دانش کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 2, 2026, Pages 139-154

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Effects of Drought Stress and Salicylic Acid Spraying on some Agronomical and Physiological Traits in Cumin Ecotypes

Masoud Golestani*

Received: August 30, 2024	Accepted: January 9, 2025

Assist. Prof., Dept. of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
Corresponding Author E-mail: ma_golestani@pnu.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: Drought stress is one of the limiting factors for crop production. Salicylic acid can increase stress resistance and also improve plant growth and yield. The aim of this study was to investigate the effect of salicylic acid application on agronomical and physiological characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes under drought stress conditions.

Materials and Methods: This experiment was conducted as split plot factorial experiment based on randomized complete block design with three replications during 2023 in Abarkouh city. Experimental factors included three levels of drought stress (non-stress, mild stress and severe stress), two level of salicylic acid spraying (0 and 2 mM) and six cumin ecotypes (Ardakan, Bafgh, Abadeh, Kerman, Isfahan and Semirom).

Results: The highest value of number of umbels per plant, number of seed per umbel, plant height and leaf relative water content and the lowest value of ion leakage were seen under non-stress condition with salicylic acid application. The highest value of grain yield was obtained under non-stress condition with salicylic acid application and the lowest value of grain yield was obtained under severe drought stress and lack of application of salicylic acid and the most increase of this trait was observed under severe drought stress with salicylic acid application. Kerman and Ardakan ecotypes had the highest value of number of umbels per plant, number of seed per umbel, leaf relative water content and grain yield and the lowest value of plant height and ion leakage.

Conclusion: Based on the present research, the use of 2 mM salicylic acid is recommended to improve the growth and yield of cumin for decrease of negative effects of drought stress condition especially in Kerman and Ardakan ecotypes.

Keywords: Cumin, Grain Yield, Ion Leakage, Leaf Relative Water Content, Physiological Traits

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Masoud Golestani E-mail: ma_golestani@pnu.ac.ir

https://doi.org/10.22034/saps.2025.63225.3272

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۱۵۴-۱۳۹

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیک در اکوتیپ‌های زیره سبز

مسعود گلستانی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

* استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: تنش خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود. اسید سالیسیلیک درکنار افزایش توان مقاومت به تنش‌ها، رشد و عملکرد گیاه را نیز بهبود می‌بخشد. هدف این پژوهش بررسی اثرات استفاده از اسید سالیسیلیک روی برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیکی در اکوتیپ‌های گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲ در شهرستان ابرکوه اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح بدون‌تنش، تنش متوسط و شدید، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در دو غلظت صفر و ۲ میلی‌مولار و اکوتیپ در شش سطح اردکان، بافق، آباده، کرمان، اصفهان و سمیرم بود.

یافته‌ها: بیشترین تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته و محتوای نسبی آب برگ و کمترین نشت‌یونی در تیمار بدون‌تنش با کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه در تیمار بدون‌تنش با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و کمترین آن در تیمار تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی بود و بیشترین درصد افزایش آن با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد. اکوتیپ‌های کرمان و اردکان ازنظر تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه بیشترین و ازنظر نشت‌یونی و ارتفاع بوته کمترین مقدار را داشتند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این پژوهش، استفاده از ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک جهت بهبود رشد و عملکرد گیاه زیره سبز جهت کاهش اثرات منفی تنش خشکی به‌ویژه در اکوتیپ‌های کرمان و اردکان قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زیره سبز، عملکرد دانه، خصوصیات فیزیولوژیک، میزان نسبی آب برگ، نشت یونی

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از خانواده چتریان گیاهی یکساله و از مهمترین و اقتصادی‌ترین گیاهان دارویی است که می‌تواند در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در شرایط کمبود آب و با حاصلخیزی کم خاک کاشته شود. به‌همین دلیل در سال‌های اخیر توجه

بیشتری به کاشت زیره سبز شده است و سطح زیر کشت آن افزایش پیدا کرده است (مقدم و پیربلوطی ۲۰۱۷). این گیاه علاوه بر داشتن مصارف دارویی و غذایی، در صنایع آرایشی و بهداشتی نیز کاربرد دارد و اسانس آن دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و در بسیاری از کشورهای دنیا توجه ویژه‌ای به آن معطوف شده است. این گیاه به‌عنوان یک گیاه مهم دارویی در کشور شناخته شده و استان‌های خراسان، یزد، اصفهان و کرمان از مهمترین تولید کننده‌های این گیاه ارزشمند دارویی می‌باشند (سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم ۲۰۱۰). زیره سبز در درمان بیماری‌های مختلفی مانند تشنج، صرع و دیابت مورد استفاده قرار می‌گیرد (بیاتی و همکاران ۲۰۲۰).

تنش خشکی یکی از رایج‌ترین عوامل نامطلوب محدود کننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. این تنش از طریق واکنش‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی مختلفی مانند کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک کل، بسته شدن روزنه‌ها (ژو و همکاران ۲۰۱۹) و تخریب آنزیم‌ها، تجمع آمینواسیدها و کاهش کلروفیل (شمی و همکاران ۲۰۲۱) موجب کاهش سرعت رشد و فتوسنتز در گیاه می‌گردد. اثر تنش خشکی در گیاهان دارویی شامل کاهش عملکرد اقتصادی و در بیشتر موارد افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره می‌باشد (لا و همکاران ۲۰۱۹). تنش خشکی از طریق ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان گیاه، موجب تنش اکسیداتیو می‌گردد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سوارز و همکاران ۲۰۱۹).

امروزه کاربرد مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهان به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های مختلف مطرح شده است. محافظهای گیاهی قادرند در کنار افزایش توان مقاومت به تنش‌ها، رشد و عملکرد گیاه را نیز بهبود دهند. بنابراین می‌توان اظهار داشت استفاده مناسب از این دسته مواد می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی بسیار مهم در افزایش توان مقاومت به تنش‌های گوناگون در گیاهان زراعی مطرح گردد (ازوز و احمد ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید یک ترکیب فنلی گیاهی است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده هورمونی مورد توجه است و در راهبردهای دفاعی برای مقابله با اثرات منفی تنش‌های زیستی و محیطی نقش دارد (پروین و همکاران ۲۰۲۱) که این موضوع به‌احتمال زیاد به توان تحریک‌کنندگی این ماده در بیان ژن ایجاد مقاومت در برابر این تنش‌ها و نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گونه‌های اکسیژن فعال نسبت داده شده است (میورا و تدا ۲۰۱۴). این ماده باعث فعال شدن سیستم مقاومت اکتسابی، سنتز متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردد و نقش مهمی در تنظیم واکنش‌ها در برابر تنش‌ها و فرایند رشد و نمو گیاه نظیر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، جذب و انتقال یون، مقاومت گیاه به بیماری‌ها، کاهش پوسیدگی، به تاخیر انداختن رسیدگی، بهبود عملکرد بازی می‌کند که به‌عنوان سیگنالی کلیدی در مقاومت به تنش‌ها معطوف شده است (اصغری و حسنلو ۲۰۱۵). در ارزیابی اثرات مصرف اسید سالیسیلیک در گیاه زیره سبز تحت سه رژیم آبیاری، مشخص شد که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفاتی مانند رنگدانه‌های فتوسنتزی و هیدرات‌های کربن گردید و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب کاهش کمتر عملکرد دانه، رنگیزه‌های کلروفیل b و کارتنوئید در شرایط تنش خشکی گردید (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). جامی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گیاه سیاهدانه نشان دادند که اثر متقابل تنش خشکی متوسط واسید سالیسیلیک سبب افزایش درصد اسانس، عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در فولیکول شد. کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین و قندهای محلول برگ سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء و کاهش خسارت اکسیداتیو در بوته‌های کلزا گردید و بیشترین عملکرد کلزا در واکنش به کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ میکرومول در لیتر به‌دست آمد (کشاورز و مدرس ثانوی ۲۰۱۴). به‌خوبی مشخص شده که اثر تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد بستگی به میزان تحمل ژنوتیپ گیاه مورد نظر دارد (سورنی و همکاران

۲۰۲۰). تحقیقات انجام شده در مورد توده‌ها یا اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز نشان دهنده آن است که توده‌های زیره سبز دارای تفاوت‌هایی از لحاظ تنش خشکی و عملکرد کمی و کیفی بودند (کاظمی و همکاران ۲۰۱۷، سورنی و همکاران ۲۰۲۰).

امروزه در دنیا موفقیت در کشاورزی پایدار به چگونگی مدیریت انسان به خاک به‌عنوان مولد تولید بدون افزودن مواد شیمیایی سمی بستگی دارد. زیرا نهاده‌های شیمیایی مؤثر در افزایش تولید همچنان عامل اصلی تخریب خاک، تهدید پایداری کشاورزی و چالشی برای ایمنی محیط زیست و سلامت انسان هستند. بنابراین، کشاورزی پایدار به‌دنبال راهکارهای طبیعی بیولوژیکی برای افزایش حاصلخیزی خاک، مقابله با تنش‌های محیطی و غلبه بر آفات و بیماری‌ها است. در این راستا اتخاذ روش‌هایی چون بهره‌برداری صحیح از آب موجود به‌همراه استفاده از شیوه‌های صحیح زراعی شامل کشت گیاهان مقاوم، شناخت ارتباط کمبود آب خاک و رشد گیاهان در هر مرحله، استفاده از موارد تعدیل‌کننده تنش، بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی، زراعی، فیزیولوژیکی و متابولیکی و روابط مفید داخلی گیاهان در مقابله با تنش، مفید واقع خواهد شد (رضایی چیانه و پیرزاد ۲۰۱۴). با توجه به قرار داشتن کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا و وقوع خشکسالی‌های مداوم در سال‌های اخیر، زنگ خطر بزرگی برای تولیدات کشاورزی و ثبات تولید به صدا در آمده و لذا لزوم توجه بیش از پیش به راهکارهای پایدار در تمام زمینه‌های تحقیقاتی و عملیاتی برای کاهش اثرات این عامل طبیعی را ضروری می‌نماید (شوقیان و روزبهانی ۲۰۱۷). بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این پژوهش بررسی تعیین اثرات استفاده از اسید سالیسیلیک روی برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیکی در اکوتیپ‌های گیاه زیره سبز تحت شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای واقع در شهر ابرکوه با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۰ متر انجام گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تعیین و در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارایه گردیده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح شامل بدون‌تنش (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، تنش متوسط (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش شدید (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با دو غلظت (صفر یا عدم محلول‌پاشی و ۲ میلی‌مولار) و شش اکوتیپ زیره سبز بود. بذور اکوتیپ‌های مورد مطالعه از استان‌های اصفهان (اصفهان و سمیرم)، یزد (اردکان و بافق)، فارس (آباده) و کرمان (کرمان) جمع‌آوری گردید (جدول ۳). اسید سالیسیلیک با نام هیدروکسی بنزوئیک اسید با فرمول شیمیایی $C_7H_6O_3$ با وزن مولکولی ۱۳۸/۱۲ گرم، دارای نقطه جوش ۲۱۱ درجه سانتی‌گراد و نقطه ذوب ۱۵۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای آماده‌سازی زمین از شخم نیمه‌عمیق، دو دیسک عمود برهم برای از بین بردن کلوخه‌های سطحی خاک و تسطیح نهایی استفاده شد. ابعاد هر واحد آزمایشی ۳×۲ متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود. برای آماده‌سازی زمین قبل از کاشت، از شخم نیمه عمیق، دو دیسک عمود برهم برای از بین بردن کلوخه‌های سطحی خاک و تسطیح نهایی استفاده شد. بذرهای اکوتیپ‌های مورد مطالعه در تاریخ ۷ بهمن سال ۱۴۰۲ کشت شدند.

کلیه مراقبت های لازم در طول مرحله داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز و کوددهی صورت پذیرفت. کوددهی بر اساس آزمون خاک، به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک در سه نوبت (در مرحله شش برگی، ساقه‌دهی و شروع گلدهی) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم در زمان قبل از کاشت

انجام شد. در این طرح از هیچ علفکشی برای کنترل علف‌های هرز استفاده نشد و در مدت زمان کاشت تا برداشت محصول، کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی انجام گرفت. تنش خشکی پس از استقرار کامل بوته‌ها و در مرحله ۸ برگی اعمال گردید (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). تا زمان استقرار کامل بوته‌ها آبیاری در حد مطلوب و بدون اعمال تنش صورت پذیرفت و پس از این مرحله تیمارهای تنش خشکی اعمال شد. در شرایط بدون تنش آبیاری‌ها بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد و شرایط تنش متوسط و شدید به‌ترتیب بر اساس ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. اولین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک دو ماه پس از کشت در تاریخ ۷ فروردین ۱۴۰۳ در مرحله رشد رویشی و دومین محلول‌پاشی دو هفته بعد از اولین محلول‌پاشی در اول صبح صورت گرفت (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط بدون‌تنش و در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید پس از اعمال تنش خشکی در تاریخ‌های مذکور انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی (%)	نیتروژن کل (%)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۷/۶	۱/۱۲	۱/۰۵	۰/۲	۳۰۲	۶/۸	۱۹	۴۶	۳۵	لوم‌رسی

جدول ۲- پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش

ماه	بارندگی (mm)	حداقل دما (°C)	حداکثر دما (°C)	میانگین دمای ماهانه (°C)
بهمن ۱۴۰۲	۱۰/۸	۱/۵	۱۷/۲	۹/۳
اسفند ۱۴۰۲	۱۷/۲	۳	۱۶/۵	۹/۸
فروردین ۱۴۰۳	۲۸/۸	۹/۱	۲۲/۶	۱۵/۸
اردیبهشت ۱۴۰۳	۱۶/۲	۱۳/۱	۲۶/۷	۱۹/۹
خرداد ۱۴۰۳	۰/۳	۱۹/۳	۳۵/۲	۲۷/۳

جدول ۳- خصوصیات جغرافیایی مناطق جمع‌آوری اکوتیپ‌های زیره سبز

اکوتیپ	استان	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
اصفهان	اصفهان	۵۱° ′۳۴	۳۲° ′۳۸	۱۵۹۱
سمیرم	اصفهان	۵۱° ′۱۷	۳۰° ′۴۲	۲۴۰۴
اردکان	یزد	۵۳° ′۴۸	۳۲° ′۲۰	۱۰۳۵
بافق	یزد	۵۵° ′۲۴	۳۱° ′۳۶	۹۹۵
کرمان	کرمان	۵۷° ′۰۶	۳۰° ′۲۹	۱۷۶۳
آباده	فارس	۵۱° ′۵۳	۳۱° ′۳۹	۲۰۳۰

در فصل برداشت در اوایل خرداد ماه، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، بعد از حذف اثر حاشیه‌ای از هر اکوتیپ در هر واحد آزمایشی، تعداد ده بوته به تصادف انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه از هر کرت به مساحت دو مترمربع، گیاهان برداشت شدند و گیاهان در هوای آزاد خشک شدند. سپس، بذور از کاه و کلش جدا و وزن گردیدند و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. با استفاده از دستگاه اسانس‌گیری کلونجر با روش تقطیر با آب به‌مدت ۳ ساعت، اسانس استخراج گردید و سپس درصد اسانس اندازه‌گیری شد.

عملکرد اسانس از طریق حاصلضرب عملکرد دانه در درصد اسانس به‌دست آمد.

برای سنجش درصد نشت یونی، در زمان گلدهی یک برگ کامل از برگ‌های میانی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و بافت تازه آن پس از شستشو با آب مقطر درون لوله آزمایش قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیترآب مقطر به آن اضافه شد و به‌مدت ۲ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1) ، با دستگاه هدایت‌سنج (Jenway مدل 4510) اندازه‌گیری شد. سپس لوله آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و پس از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) دوباره اندازه‌گیری و درصد نشت‌یونی با رابطه زیر محاسبه شد (حامد و همکاران ۲۰۰۷).

درصد نشت یونی =(EC1/EC2)×100

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در زمان گلدهی یک برگ کامل از برگ‌های میانی به‌صورت تصادفی انتخاب شد و ابتدا وزن برگ‌های تازه (Fw) اندازه‌گیری شد. سپس برای تعیین وزن آماس (Tw)، برگ‌ها در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از خشک شدن آب روی برگ‌ها، وزن شدند. سپس برگ‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها (Dw) تعیین شد. با استفاده از این مقادیر محتوای نسبی آب برگ با رابطه زیر محاسبه شد (قسیم و همکاران ۲۰۰۳):

$$\%RWC=[(Fw-Dw)]/[(Tw-Dw)]\times100$$

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و اکوتیپ و برهمکنش‌های تنش خشکی×اسید، تنش خشکی×اکوتیپ و اسید سالیسیلیک×اکوتیپ برای صفات تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مربوط به برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین تعداد چتر در بوته (۲۹/۲۶) در تیمار بدون‌تنش با کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۶). همچنین نتایج این جدول نشان داد که در تیمار تنش خشکی شدید تعداد چتر در بوته کاهش یافت؛ ولی با کاربرد اسید سالیسیلیک در این تیمار تعداد چتر در بوته حدود ۴۴ درصد افزایش یافت که این افزایش در مقایسه با دو تیمار تنش خشکی دیگر بیشتر بود (جدول ۶). بر اساس مقایسه میانگین برهمکنش تیمار تنش خشکی×اکوتیپ، بیشترین تعداد چتر در بوته در اکوتیپ کرمان و اردکان در تیمار بدون تنش خشکی و سپس در همین اکوتیپ‌ها در تنش متوسط و کمترین آن در تیمار تنش شدید و اکوتیپ اصفهان مشاهده شد (جدول ۷).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اسیدسالیسیلیک، بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۹/۴۱) در شرایط بدون‌تنش و کاربرد اسید سالیسیلیک و کمترین آن (۸/۵۵) در شرایط تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک دیده شد (جدول ۶). بر اساس نتایج جدول ۶ بیشترین درصد افزایش تعداد دانه در چتر معادل ۴۴ درصد در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد. نتایج برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ نشان داد که بیشترین تعداد دانه در چتر (۲۱/۶۵) در اکوتیپ کرمان در شرایط بدون تنش و کمترین آن (۸/۳۴) در اکوتیپ اصفهان در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد (جدول ۷). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اسید سالیسیلیک، اکوتیپ و برهمکنش‌های تنش خشکی×اسید سالیسیلیک و تنش خشکی×اکوتیپ برای صفت تعداد شاخه فرعی معنی‌دار شد (جدول ۴). در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک تعداد شاخه فرعی حدود ۲۰ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۸). در برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک بیشترین تعداد شاخه فرعی متعلق به تیمار بدون‌تنش و تنش خشکی شدید به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و کمترین آن متعلق به تیمار تنش خشکی شدید بدون

محلول‌پاشی بود (جدول ۶). در برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ بیشترین تعداد شاخه فرعی متعلق به اکوتیپ کرمان در شرایط بدون‌تنش و تنش خشکی متوسط و کمترین آن متعلق به اکوتیپ آباده در شرایط تنش خشکی متوسط بود (جدول ۷).

تعداد چتر در گیاه به میزان رشد رویشی گیاه بستگی داشته و گزارش شده است که کاهش رشد رویشی در اثر تنش ایجاد شده قبل از گلدهی، منجر به کاهش تعداد چتر در گیاه زیره سبز شده است (یزدانی چم حیدری و همکاران ۲۰۱۴). در تنش کم‌آبی برخی از گل‌های تلقیح شده موفق به دریافت کربوهیدرات کافی نخواهند شد و در نتیجه توسعه و پرکردن دانه‌ها مختل شده و تعداد دانه کاهش می‌یابد (ماسترودمنیکو و همکاران ۲۰۱۳). اسید سالیسیلیک یک فیتوهورمون است که در برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه اعم از کنترل تنفس، بسته‌تر شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، جوانه‌زنی بذر، فرایند گلیکولیز، گلدهی و رسیدگی میوه نقش تنظیم‌کنندگی دارد (چن و همکاران ۲۰۰۲) و بنابراین به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از این طریق موجب افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و تعداد شاخه فرعی شده است. کاهش تعداد دانه در چتر در اثر تنش خشکی در زیره سبز و همچنین در گیاه رازیانه گزارش شده است (عزیزی و صفایی ۲۰۱۷). براساس نتایج تحقیقی دیگر در گیاه زیره سبز، صفاتی نظیر تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته در گیاهانی که با اسید سالیسیلیک محلول‌پاشی شده بودند، افزایش یافتند (اسفینی فراهانی و همکاران ۲۰۱۳). اثر اسید سالیسیلیک در افزایش عملکرد در گیاه لوبیا از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته گزارش شده است (صادقی‌پور و آقایی ۲۰۱۲). در اثر تنش خشکی تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در گیاه کلزا (محمدی و همکاران ۲۰۱۹) و تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در گیاه گوار (محمدی سردو و همکاران ۲۰۲۳) کاهش یافت و در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش این صفات افزایش پیدا کرد. در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی تعداد ساقه فرعی در گیاه لوبیا افزایش پیدا کرد (سپهری و همکاران ۲۰۱۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های زیره سبز تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۰/۷۵ ns	۱/۵ ns	۰/۵*	۰/۸ ns	۰/۵**
تنش خشکی (D)	۲	۵۳۳/۸**	۳۴۲/۹**	۰/۴۸ ns	۴۸۶/۰۱**	۶/۸**
خطای اصلی	۴	۰/۵۵	۰/۷	۰/۱۴	۱/۶	۰/۳
اسید سالیسیلیک (S)	۱	۴۰۴/۰۳**	۴۷۸/۳**	۳۰/۷**	۱۰۷/۶**	۸/۶**
اکوتیپ (E)	۵	۶۳۸/۹**	۱۲۹/۵**	۱۳/۹**	۳۱۴/۸**	۲/۱**
D×S	۲	۸۸/۳**	۵۱/۶**	۳/۹**	۹/۳**	۰/۰۳ ns
D×E	۱۰	۱۷/۹**	۲/۸**	۰/۳**	۳/۱**	۰/۰۲ ns
S×E	۵	۲/۳**	۲/۰۱**	۰/۱۱ ns	۱/۰۲ ns	۰/۰۳ ns
D×S×E	۱۰	۰/۷ ns	۰/۵ ns	۰/۰۷ ns	۱/۰۸ ns	۰/۰۱ ns
خطا	۶۶	۰/۶۹	۰/۶	۰/۱۲	۰/۶۵	۰/۰۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۴۲	۵/۰۵	۷/۲۳	۴/۰۳	۱۰/۲۳

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

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در اکوتیپ‌های زیره سبز تحت تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه	محتوای نسبی آب	نشت یونی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۷۵۵/۱**	۱۷/۹**	٤/۳ ^{ns}	۰/۲۶*	۳/۷ ^{ns}
تنش خشکی (D)	۲	۸۲۲۴۴/۹**	۷۶۷/۵**	۲۵۷/۸**	۰/۱۵ ^{ns}	۲۳/۲ ^{ns}
خطای اصلی	۴	۲۰۵/۸	۱/۸	۲/۹	۰/۱۸	۵/۴
اسید سالیسیلیک (S)	۱	۶۲۵۳۲/۴**	۳۴۹/۱**	۱۷۳/۹**	۰/۱۹ ^{ns}	۶۹/۱**
اکوتیپ (E)	۵	۱۶۹۸۰۲/۸**	۱۹۵/۸**	۱۵۷/۰۴**	۵/۷**	۴۸۳/۹**
D×S	۲	۶۱۰۵/۷**	۷۵/۶**	۳۰/۷**	۰/۰۱ ^{ns}	۵/۰۵ ^{ns}
D×E	۱۰	۱۶۷۱/۱**	۳/۴ ^{ns}	۲/۸۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۸ ^{ns}
S×E	۵	۸۰۴/۱**	۰/۴ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۱/۲۵ ^{ns}
D×S×E	۱۰	۲۴۱/۱^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۴ ^{ns}
خطا	۶۶	۱۲۳/۴	۱/۸	۱/۵	۰/۰۶	۱/۹۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۱۱	۲/۱	۲	۱۰/۲۱	۱۰/۸۴

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک در صفات مورد بررسی در گیاه زیره سبز

تنش خشکی	تیمار اسید سالیسیلیک	صفات						
		تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد دانه (kg.ha-1)	محتوای نسبی آب (٪)	نشت یونی (٪)
بدون تنش	عدم محلول‌پاشی	۲۷/۲۷b	۱۶/۹۸b	۴/۵۶c	۲۲/۳۷b	۵۴۵/۶b	۶۹/۲۳b	۶۰/۲۵d
	۲ میلی‌مولار	۲۹/۲۶a	۱۹/۴۱a	۵/۴۹a	۲۵/۱۴a	۶۱۰/۸۵a	۷۰/۲a	۵۹/۱۳e
تنش متوسط	عدم محلول‌پاشی	۲۳/۱۵e	۱۳/۳۸d	۴/۶c	۱۹/۲۷d	۵۱۰/۱۵d	۶۳/۷d	۶۳/۴۸b
	۲ میلی‌مولار	۲۵/۲۸c	۱۶/۶۵b	۵/۰۹b	۲۰/۱۲c	۵۲۸/۳c	۶۶/۸۲c	۶۱/۶۲c
تنش شدید	عدم محلول‌پاشی	۱۶/۸۳f	۸/۵۵e	۳/۹۱d	۱۵/۲۴f	۴۵۳/۱e	۵۷/۱۳e	۶۷/۳۵a
	۲ میلی‌مولار	۲۴/۳۱d	۱۵/۴۸c	۵/۶۹a	۱۷/۶۱e	۵۱۴/۰۸d	۶۳/۸۳d	۶۲/۷۲b

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی، اسید سالیسیلیک، اکوتیپ و برهمکنش‌های تنش خشکی×اسید سالیسیلیک و تنش خشکی×اکوتیپ برای ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). در برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک بیشترین ارتفاع بوته (۲۵/۱۴ سانتی‌متر) متعلق به تیمار بدون‌تنش به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و کمترین آن (۱۵/۲۴ سانتی‌متر) متعلق به تیمار تنش خشکی شدید بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۶). در برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ بیشترین ارتفاع بوته (۳۲/۸ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ اصفهان در شرایط بدون‌تنش و کمترین آن (۱۲/۸۹ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ کرمان در شرایط تنش خشکی شدید بود (جدول ۷).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت رشد و توسعه سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به‌همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱۴). در ارزیابی اثرات مصرف اسید سالیسیلیک در زیره سبز تحت سه رژیم آبیاری مختلف

مشخص شد که با افزایش تنش کم‌آبی از میزان ارتفاع بوته کاسته شد، ولی در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک، میزان کاهش ارتفاع کمتر بود (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). با افزایش تنش خشکی در گیاه خردل (فاضلی کاخکی و همکاران ۲۰۱۴) و گیاه رازیانه (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱۴) ارتفاع بوته کاهش یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک توانست ارتفاع بوته را در شرایط تنش خشکی در این گیاهان بهبود بخشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ در صفات مورد بررسی در گیاه زیره سبز

تنش خشکی	اکوتیپ	صفات				
		تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد دانه (kg.ha-1)
بدون تنش	بافق	۲۴/۹۷^{f}	۱۸/۲۷^{cd}	۵/۰۴^{de}	۲۰/۳۹^{e}	۵۴۸^{e}
	آباده	۲۱/۳^{g}	۱۶/۴۷^{e}	۴/۱۴$^{f-i}$	۲۵/۳۵^{c}	۴۹۳^{h}
	سمیرم	۲۹/۷۴^{d}	۱۷/۸۸^{d}	۴/۶۴^{ef}	۲۳/۴۷^{d}	۵۹۷/۵^{d}
	کرمان	۳۸/۴۵^{a}	۲۱/۶۵^{a}	۶/۶۴^{a}	۱۹/۹۴^{ef}	۷۰۷/۰۵^{a}
	اصفهان	۲۰/۰۱^{h}	۱۴/۶۲^{h}	۴/۰۳^{hi}	۳۲/۸^{a}	۴۵۲/۱^{i}
	اردکان	۳۵/۱۶^{b}	۲۰/۳^{b}	۵/۶۷^{bc}	۲۰/۶۱^{e}	۶۷۱/۷۳^{b}
تنش متوسط	بافق	۲۱/۲۲^{g}	۱۶/۳^{ef}	۵/۴۱^{cd}	۱۷/۴۲^{gh}	۵۱۶/۳۵^{g}
	آباده	۲۰/۱۵^{h}	۱۲/۳۵^{j}	۳/۷۷^{i}	۲۰/۷۵^{e}	۴۵۹^{i}
	سمیرم	۲۲/۲۲^{g}	۱۵/۷^{efg}	۴/۲۹^{fgh}	۱۹/۳^{f}	۵۳۰/۶^{f}
	کرمان	۳۱/۸۷^{c}	۱۹/۴^{bc}	۶/۲۲^{ab}	۱۶/۰۱^{i}	۶۳۸/۶^{c}
	اصفهان	۱۹/۶۶^{h}	۱۱/۰۶^{k}	۳/۹۹^{hi}	۲۷/۲^{b}	۳۷۱/۰۵^{k}
	اردکان	۳۰/۱۹^{d}	۱۵/۴۲^{g}	۵/۴۳^{cd}	۱۷/۵۱^{gh}	۵۹۹/۷۵^{d}
تنش شدید	بافق	۱۷/۹۹^{i}	۱۳/۴۱^{i}	۵/۰۸^{de}	۱۴/۰۱^{j}	۴۹۶/۳^{h}
	آباده	۱۶/۷۷^{j}	۹/۴۳^{l}	۴/۰۸^{ghi}	۱۷/۷۵^{g}	۴۲۵/۸^{j}
	سمیرم	۱۸/۵۳^{i}	۱۲/۸^{ij}	۴/۴۹^{efg}	۱۶/۶۲^{hi}	۵۱۰/۶۵^{g}
	کرمان	۲۷/۲۷^{e}	۱۵/۶۴^{fg}	۵/۷^{bc}	۱۲/۸۹^{k}	۶۰۲/۷^{d}
	اصفهان	۱۵/۷۳^{k}	۸/۳۴^{m}	۴/۰۵^{hi}	۲۲/۹^{d}	۳۲۲/۳۵^{l}
	اردکان	۲۷/۱۴^{e}	۱۲/۵۳^{j}	۵/۴۴^{cd}	۱۴/۳۸^{j}	۵۴۳/۷۵^{e}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی، اسید سالیسیلیک، اکوتیپ و برهمکنش‌های تنش خشکی×اسید سالیسیلیک و تنش خشکی×اکوتیپ برای ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). در برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک بیشترین ارتفاع بوته (۲۵/۱۴ سانتی‌متر) متعلق به تیمار بدون‌تنش به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و کمترین آن (۱۵/۲۴ سانتی‌متر) متعلق به تیمار تنش خشکی شدید بدون محلول‌پاشی بود (جدول ۶). در برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ بیشترین ارتفاع بوته (۳۲/۸ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ اصفهان در شرایط بدون‌تنش و کمترین آن (۱۲/۸۹ سانتی‌متر) متعلق به اکوتیپ کرمان در شرایط تنش خشکی شدید بود (جدول ۷).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت رشد و توسعه سلول به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود. به‌همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱۴). در ارزیابی اثرات مصرف اسید سالیسیلیک در زیره سبز تحت سه رژیم آبیاری مختلف

مشخص شد که با افزایش تنش کم‌آبی از میزان ارتفاع بوته کاسته شد، ولی در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک، میزان کاهش ارتفاع کمتر بود (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). با افزایش تنش خشکی در گیاه خردل (فاضلی کاخکی و همکاران ۲۰۱۴) و گیاه رازیانه (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱۴) ارتفاع بوته کاهش یافت و کاربرد اسید سالیسیلیک توانست ارتفاع بوته را در شرایط تنش خشکی در این گیاهان بهبود بخشد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و اکوتیپ معنی‌دار شد و برهمکنش آنها معنی‌دار نشد (جدول ۴). با افزایش سطح تنش خشکی وزن هزار دانه کاهش یافت به‌طوری که در تیمار تنش خشکی شدید مقدار کاهش وزن هزار دانه در مقایسه با شرایط بدون‌تنش در حدود ۲۷ درصد بود (جدول ۸). در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک وزن هزاردانه حدود ۲۴ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۸). مقایسه میانگین وزن هزار دانه در اکوتیپ‌های مورد بررسی حاکی از آن است که بیشترین مقدار این صفت در اکوتیپ کرمان (۳/۱۸ گرم) و کمترین مقدار آن (۲/۲۲ گرم) در اکوتیپ اصفهان مشاهده شد (جدول ۹).

عوامل تنش‌زا مانند خشکی، در طول رشد گیاه تخصیص مواد به دانه‌ها را کاهش می‌دهند و در نتیجه منجر به تولید دانه کمتر و اغلب کوچکتر می‌شوند. کاهش محصول دانه به‌طور عمده از کاهش شاخص سطح برگ در زمان حداکثر گلدهی، دوره مؤثر پر شدن دانه و کاهش اندازه نهایی دانه ناشی می‌گردد (قاسمی‌گلعذانی و همکاران ۲۰۱۹). کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی در نتایج نوروزی شهری و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه زیره سبز و رازیانه گزارش شده است. در بررسی اثر اسید سالیسیلیک در گیاه خردل (فاضلی کاخکی و همکاران ۲۰۱۴) و گیاه لوبیا قرمز (شوقیان و روزبهانی ۲۰۱۷) مشخص شد که کاربرد اسید سالیسیلیک سبب افزایش وزن دانه نسبت به عدم مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی شد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح تنش خشکی و اثر اسید سالیسیلیک بر صفات مورد بررسی در گیاه زیره سبز

تنش خشکی	صفات		
	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته (cm)	وزن هزار دانه (g)
بدون تنش		۲۳/۷۶ a	۳/۱ a
تنش متوسط		۱۹/۷ b	۲/۴۹ b
تنش شدید		۱۶/۴۲ c	۲/۲۶ b
تیمار اسید سالیسیلیک			
عدم محلول‌پاشی	۴/۳۶b		۲/۳۳ b
۲ میلی‌مولار	۵/۴۲a		۲/۹ a

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون و در هر شرایط، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات در اکوتیپ‌های زیره سبز

اکوتیپ	صفات		
	وزن هزار دانه (g)	محتوای نسبی آب (٪)	نشت یونی (٪)
بافق	۲/۷۸b	۶۶/۵c	۶۳/۰۶c
آباده	۲/۵۷c	۶۲/۰۱e	۶۴/۲۴b
سمیرم	۲/۳۴d	۶۴/۶۷d	۶۰/۶۴d
کرمان	۳/۱۸a	۶۹/۳۷a	۵۸/۷۳e
اصفهان	۲/۲۲d	۶۰/۸۱f	۶۶/۹۸a
اردکان	۲/۶c	۶۷/۵۷b	۶۰/۸۸d

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثرات ساده تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و اکوتیپ و برهمکنش‌های تنش خشکی×اسید سالیسیلیک، تنش خشکی×اکوتیپ و اسید سالیسیلیک×اکوتیپ تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۵). در مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک بیشترین مقدار عملکرد دانه (۶۱۰/۸۵ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار بدون‌تنش همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و کمترین آن (۴۵۳/۱ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی بود (جدول ۶) و بیشترین درصد افزایش در عملکرد دانه (حدود ۱۳ درصد) در هنگام کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد. در مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اکوتیپ بیشترین مقدار عملکرد دانه در اکوتیپ کرمان در شرایط بدون‌تنش و کمترین مقدار آن در اکوتیپ اصفهان در شرایط تنش خشکی شدید مشاهده شد (جدول ۷).

تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسایشی می‌شود که این فرآیند در تخریب سامانه فتوسنتزی، مهار فرایندهای متابولیکی، کلروز، پراکسیداسیون لیپیدها، تغییر در نفوذپذیری غشا و نشت یون‌ها نقش ویژه‌ای دارد (چن و همکاران ۲۰۰۷) و از این طریق باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد. همچنین، گزارش شده است که تنش خشکی با کاهش شاخص پایداری غشا، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز خالص سبب افت عملکرد شده است (خالوندی و همکاران ۲۰۲۱). افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری بیشتر همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک را می‌توان به افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی نسبت داد که در این شرایط مواد فتوسنتزی و مواد غذایی بیشتری از برگ به دانه انتقال یافته و باعث افزایش عملکرد دانه شده است (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طی حیات گیاه در مواجهه با تنش‌های زنده و غیرزنده، باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (سالارپور غربا و فرحبخش ۲۰۱۴). افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در این مطالعه را می‌توان به افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه و محتوای نسبی آب و کاهش نشت یونی نسبت داد.

در پژوهشی در گیاه زیره سبز مشخص شد که با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه به‌واسطه افزایش فتوسنتز و مواد فتوسنتزی افزایش یافت (سرتیپ و سیروس‌مهر ۲۰۱۷). در مطالعه‌ای در گیاه بادام زمینی نشان داده شد که عملکرد دانه در واکنش به وقوع تنش خشکی کاهش پیدا کرد و در این مطالعه کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود وضعیت رشد بوته‌های بادام زمینی و بهبود صفات زراعی و ارتقای عملکرد دانه در واحد سطح شد (مهری چروده و همکاران ۲۰۲۳). سالارپور غربا و فرحبخش (۲۰۱۴) در گیاه رازیانه گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه رازیانه نسبت به شاهد کاهش یافت و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، عملکرد دانه را با تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط تنش خشکی طی حیات گیاه افزایش داد. هیاتا و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه اثر تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید بر گیاه شنبلیله گزارش کردند که تنش خشکی باعث ریزش غلاف‌های گیاه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. اما کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک با افزایش در سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی، منجر به افزایش عملکرد نسبت به شرایط تنش خشکی بدون کاربرد اسید سالیسیلیک شده است.

محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و اکوتیپ و برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک برای صفات

محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی بود (جدول ۵). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۶۹/۳۷ درصد) در اکوتیپ کرمان و کمترین آن (۶۰/۸۱ درصد) در اکوتیپ اصفهان دیده شد (جدول ۹). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک، بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۰/۲ درصد) در شرایط بدون‌تنش به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و کمترین آن (۵۷/۱۳ درصد) در شرایط تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی دیده شد (جدول ۶).

کاهش محتوای نسبی آب و بسته شدن روزنه‌ها اولین تأثیر تنش خشکی بوده که در ساخت مواد فتوسنتزی ایجاد اختلال کرده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (سبک‌دست نودهی و مرادی ۲۰۲۲). سانچز رودریگو و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که محتوی نسبی آب برگ، تعادل آب برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزا نشان می‌دهد و به‌همین دلیل آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند و از آن به‌عنوان یکی از شاخص‌ها برای تمایز بین ارقام حساس و غیر حساس یاد کردند. در مطالعه اثر اسید سالیسیلیک در گیاه لوبیا نشان داده شد که افزایش سطح تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد و کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ گردید؛ در واقع اسید سالسیلیک با بالا نگه داشتن سطح سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز مانع اثر گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش خشکی بر غشاء سلولی در این گیاه شده و از پراکسیده شدن لیپیدهای غشاء جلوگیری کرده و در نتیجه موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌گردد (سبک‌دست نودهی و مرادی ۲۰۲۲). در گیاهان لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش خشکی، با کاربرد اسید سالیسیلیک محتوای نسبی آب افزایش پیدا کرد. با توجه به افزایش میزان تعرق در گیاهان لوبیا چشم‌بلبلی تیمار شده با اسید سالیسیلیک، به‌نظر نمی‌رسد در این آزمایش، افزایش مشاهده شده برای محتوای آب نسبی بر اثر کنترل روزنه‌ای باشد. بلکه بیشتر به‌نظر می‌رسد به‌دلیل افزایش مقدار آب جذب شده توسط گیاه این عمل اتفاق افتاده است (پاک‌مهر و همکاران ۲۰۱۴). نتایج پژوهش انجام شده توسط مهری چروده و همکاران (۲۰۲۳) حاکی از آن است که تحت شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ در گیاه بادام زمینی کاهش پیدا کرد و کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را بهبود بخشید که این موضوع می‌تواند به‌دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ با میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، قندها و پروتئین‌های محلول در برگ باشد.

اکوتیپ اصفهان (۶۶/۹۸ درصد) بیشترین و اکوتیپ کرمان (۵۸/۷۳ درصد) کمترین مقدار نشت یونی را به خود اختصاص دادند (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی×اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین نشت یونی در شرایط تنش خشکی شدید و عدم محلول‌پاشی و کمترین آن در شرایط بدون‌تنش به‌همراه محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (جدول ۶). غشاءهای بیولوژیکی نخستین هدف بسیاری از تنش‌های غیرزنده هستند. حفظ و ثبات غشاءها تحت تنش آبی، جزء اصلی تحمل خشکی در گیاهان است (باجی و همکاران ۲۰۰۲). اثر دیگر اسید سالیسیلیک در بهبود رشد و تولید در گیاه، کمک به انسجام و پایداری غشاء از طریق کاهش اثر H_2O_2 در غشاء در مقایسه با شاهد است که سبب کاهش اثر تنش اکسیداتیو و جلوگیری از پراکسیداسیون غشاء شده است (آگراول و همکاران ۲۰۰۵). نتایج بدست آمده در زیره سبز نشان داد که در شرایط تنش خشکی، میزان نشت یونی در مقایسه با شرایط آبیاری کامل افزایش یافت (شجاعی باغینی و نقی‌زاده ۲۰۲۴). در بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی در لوبیا مشخص شد که در اثر تنش نشت یونی افزایش یافت و از طرف دیگر گیاهان محلول‌پاشی شده با اسید سالسیلیک از نشت یونی کمتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده برخوردار بودند که می‌تواند بیانگر تأثیر این ماده بر روی بهبود وضعیت غشاهای سلولی در برابر آسیب گونه‌های فعال اکسیژن باشد (سبک‌دست نودهی و مرادی ۲۰۲۲). در پژوهشی در گیاه خردل اعمال اسید

سالیسیلیک در سطوح مختلف تنش خشکی سبب بهبود شاخص پایداری غشاء شد (فاضلی کاخکی و همکاران ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تنش خشکی، اسید سالیسیلیک و اکوتیپ در صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار شد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و افزایش میزان نشت یونی گردید. محلول‌پاشی برگی اسید سالسیلیک منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و کاهش میزان نشت یونی گردید. با توجه به نتایج پژوهش، اکوتیپ کرمان بیشترین محتوای نسبی آب برگ و وزن هزار دانه و کمترین میزان نشت یونی و اکوتیپ اصفهان کمترین میزان نسبی آب برگ و وزن هزار دانه و بیشترین میزان نشت یونی را داشتند. اکوتیپ کرمان از نظر صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و عملکرد دانه بیشترین و از نظر ارتفاع بوته کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در این پژوهش کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۲ میلی‌مولار برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و اجزای آن و محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی شناخته شد و بنابراین این مقدار اسید سالیسیلیک برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه زیره سبز پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه پیام نور به جهت فراهم نمودن امکانات اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

Agrawal S, Sairam R.K, Srivastava G.C and Meena R.C. 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plantarum, 49, 541 - 550.

Asfini Farahani, M, Paknejad F, Bakhtiari Moghadam M, Alavi S and Hasibi A. 2013. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin. Agronomy and Plant Breeding Journal, 8(3): 69- 77. (In Persian with English Abstract).

Asghari M and Hasanlooe AR. 2015. Interaction effects of salicylic acid and methyl jasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry fruit during storage. Scientia Horticulturae, 197:490–495. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.009

Azizi M and Safaei Z. 2017. The effect of foliar application of humic acid and nano fertilizer on morphological traits, yield, essential oil content and yield of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology), 30(4): 671-680. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.41136

Azooz M.M and Ahmad P. 2015. Legumes under Environmental Stress: Yield, Improvement and Adaptations. Published by John Wiley & Sons, Ltd.

Bajji M, Kinet J and Lutts S. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stres tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regulation, 36: 61-70. https://doi.org/10.1023/A:1014732714549

Bayati P, Karimmojeni H and Razmjoo J. 2020. Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. Industrial Crops and Products, 155(1): 112764. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112764

Chen H. Qualls R.G and Miller G.C. 2002. Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, parenchyma formation, and ethylene production. Environmental and Experimental Botany, 48: 119-128. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00018-7

Chen J, Chng Z, Li-ping L, Zhong-yang S and Xue-bo P. 2007. Effect of exogenous salicylic acid on growth and H_2O_2-Metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. Journal of Environmental Sciences, 19: 44-49. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60007-2

Fazeli Kakhki S.F, Ghiasabadi M and Goldani M. 2014. Effect of salicylic acid on drought stress through improving some morphological, physiological and yield components traits of mustard plant (*Brassica compestris* var. parkland). Environmental Stresses in Crop Sciences, 7(1): 65-77. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2014.156

Ghassemi-Golezani K, Mabudi-Bilasvar H and Dabbagh-Mohammadi-Nassab A. 2019. Improving rapeseed (*Brassica napus* L.) plant performance by exogenous salicylic acid and putrescine under gradual water deficit. Acta Physiologiae Plantarum, 41: 192. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2986-7

Hamed K.B, Castagna A, Salem E, Ranieri A and Abdelly C. 2007 Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation, 53: 185-194. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9217-8

Hayata Q, Hayata S, Irfan M and Ahmad A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental Experimental Botany, 68: 14–25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005

Jami N, Mousavi Nik S.M and Naghizadeh M. 2015. The effect of drought stress and foliar application with salicylic acid on qualitative and quantitative yield of Black cumin under Kerman climatic conditions. Journal of Crop Improvement, 17(3): 827-840. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.54389

Kazemi H, Mortazavian S.M.M and Ghorbani Javid M. 2017. Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(4): 1099-1113. (In Persian with English Abstract). 10.22059/ijfcs.2017.211455.654151.

Keshavarz H and Modarres Sanavy S.A.M. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. Electronical Journal of Crop Production, 7(4): 167-178. (In Persian with English Abstract). 20.1001.1.2008739.1393.7.4.9.8

Khalvandi M, Siosemardeh A, Roohi E and Keramati S. 2021. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. Heliyon, 7(1): 5908. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908

La VH, Lee BR, Islam MT, Park SH, Jung HI, Bae DW and Kim TH. 2019. Characterization of salicylic acid–mediated modulation of the drought stress responses: Reactive oxygen species, proline, and redox state in *Brassica napus*. Environmental and Experimental Botany, 157: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.09.013

Mastrodomenico A.T, Purcellb L.C and King C.A. 2013. The response and recovery of nitrogen fixation activity in soybean to water deficit at different reproductive developmental stages. Environmental and Experimental Botany, 85: 16–21. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.006

Mehri Charvadeh M, Zakerin H.R, Mostafavi Rad M, Sayfzadeh S and Valadabady S.A. 2023. Evaluation of physiological responses of peanut to different irrigation regimes and foliar application of salicylic acid. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(4): 199-215. (In Persian with English Abstract). 10.22034/saps.2022.52803.2904

Miura K and Tada Y. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 5:4. doi: 10.3389/fpls.2014.00004

Moghaddam M and Pirbalouti AG. 2017. Agro-morphological and phytochemical diversity of Iranian Cuminum cyminum accessions. Industrial Crops and Products, 99: 205-213. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.003

Mohammadi H, Javadzadeh R, Pasban Eslam B and Parviz L. 2019. Evaluation of the effects of drought stress and salicylic acid on growth and physiological parameters in four spring canola cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research, 16(4): 807-819. (In Persian with English Abstract). 10.22067/gsc.v16i4.70532

Mohammadi Sardou S, Tohidi-Nejad E and Mohayeji M. 2023. Response of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) to foliar application of salicylic acid under different levels of irrigation. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(1): 269-286. (In Persian with English Abstract). 10.22034/saps.2022.46211.2695

Norouzi Shahri F, Puryousef M, Tavakoli A, Saba J and Yazdinejad A. 2015. Evaluation the performance of some of Iran's native fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions under drought stress condition. Iranian Journal of Field Crop Science, 46(1): 49-56. (In Persian with English Abstract). 10.22059/ijfcs.2015.54045

Pak Mehr A, Shakeri F and Rastgo M. 2014. Effect of seed priming with Salicylic Acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stage. Journal of Iranian Pulses Research, *5*(2): 19-30 (In Persian with English Abstract). 10.22067/ijpr.v1393i2.46920

Parveen A, Arslan Ashraf M, Hussain I, Perveen S and Rasheed R. 2021. Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed *Triticum aestivum* in relation to foliar-application of salicylic acid. Water, 13: 1316. https://doi.org/10.3390/w13091316

Qasim M, Ashraf M, Jamil M.A, Ashraf M, Rehman SH and Shikrha E. 2003. Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus*) lines under salt stress. Annals of Applied Biology, 142: 307-316. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00255.x

Rezaei Chiyaneh E and Pirzad AR. 2014. Effect of salicylic acid on yield, yield components and essential oil of (*Nigella sativa* L.) under drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(3): 427-737. (In Persian with English Abstract). 10.22067/gsc.v12i3.42218

Sabokdast Nodehi M and Moradi J. 2022. Study of the physiological and biochemical changes of common bean in response to foliar application of salcylic acid under drought stress conditions. Journal of Crop Breeding, 14(42): 117-126. (In Persian with English Abstract). 10.52547/jcb.14.42.117

Sadeghipour O and Aghaei P. 2012. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to exogenous application of salicylic acid (SA) under water stress conditions. Advances in Environmental Biology, 6(3), 1160-1168.

Saiednejad A and Rezvanimoghadam P. 2010. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on morphological properties, yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science, 24(1): 38-44. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i1.3643

Salmanpour Ghoraba F and Farahbakhsh H. 2014. Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Crop Improvement, 16(3): 765-778. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2014.53276

Sanchez-Rodrguez E, Rubio-Wilhelmi M, Cervilla LM, Blasco B, Rios JJ, Rosales MA, Romero L and Ruiz JM. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science, 178: 30–40. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001

Sartip H and Sirousmehr A.R. 2017. Evaluation of salicylic acid effects on growth, yield and some biochemical characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under three irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 10(4): 547-558. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.21.1007

Sepehri A, Abasi R and Karami A. 2015. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. Journal of Crop Improvement, 17(2): 503-516. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55196

Shemi R, Wang R, Gheith ESMS, Hussain HA, Hussain S, Irfan M, Cholidah L, Zhang K, Zhang S and Wang L. 2021. Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho–physiological growth and yield of maize under drought stress. Scientific Reports, 11:1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-021-82264-7

Shoghian M and Roozbahani A. 2017. The effect of salicylic acid foliar application on morphological traits, yield and yield components of red bean under drought tension conditions. Crop Physiology Journal, 9(34): 131-147. (In Persian with English Abstract). 20.1001.1.2008403.1396.9.34.8.5

Shojaei Baghini M.H and Naghizadeh. M. 2024. Evaluation of the effect of foliar application of brassinosteroid and melatonin on some physiological, grain yield and cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 40(1): 155-173. (In Persian with English Abstract). DOI:10.22092/ijmapr.2023.362048.3310

Soares C, Carvalho M.E, Azevedo R.A and Fidalgo F. 2019. Plants facing oxidative challenges-A little help from the antioxidant networks. Environmental and Experimental Botany, 161, 4-25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009

Soorni J, Roustakhiz J, Salimi Kh and Noori M. 2021. Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(4): 1125-1134. (In Persian with English Abstract). http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624.

Xu J, Jin J, Zhao H and Li K. 2019. Drought stress tolerance analysis of Populus ussuriensis clones with different ploidies. Journal of Forestry Research, 30: 1267-1275. https://doi.org/10.1007/s11676-018-0729-z

Yazdani Cham Heidari Y, Ramroudi M and Asghiripoor M.R. 2014. The study of drought stress on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum* L) under the influence of foliar of iron and zinc. Juornal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 1(3): 81-96. (In Persian with English Abstract).