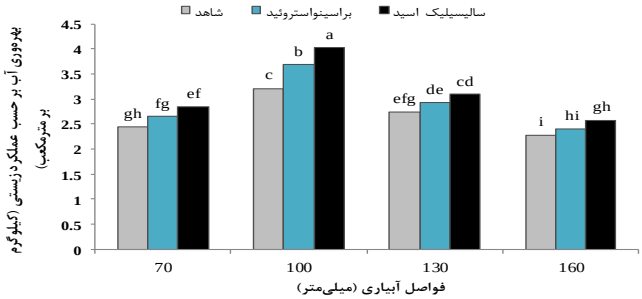
جدول ۸. میانگین صفات موردبررسی در گشنیز در فواصل مختلف آبیاری و تیمارهای محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد

فواصل آبیاری	شاخص سطح برگ	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	درصد اسانس
I۱	۳/۹۲ a	۱۲/۶۴ a	۱۴/۷۹ a	۱۸۹/۴ a	۸/۷۲ a	۳۹۱۴ a	۰/۶۵۷ d
I۲	۳/۸ b	۱۱/۱۱ b	۱۳/۴۹ b	۱۵۲/۳ b	۸/۱۱ b	۳۰۰۴ b	۰/۷۲۰ c
I۳	۳/۵۲ c	۸/۶۴ c	۱۲/۱۸ c	۱۰۷/۵ c	۵/۹ c	۱۴۶۹ c	۰/۸۹۲ a
I۴	۳/۳۶ d	۷/۴۹ d	۱۰/۷۳ d	۸۲/۷ d	۵/۱۷ d	۹۸۴/۶ d	۰/۸۴۸ b
تنظیم‌کننده رشد							
شاهد	۳/۵ b	۹/۳۲ b	۱۲/۵۶ a	۱۲۲/۶ b	۶/۹ a	۲۱۱۶/۲ c	۰/۷۶۷ a
براسینواستروئید	۳/۶۳ ab	۹/۹۷ ab	۱۲/۷۹ a	۱۳۲/۸ ab	۶/۹۴ a	۲۳۳۲/۱ b	۰/۷۸ a
سالیسیلیک‌اسید	۳/۸۲ a	۱۰/۶۱ a	۱۳/۰۴ a	۱۴۳/۳ a	۷/۰۹ a	۲۵۸۰/۳ a	۰/۷۹۱ a

I_1، I_2، I_3 و I_4: به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A.
حروف متفاوت در هر ستون نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی).



شکل ۳. بهره‌وری آب برحسب عملکرد دانه گشنیز در سطوح مختلف آبیاری در واکنش به تنظیم‌کننده‌های رشد.
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی)



شکل ٤. بهره‌وری آب برحسب عملکرد زیستی گشنیز در سطوح مختلف آبیاری در واکنش به تنظیم‌کننده‌های رشد.
حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است (آزمون توکی)

۵. بحث

ازآنجایی‌که محتوای آب نسبی برگ بیانگر میزان آب موجود در برگ می‌باشد، افزایش تنش به کاهش محتوای آب برگ منجر گردید. افت محتوای آب برگ به‌دلیل محدودیت آب (جدول ۶) نشانگر کاهش فشار آماس در سلول‌های گیاهی می‌باشد و این امر به کاهش رشد منجر می‌گردد. کاهش درصد آب برگ در شرایط تنش خشکی در گیاهان دارویی رزماری[1] (عباس‌زاده[2] و همکاران، ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. افزایش محتوای آب برگ در تیمار سالیسیلیک‌اسید ممکن است با تأثیر این ماده بر پایداری غشا، عملکرد روزنه‌ها، بهبود رشد ریشه گیاه و هم‌چنین با تجمع پروتئین‌های القاشده (گلوتاتیون s ترانسفرازها و پروتئین‌های شوک حرارتی) در ارتباط باشد (عباس‌زاده[3] و همکاران، ۲۰۲۰). همتی[4] و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد براسینواستروئید (یک میکرومولار) از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ (در حدود ۲۲ درصد)، تجمع پرولین (در حدود ۷۴ درصد) و افزایش تقریباً دو برابری فعالیت آنزیم کاتالاز و نیز بهبود عملکرد گل خشک (در حدود ۲۸ درصد) سبب بهبود تحمل همیشه‌بهار به تنش خشکی (آبیاری براساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و افزایش عملکرد اسانس (در حدود ۳۸ درصد) این گیاه شده است.

کاهش پایداری غشا در شرایط تنش خشکی می‌تواند در نتیجه کاهش محتوای نسبی آب برگ (جدول ۶) باشد. اگر غشای پلاسمایی صدمه ببیند ممکن است محتوای سلولی به بیرون تراوش کرده و سلول قابلیت زیست خود را از دست دهد. تراوش‌پذیری غشاها نسبت به املاح محلول در پتانسیل پایین آب، این نظریه را تأیید می‌کند که غشاها در شرایط

1. *Rosmarinus officinalis* L.
2. Abbaszadeh
3. Abbaszadeh
4. Hemmati

تنش خشکی تخریب می‌شوند (قاسمی‌گلعذانی[1] و همکاران، ۲۰۱۶b). کاربرد سالیسیلیک‌اسید از طریق بهبود سیستم دفاعی و آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو اثر تنش را کاهش می‌دهد و مانع نشت یون از غشا می‌شود. این هورمون تجمع یون‌های کلسیم را افزایش می‌دهد که می‌توانند سلامت غشا را حفظ کنند (شائو[2] و همکاران، ۲۰۱۸). انوار[3] و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد براسینواستروئید به‌وسیله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز سبب کاهش پراکسیداسیون غشاهای پلاسمایی و میزان نشت الکترولیت‌ها می‌شوند که نتیجه آن افزایش پایداری غشاهای پلاسمایی است.

یکی از فرایندهایی که در شرایط کم‌آبی در گیاهان اتفاق می‌افتد، تغییر سطح برگ است. بنابراین، کاهش سطح برگ به‌دلیل کاهش تقسیم و طویل‌شدن سلول، یک روش سازگاری است که گیاهان در مواجهه با شرایط کم‌آبی نشان می‌دهند (قاسمی‌گلعذانی[4] و همکاران، ۲۰۱۶b). برتری تیمار سالیسیلیک‌اسید نتیجه بهبود محتوای آب نسبی برگ (شکل ۱-الف) و شاخص پایداری غشا (شکل ۲) به‌ویژه در شرایط تنش شدید بوده است. کاربرد سالیسیلیک‌اسید موجب گسترش سیستم ریشه‌ای و جذب بیش‌تر آب و مواد غذایی شده که در نهایت منجر به تولید بیش‌تر برگ و سطح آن می‌شود. گزارش شده است که سالیسیلیک‌اسید با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ می‌گردد (شائو[5] و همکاران، ۲۰۱۸).

گزارش شده است که یکی از دلایل کاهش تعداد چتر در بوته در شرایط تنش کمبود آب، کاهش فرایندهای مرتبط با رشد و در نهایت افت میزان ماده خشک گیاه ناشی از این عامل تنش‌زاست. زیرا زیست‌توده گیاه یکی از معیارهای کاربردی در تعیین واکنش گیاه به انواع شرایط محیطی می‌باشد (پلش[6] و همکاران، ۲۰۲۰). کاربرد سالیسیلیک‌اسید می‌تواند از طریق افزایش پایداری غشا، هدایت روزنه‌ای و باز نگه‌داشتن روزنه‌ها از تجمع یون‌های سمی جلوگیری نماید و در نهایت با افزایش سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی از کاهش اجزای عملکرد مثل تعداد چتر و تعداد دانه در چتر بکاهد (شائو[7] و همکاران، ۲۰۱۸). هم‌چنین در مطالعه‌ای اعلام گردید که تنش خشکی سبب کاهش میانگین اجزای عملکرد دانه گلرنگ بهاره شد، اما محلول‌پاشی براسینواستروئید با تعدیل اثرات منفی این تنش، میانگین اجزای عملکرد و عملکرد دانه را بهبود بخشید (ظفری و همکاران، ۱۳۹۶).

تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در چتر گردید که از دلایل آن پژمردگی کلاله، پسابیدگی دانه‌های گرده و عدم رشد لوله‌های گرده است که تعداد دانه در چتر را کاهش داده است (وانگ[8] و همکاران، ۲۰۱۶). تنش خشکی تعداد چتر، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، وزن هزاردانه و عملکرد دانه آنیسون را نیز کاهش داده است (مهراوی[9] و همکاران، ۲۰۲۳).

تنش خشکی از طریق کاهش محتوای آب نسبی برگ (جدول ۶)، تعداد و سطح برگ، سرعت فتوسنتز و متأثر ساختن فعالیت آنزیم‌های گیاهی، موجب افت تولید دانه بارور شده و در نتیجه سبب کاهش تعداد دانه در واحد سطح می‌شود (پلش[10] و همکاران، ۲۰۲۰). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید با بهبود فرایند گلدهی، تعداد دانه در چترک گشنیز را در حدود ۲۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است (یگانه‌پور[11] و همکاران، ۲۰۱۷).

1. Ghassemi-Golezani
2. Shao
3. Anwar
4. Ghassemi-Golezani
5. Shao
6. Palesh
7. Shao
8. Wang
9. Mehravi
10. Palesh
11. Yeganehpoor

کاهش وزن هزاردانه در شرایط کم‌آبی اغلب به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش تعداد برگ، افت تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و مصرف ترکیبات آلی به‌منظور تنظیم اسمزی می‌باشد. بر این اساس، خشکی در طول رشد گیاه اغلب تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را کاهش داده و به تولید دانه کم‌تر و اغلب کوچک‌تر منجر می‌گردد (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، انطباق دوره پرشدن دانه با روزهای گرم اواسط تیر و اوایل مرداد به تشدید اثرات منفی تنش کم‌آبی و در نتیجه به کوتاه شدن دوره پرشدن دانه و افت وزن هزاردانه گشنیز منجر شده است.

در شرایط کم‌آبی، روزنه‌های گیاه نیمه‌بسته یا بسته می‌شوند که این پاسخ سبب افت جذب CO_2 می‌گردد. هم‌چنین، گیاه برای جذب آب انرژی بیش‌تری مصرف کرده و تعداد برگ‌ها را کاهش داده که این واکنش به افت تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و درنتیجه کاهش انتقال مواد به دانه‌ها منجر می‌گردد (پلش[2] و همکاران، ۲۰۲۰) که نتیجه آن کاهش محصول دانه (جدول ۶) است. افت محصول دانه با افزایش فواصل آبیاری در گیاهان دارویی بادرشبو (عباسپور[3] و رضایی[4]، ۲۰۱۴) نیز گزارش شده است. اثر مثبت سالیسیلیک‌اسید بر عملکرد دانه احتمالاً با انتقال بیش‌تر فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها در طی دوره پرشدن مرتبط است. این یافته با نتایج قاسمی‌گلعذانی[5] و همکاران (۲۰۱۸) مرتبط است. آن‌ها گزارش نمودند که استفاده از سالیسیلیک‌اسید در زنیان وزن هزاردانه را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. ناصروفائی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که قطع آبیاری از آغاز شاخه‌دهی موجب افت محتوای کلروفیل کل (۴۲/۸ درصد)، تعداد کپسول در بوته (۶۲/۷ درصد)، تعداد دانه در بوته (۶۶/۱ درصد)، وزن هزاردانه (۲۲/۳ درصد)، عملکرد بیولوژیکی (۶۲/۱ درصد) و دانه (۷۳/۵ درصد)، شاخص برداشت (۳۰/۸ درصد) و عملکرد روغن (۷۵/۱ درصد) بالنگوی شهری شد، اما کاربرد براسینواستروئید با افزایش غلظت کلروفیل کل (۲۴/۳ درصد)، میانگین تعداد دانه در بوته (۱۸/۲ درصد) و وزن هزاردانه (۱۱/۵ درصد)، موجب بهبود عملکرد دانه (۲۳/۳ درصد) بالنگوی شهری در شرایط تنش خشکی شده است.

سنتز املاح سازگار و تجمع آن‌ها نیازمند مصرف انرژی زیادی است، تجمع املاح در شرایط محدودیت آب به افت یا مهار رشد بخش هوایی منجر می‌گردد (اصلانی[6] و همکاران، ۲۰۲۳). کاربرد سالیسیلیک‌اسید از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی در شرایط تنش خشکی سبب افزایش بیوماس بادرنجبویه شده است (قاسمی پیربلوطی[7] و همکاران، ۲۰۱۹). به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد زیستی در اثر مصرف سالیسیلیک‌اسید به‌دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ماده در دیواره سلولی باشد که باعث افزایش مقدار لیگنین در ساختار دیواره سلولی می‌شود که این خود می‌تواند عاملی در افزایش وزن بیوماس گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش خشکی باشد (قاسمی‌گلعذانی[8] و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش سرعت فتوسنتز از طریق تنظیم تولید آبسیزیک‌اسید و بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی از جمله تنظیم بیان ژن‌های تولیدکننده آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز از اثرات بارز براسینواستروئیدها برای تعدیل اثر تنش خشکی و افزایش زیست‌توده در توتون گزارش شده است (خان[9] و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی از اصلی‌ترین دلایل عدم تأثیر معنی‌دار کم‌آبی بر شاخص برداشت را بتوان به این امر نسبت داد که تنش خشکی به همان نسبت که موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود، زیست‌توده گیاه را نیز به همان نسبت افت داده است. اما،

1. Wang
2. Palesh
3. Abaspour
4. Rezaei
5. Ghassemi-Golezani
6. Aslani
7. Ghasemi Pirbalouti
8. Ghassemi-Golezani
9. Khan

یگانه‌پور[1] و همکاران (۲۰۱۷) عنوان کردند که شاخص برداشت دانه گشنیز به‌طور معنی‌داری در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرده است.

گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی اغلب رشد کم‌تری نسبت به شرایط مطلوب دارند، زیرا در این شرایط مواد پرورده موجود را به افزایش تولید و تجمع متابولیت‌های ثانوی اختصاص می‌دهند تا بقای خود را در شرایط تنش‌های محیطی حفظ کرده و این خود یک مکانیزم دفاعی برای گیاه است (پلش[2] و همکاران، ۲۰۲۰). نورزاد و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که با افزایش کمبود آب، درصد اسانس گشنیز افزایش و عملکرد اسانس افت پیدا کرده است.

با وجود افزایش درصد اسانس در شرایط کم‌آبی، عملکرد اسانس با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت. درصد اسانس و وزن دانه دو عامل تعیین‌کننده عملکرد اسانس دانه هستند. با وجود این که با تشدید کم‌آبی درصد اسانس افزایش پیدا کرد، اما به‌دلیل کاهش عملکرد دانه در این شرایط (جدول ۶)، عملکرد اسانس دانه گشنیز کاهش یافت. نورزاد و همکاران (۱۳۹۳) عنوان نمودند که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر عملکرد شاخه گل‌دهنده، درصد و عملکرد اسانس دانه گشنیز داشته و بیش‌ترین عملکرد اسانس و زیست‌توده گیاه در شرایط آبیاری مطلوب و بیش‌ترین درصد اسانس در شرایط تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمده است. بهبود عملکرد اسانس بر اثر محلول‌پاشی هورمونی و به‌ویژه با کاربرد سالیسیلیک‌اسید ممکن است با افزایش محصول دانه، جذب مواد غذایی و تغییر در تراکم غدد تولیدکننده اسانس و بیوسنتز مونوترپن‌ها در ارتباط باشد (قاسمی‌گلعذانی[3] و همکاران، ۲۰۱۸). کاربرد براسینواستروئید و سالیسیلیک‌اسید عملکرد اسانس گشنیز را از طریق افزایش عملکرد دانه (شکل ۱–ب) بهبود بخشیدند.

پایین‌بودن بهره‌وری مصرف آب در تیمار آبیاری I_1 نسبت به تیمار I_2 حاکی از آن است که با وجود این‌که عملکرد دانه و تولید ماده خشک در تیمار I_1 بیش‌تر از I_2 بود، اما به‌دلیل مصرف آب زیادتر در تیمار I_1، بهره‌وری مصرف آب کاهش پیدا کرده است (شکل‌های ۳ و ۴). هم‌چنین با وجود این‌که در تیمارهای آبیاری I_3 و I_4 حجم آب مصرفی کم‌تر از تیمارهای آبیاری I_1 و I_2 بود، اما افت معنی‌دار عملکرد دانه و زیستی در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش بهره‌وری مصرف آب این سطوح آبیاری شده است. در تمام سطوح آبیاری، تیمارهای محلول‌پاشی بهره‌وری مصرف آب برحسب عملکرد دانه و زیستی را بهبود بخشیدند (شکل‌های ۳ و ۴) که دلیل آن را می‌توان به نقش تنظیم‌کننده‌های رشد در افزایش محصول دانه (جدول ۶) و وزن خشک تولیدی (جدول ۸) نسبت داد که سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب این سطوح تیماری شدند. مشابه با یافته‌های این پژوهش، یگانه‌پور[4] و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش نمودند که محلول‌پاشی با سالیسیلیک‌اسید در شرایط محدودیت آب، بهره‌وری مصرف آب برحسب عملکرد دانه گشنیز را افزایش داده است. کوبان[5] و بایدار[6] (۲۰۱۶) گزارش کردند که محلول‌پاشی براسینواستروئیدها بر نعناع از طریق تجمع آبسیزیک‌اسید و با کم‌کردن هدایت روزنه‌ای و افزایش بهره‌وری مصرف آب اثر بارزی در تعدیل اثرات منفی تنش کم‌آبی داشت.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و براسینواستروئید با افزایش شاخص پایداری غشا در رفع اثرات منفی تنش کم‌آبی نقش داشته و کاربرد این تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور مؤثری موجب بهبود عملکرد و اجزای

1. Yeganehpoor
2. Palesh
3. Ghassemi-Golezani
4. Yeganehpoor
5. Coban
6. Baydar

عملکرد دانه، تولید اسانس و نیز بهره‌وری مصرف آب گشنیز گردید. می‌توان اظهار داشت که گشنیز گیاهی حساس به کم‌آبی است و افزایش فواصل آبیاری، رشد، عملکرد دانه (۷۵/۲ درصد) و تولید اسانس (۶۷/۸ درصد) این گیاه دارویی را محدود ساخته است. محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید در اغلب صفات موردبررسی و به‌ویژه محصول دانه مزیت معنی‌داری (۱۸/۶ درصد) نسبت به براسینواستروئید نشان داد. بنابراین، براساس یافته‌های این پژوهش، در شرایط تنش‌های متوسط و شدید کم‌آبی، محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید می‌تواند تحمل گیاه گشنیز به تنش خشکی را افزایش دهد. هم‌چنین، پیشنهاد می‌گردد که اجزای تشکیل‌دهنده اسانس گشنیز در شرایط تیمارهای اعمال‌شده در این پژوهش بررسی گردد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه پیام نور بابت همکاری و حمایت مالی از این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

آذرخشی، مریم؛ فرزادمهر، جلیل؛ اصلاح، مهدی و صحابی، حسین (۱۳۹۲). بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب‌وهوایی ایران. *نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری*، ۶۶ (۱)، ۱۶-۱.

پناهیان کیوی، مهدی (۱۳۹۸). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکرد روغن گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰ (۲)، ۱۱۶-۹۹.

رحیمی، زینب و کافی، محمد (۱۳۸۸). بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی خرفه (*Portulaca oleracea* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۲ (۱)، ۹۱-۸۷.

سازمان هواشناسی کشور (۱۴۰۲). *بولتن مشترک هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل*. تهران، ایران. https://data.irimo.ir.

ستایش‌مهر، زهرا و گنجعلی، علی (۱۳۹۲). بررسی اثرات تنش خشکی بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.). *علوم باغبانی*، ۲۷ (۱)، ۳۵-۲۷.

ظفری، مهناز؛ عبادی، علی و صدقی، محمد (۱۳۹۶). اثر براسینواستروئید بر تحمل ارقام گلرنگ به تنش خشکی در اردبیل. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۰ (۳)، ۳۱-۱۷.

ناصروفائی، سعید؛ سهرابی، یوسف و مرادی، پرویز (۱۴۰۰). ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و روغن بالنگوی شهری تحت شرایط کم‌آبیاری در واکنش به محلول‌پاشی براسینواستروئید. *به زراعی کشاورزی*، ۲۳ (۳)، ۶۰۶-۵۹۳.

نورزاد، سودابه؛ احمدیان، احمد؛ مقدم، محمد و دانشفر، الهام (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی گشنیز تحت تأثیر انواع کود آلی و شیمیایی. *به زراعی کشاورزی*، ۱۶ (۲)، ۳۰۲-۲۸۹.

References

Abaspour, H., & Rezaei, H. (2014). Effects of salicylic acid and jasmonic acid on hill reaction and photosynthetic pigment (*Dracocephalum moldavica* L.) in different levels of drought stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*, 2850-2859.

Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Azimi, R., & Hadi, N. (2020). Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops & Products*, *144*, 111893.

Ahammed, G., Xia, X., Li, X., Shi, K., Yu, J., & Zhou, Y. (2014). Role of brassinosteroid in plant adaptation to abiotic stresses and its interplay with other hormones. *Current Protein & Peptide Science*, *16*(5), 462-473.

Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X., & Li, Y. (2018). The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, *51*, 46-57.

Aslani, Z., Hassani, A., Abdollahi Mandoulakani, B., Barin, M., & Maleki, R. (2023). Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). *Scientia Horticulturae*, *309*, 111610.

Azarakhshi, M., Farzadmehr, L., Eslah, M., & Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range Water Management*, *66*, 1-16. (In Persian).

Coban, O., & Baydar, N. (2016). Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products*, *86*, 251-258.

FAO. (2019). Agricultural production statistics. Available online at: http://faostat3.fao.org/compare/E.

Ghasemi Pirbalouti, A., Nekoei, M., Rahimmalek, M., & Malekpoor, F. (2019). Chemical composition and yield of essential oil from lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under foliar applications of jasmonic and salicylic acids. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *19*, 101144.

Ghassemi-Golezani, K., Ghassemi, S., & Yaghoubian, I. (2016a). Salicylic acid regulates physiological performance of milk thistle (*Silybum marianum* L.) under water stress. *Advances in Bioresearch*, *7*, 34-40.

Ghassemi-Golezani, K., Ghassemi, S., & Zehtab-Salmasi, S. (2018). Changes in essential oil-content and composition of ajowan (*Carum copticum* L.) seeds in response to growth regulators under water stress. *Scientia Horticulturae*, *231*, 219-226.

Ghassemi-Golezani, K., Heydari, S., & Dalil B. (2016b). Changes in seed oil and protein contents of maize cultivars at different positions on the ear in response to water limitation. *Acta Agriculturae Slovenica*, *107*, 311-319.

Hemmati, K. H., Ebadi, A., Khomari, S., & Sedghi, M. (2018). Influence of ascorbic acid and 24-epibrassinolide on physiological characteristics of pot marigold under water-stress conditions. *Journal of Plant Interactions*, *13*(1), 364-372.

Khan, R., Ma, X., Hussain, Q., Asim, M., Iqbal, A., Ren, X., Shah, S., Chen, K., & Shi, Y. (2022). Application of 2,4-epibrassinolide improves drought tolerance in tobacco through physiological and biochemical mechanisms. *Biology*, *11*(8), 1192.

Krishna, P., Prasad, B. D., & Rahman, T. (2017). Brassinosteroid action in plant abiotic stress tolerance. *Methods in Molecular Biology*, *156*, 193-202.

Mehravi, S., Hanifei, M., Gholizadeh, A., & Khodadadi, M. (2023). Exploring the quantitative genetics of traits associated with drought tolerance and yield in *Pimpinella anisum* L. under different water regimes. *Planta*, *257*, 102.

MOI (Meteorological Organization of the Islamic Republic of Iran). (2023). https://data.irimo.ir/ (In Persian).

Naservafaei, S., Sohrabi, Y., & Moradi, P. (2021). Evaluation of physiological characteristics, yield, yield components, and oil yield of dragon's head under deficit irrigation conditions in response to foliar application of brassinosteroid. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), 606-593. (In Persian).

Nasrollahzadeh, S., & Aghaei-Gharachorlou, P. (2014). Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass, essential oil production and mucilage yield of dragon's head (*Lallemantia iberica*). *International Journal of Agriculture and Biosciences*, *3*(2), 89-94.

Nourzad, S., Ahmadian, A., Moghaddam, M., & Daneshfar, E. (2014). Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil in coriander (*Coriandrum sativum* L.) treated with organic and inorganic fertilizers. *Journal of Crop Improvement*, *2*, 289-302. (In Persian).

Palesh, H., & Abdollahi Mandoulakani, B. (2020). The effect of drought stress on the expression of some genes involved in monoterpene and sesquiterpanes biosynthesis and essential oil compounds in basil. *Journal of Medicinal Plants*, *19*, 204-212.

Palliotti, A., Poni, S., Silvestroni, O., Tombesi, S., & Bernizzoni, F. (2011). Morpho-structural and physiological performance of *Sangiovese* and *Montepulciano* (*Vitis vinifera*) under non-limiting water supply conditions. *Functional Plant Biology*, *38*, 888-898.

Panahyan Kivi, M. (2019). Effect of water deficit stress and foliar application of zinc sulfate on physiological and morphological traits and oil yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(2), 99-116. (In Persian).

Rahimi, Z., & Kafi, M. (2009). Effects of drought stress on germination characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *2*(1), 87-91. (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*, 105-111.

Setayesh-mehr, Z., & Ganjali, A. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of *Anethum graveolens* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *27*, 27-35. (In Persian).

Shao, R. X., Xin, L. F., Guo, J. M., Zheng, H. F., & Mao, J. (2018). Salicylic acid-induced photosynthetic adaptability of *Zea mays* L. to polyethylene glycol-simulated water deficit is associated with nitric oxide signaling. *Photosynthetica*, *56*, 1370-1377.

Wang, X., Cai, X., Xu, C., Wang, Q., & Dai, S. (2016). Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. *International Journal of Molecular Sciences*, *17*, 1-30.

Wu, C. Y., Trieu, A., Radhakrishnan, P., Kwok, S. F., & Harris, S. (2008). Brassinosteroids regulate grain filling in rice. *The Plant cell*, *20*(8), 2130-2145.

Yeganehpoor, F., Zehtab-Salmasi, S., Shafagh-Kolvanagh, J., Ghassemi-Golezani, K., & Dastborhan, S. (2017). Some morphological traits and oil content of coriander seeds in response to bio-fertilizer and salicylic acid under water stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *10*, 140-149.

Yin, W., Dongm, N., Niu, M., Zhang, X., Li, L., & Tong, H. (2019). Brassinosteroid-regulated plant growth and development and gene expression in soybean. *Crop Journal*, *7*(3), 411-418.

Zafari, M., Ebadi, A., & Sedghi, M. (2017). Effect Brassinosteroid application on safflower cultivars tolerance to water stress in Ardabil. *Journal of Crop Pruduction*, *10*(3), 17-31. (In Persian)

Zhang, A., Liu, M., Gu, W., Chen, Z., Gu, Y., Pei, L., & Tian, R. (2021). Effect of drought on photosynthesis, total antioxidant capacity, bioactive component accumulation, and the transcriptome of *Atractylodes lancea*. *BMC plant biology*, *21*(1), 293.