Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation regimes

Atefeh Jalalzadeh[1] | Mojtaba Jafarzadeh Kenarsary[2] | Hamid Dehghanzadeh Jazy[3]✉ | Hossein Zeinali[4]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran. E-mail: A.Jalalzadeh@yahoo.com
2. Department of Agronomy, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran. E-mail: chambar_chambary@yahoo.com
3. Corresponding Author: Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension, Organization (AREEO), Isfahan, Iran. Email: H_dehghanzadeh@areeo.ac.ir
4. Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Isfahan, Iran. Email: hoszeinali@yahoo.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 21, 2024

Revised: Apr. 21, 2024

Accepted: June. 1, 2024

Published online: Aug. 2024

Keywords:
Biomass,
Drought Stress,
Essence Percentage,
Grain Yield,
Number Umbel per Plant.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (Cuminum cyminum) under different irrigation regimes, a field study was conducted at Fatholmobin Agro industry, Kashan, Iran. A split factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was used. The main plots considered irrigation regimes (irrigation after 70, 100 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan), and sub-plots considered two level of salicylic acid application (control and 1 mM) and three levels of zinc sulfate (control, 30 and 60 Kg.ha-1) as factorial. The results showed that with the increase in the irrigation interval, the yield and yield components decreased and the percentage of cumin essential oil increased. The grain yield in irrigation after 70, 100 and 130 mm cumulative evaporation treatments was 2659, 19525 and 1009 kg/ha, respectively. The application of salicylic acid and zinc sulfate both under control conditions and moisture stress led to an increase in yield and yield components. Although by delay in irrigation from 70 to 100 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan, the grain yield decreased by 6%, with the combined application of 60 kg/ha of zinc sulfate and salicylic acid while reducing the effects of drought, the essential oil yield increased by 6.5 kg/ha. It was concluded that by irrigation the cumin after 100 mm cumulative pan evaporation with combined use of 60Kg.ha-1 zinc sulfate and 1 mM salicylic acid, water could be saved by 21.5% while increasing the yield of essential oil, the yield of seeds may decrease slightly under these conditions.

Cite this article: Jalalzadeh, A., Jafarzadeh Kenarsary, M., Dehghanzadeh Jazy, H., & Zeinali, H. (2024) Effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (Cuminum cyminum) under different irrigation regimes, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (6), 903-924. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.372957.669668

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.372957.669668

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۵، شماره ۶ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تاثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر صفات کمی و کیفی زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

عاطفه جلال‌زاده[۱]| مجتبی جعفرزاده کنارسری [۲]| حمید دهقان‌زاده جزی[۳]✉|احسین زینلی[۴]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران. رایانامه: A.Jalalzadeh@yahoo.com

۲. گروه زراعت، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران. رایانامه: Chambar_chambary@yahoo.com

۳. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان. ایران. رایانامه: H_dehghanzadeh@areeo.ac.ir

۴. بخش منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، ،سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: hoszeinali@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۲

تاریخ انتشار: شهریور ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
بیوماس،
تعداد چتر در بوته،
تنش خشکی،
درصد اسانس،
عملکرد دانه.

چکیده

به منظور بررسی کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر صفات کمی و اسانس زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشت و صنعت فتح المبین کاشان اجرا گردید. آبیاری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (به ترتیب به عنوان شاهد، تنش ملایم و شدید) در کرت‌های اصلی، اسید سالیسیلیک در دو سطح (کاربرد محلول یک میلی‌مولار و عدم کاربرد) و کود سولفات روی در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت خاک کاربرد) در کرت‌های فرعی بصورت فاکتوریل قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش تنش آبی عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش و درصد اسانس زیره سبز افزایش یافت. عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، بترتیب ۲۶۵۹، ۱۹۵۲۵ و ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار بود. کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی هم در شرایط شاهد و هم تنش رطوبتی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گردید. اگر چه کاربرد تنش ملایم نسبت به شرایط بدون تنش (شاهد)، عملکرد دانه را ۶ درصد کاهش داد، ولی با کاربرد همزمان ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک اثرات خشکی کاهش و عملکرد اسانس ۶/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. بنابراین و به طور کلی کاربرد تنش آبی ملایم در زیره سبز همراه با کاربرد همزمان ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک، علاوه بر صرفه جویی ۲۱/۵ درصدی در مصرف آب آبیاری، باعث افزایش عملکرد اسانس گردیده و در مقابل کاهش عملکرد دانه نیز ناچیز می‌باشد.

استناد: جلال زاده؛ عاطفه، جعفرزاده کنارسری؛ مجتبی، دهقان زاده جزی؛ حمید، زینلی؛ حسین، (۱۴۰۳) تاثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر صفات کمی و کیفی زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۶)، ۹۲۴-۹۰۳.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.372957.669668

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.372957.669668

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) دومین گیاه دارویی اقتصادی و صادراتی ایران است (حقیرسادات و همکاران، ۱۳۹۰). خواص دارویی متعددی از جمله مدر، معرق، محرک اشتها، تقویت معده، خلط آور، ضد نفخ، ضد اسهال، درمان ترشحات زنانگی و قطع حالت قاعدگی در زنان جوان، درمان دیابت و زیاد کننده شیر برای زیره سبز عنوان شده است (سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم، ۱۳۸۹). اگر چه ترکیبات ثانویه توسط خصوصیات ژنتیکی گیاهان کنترل می‌شود، با این حال عوامل محیطی و مدیریت تغذیه‌ای گیاه در کمیت و کیفیت این مواد تاثیر قابل توجهی دارد (آقاعلیخانی و همکاران، ۱۳۹۲). متوسط عملکرد دانه زیره سبز در کشور بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۹). فراهم نمودن مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بویژه عناصر ضروری یکی از جنبه‌های بسیار مهم مدیریت زراعی بوده و می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید و عملکرد بالا ایفا نماید. طبق نتایج، مصرف ریزمغذی‌ها در شرایط بدون تنش تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه داشته است، در عین حال تأثیر مثبت مصرف ریزمغذی‌ها بر عملکرد محصول در شرایط تنش خشکی بسیار امید بخش است (اکبری‌نیا و همکاران، ۱۳۸۲).

خشکی با تاثیرگذاری بر آب قابل دسترس برگ‌ها سبب کاهش تورژسانس سلول‌ها و در نتیجه کاهش سطح برگ و اندام فتوسنتزکننده می‌شود (فرهودی و مکی‌زاده تفتی، ۱۳۹۱). Baghalian et al. (2008) گزارش کردند که تنش خشکی با تاثیر منفی بر روی رشد بابونه سبب کاهش ارتفاع و عملکرد گل گردید. Bettaieb et al. (2009) هم با بررسی رشد مریم گلی تحت تاثیر تنش خشکی افزایش اسانس، کاهش ارتفاع، کاهش سطح برگ و کاهش وزن اندام‌های هوایی را گزارش کردند. همچنین بابایی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی واکنش گیاه آویشن به تنش خشکی، کاهش سطح برگ، رشد و ارتفاع گیاه را گزارش و بیان کردند در شرایط خشکی عواملی نظیر اختلال در عمل روزنه‌ها، تخریب غشاهای سلولی بخصوص در بافت‌های فتوسنتزی، اختلال در آنزیم‌های فتوسنتزی سبب کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک و ارتفاع گیاه شد.

اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که در ریشه گیاهان به مقدار کم تولید می‌شود و نقش محوری در تنظیم تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز، سنتز کلروفیل و پروتئین دارد و به عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Miura & Tada, 2014). افزایش معنی‌دار کلروفیل کل، طول بوته، تعداد میوه در بوته گیاه کارلا (*Momordica charantia* L.) با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی بواسطه بهبود صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گزارش گردید (رضائی علوعلو و همکاران، ۱۳۹۸). در بررسی دیگری کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهچه‌های خیار موجب بهبود خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی و کاهش اثرات مخرب خشکی شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۱). محمدی‌ساردو و همکاران (۱۴۰۲) کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاه گوار (*Tetragonoloba cyamopsis*) با افزایش شدت تنش خشکی را گزارش و بیان کردند کاربرد اسید سالیسیلیک تا حد زیادی اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد گیاه را کاهش داد. در آزمایشی با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در غلظت ۳ میلی‌مولار در دو مرحه رشدی قبل از گلدهی و قبل از شروع رشد سریع میوه ارقام زیتون، اثرات تنش آبی تعدیل و افزایش وزن و ابعاد میوه، وزن تر و خشک گوشت، درصد رطوبت میوه و عملکرد میوه در هکتار ارقام زیتون گزارش گردید (غلامی و همکاران، ۱۴۰۰). کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در گیاه لوبیا سبز، رشد و عملکرد دانه را در شرایط تنش کم آبی بهبود بخشید (سپهری و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین افزایش عملکرد گل، محتوا و عملکرد اسانس در بابونه آلمانی با کاربرد ۴۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک گزارش گردید (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۸).

روی از عناصر ضروری کم مصرف که به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب گیاه شده و دارای نقش‌های فیزیولوژیکی متعددی در گیاهان عالی است. این عنصر به عنوان فعال کننده و کوفاکتور برخی آنزیم‌های حیاتی، از جمله کربنیک آنهیدراز، دهیدروژناز، آلکالین فسفاتاز، فسفولیپازها وRNA پلیمرازها بوده و در فتوسنتز، متابولیسم پروتئین‌ها، قندها، اسیدهای نوکلئیک، چربی‌ها و در بیوسنتز اکسین نقش دارد (Farahat et al., 2007). تأمین این عنصر به ویژه در شرایط تنش خشکی نقش ویژه‌ای در حفاظت گیاه در برابر تنش ایجاد می‌کند (Cakmak, 2009). عنصر روی همچنین باعث افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر می‌شود (Sharafi et al., 2000). افزایش میزان وزن تر و خشک اندام هوایی، سطح برگ، ارتفاع، شاخص کلروفیل، درصد و عملکرد اسانس مرزه با محلول‌پاشی روی گزارش گردید (عمارت‌پرداز و همکاران، ۱۳۹۵). پیرزاد و همکاران (۱۳۹۲) در آزمایشی با کاربرد روی افزایش عملکرد دانه، میزان کلروفیل و عملکرد اسانس گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) را گزارش کردند. همچنین نتایج Akhtar et al. (2009) نشان داد که محلول‌پاشی روی با غلظت سه در هزار باعث افزایش ۲/۲۸ درصدی اسانس نعنا در مقایسه با شاهد شد.

با توجه به موقعیت کشور که در اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار گرفته، جلوگیری و یا کاهش خسارت ناشی از وقوع تنش خشکی در دوره رشدی گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار بوده، در این پژوهش تاثیر اسید سالیسیلیک و سولفات روی در سطوح مختلف تنش خشکی بر گیاه زیره سبز مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

به منظور بررسی تاثیر کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر صفات کمی و اسانس زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشت و صنعت فتح المبین کاشان اجرا گردید. آبیاری در سه سطح شامل آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (به ترتیب به عنوان شاهد (مثقالی، ۱۳۹۱)، تنش ملایم و شدید) در کرت‌های اصلی، اسید سالیسیلیک در دو سطح (کاربرد محلول یک میلی‌مولار (سالارپور قربا و فرح بخش، ۱۳۹۳) و عدم کاربرد) و کود سولفات روی در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت خاک کاربرد) در کرت‌های فرعی بصورت فاکتوریل قرار گرفتند. منطقه آزمایش دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی بود. ارتفاع مزرعه از سطح دریا ۱۰۰۰ متر و بر اساس سیستم طبقه بندی اقلیمی آمبرژه جزء مناطق خشک می‌باشد. متوسط میزان بارندگی این منطقه ۱۳۵ میلی‌متر بود. میزان بارندگی ماهیانه در جدول ۱ آورده شده است. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. کاشت در اول دی ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۴ متر و فاصله خطوط کشت ۰/۵ متر بود. کاشت بذور به طریقه هیرم‌کاری و پس از گاورو شدن زمین به صورت ردیفی انجام گرفت. در هر ردیف به میزان ۲۵ گرم بذر قرار داده شد که پس از سبز شدن در موقع مناسب نسبت به تنک کردن آن‌ها جهت حصول به تراکم یک میلیون بوته در هکتار اقدام گردید. کاشت به صورت متراکم و در عمق حدود یک سانتی‌متری از شیارها صورت گرفت. به منظور سهولت در کاشت بذور زیره سبز، بذرها با نسبت ۱ به ۵ با ماسه بادی مخلوط شد. بذور گیاه زیره سبز (توده محلی کاشان) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان تهیه گردید. تیمارهای کودی اسید سالیسیلیک در یک مرحله پیش از گلدهی بصورت محلول‌پاشی انجام شد. تیمارهای کودی سولفات روی هنگام تهیه زمین و قبل از کاشت بصورت خاک کاربرد اعمال گردید. در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی بطور یکنواخت برای همه کرت‌های آزمایشی انجام گردید. کنترل علف‌های هرز با دست صورت گرفت. تیمارهای آبیاری از مرحله ساقه‌رفتن گیاهان اعمال گردید. تا قبل از مرحله ساقه‌رفتن وبا توجه به بارندگی‌های زمستانه، یک مرحله آبیاری انجام و میزان آب آبیاری ۸۲۱ متر مکعب در هکتار بود. در مراحل ساقه‌رفتن، گلدهی و پر شدن دانه، با استفاده از رابطه (۱) میزان آب مصرفی در هر آبیاری جهت کرت‌های اصلی برآورد و در هنگام آبیاری از طریق سرریز به کرت‌ها وارد گردید (حسن‌لی، ۱۳۷۹).

$$VW = [(FC-SM).\ Bd.\ D.\ A] \quad \text{رابطه ۱)}$$

در این رابطه VW حجم آب مصرفی در هر آبیاری (بر حسب متر مکعب)، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، SM درصد وزنی رطوبت خاک در هنگام نمونه‌برداری، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتیمتر مکعب)، D عمق توسعه ریشه گیاه (متر) و A مساحت کرت اصلی (مترمربع) می‌باشد. مقادیر پارامترهای FC، Bd و D برای پژوهش مذکور به ترتیب برابر با ۲۹/۶ درصد وزنی، ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۰/۲ متر بود. درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی ۱۴/۰۶ درصد بود. همچنین برای مشخص کردن درصد وزنی رطوبت خاک به منظور محاسبه میزان آب مورد نیاز در زمان آبیاری (SM)، از سه قسمت مختلف هر کرت نمونه‌هایی تا عمق توسعه ریشه برداشت گردید. بلافاصله وزن مرطوب توزین و سپس بمدت ۱۲ ساعت در آون با حرارت ۱۱۰ درجه سانتیگراد جهت تعیین وزن خشک آن قرار داده شد (وراوی پور، ۱۳۸۹). درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در تیمارهای شاهد، تنش ملایم و تنش شدید بترتیب ۲۲/۵، ۱۷/۱ و ۱۳/۹ بود. قبل از کاربرد آبیاری در تیمارهای مختلف، ابتدا با رسیدن مقدار تبخیر تجمعی به اعداد ذکر شده زمان کاربرد آبیاری در هر یک از تیمارهای ذکر شده مشخص شد. سپس مقدار آب مورد نیاز برای آن تیمار با توجه به رابطه (۱) و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی رطوبت در روز رسیدن مقادیر تبخیر تجمعی تشت به عدد مورد نظر برای هر تیمار محاسبه گردید. بر این اساس آب مصرفی در تیمارهای شاهد، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۴۹۲۷، ۳۸۳۸ و ۲۷۹۷ متر مکعب در هکتار بدست آمد. لازم به ذکر است که این مقادیر آب آبیاری کاربردی برای تیمارهای مختلف شاهد، تنش ملایم و شدید به ترتیب در طی شش، پنج و چهار دور آبیاری در طول دوره رشد ۱۴۰ روزه گیاه به کار برده شد. در مرحله برداشت که تقریبا ۱۰ خرداد ماه بود، ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک

و شاخص برداشت از روی نمونه‌های برداشت شده از مساحت یک متر مربع از خطوط وسط هر کرت با رعایت حاشیه تعیین شد. برای اندازه‌گیری درصد اسانس، از روش تقطیر با آب توسط دستگاه اسانس‌گیری کلونجر انجام شد، به این صورت که ۵۰ گرم دانه‌های زیره سبز را به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب، در بالن ۲۰۰۰ میلی‌لیتری قرار داده و به مدت ۴ ساعت با این دستگاه اسانس‌گیری شد. سپس اسانس توسط سولفات سدیم رطوبت‌زدایی گردید و مقدار اسانس بدست آمد (طلائی و امینی‌دهقی، ۱۳۹۳). همچنین عملکرد اسانس با استفاده از حاصلضرب درصد اسانس در عملکرد دانه محاسبه گردید. میزان کلروفیل برگ با استفاده ازروش Arnon. (1948) به دست آمد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab-13 انجام گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی، از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

جدول ۱. میزان بارندگی (میلی‌متر) ماهانه و ماکزیمم و مینیمم دمای ماهیانه (سانتی‌گراد)سال زراعی ۹۷-۹۶ در محل آزمایش

ماه‌های سال	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
میزان بارندگی(میلی‌متر)	۶/۲	۷	۱/۹	۲۶/۶	۱۲/۳	۱۵/۲
میانگین ماکزیمم دما (سانتی‌گراد)	۱۱/۹	۱۲/۶	۱۸/۵	۲۶/۵	۳۴/۲	۳۹/۳
میانگین مینیمم دما (سانتی‌گراد)	۱/۴	۱/۰۸	۷/۶	۱۳/۴	۱۹/۴	۲۳/۳

جدول ۲. مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک درمحل اجرای آزمایش درعمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

هدایت الکتریکی	pH	فسفر	پتاسیم	روی	ماده آلی	نیتروژن کل	شن	سیلت	رس	بافت خاک
($dS.m^{-1}$)		-----mg/kg----		.....	----------	----------(%)----------				
۲/۲۷	۷/۶	۱۲	۲۶۰	۰/۸۶	۰/۳۸	۰/۰۷	۶۰	۱۵	۲۵	لوم رسی شنی

یافته‌های پژوهش

ارتفاع گیاه

تاثیر رژیم‌های آبیاری، سولفات روی و اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × سولفات روی و رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیک دارای کمترین ارتفاع و کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و کاربرد اسید سالیسیک و آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تیخیر دارای بیشترین ارتفاع بوته بودند (جدول ۴).

کلروفیل برگ

کلروفیل برگ بطور معنی‌داری تحت تاثیر سولفات روی، اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۳). اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک و رژیم‌های آبیاری × سولفات روی و رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر کلروفیل برگ معنی‌دار یود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارها نشان داد تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک کمترین و کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و کاربرد اسید سالیسیک و آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تیخیر دارای بیشترین کلروفیل برگ بودند (جدول ۴). میانگین اثرات متقابل نشان داد اگر چه با افزایش دور آبیاری مقدار کلروفیل کاهش یافت، کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک باعث جلوگیری از کاهش بیشتر گردید (جدول ۴).

طول و وزن خشک ریشه

تاثیر سولفات روی و اثرات متقابل دوگانه اسید سالیسیلیک × سولفات روی و رژیم های آبیاری × اسید سالیسیلیک و رژیم‌های آبیاری × سولفات روی بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد کاربرد محلول-پاشی اسید سالیسیلیک و کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین طول ریشه و تیمار شاهد دارای کمترین طول ریشه بودند (شکل ۱). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × سولفات روی نشان داد کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و تنش ملایم دارای بیشترین طول ریشه و عدم کاربرد سولفات روی و آبیاری شاهد دارای کمترین طول ریشه بودند (شکل ۲). با افزایش طول دوره آبیاری به ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی گرچه طول ریشه کاهش یافت ولی با افزایش کاربرد سولفات روی این کاهش کمتر بود (شکل ۲).

میانگین اثر متقابل آبیاری × اسید سالیسیلیک نیز نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک در آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر بترتیب دارای بیشترین و کمترین طول ریشه بودند (جدول ۵). تاثیر اسید سالیسیلیک در افزایش طول ریشه در شرایط آبیاری تنش ملایم بیشتر از تیمارهای آبیاری شاهد و شدید بود (جدول ۵). اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر و کاربرد توام ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای بیشترین وزن خشک ریشه و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک و آبیاری شاهد دارای کمترین وزن خشک ریشه بودند (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در زیره سبز با کاربرد اسید سالیسیلیک و روی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	مقدار کلروفیل برگ	طول ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد شاخه فرعی	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۲/۰۹	۰/۰۰۵	۰/۲۹	۰/۰۰۴۳	۲/۲۴	۲/۵۱	۰/۳۴	۴۱۵/۴	۰/۲۲
رژیم‌های آبیاری(A)	۲	۶/۱۸^{ns}	۲۷/۱۱^{ns}	۰/۰۸۲^{ns}	۰/۰۰۲۸^{ns}	۸/۴۹*	۸۳/۶۶*	۲۱/۵۶^{ns}	۲۳۰۲/۳^{ns}	۱/۵۹ns
خطای الف	۴	۲/۲۹	۰/۵۹	۰/۱۷۳	۰/۰۱۶۴	۰/۸۶	۵/۲۰	۴/۳۱	۷۰۱/۱	۰/۶۴
اسید سالیسیلیک(B)	۱	۲/۹۴^{ns}	۲/۸۳*	۰/۸۵۳^{ns}	۰/۲۴۲۶**	۰/۰۶۰^{ns}	۲۶/۴۶**	۵۰/۰۷**	۲۱۰۶/۸*	۲/۷۹ns
سولفات روی(C)	۲	۲۰/۲۸**	۱/۶۵*	۰/۵۹۴*	۰/۰۵۴۷*	۰/۳۷^{ns}	۲۶/۳۳**	۳۴/۴۴**	۲۰۵۲/۲*	۰/۰۶۵^{ns}
اثر متقابل(A×B)	۲	۰/۶۲۴^{ns}	۱/۲۰^{ns}	۲/۴۱**	۰/۰۲۳۱^{ns}	۱۱/۰۷**	۲۱/۷۰**	۱۱/۶۸^{ns}	۱۰۷/۸^{ns}	۰/۹۵^{ns}
اثر متقابل(A×C)	۲	۰/۳۰۵^{ns}	۱/۶۱*	۰/۹۰۳**	۰/۰۱۹۱^{ns}	۰/۳۵۴^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۹/۶۰۷^{ns}	۵۸۳/۰^{ns}	۶/۰۱**
اثر متقابل(B×C)	۴	۹/۷۲*	۶/۱۵**	۲/۶۵**	۰/۰۶۴۸**	۵/۳۷**	۲۹/۵۹**	۱۲/۶۹*	۹۰۴/۱^{ns}	۰/۹۹^{ns}
اثر متقابل(A×B×C)	۴	۲۲/۴۵**	۵/۵۲**	۰/۲۰۹^{ns}	۰/۰۵۷۱**	۶/۱۶**	۴۶/۶۸**	۲۲/۰۷**	۲۸۹۵/۵**	۱/۲۰^{ns}
خطای ب	۳۰	۱/۰۹۹	۰/۴۷	۰/۱۵۲	۰/۰۱۰۴	۰/۵۳	۳/۰۶	۳/۳۴	۴۵۶/۰	۰/۶۰
ضریب تغییرات(%)	-	۹/۳۶	۱۹/۵۲	۵/۱۳	۲۶/۴	۱۶/۹	۱۶/۱	۱۱/۷	۱۹/۶	۱۳/۱

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد

ادامه جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در زیره سبز با کاربرد اسید سالیسیلیک و روی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۲۱۸۲۶۰/۵۲	۶۹۸۸۱۲/۹۶	۳۹/۷۱	۰/۰۷	۸۴/۰۳
رژیم‌های آبیاری(A)	۲	۷۹۳۱۳۷۸/۱۳**	۱۱۱۲۸۶۹۰/۷۴**	۲۱۵/۴۱**	۶/۰۷**	۱۳۳۴۸/۹۶**
خطای الف	۴	۵۷۲۴۵۵/۸۰	۵۵۶۹۴۶/۳۰	۴۰/۴	۱/۰۴	۴۳۷/۶۲
اسید سالیسیلیک(B)	۱	۱۸۹۲۷۴/۲۴	۴۱۶۲۴۲۲۴/۰۷**	۲۰۲/۱۵*	۰/۵۵**	۳۲۸/۰۷
سولفات روی(C)	۲	۶۴۳۴۳۵/۲۴	۱۴۲۵۱۳۴۶/۳۰**	۲۳۹/۴۲**	۵/۷۸**	۳۱۸/۷۱
اثر متقابل (A×B)	۲	۳۳۰۵۴۶/۸۰	۶۷۶۹۳۰۱/۸۵*	۱۴۶/۵۴*	۰/۰۷*	۲۱۱/۵۵
اثر متقابل (A×C)	۲	۳۴۳۱۷۶۷/۱۳**	۵۶۷۴۲۵۷/۴۱	۲۶۹/۲۹**	۰/۰۵*	۲۲۷۴/۹۴*
اثر متقابل (B×C)	۴	۷۶۴۶۷۸/۳۵	۱۸۶۴۷۲۷۱/۳۰**	۲۰۵/۸۳**	۰/۷۲**	۵۴۰/۳۹
اثرمتقابل (A×B×C)	۴	۱۷۶۳۶۶۵/۵۲**	۱۶۱۲۴۵۲۶/۸۵**	۲۶۳/۲۷**	۰/۰۳	۱۶۲۸/۹۵**
خطای ب	۳۰	۳۱۷۲۶۹/۲۶	۱۸۱۷۳۰۶/۳	۳۶/۷۳	۰/۰۱۵	۲۳۷/۹۴
ضریب تغییرات(%)	-	۱۴/۵۴	۱۸/۴۷	۱۹/۴۶	۴/۰۷	۱۳/۹

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد

تعداد شاخه فرعی و تعداد چتر در بوته

تاثیر رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل اسید سالیسیلیک × سولفات روی، رژیم‌های آبیاری × سولفات روی، رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر تعداد شاخه‌های فرعی در بوته و تعداد چتر در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سه گانه تیمارهای آزمایش نشان داد کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک در تیمار آبیاری پس از۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی دارای بیشترین تعداد شاخه فرعی و تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و کاربرد اسید سالیسیلیک و عدم کاربرد سولفات روی دارای کمترین تعداد شاخه فرعی در بوته بودند (جدول ۴). همچنین نتایج اثرات متقابل نشان داد بین تیمار شاهد و تنش ملایم با کاربرد سولفات روی و

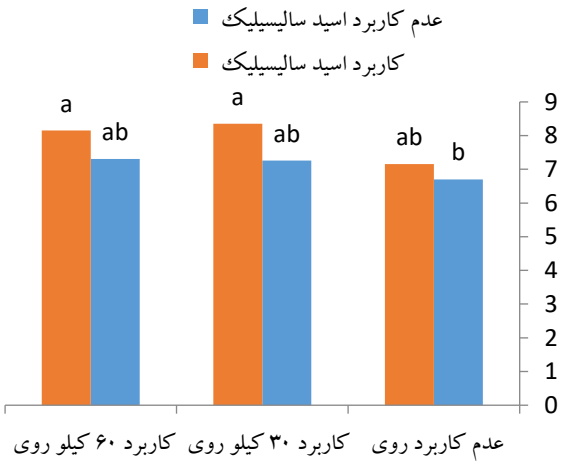
اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری در تعداد شاخه‌های فرعی مشاهده نگردید (جدول ۴). اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر تعداد چتر در بوته نشان داد تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر (تنش ملایم)، عدم کاربرد سولفات روی و کاربرد اسید سالیسیلیک دارای بیشترین تعداد چتر در بوته و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی دارای کمترین تعداد چتر در بوته بودند (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر صفات مورد مطالعه

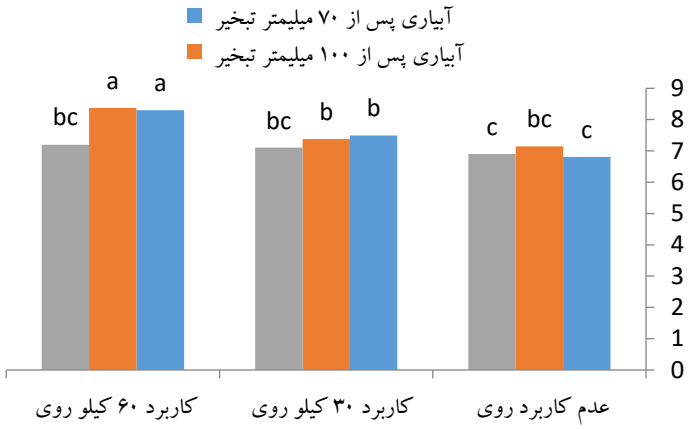
تیمارهای آزمایشی[1]	ارتفاع گیاه	کلروفیل برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	وزن خشک ریشه (گرم)	تعداد شاخه فرعی	تعدادچتر در بوته	تعداد دانه در چتر	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)
$a_1b_1c_1$	۱۷/۶bcd	**bcd** ۲۳/۱	d۰/۳۹	۴/۱de	۹/۲f	۱۵/۴۰cd	h۱۴۲/۱	de ۱۵۹۰/۲	۵۷۵۳d	cd۲۷/۶	g ۳۶/۹
$a_1b_1c_2$	۱۹/۴a-d	bcd۲۲/۳	cd۰/۴۸	۴/۲de	۱۲/۱de	۱۸/۳ ab	e ۲۲۴/۸	de ۱۶۶۱/۷	۷۴۵۷ bc	f۲۲/۳	ef ۴۰/۵
$a_1b_1c_3$	۲۰/۱abc	bcd۲۳/۱	abc۰/۵۷	۴/۱de	۱۰/۵ef	۱۵/۸ cd	gh۱۶۷/۱	cd ۱۹۹۱/۰	۷۰۰۰ c	c۲۸/۴	de ۴۸/۹
$a_1b_2c_1$	۲۰/۷ ab	a ۲۶/۹	ab ۰/۶۱	۶/۲ ab	۱۱/ ۱ ef	۱۶/۷ bc	g ۱۸۴/۵	bc ۲۱۹۴	cd۶۸۷۰	b ۳۱/۹	d ۵۱/۵
$a_1b_2c_2$	۱۹/۳a–d	a ۲۶/۱	a۰/۶۵	۵/۱bcd	۱۲/۶de	۱۶/۸ bc	ef۲۱۱/۳	b ۲۳۵۰	bc۷۴۱۳	b ۳۱/۷	c ۵۸/۹
$a_1b_2c_3$	۱۸/۶bcd	bcd۲۳/۱	bc۰/۵۶	۶/۴a	۱۳/۱cde	۱۶/۵ bc	e ۲۱۶/۹	a ۲۶۵۹	۷۷۰۷ b	a ۳۴/۵	b ۶۸/۱
$a_2b_1c_1$	۱۷/۰bcd	cde ۱۹/۵	cd ۰/۴۳	۴/۲de	۱۲/۸cde	۱۵/۶ cd	f ۲۰۱/۱	e۱۵۰۰/۳	۵۶۶۷ de	d ۲۶/۴	ef ۴۱/۴
$a_2b_1c_2$	۱۸/۷bcd	bc ۲۳/۷	bcd ۰/۵۲	۴/۱de	۱۳/۱cde	۱۶/۸ bc	e ۲۲۰/۶	de۱۶۳۲/۲	۷۵۳۷bc	f ۲۱/۶	d ۵۱/۷
$a_2b_1c_3$	۱۹/۲a–d	b ۲۵/۹	bc۰/۵۶	۴/۲ de	۱۳/۹cd	۱۷/۴ b	d ۲۴۲/۸	d۱۷۱۴/۲	۷۵۶۷ bc	ef ۲۳/۰	f ۴۰/۵
$a_2b_2c_1$	۱۵/۸cd	bcd ۲۲/۹	bcd۰/۵۴	۴/۸cde	۱۷/۴a	۱۷/۳ b	b ۳۰۱/۵	c۲۰۷۴	۶۹۳۳ c	bc ۲۹/۹	c ۵۸/۱
$a_2b_2c_2$	۱۷/۴bcd	bcd۲۳/۸	bcd۰/۵۶	۴/۹cde	۱۵/۳bc	۱۸/۸ ab	c ۲۸۸/۷	b ۲۲۹۴	۷۸۲۰ b	bc ۲۹/۳	b ۶۷/۴
$a_2b_2c_3$	۲۳/۴a	a ۲۶/۵	ab ۰/۶۱	۵/۱bcd	۱۶/۲b	۱۹/۵ a	a ۳۱۵/۹	ab ۲۵۰۱	۸۱۸۰ a	bc ۳۰/۵	a ۷۴/۵
$a_3b_1c_1$	۱۶/۹bcd	e ۱۵/۹	bcd۰/۴۹	۳/۶de	۸/۵fg	۱۲/۹e	ij ۱۱۰/۸	h ۱۰۰۹	۴۷۰۷g	f ۲۱/۴	h ۳۱/۲
$a_3b_1c_2$	۱۵/۵bcd	cde ۲۰/۵	bcd۰/۵۱	۳/۱de	۸/۱fg	۱۴/۱ d	i ۱۱۳/۵	gh۱۲۲۰	fg۴۹۰۹	e ۲۴/۸	f ۳۹/۱
$a_3b_1c_3$	۱۸/۲bcd	cde۲۱/۹	bcd ۰/۵۱	۳/۲de	۶/۹h	۱۳/۶ de	j ۹۴/۷	fgh۱۱۸۰	۵۱۰۷ f	ef ۲۳/۱	f ۳۸/۳
$a_3b_2c_1$	۲۰/۱abc	cde۲۴/۵	bcd۰/۵۰	۳/۹de	۱۰/۱ef	۱۴/۰d	h ۱۴۲/۱	fgh۱۲۱۰	۵۲۰۴ef	ef ۲۳/۲	fg ۳۷/۷
$a_3b_2c_2$	۲۰/۷ab	de۱۷/۱	bcd۰/۵۲	۴/۵cde	۸/۷fg	۱۵/۱ cd	hi ۱۳۳/۱	fg۱۲۶۰	ef۵۲۷۰	ef ۲۳/۹	ef ۴۱/۷
$a_3b_2c_3$	۱۸/۸bcd	e ۱۶/۱	bc۰/۵۹	۳/۹de	۹/۲efg	۱۶/۵bcd	gh ۱۵۲/۱	f ۱۲۹۳	۵۴۰۰ e	ef ۲۳/۹	e ۴۳/۵

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۱: a_1 : آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر، a_2: آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر ،a3: آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر b_1: عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، b_2: کاربرد یک میلی مولار اسید سالیسیلیک، c_1: عدم کاربرد سولفات روی، c_2: کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، c_2: کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی



شکل ۱. اثر متقابل اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر طول ریشه



شکل ۲ . اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سولفات روی بر طول ریشه (سانتی‌متر)

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات مورد مطالعه

تیمارهای آزمایشی	طول ریشه (سانتی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)	درصد اسانس
a_1b_1	۷/۳۱b	۶/۰۲b	۲/۳۸e
a_1b_2	۷/۵۸ab	۷/۱۴a	۲/۴۵e
a_2b_1	۷/۵۸ab	۵/۸۰b	۲/۹۲d
a_2b_2	۸/۳۸a	۵/۷۰b	۳/۱۷c
a_3b_1	۷/۴۶b	۵/۵۰b	۳/۴۴b
a_3b_2	۷/۶۵ab	۵/۴۵b	۳/۷۲a

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

۱: a_1 : آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر، a_2: آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر ،a_3: آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر b_1: عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، b_2: کاربرد یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک

تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه

تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی و اثرات متقابل دو گانه و سه گانه تیمارها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی در تعداد دانه در چتر نشان داد تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و کاربرد اسید سالیسیلیک و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی دارای بیشترین تعداد دانه در چتر و تعداد دانه در بوته به تعداد ۱۹/۵ و ۳۱۵/۹ و تیمار تنش شدید و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و عدم کاربرد سولفات روی دارای کمترین تعداد دانه در چتر به تعداد ۱۲/۹ عدد و تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر، عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین تعداد دانه در بوته و به تعداد ۹۴ عدد بودند (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد هم در شرایط رطوبتی و هم شرایط تنش، کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی باعث افزایش تعداد دانه گردید (جدول ۴). تاثیر رژیم‌های آبیاری، اسید سالیسیلیک و وسولفات روی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). اثر متقابل رِژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه نشان داد آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و کاربرد اسید سالیسیلیک دارای بیشترین وزن هزار دانه و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک، عدم استفاده از سولفات روی و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی دارای کمترین وزن هزار دانه بودند (جدول ۵).

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

تاثیر رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک و رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، اسید سالیسیلیک و آبیاری به مقدار تیمار شاهد با تولید ۲۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و تیمار تنش شدید و عدم کاربرد سولفات روی و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک با تولید ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را تولید کرد (جدول ۴). کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی هم در شرایط مطلوب و هم تنش رطوبتی باعث افزایش عملکرد دانه گردید.

عملکرد بیولوژیکی گیاه به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آزمایش و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه تیمارها قرار گرفت (جدول ۳). نتایج اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (تنش ملایم) و کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای بیشترین عملکرد بیولوژیکی و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی دارای کمترین عملکرد بیولوژیکی بودند (جدول ۴). کاربرد منفرد و یا توام اسید سالیسیلیک و سولفات روی، هم در شرایط شاهد و هم در شرایط تنش رطوبتی منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی گردید (جدول ۴).

شاخص برداشت

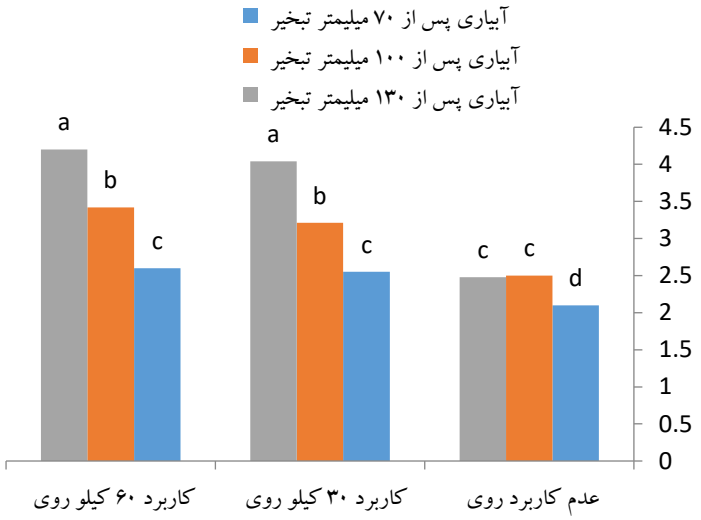
تاثیر رژیم‌های آبیاری، اسید سالیسیلیک، سولفات روی و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه آنها بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک و آبیاری شاهد دارای بیشترین و تیمار تنش شدید و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای کمترین شاخص برداشت بودند (جدول ۴). این تیمارها بترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه نیز بودند. اگرچه تاخیر در آبیاری منجر به کاهش شاخص برداشت گردید، کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی باعث افزایش شاخص برداشت در این تیمارها گردید (جدول ۴).

درصد اسانس و عملکرد اسانس

درصد اسانس به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، اسید سالیسیلیک، سولفات روی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری× اسید سالیسیلیک، رژیم‌های آبیاری × سولفات روی و اسید سالیسیلیک × سولفات روی قرار گفت (جدول ۳). میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک نشان داد تیمارهای آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد اسید سالیسیلیک دارای بیشترین درصد اسانس و آبیاری شاهد و عدم کاربرد اسید سالیسیک دارای کمترین درصد اسانس بودند (شکل ۳). همچنین اثر متقابل آبیاری × سولفات روی نشان داد تیمار تنش شدید و کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی دارای بیشترین درصد اسانس و آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و عدم کاربرد سولفات روی دارای کمترین درصد اسانس بودند (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای بیشترین و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای کمترین درصد اسانس بودند (شکل ۴).

تاثیر رژیم‌های آبیاری و اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک، رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × اسید سالیسیلیک × سولفات روی نشان داد آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیک دارای بیشترین عملکرد اسانس و آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و عدم کاربرد سولفات روی و اسید سالیسیلیک دارای کمترین عملکرد اسانس بودند (جدول ۴).

شکل ۳. اثر متقابل اسید سالیسیلیک و سولفات روی بر درصد اسانس



شکل ٤. اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سولفات روی بر درصد اسانس (درصد)

بحث

همانطور که در بالا اشاره شد با افزایش تنش خشکی ارتفاع گیاه به میزان ۴/۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی توسط سایر محققان گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Baghalian et al., 2008؛ Bettaieb et al., 2009؛ رضائی‌علولو و همکاران، ۱۳۹۸). کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول بخصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود، به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی بر گیاه را میتوان از روی کاهش ارتفاع تشخیص داد (Shibli et al., 2007). افزایش ارتفاع بوته با کاربرد اسید سالیسیلیک در کارلا (*Momordica charantia* L.) (رضایی‌علوعلو و همکاران، ۱۳۹۸)، منداب (Mazaheri Tirani et al., 2012)، رازیانه (شمس‌الدین سعید و همکاران، ۱۳۹۷) نیز گزارش گردید. اسید سالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین‌های خاصی به نام پروتئین کیناز، فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل رشد و تکامل گیاه را تنظیم می‌کند و نقش موثری در افزایش ارتفاع گیاه دارد (Hayata et al., 2010). افزایش ارتفاع با کاربرد روی در این آزمایش با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (ریاضی و همکاران، ۱۳۹۵؛ عمارت‌پرداز و همکاران، ۱۳۹۵). روی یکی از فاکتورهای مهم تاثیر گذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سنتاز بوده و با توجه به این که اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش ماده تولید اکسین عمل کرده، لذا با افزایش تولید اکسین، تشدید چیرگی رأسی و متعاقب آن افزایش رشد طولی شاخساره‌ها دور از انتظار نخواهد بود (Misra et al., 2005).

با افزایش دور آبیاری از ۷۰ به ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی میزان کلروفیل برگ از ۲۴/۱ به ۱۹/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش یافت. کاهش مقدار کلروفیل در گیاه پنبه (Massacci et al., 2008)، کارلا (رضائی‌علوعلو و همکاران، ۱۳۹۸) تحت تنش خشکی گزارش شده است. کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیباتی مانند پرولین باشد. شرایط تنش موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل قرار گیرد (حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۱). در بررسی حاضر سالیسیلیک اسید سبب افزایش مقدار کلروفیل کل گردید که می‌تواند به دلیل افزایش توان آنتی‌اکسیدان‌های سلولی، سنتز پروتئین‌های جدید باشد که از دستگاه‌های فتوسنتزی حمایت می‌کند (Alfonso & Martin Mex, 2007). این نتایج با یافته‌های عسگری (۱۳۹۳) بر روی گیاه رازیانه همسو می‌باشد. افزایش کلروفیل یا کاربرد روی با نتایج میرانصاری و همکاران (۱۳۹۴) در شوید، پیرزاد و همکاران (۱۳۹۲) در گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) مطابقت دارد. به نظر می‌رسد که این افزایش می‌تواند ناشی از نقش عملکردی روی در فعال‌سازی پروتئین سنتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون‌ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (قربانلی، ۱۳۸۵).

نتایج آزمایش فوق نشان داد افزایش دور آبیاری از شاهد به تنش ملایم باعث افزایش طول ریشه گیاه از ۷/۴۴ به ۷/۹۸ سانتی‌متر گردید. گیاهان در مقابله با اثرات منفی تنش خشکی، سیستم ریشه‌ای خود را گسترش می‌دهند (امیری و همکاران، ۱۳۹۶). افزایش طول ریشه در گیاهانی که در شرایط تنش خشکی رشد می‌کنند به علت جذب بهتر رطوبت و عناصر غذایی از خاک، صفتی مطلوب محسوب

شده و تا حدود زیادی برای ادامه حیات گیاهان حائز اهمیت است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش طول و وزن ریشه گیاه *Stellaria dichotoma* (Zhang et al., 2017)، گلایول (Kumar et al., 2011)، فریزیا (رضوانی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) با کاربرد اسید سالیسیلیک گزارش گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. کاربرد اسید سالیسلیک با افزایش تقسیم سلولی در ناحیه مریستم ریشه، افزایش هورمون اکسین و جیبرلین و کاهش هورمون آبسیزیک اسید باعث بهبود رشد و توسعه ریشه گیاه می‌شود (Hussein et al., 2006). تاثیر روی بر بهبود رشد ریشه ذرت (افشارنیا و همکاران ۱۳۹۲؛ رشیدی‌فرد و همکاران، ۱۴۰۰)، کلزا (صفری‌زرگانی و همکاران، ۱۳۹۹) نیز گزارش شده است. Rizwan et al. (2015) مشاهده کردند که روی باعث افزایش خصوصیات رشدی گیاه از قبیل ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گردید. احتمال می‌رود که عنصر روی از طریق تأثیر بر سیستم‌های آنزیمی و نیز تنظیم سرعت واکنش‌های متابولیکی اثرات مثبت خود را بر روی این شاخص‌ها اعمال می‌کند (Sheteiwy et al., 2016).

نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری از ۷۰ به ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، تعداد تعداد چتر در بوته از ۱۱/۴۳ به ۸/۵۸ عدد کاهش یافت. کاهش تعداد چتر در بوته با اعمال تنش خشکی در زیره سبز در مطالعات سایر محققین نیز گزارش گردیده است (نخ زری‌مقدم، ۱۳۸۸؛ یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). در شـرایط تنش به دلیل جذب کمتر نیتروژن، باروری شاخه فرعی کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه بر تعداد چتـر در بوتـه تاثیر می‌گذارد. از طرفی در شرایط نرمال رطوبتی گیاه به دلیـل فـراهم بودن شرایط مناسب رشد از طریق افزایش تولید شاخه فرعـی بارور می‌تواند باعث افزایش تعـداد چتـر در گیـاه و در نهایـت افزایش عملکرد شود (کریمی‌افشار و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در زیره سبز (فاضلی‌کاخکی و همکاران، ۱۳۹۵)، سویا (اکرمی‌وشته و همکاران، ۱۳۹۱) با کاربرد روی گزارش شده است. مطالعات قبل نشان داده است که کاربرد عنصر روی باعث افزایش تعداد پنجه در گندم شده است. کاربرد روی موجب افزایش میزان ایندول استیک اسید در گیاه می‌شود که نتیجه آن افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و طول آن‌ها می‌شود (Shaheen et al., 2007). تاثیر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش شاخه‌های فرعی و تعداد چتر در بوته رازیانه (شمس‌الدین سعید و مرادی، ۱۳۹۷)، افزایش تعداد غلاف در بوته نخود (Khademian & Yaghoubian, 2018) و لوبیا (شوقیان و روزبهانی، ۱۳۹۶) بواسطه کاهش اثرات تنش کم آبی، با افزایش تشکیل گل در بوته و جلوگیری از سقط شدن گل‌ها گزارش گردیده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که تعداد دانه در بوته در تیمار شاهد در مقایسه با تنش شدید از ۱۹۱/۱۱ به ۱۲۴/۳۸ عدد کاهش یافت. کاهش تعداد دانه در گیاه در شرایط خشکی با نتایج سایر محققان (سپهری و همکاران، ۱۳۹۴؛ رضائی‌علوعلو و همکاران، ۱۳۹۸؛ محمدی ساردو و همکاران، ۱۴۰۲) مطابقت دارد که بیان کردند تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آنها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های موثر بر این فرآیند شده و قابلیت تولید گل در واحد سطح را کاهش و در نتیجه تعداد دانه در بوته را کاهش می‌دهد (Margarita et al., 2006). کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش تعداد دانه گردید که با نتایج سایر محققان همسو می‌باشد (اسفینی‌فرهانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جامی و همکاران، ۱۳۹۴؛ شمس‌الدین سعید و مرادی، ۱۳۹۷). افزایش مشاهده شده در تعداد دانه در بوته، با کاربرد برگی اسید سالیسیلیک در شرایط کم آبی را این گونه می‌توان توجیه کرد که اسید سالیسیلیک نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مثل بسته شدن روزنه‌ها، افزایش محتوای کلروفیل و میزان فتوسنتز دارد و در نتیجه افزایش تولید دانه را موجب می‌شود (Popova et al., 2003). افزایش تعداد دانه در بوته در زیره سبز (یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳) و لوبیا (فتح‌اله‌پور گرانگاه و همکاران، ۱۴۰۰) با کاربرد روی در شرایط تنش خشکی گزارش شده که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. عنصر کم مصرف روی تاثیر زیادی در کاهش اثرات سوء تنش کم آبی در گیاهان زراعی دارد. گزارش شده است که در شرایط تنش کم آبی، کاربرد عناصر کم مصرف به دلیل جذب و اثر بخشی سریع باعث افزایش سطح برگ، افزایش فتوسنتز و جلوگیری از سقط گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد دانه می‌شود (فتح‌اله‌پور گرانگاه و همکاران، ۱۴۰۰).

با افزایش فاصله آبیای از ۷۰ به ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی منجر وزن هزار دانه از ۶/۵۸ به ۵/۴۷ گرم کاهش یافت. کاهش وزن دانه در اثر خشکی توسط سایر محققان نیز گزارش گردیده است (دهقان‌زاده، ۱۳۹۸). پیشوا و همکاران (۱۴۰۰) هم کاهش وزن هزار دانه زیره سبز در تنش شدید خشکی را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. کاهش وزن دانه در اثر تنش خشکی می‌تواند در نتیجه کاهش طول مراحل رشد رویشی و زایشی در اثر تنش رطوبتی باشد که باعث کوتاه شدن دوره موثر پر شدن دانه و نیز کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی شده و در نهایت باعث کاهش وزن دانه در شرایط تنش گردد (دهقان‌زاده، ۱۳۹۵). افزایش وزن دانه با کاربرد اسید سالیسیلیک توسط شوقیان و روزبهانی (۱۳۹۶)، محمدی ساردو و همکاران (۱۴۰۲)، غلامی و همکاران (۱۴۰۰)، شمس‌الدین سعید و مرادی (۱۳۹۷) گزارش گردید. افزایش میانگین وزن دانـه‌هـا در اثـر کـاربرد سالیسـیلیک اسـید می‌تواند به دلیل افزایش فتوسنتز برگ و مواد

پـروده و یـا حتـی طولانی شدن دوره سبزمانی برگ‌ها بـوده باشـد (امام و جهانی دوقزلو، ۱۳۹۶). افزایش وزن دانه در شرایط خشکی با کاربرد روی با نتایج مهرین فر و همکاران (۱۴۰۲)، ضیایی و همکاران (۱۴۰۲)، یزدانی‌چم‌حیدری و همکاران (۱۳۹۳)، گیدسکی و برادران (۱۳۹۷) به واسطه نقش عنصر روی در فرآیندهای فتوسنتزی و تجمع هیدرات‌های کربن همسو می‌باشد.

خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گردید، به طوری که عملکرد دانه از ۲۶۵۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد به ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار در تنش شدید کاهش یافت. پیشوا و همکاران (۱۴۰۰) کاهش ۳۵ درصدی عملکرد دانه در تنش شدید در مقایسه با شاهد و یزدانی چم‌حیدری وهمکاران (۱۳۹۳) کاهش ۱۲/۵ درصدی عملکرد دانه در شر شرایط تنش شدید در مقایسه با شاهد را گزارش کردند. کاهش عملکرد دانه در شرایط خشکی بواسطه کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه، افزایش ریزش گل‌ها و کاهش وزن دانه در مطالعات سایر محققان گزارش شده است (پیشوا و همکاران، ۱۴۰۰؛ یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ دهقان‌زاده، ۱۳۹۵) که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش با کاربرد اسید سالیسیلیک در گزارش سایر محققان نیز گزارش گردیده است (Hayata et al., 2010؛ چمنی و همکاران، ۱۳۹۷؛ محمدی ساردو و همکاران، ۱۴۰۲). Hayata et al. (2010) در مطالعه اثر تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید بر گیاه شنبلیله گزارش کردند که تنش خشکی سبب سقط جنین در برخی از غلاف‌های گیاه شده که در نتیجه باعث ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود، اما کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید از طریق افزایش پایداری غشا، هدایت روزنه‌ای و باز نگهداشتن روزنه‌ها از تجمع یون‌های سمی جلوگیری کرده و در نهایت با افزایش در سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی از کاهش اجزای اصلی عملکرد دانه جلوگیری نموده و از این طریق منجر به افزایش عملکرد نسبت به شرایط تنش خشکی بدون کاربرد سالیسیلیک اسید شده است. افزایش عملکرد دانه در شرایط خشکی با کاربرد روی در گلرنگ (ضیائی و همکاران، ۱۴۰۲)، ارزن معمولی (گیدسکی و برادران، ۱۳۹۷)، ماش (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱)، زیره سبز (یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ فاضلی‌کاخکی و همکاران، ۱۳۹۵) نیز گزارش گردیده است. عنصر روی به عنوان اجزای فلزی آنزیم‌های مختلف عمل می‌کند و همچنین به عنوان یک کوفاکتور عملکردی، ساختاری و تنظیمی در ارتباط با متابولیسم ساکارید، فتوسنتز و ساخت پروتئین نقش دارد. از این رو عنصر روی احتمالاً عملکرد محصول را افزایش می‌دهد (عباسی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین عنصر روی به دلیل نقش مهمی که در متابولیسم پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین رنگدانه‌های فتوسنتزی دارد می‌تواند باعث افزایش توان فتوسنتزی و تولید محصول شود (مرادی تلاوت و همکاران، ۱۳۹۴). بهبود عملکرد زیستی با کاربرد اسید سالیسیلیک (Mehrabian Maoghaddam et al., 2011)؛ مشایخی و آتشی، ۱۳۹۱؛ شمس‌الدین سعید و مرادی ۱۳۹۷؛ رضائی علوعلو و همکاران، ۱۳۹۸) و کاربرد روی (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ یزدانی جم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ میرانصاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ عباسی و همکاران، ۱۴۰۱) در شرایط خشکی بواسطه بهبود اثرات خشکی از طریق افزایش توان فتوسنتزی و تولید محصول گزارش شده که به نتایج این بررسی همسو می‌باشد.

با افزایش خشکی از شاهد به تنش ملایم و تنش شدید، شاخص برداشت بترتیب ۲۹/۴، ۲۶/۸ و ۲۳/۲ درصد به دست آمد. کاهش شاخص برداشت در شرایط خشکی به واسطه تاثیر خشکی بر کاهش اجزای عملکرد دانه با نتایج دهقان‌زاده (۱۳۹۵)؛ یزدانی چم‌حیدری وهمکاران (۱۳۹۳) و پیشوا و همکاران (۱۴۰۰) همسو می‌باشد. یزدانی چم‌حیدری وهمکاران (۱۳۹۳) هم با افزایش دور آبیاری از ۵ به ۱۰ روز گزارش کردند که شاخص برداشت زیره سبز از ۳۴/۳۸ به ۳۰/۸۲ درصد کاهش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. با اعمال تنش خشکی، به دلیل کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد بیولوژیکی بیشتر است. از این رو، شاخص برداشت، کاهش می‌یابد و هر چه تنش خشکی شدیدتر گردد شاخص برداشت، کاهش بیشتری نشان می‌دهد (فرنیا و همکاران، ۱۳۸۵). از طرفی محلول‌پاشی سولفات روی باعث افزایش شاخص برداشت شد، لذا به نظر می‌رسد سولفات روی با تقویت سیستم فتوسنتزی گیاه سبب تخصیص مواد پرورده به دانه‌ها شده و در نتیجه باعث افزایش شاخص برداشت شده است (ضیائی و همکاران، ۱۴۰۲). یزدانی چم‌حیدری و همکاران (۱۳۹۳) هم افزایش شاخص برداشت زیره سبز با کاربرد سولفات روی را گزارش کردند. افزایش شاخص برداشت در گلرنگ (بالجانی و شکاری، ۲۰۱۲)، گیاه گوار (محمدی ساردو و همکاران، ۱۴۰۲)، رازیانه (شمس‌الدین سعید و مرادی، ۱۳۹۷)، ذرت (Mehrabian Moghaddam ET AL., 2011) با کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی گزارش گردیده است. سالیسیلیک اسید بواسطه القاء واکنش‌های ضد تنشی نظیر افزایش تولید آبسیزیک اسید، پرولین، غلظت کلروفیل و پایداری غشاء سلولی تحت تنش خشکی منجر به حفظ رطوبت برگ شده، محتوی نسبی آب برگ بیشتر باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش و نهایتا افزایش شاخص برداشت می‌شود (محمدی ساردو و همکاران، ۱۴۰۲).

درصد اسانس در تیمارهای شاهد، تنش ملایم و تنش شدید بترتیب ۲/۴۱، ۳/۰۵ و ۳/۵۸ درصد بود. افزایش درصد اسانس در شرایط

تنش توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (فرهودی و مکی‌زاده تفتی، ۱۳۹۱؛ یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ شمس‌الدین سعید و مرادی، ۱۳۹۷). تا زمانی که آب و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است گیاه کربن را ترجیحا برای رشد اختصاص می دهد ولی با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد (پوریوسف، ۱۳۹۳). افزایش درصد اسانس با کاربرد اسید سالیسیلیک با نتایج مشایخی و همکاران (۱۳۹۸) در بابونه آلمانی، بهرام‌نژاد و صفاری (۱۳۹۳) جلالوند و همکاران (۱۳۹۸) در بادرشبویه، جامی و همکاران (۱۳۹۴) در سیاه دانه در شرایط تنش خشکی گزارش گردیده که با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. اسید سالیسیلیک با کاهش سطح برگ ناشی از تنش خشکی، تعداد غده‌های مترشحه اسانس در واحد سطح برگ را افزایش می‌دهد و موجب افزایش وزن اندام هوایی می‌گردد و درنتیجه درصد اسانس را افزایش می‌دهد (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). تاثیر روی بر افزایش اسانس در چای ترش (فتحی و بهامین، ۱۳۹۷)، مریم گلی (ریاضی و همکاران، ۱۳۹۵)، زیره سبز (یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳) در شرایط خشکی گزارش گردیده است. مصرف عناصر ریز مغذی نظیر روی سبب افزایش رشد گیاه و افزایش ترکیبات آروماتیکی و اسانس در گیاهان دارویی می‌شود (میرانصاری و همکاران، ۱۳۹۴). آزادواری و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک با افزایش عملکرد دانه و درصد اسانس ریحان، منجر به افزایش عملکرد اسانس می‌گردد. افزایش عملکرد اسانس در نعناع فلفلی (حیدری و همکاران، ۱۳۸۷)، زیره سبز (یزدانی چم‌حیدری و همکاران، ۱۳۹۳)، آنیسون (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲) نیز با کاربرد روی گزارش گردیده است. از آنجایی که عملکرد اسانس برآیندی از درصد اسانس و عملکرد دانه می‌باشد، میتوان دریافت که علت اصلی بالا بودن عملکرد اسانس در شرایط عدم تنش و کاربرد سالیسیلیک اسید و سولفات روی، بالا بودن عملکرد دانه در این تیمارها بوده است. در شرایط تیمار تنش آبی، با وجود این که درصد اسانس افزایش یافته بود ولی مقدار کاهش عملکرد دانه به قدری بود که عملکرد اسانس نیز به تبع آن کاهش یافت و به عبارتی کاهش عملکرد اسانس تحت تیمار تنش را میتوان به کاهش عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی نسبت داد (شمس‌الدین سعید و مرادی، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد کاربرد اسید سالیسیلیک و سولفات روی هم در شرایط شاهد و هم تنش رطوبتی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گردید. اگر چه با کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک و با افزایش دور آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی عملکرد دانه ۶ درصد کاهش یافت، ضمن کاهش ۲۵/۸ درصدی آب آبیاری، عملکرد اسانس ۶/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. بنابراین می‌توان با آبیاری زیره سبز پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی و کاربرد توام ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و اسید سالیسیلیک ضمن کاهش مصرف آب آبیاری، عملکرد دانه کاهش ناچیزی داشته باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

آزادواری، حسین؛ نعیمی، معصومه؛ قلی زاده، عبدالطیف و نخزری مقدم، علی. (۱۳۹۹). تأثیر نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، *پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۸(۱): ۱۲۵-۱۳۷.*

اسفینی فراهانی، مجید؛ پاک‌نژاد، فرزاد؛ بختیاری‌مقدم، مجید؛ علوی، صغری و حسیبی، علیرضا. (۱۳۹۱). اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزاء عملکرد زیره سبز، *زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۸(۳): ۶۹-۷۷.*

افشارنیا، مهناز؛ علی اصغرزاد، ناصر؛ حاجی‌بلند، رقیه؛ اوستان، شاهین و توسلی، علیرضا. (۱۳۹۲). تأثیر کمبود روی بر رشد، درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه و جذب روی، فسفر و آهن در گیاه ذرت، *پژوهش های خاک. ۲۷(۲): ۱۴۹-۱۵۸.*

آقاعلیخانی، مجید، ایرانپور، آیدا و نقدی‌بادی، حسنعلی (۱۳۹۲). تغییرات عملکرد زراعی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* .*Moench* L) تحت تأثیر اوره و کود زیستی، *فصلنامه گیاهان دارویی، ۱۲ (۴۶) :۱۲۱-۱۳۶.*

اکبری‌نیا، احمد؛ قلاوند، امیر؛ سفیدکن، فاطمه؛ رضایی، محمدباقر و شریفی عاشورآبادی، ابراهیم. (۱۳۸۲). بررسی تاثیر کودهای شیمیایی، دامی و تلفیقی بر عملکرد و میزان ترکیبات اسانس دانه گیاه دارویی زنیان، *پژوهش و سازندگی، (پی آیند ۶۱) در زراعت و باغبانی، ۱۶(۴):۳۲-۴۱.*

اکرمی وشته، مریم؛ وزان، سعید و گل‌زردی، فرید. (۱۳۹۱). بررسی تاثیر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glyssine Max*)، *پژوهش در علوم زراعی، ۴(۱۶)*، ۳۹-۵۲.

امام، یحیی و جهانی دوقزلو، مریم. (۱۳۹۶). تأثیر سالیسیلیک اسید و براسینواستروئید در تعدیل اثرات تنش آبی در دو رقم گندم. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۷(۱): ۱۲۷-۱۳۹.

امیری، ایوب؛ اسمعیل‌زاده بهابادی، صدیقه؛ یداللهی ده‌چشمه، پرویز و سیروس‌مهر، علیرضا. (۱۳۹۶). نقش محلول پاشی سالیسیلیک اسید و کیتوزان در شرایط تنش کم آبی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد روغن گلرنگ، *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴۱(۱۱): ۶۹-۸۴*

بابایی، کیوان؛ امینی‌دهقی، مجید؛ مدرس ثانوی، سید علی‌محمد و جباری، رضا. (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris* L.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۶(۲): ۲۳۹-۲۵۱.*

بالجانی، رامین و شکاری، فرید. (۱۳۹۱). تاثیر پیش‌تیمار با سالیسیلیک اسید بر روابط شاخص‌های رشد و عملکرد در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل، *دانش کشاورزی وتولید پایدار*, ۲۲(۱): ۸۷-۱۰۸.

بهرام نژاد، روشنک و صفاری، مهری. (۱۳۹۳). اثر پیش‌تیمارهای مختلف بذر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس رازیانه (*Foeniculam vulgar* Mill.)در شرایط تنش آب، *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۵(۱): ۱۴-۲۹.*

بیات، حسن؛ مردانی، حسین؛ آرویی، حسین و سلاح‌ورزی، یحیی. (۱۳۹۱). تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانهال‌های خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) تحت شرایط تنش خشکی، *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۱۸(۳): ۶۳-۷۶.

بی‌نام. (۱۳۹۹). زیره سبز (*Cuminum Cyminum* L). سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان. http://www.agri-es.ir/Default.aspx?tabid=4579

پوریوسف، مجید. (۱۳۹۳). تأثیر تنش خشکی انتهای فصل و زمان برداشت بر عملکرد دانه و محتوای اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)، *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۰(۶): ۸۸۹-۸۹۷*

پیرزاد، علیرضا؛ طوسی، پری و درویش زاده، رضا. (۱۳۹۲). اثر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر صفات گیاهی و میزان اسانس آنیسون، *نشریه علوم زراعی ایران، ۱۵ (۱) :۱۲-۲۳.*

پیشوا، زینب کبری؛ امینی‌دهقی، مجید؛ بستانی، امیر و ناجی، امیرمحمد. (۱۴۰۰). اثر تیمارهای کودی نیتروژن بر صفات عملکردی، درصد اسانس و مقدار نیتروژن ساقه و برگ زیره سبز تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در منطقه جنوب تهران. *به زراعی کشاورزی*، ۲۳(۳): ۶۰۷-۶۱۹.

جامی، نجمه؛ موسوی نیک، سید محسن و نقی‌زاده، مهدی. (۱۳۹۴). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر عملکرد کمی و کیفی سیاهدانه در شرایط آب‌وهوایی کرمان، *به زراعی کشاورزی، ۱۷* (۳): ۸۲۷-۸۴۰.

جلالوند، علی؛ عندلیبی، بابک؛ توکلی، افشین و مرادی، پرویز. (۱۳۹۸). تأثیر سالیسیلیک اسید و سایکوسل بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش خشکی، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۳): ۸۶۵-۸۷۶*

چمنی، فرامرز؛ توحیدی‌نژاد، عنایت الله و مهیجی، مهدی. (۱۳۹۷). اثر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیک و زراعی گوار (*Cymposis tetragonoloba* L.) تحت تنش خشکی، *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۲(۴): ۵۶-۵۸۰.*

حسن‌زاده، کیانوش؛ همتی، خدایار و علیزاده، مهدی. (۱۳۹۵). اثر کودهای آلی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و برخی متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). *پژوهش‌های تولید گیاهی*, ۲۳(۱) : ۱۰۷-۱۳۰.

حسن‌لی، علی مراد. (۱۳۷۹). روش‌های گوناگون اندازه‌گیری آب (هیدرومتری). *انتشارات دانشگاه شیراز. ۲۸۲ صفحه.*

حسین‌زاده، سعیدرضا؛ سلیمی، اعظم و گنجعلی، علی. (۱۳۹۰). تأثیر متانول بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۴(۲): ۱۳۹-۱۵۰.*

حسینی، سیده زینب؛ برزگر، طاهر؛ نیکبخت، جعفر و قهرمانی، زهرا. (۱۳۹۸). اجزای عملکرد، کیفیت نیام و دانه لوبیا سبز در شرایط تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و مگافول، *دانش کشاورزی وتولید پایدار*, ۲۹(۳): ۹۵-۱۱۱.

حقیرالسادات، بی‌بی فاطمه؛ وحیدی، علیرضا؛ صبور، محمدحسین؛ عظیم‌زاده، مصطفی؛ کلانتر، سیدمهدی و شرف الدینی، مریم. (۱۳۹۰). بررسی ترکیبات موثره و خواص آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاه دارویی زیره سبز (Cuminum Cyminum L) بومی استان یزد، *مجله دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ۱۹(۴ (پیاپی ۷۹))، ۴۷۲-۴۸۱.*

حیدری، فاطمه؛ زهتاب سلماسی، سعید؛ جوانشیر، عزیز؛ آلیاری، هوشنگ و دادپور، محمدرضا. (۱۳۸۷). تأثیر نحوه مصرف ریز مغذی‌ها و تراکم بوته بر عملکرد و اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۴(۱): ۱-۹.

حیدری شریف آباد، حسین. (۱۳۸۱). گیاه و شوری، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، ۱۷۵ صفحه.

دهقان‌زاده، حمید. (۱۳۹۵). تاثیر رژیم‌های آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گندم در اصفهان، اکوفیزیولوژی گیاهی، ۲۴(۸): ۲۵-۳۴.

دهقان‌زاده، حمید. (۱۳۹۸). رزیابی برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی موثر بر رشد و عمکرد دانه سه رقم گندم تحت شرایط تنش خشکی، *تنش‌های*

محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۲): ۳۶۵-۳۷۵.

رشیدی‌فرد، عاطفه چرم، مصطفی؛ نوروزی مصیر، مجتبی و روشنفکر، حبیب اله. (۱۴۰۰). اثر پیش تیمار بذر با هیومیک اسید و روی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک گیاهچه ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط شور، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۴(۴): ۱۱۵-۱۲۵.*

رضایی‌علولو، افسون؛ خیری، عزیزاله؛ ثانی‌خانی، محسن و ارغوانی، مسعود. (۱۳۹۸). اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و گلایسین بتائین بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیکی کارلا (*Momordica charantia* L.) تحت تنش کم‌آبی، *دانش کشاورزی و تولید پایدار*،۲۹ (۱): ۲۲۳-۲۳۵.

رضوانی‌پور، شیرین؛ حاتم‌زاده، عبداله؛ الهی‌نیا، سیدعلی و اصغری، حمیدرضا. (۱۳۹۵). تاثیر پلی آمین‌های خارجی بر رشد، گل‌دهی و تولید پداژه در ارقام 'Golden Wave' و 'Blue Sea' فریزیا، *روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت های گلخانه ای)، ۲۷(۷): ۶۳-۷۵.*

ریاضی، پریا؛ نجات زاده، فاطمه و ولیزادگان، ابراهیم. (۱۳۹۵). تأثیر آبیاری و تغذیه روی بر رشد و میزان عملکرد اسانس گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L)، *مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی و مولکولی، ۶ (۲۲) :۳۵-۴۰.*

سالارپورغربا، فاطمه و فرحبخش، حسن. (۱۳۹۳). تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات ظاهری و فیزیولوژیکی گیاه رازیانه، *به زراعی کشاورزی، ۱۶(۳): ۷۶۵-۷۷۸.*

سپهری، علی؛ عباسی، رویا و کرمی، افشین. (۱۳۹۴). اثر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز. *به زراعی کشاورزی، ۱۷* (۲)، ۵۰۳-۵۱۶.

سعیدنژاد، امیرحسین و رضوانی‌مقدم، پرویز. (۱۳۸۹). ارزیابی اثرکودهای بیولوژیک و شیمیایی بر خصوصیات مورفولوژیکی،عملکرد، اجزاء عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum*)، *نشریه علوم باغبانی (علوم وصنایع کشاورزی)، ۳۴(۱): ۳۸-۴۴.*

شمس‌الدین سعید، محدثه و مرادی، روح اله. (۱۳۹۷). تاثیر محلول‌پاشی مواد آلی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی رازیانه (*Foeniculum vulgar* L.) در سطوح مختلف آبیاری، *دانش کشاورزی وتولید پایدار، ۲۸(۴): ۱۰۵-۱۲۳.*

شوقیان، محسن و روزبهانی، آرش. (۱۳۹۶). اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز تحت شرایط تنش خشکی، *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹(۳۴): ۱۳۱-۱۴۷.*

صفری زرگانی، حسین؛ نادیان، حبیب اله؛ رنگ زن، نفیسه و مرادی تلاوت، محمدرضا. (۱۳۹۹). اثر سطوح مختلف شوری، روی و گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی توسط گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)، *پژوهش‌های خاک، ۳۴(۴): ۵۲۹-۵۴۴.*

ضیائی، سیدمسعود؛ سلیمی، خالد؛ امیری، سید رضا و ریگی، محمدرضا. (۱۴۰۲). اثر خشکی انتهای فصل و محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L) در شرایط آب و هوایی سراوان، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۶(۳): ۸۰۳-۸۱۵.*

طلایی، قاسم حسین و امینی‌دهقی، مجید. (۱۳۹۳). تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۰(۶)*، ۹۳۲-۹۴۲.

عباسی، ماجده؛ ملکی، عباس؛ میرزایی‌حیدری، محمد و رستمی نیا، محمود. (۱۴۰۱). برهم کنش همزیستی میکوریزایی و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ماش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۵(۲) : ۴۰۷-۴۲۶.*

عسکری، احمد. (۱۳۹۳) بررسی اثر رژیم رطوبتی و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد، اسانس ومواد مؤثره جمعیتهای رازیانه، رساله دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان.

علی‌مراد، حسن لی، (۱۳۷۹). روش‌های گوناگون اندازه‌گیری آب ۰هیدرومتری)، *انتشارات دانشگاه شیراز، ۳۴۵ صفحه.*

عمارت‌پرداز، جاوید؛ حامی، احمد و گوهری، غلامرضا. (۱۳۹۵). ارزیابی ویژگی‌های رشدی و عملکرد اسانس مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تیمارهای شوری و محلول‌پاشی روی، *دانش کشاورزی وتولید پایدار، ۲۶(۳): ۱۳۱-۱۴۱.*

غلامی، رحمت‌اله؛ ارجی، عیسی و حاجی امیری، ابوالمحسن. (۱۴۰۰). پایداری عملکرد و ویژگی پومولوژیکی ارقام تجاری زیتون کنسروالیا، زرد و آمفی سیس در شرایط تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی سالیسلیک اسید، *دانش کشاورزی وتولید پایدار، ۳۱(۴): ۲۲۱-۲۳۳.*

فاضلی کاخکی، فاضل؛ نباتی، جعفر؛ امامی، مرتضی و علوی‌کیا، علی. (۱۳۹۵). ارزیابی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L) تحت تاثیر سولفات آهن و روی، *فرآیند و کارکرد گیاهی، ۵ (۱۷) :۴۱-۵۲.*

فتح الهپورگرنگاه، مریم؛ رشیدی، ورهرام؛ میرشکاری، بهرام؛ خلیلوند بهروزیار، ابراهیم و فرح وش، فرهاد. (۱۴۰۰). بررسی اثر عناصر روی و آهن به فرم نانو بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا تحت تنش کم‌آبی، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۴(۲): ۳۴۷-۳۵۸.*

فتحی، امین و بهامین، صادق. (۱۳۹۷). تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی (سولفات روی، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۱(۳): ۶۶۱-۶۷۴*

فرنیا، امین؛ نورمحمدی، قربان؛ نادری، احمد؛ درویش، فرخ و مجیدی هروان، اسلام. (۱۳۸۵). تاثیر تنش خشکی و نژادهای باکتری

Bradyrhizobium japonicum بر عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در رقم سویا (رقن کلارک) در بروجرد، *نشریه علوم زراعی ایران، ۱۸(۳): ۲۰۱-۲۱۴.*

فرهودی، روزبه و مکی‌زاده تفتی، مریم. (۱۳۹۱). تاثیر تنش خشکی بر رشد و نمو، عملکرد، میزان اسانس و درصد کامازولن گیاه دارویی سه رقم بابونه (*Matricaria recutita*)در شرایط خوزستان، *پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۰(۴): ۷۳۵-۷۴۱.*

قربانلی، مه لقا. (۱۳۸۳). تغذیه معدنی گیاهان. *انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۲۳۵ صفحه.*

کریمی افشار، آزاده؛ باقی‌زاده، امین و محمدی نژاد، قاسم. (۱۳۹۵). ارزیابی روابط صفات مورفولوژیک با عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)در شرایط رطوبتی تحت تنش و بدون تنش، *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۸ (۱۸) :۱۶۵-۱۶۰*

گیدسکی، اعظم و برادران، رضا. (۱۳۹۷). بررسی اثر تنش خشکی و عناصر کم‌مصرف روی و منگنز روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)، *بوم شناسی کشاورزی*، ۱۰(۳): ۸۴۱-۸۵۱.

مثقالی، مهدی. (۱۳۹۱). تاثیر تیمارهای آبیاری و سلنیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*) در منطقه کاشان. پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی حمید دهقان زاده، نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده کشاورزی.

مشایخی، کامبیز و آتشی، صادق. (۱۳۹۱). تاثیر محلول‌پاشی بر و ساکارز بر روی برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه توت فرنگی رقم کاماروسا، *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۱۹(۴): ۱۵۷-۱۷۲.

مشایخی، شهلا؛ مشهدی ابدالی، علیرضا؛ بخشنده، عبدالمهدی؛ لطفی جمال آبادی، امین و سیدنژاد، سید منصور. (۱۳۹۱). ارتباط محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، اسید هیومیک و دفعات برداشت با عملکرد و کیفیت بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.)، *دانش کشاورزی وتولید پایدار، ۲۹(۱): ۲۰۹-۲۲۲.*

محمدی ساردو، سمیه؛ توحیدی‌نژاد، عنایت الله و مهیجی، مهدی. (۱۴۰۲). واکنش گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) به محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید تحت سطوح مختلف آبیاری، *دانش کشاورزی وتولید پایدار، ۳۳(۱): ۲۶۹-۲۸۶.*

مرادی تلاوت محمدرضا، روشن فرشته و سیادت سید عطاءاله (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر محتوای عناصر معدنی، عملکرد دانه و روغن دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، *نشریه علوم زراعی ایران، ۱۷ (۲) :۱۵۳-۱۶۴*

مهرین‌فر، علی رضا؛ رضایی‌مراد علی، محمد؛ میرمحمودی، تورج؛ یزدان‌ستا، سامان و شرفی، سوران. (۱۴۰۲). تاثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی و اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه ارقام گندم نان در شرایط تنش خشکی، *تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۶(۱): ۱-۱۸.*

میرانصاری، هما؛ مهرآفرین، علی و نقدی‌بادی، حسنعلی. (۱۳۹۴) پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی شوید (*Anethum graveolens* L.) به محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی، *فصلنامه گیاهان دارویی، ۱۴ (۵۴) :۱۵-۲۹*

نخزری مقدم، علی. (۱۳۸۸). اثر تراکم بوته و مرحله تنش آبی بر عملکرد و اجزای آن در زیرهٔ سبز (*Cuminum cyminum*). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۰(۳): ۶۳-۶۹.

وراوی پور، مریم (۱۳۸۹). خاکشناسی عمومی، *انتشارات دانشگاه پیام نور*، ۳۳۸ صفحه.

یزدانی چم‌حیدری، یعقوب؛ رمرودی، محمود و اصغری‌پور، محمدرضا. (۱۳۹۳). مطالعه تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L) تحت تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی، *تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۱ (۳) :۸۱-۹۶.*

REFERENCES

Abbasi, M., Maleki, A., Mirzaei Heydari, M., & Rostaminya, M. (2022). Interaction of mycorrhizal coexistence and foliar application of iron and zinc on some quantitative and qualitative characteristics of mung bean under different irrigation regimes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 15(2), 407-426. Doi: 10.22077/escs.2021.3757.1912. (In Persian).

Afsharnia, M., Aliasgharzad, N., Hajiboland, R., Oustan, S. & Tavasolee, A.R. (2013). Effect of Zn deficiency on growth, percentage of root Ccolonization, and Aabsorption of zinc, phosphorus, and iron in mycorrhizal inoculated maize. Iranian Journal of Soil Research. 27(2), 149-158. Doi: 10.22092/ijsr.2013.126240. (In Persian).

Agha Alikhani, M., Iranpour, A., & Naghdi, Badi H. (2013). Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) under urea and three biofertilizers application. Journal of Medicinal Plants. 12 (46), 121-136. Doi: 20.1001.1.2717204.2013.12.46.12.5 (In Persian).

Akhtar, N., Abdul Matin Sarker, M., Akhter, H., & Katrun Nada, M. (2009). Effect of planting time and micronutrient as zinc chloride on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita*. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research. 44(1), 125 -130. DOI:10.3329/bjsir.v44i1.2721

Akrami Vashte, M., Wazan, S., & Gol Zardim, F. (2013). Investigating the effect of iron and zinc foliar application on soybean yield and yield components (*Glyssine Max*). Research In Agricultural Sciences.

4(16): 39-52. https://sid.ir/paper/167900/fa. (In Persian).

Akbari Nia, A., Qalavand, A., Sefidkan, F., Rezaei Mohammad, B., & Sharifi Ashourabadi, I. (2001). Investigating the effect of chemical, animal and combined fertilizers on the yield and the amount of essential oil compounds of the medicinal plant Zinian. Research and construction [Internet]. 16(4 (Summ. 61) in Agriculture and Horticulture): 32-41. https://sid.ir/paper/20038/fa. (In Persian).

Alfonso, L.V., & Martin Mex, R. (2007). Effect of salicylic acid on the bio productivity of plant. Salicylic Acid-a Plant Hormone. Pp 15-23.

Amiri, A., Ismail Zadeh Bahabadi, P., Yidulahi Ten Cheshmeh, P., & Sirus Mehr, A. S. R. (2017). The role of soluble salicylic acid and chitosan in water stress conditions on some physiological traits and yield of safflower oil (*Carthamus tinctorius* L.). Ecophysiology of Crops. 1, 84-69. https://jcep.tabriz.iau.ir/article_532282.html?lang=en (In Persian).

Anonymous. (2020). Cumin (*Cuminum cyminum* L.). http://www.agri-es.ir/Default.aspx?tabid=4579. (In Persian).

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated choloroplast polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology. 24, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Askari, E. (2013). Effect of irrigation regimes and salicylic acid on morpho physiological characteristics yield essential oil and active ingredients of *Fennel accessions*. PhD thesis of Agronomy, Department of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian).

Azadvari, H., Naeimi, M., Gholizadeh, A., & Nakhzari Moghadam, A. (2020). Effect of application methods of salicylic acid on morphological characteristics, grain yield and essential oil of black cumin (*Nigella Sativa* L.) under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 18(1), 125-137. Doi:10.22067/gsc.v18i1.82805. (In Persian).

Babaee, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 26(2), 239-251. Doi:10.22092/ijmapr.2010.6939. (In Persian).

Baghalian, K., Haghiry, A., Naghavi, R., & Mohammadi, A. (2008). Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). Scientia Horticulturae. 116: 437–441. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.014.

Bahram Nejad, R., & Saffari, M. (2014). The effects of different seed priming agents on morphological characteristics, yield, yield components and water extract of fennal (*Foeniculum vulgar* Mill) in water stress condition, Irrigation and Water Engineering. 5(1): 14-29. (In Persian).

Baljain, R., & Shekari, F. (2012). Effects of priming by salicylic Aacid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) plants under end season drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 22(1), 87-108. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_870.html. (In Persian).

Bayat, H., Mardani, H., Aruei, H., & Salahvaezi, Y. (2012). Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedlings (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus) under drought stress. Plant Production Research, 3: 14-1. Doi:20.1001.1.23222050.1390.18.3.5.8

Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi Wannes, W., Kchouk, M.E., & Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae. 120: 271-275. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.016.

Cakmak, I. (2009). Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 23(4), 281-298. DOI: 10.1016/j.jtemb.2009.05.002

Chamani, F., Tohidi Nejad, E., & Mohayeji, M. (2018). Effect of salicylic acid on morpho-agronomical traits of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology. 12(4), 569-580. https://jcep.tabriz.iau.ir/article_545752.html?lang=en. (In Persian).

Dehghanzadeh, H. (2016). Effect of irrigation regimes on some quantity and quality traits of three bread wheat cultivars in Isfahan province. Journal of Plant Ecophysiology. 8(24), 25-34. Doi:20.1001.1.20085958.1395.8.24.3.8 (In Persian).

Dehghanzadeh, H. (2019). Evaluation of some physiological growth indices effective on growth and grain yield of three wheat cultivars under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(2), 365-375. Doi:10.22077/escs.2019.1394.1300. (In Persian).

Emam, Y., & Jahani Doghezloo, M. (2017). Effect of salicylic acid and brassinosteroid on alleviation of water stress in two wheat cultivars. Journal of Crop Production and Processing. 7 (1), 127-139. Doi:10.18869/acadpub.jcpp.7.1.127. (In Persian).

Emaratpardaz, J., Hami, A., & Ghohari, G. (2016). Evaluation of Ggrowth characteristics and essential oil yield of *Satureja hortensis* L. under salinity and Zn foliar spraying. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 26(3), 131-141. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_5352.html. (In Persian).

Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghaddam, M., Alavi, S., Hasibi, A. R. (2012). Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8(3), 69-77. https://sid.ir/paper/190261/fa. (In Persian).

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

Farhoudi, R., & Makezadeh Tafti, M. (2012). Evalution of drought stress effect on growth, yield, essential oil and chamazulene percentage of three chamomile (*Matricaria recutita* L.) cultivars in Khuzestan condition. Iranian Journal of Field Crops Research. 10(4), 735-741. Doi:10.22067/gsc.v10i4.20384. (In Persian).

Farnia, A., Nourmohammadi, Gh., Naderi, A., Darvish, F., & Majidi Harvan, A. (2006). Effects of drought stress and strain of the bacterium bradyrhizobium japonicum on yield and its related traits in soybean in Boroojerd. Iranian Journal of Crop Sciences. 8 (3): 201-214. Doi:20.1001.1.15625540.1385.8.3.1.4. (In Persian).

Fathi, A., & Bahamin, S. (2018). The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 11(3), 661-674. Doi:10.22077/escs.2017.720.1146. (In Persian).

Fatollahpour Grangah, M., Rashidi, V., Mirshekari, B., Khalilvand Behrozyar, E., & Farahvash, F. (2021). Evaluation the effects of Zinc and Iron elements in nano form on grain yield and growth traits of pinto bean under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 14(2), 347-358. Doi:10.22077/escs.2020.2392.1621. (In Persian).

Fazeli Kakhki, F., Nabati, J., Emami, M., Avikia, A. (2016). Evaluation morphological and yield components of cumin plant (*Cuminium cyminum* L) to micro nutrients. Plant Process and Function. 5(17), 41-52. Doi: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.8.5. (In Persian).

Gholami, R., Arji, I., & Hajiamiri, A. (2021). Yield stability and pomological characteristics of commercial cultivars konservolia, zard and amphisis olive under deficit irrigation stress and salicylic acid foliar application. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(4), 221-233. Doi:10.22034/saps.2021.44216.2621. (In Persian).

Ghorbanli, M. (2005). Mineral Nutrition of Plants. Tarbiat Modarres University Press. 235pp. (In Persian).

Gideski, A., & Baradaran, R. (2018). Evaluating the effect of drought stress and micronutrients (Zinc and Manganese) on yield and yield components of Millet (*Panicm miliacem*). Journal of Plant Ecophysiology. 10(32), 152-160. (In Persian). Doi: 10.22067/JAG.V10I3.61216

Haghirsadat, B. B. F., Vahidi, A., Sabor, M.H., Azim zade, M., Kalantar, S. M., & Sharafdini, M. (2011). Evaluation of active components and antioxidant properties of essential oil of cumin *(Cuminum cyminum* L.) native Yazd province. Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences. 19 (4), 472-481. URL: http://jssu.ssu.ac.ir/article-1-1634-en.htm. (In Persian).

Hassanli, A. M. (2000). Different methods of water measurement. Shiraz University Publication. 282 pp. (In Persian).

Hassan Zadeh, K., Hemmati, Kh., & Alizadeh, M. (2016). Effect of organic and salicylic acid on performance and some secondary metabolites of *Melissa officinalis* L. Plant Breeding Research. 20, 107-130. Doi: 20.1001.1.23222050.1395.23.1.8.2. (In Persian).

Hayata, Q., Hayata, S., Irfan, M., & 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.

Heydari Sharifabad, H. (2002). Plant and salinity. Forestry and Rangeland Research Institute publications. 34-36. (In Persian).

Heidari, F., Zehtab, S., Javanshir, A., Aliari, H., & Dadpour, M. (2008). The effect of micronutrients consumption and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 24(1): 9-19. https://ijmapr.areeo.ac.ir/article_10015.html?lang=en. (In Persian).

Hoseini, Z., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2019). Pod and seed yield and quality of common bean under water deficit stress and foliar application of salicylic acid and megafol. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(3), 95-111. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_9387.html?lang=en. (In Persian).

Hosseinzadeh, S. R., Salimi, A., & Ganjeali, A. (2011). Effects of foliar application of methanol on morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Enviromntal stresses in crop science. 4, 139-150. https://doi.org/10.22077/escs.2012.106. (In Persian).

Hussein, M. S., El-Sherbeny, S. E., Khalil, M. Y., Naguib, N. Y., & Aly, S. M. (2006). Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. Scientia Horticulturae. 108, 322-331. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.035.

Jalalvand, A., Andalibi, B., Tavakoli, A., & Moradi, P. (2019). Effects of salicylic acid and cycocel on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics on Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12(3), 865-876. Doi: 10.22077/escs.2019.1482.1328. (In Persian).

Jami, N., Mousavi Nik, S., & Naghizadeh, M. (2015). Effect of drought stress and foliar application by salicylic acid on quantitative and qualitative yield of *nigella sativa* in Kerman climatic conditions. Agricultural Crop Managment, 17(3): 840-827. https://doi.org/10.22059/jci.2015.54389 . (In Persian).

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., & Mohammadi-Nejad, Gh. (2016). Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding*. *8*(18), 160-165. Doi:10.29252/jcb.8.18.160 . (In Persian).

Khademian, R., & Yaghoubian, T. (2018). Growth of chickpea (*Cicer arietinum*) in response to salicylic acid under drought stress. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 12(3): 255-263.

Kumar, A., Palni, L.M.S., & Sood, A. (2011). Factors affecting in vitro formation of cormlets in Gladiolus hybridus Hort. and their field performance. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 509-515. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0574-y

Margarita, M., Crosby, K. M., & Eliezer, S. (2002). Differential gene expression analysis in melon roots under drought stress conditions. Subtropical Plant Science, 54: 6-10. http://www.subplantsci.org/wp-content/uploads/2016/02/SPSJ-54-6-10-Rojas-Crosby-Louzada.pdf

Mashayekhi, K., & Atashi. S. (2012). The effect of foliar application of boric acid and sucrose on some biochemical properties of strawberry plants cv. Camarosa. Journal of Plant Production Research, 19(4): 157- 172. Doi: 20.1001.1.23222050.1391.19.4.9.1 (In Persian).

Mashayekhi. S., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi Jalal Abadi, A., & Seyyed Nejad, S. M. (2019). Relationship of salicylic acid and humica foliar spray and harvesting times with yield and quality of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1), 209-222. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8774_en.html?lang=fa. (In Persian).

Massacci, A., Nabiev, S. M., Pietrosanti, L., Nematov, S. K., Chernikova, T. N., Thorand, K., Leipner, J. (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field condition sstudied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. Plant Physiology and Biochemistry, 46 (2): 189–195. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.10.006

Mazaheri Tirani, M., Nasibi, F., Manoochehri Kalantari, H. (2012). Effects of salicylic acid on the induction of physiological and biochemical changes in *Brassica napus* L. under water stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 2(2): 371-379. Doi: 10.30495/IJPP.2012.540770 .

Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajuee Nezhad, Gh.R., & Maghsoudi, K (2011). Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions, Seed and Plant Production Journal, 27(1): 41-55. Doi: 10.22092/sppj.2017.110423

Mehrinfar, A., Rezaei Moradali, M., Mir Mahmoodi, T., Yazdan Seta, S., & Sharafi, S. (2023). The effect of foliar application of nutrients and humic acid on grain yield and quality of bread wheat cultivars under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 16(1): 1-18. Doi:10.22077/escs.2022.4234.2000. (In Persian).

Mesghali, M. (2012). Effect of irrigation and selenium treatments on yield, yield components and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum*) in Kashan region. MSc theses, Faculity of Agriculture, Islamia Azad University, Naragh Branch.

Miransari, H., Mehrafarin, A., & Naghdi Badi, H. (2015). Morphophysiological and rhytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. Journal of Medicinal Plants. 14(54), 15-29. Doi:20.1001.1.2717204.2015.14.54.2.5. (In Persian).

Misra, A., Sirvastava, A. K., Sirvastava, N. K., & Khan, A. (2005). Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments and biochemical changes in essential monoterpene oil(s) of Pelargonium graveolens. Photosynthetica, 43(1): 153-155. https://doi.org/10.1007/s11099-005-3155-3

Miura, K., & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers in Plant Science, 5:1-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004

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

Moradi Telavat, M. R., Roshan, F., & Siadat, S. A. (2015). Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. 17, 153-164. Doi: 20.1001.1.15625540.1394.17.2.6.0 .(In Persian).

Nakhzari Moghaddam, A. (2009). The Effect of water stress and plant density on yield and yield components of cumin (Cuminum *cyminum*). Iranian Journal of Field Crop Science, 40(3), 63-69. Doi: 20.1001.1.20084811.1388.40.3.7.3. (In Persian).

Pirzad, A. R., Tousi, P., & Darvishzadeh, R. (2013). Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Crop Science. 15(1): 12-23. Doi: 20.1001.1.15625540.1392.15.1.2.0 . (In Persian).

Pishva, Z. K., Amini-Dehaghi, M., Bostani, A., & Naji, A. (2021). The effect of nitrogen fertilizer treatments on yield traits, essence percentage, and shoot nitrogen content of cumin under different irrigation regimes in the southern region of Tehran. Journal of Crops Improvement. 23(3): 619-607. Doi:10.22059/jci.2021.299840.2368. (In Persian).

Popova, L., Ananieva, V., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., & Stoinova, Zh. (2003). Salicylic acid-and methyljasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology, special issue, 133-152. http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/essa-03/03_essa_133-152.pdf

Rashidifard, A., Chorom, M., Norozi Masir, M. & Roshanfekr, H. (2021). Effect of seed priming by humic acid and zinc on some morpho-physiological traits of maize (*Zea mays* L.) seedlings under saline conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14(4), 115-1125. Doi:10.22077/escs.2020.3412.1856. (In Persian).

Rezaie Alulu, A., Kheiry, A., Sanikhani, M., & Arghavani, M. (2019). Effect of salicylic acid and glycine betaine foliar application on morpho-physiological characteristics of carla (*Momordica charantia* L.) under water deficit Sstress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29(1), 223-235. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8775.html?lang=en. (In Persian).

Rezvanypour, Sh., Hatamzadeh, A., Elahinia, S. A., & Asghari, H. R. (2016). Effect of exogenous polyamines on growth, flowering and corm production of 'Golden Wave' and 'Blue Sea' cultivars of freesia . 7(3): 63-76. Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology. Doi: 10.18869/acadpub.ejgcst.7.27.63. (In Persian).

Riyazi, P., Nejatzadeh, F., & Valizadegan, E. (2016). Effect of irrigation and Zinc nutrition on growth and yield of essential oil (*Salvia officinalis* L.). New Cellular and Molecular Biotechnology Journal. 6 (22), 35-40. Doi: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.5.0

Rizwan, M., Ali, S. H., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hassain, A., Rehman, M. Z., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. Chemosphere. 6535, 31776-4. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.120

Saeed Nejad, A. H., & Rezvani Moghadam, P. (2010). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on morphological properties, yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Horticultural Science, 24 (1): 38-44. Doi:10.22067/jhorts4.v1389i1.3643. (In Persian).

Safari Zargani, H., Nadian, H., Rang Zan, N., & Moradi Talavat, M. (2021). Effect of different levels of salinity, zinc, and sulfur inoculated with yhiobacillus on rapeseed growth parameters and some n uptake (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Soil Research, 34(4), 529-544. Doi:10.22092/ijsr.2021.351644.550. (In Persian).

Salarpour Ghoraba, F., & Farahbakhsh, H. (2014). Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Crops Improvement*, 16(3), 765-778. Doi:10.22059/jci.2014.53276. (In Persian).

Sepehri, A., Abasi, R., & Karami, A. (2015). Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield

component of bean genotypes. Journal of Crops Improvement, 17(2): 503-516. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55196. (In Persian).

Shaheen, R., Samim, M. K., & Mahmud, R. (2007). Effect of zinc on yield and zinc uptake by wheat on some soils of Bangladesh. Journal of Soil and Nature 1: 7 -14. http://ggfjournals.com/assets/uploads/07-14.pdf

Shamsaddin Saied, M., & Moradi R. (2018). Effect of organic amendments on some quantitative and qualitative characteristics of fennel (*Foeniculum vulgar* L.) as affected by different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(4), pp. 105-123. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8359.html?lang=en. (In Persian).

Sharafi S., Tajbakhsh M., Majidi M., & Mirzapour A. (2000). Effects of iron and zinc on yield, protein content and nutritional balance in two varieties of corn. Water and Soil, 12(1): 85-94.

Sheteiwy MS, Fu Y, Hu Q, Nawaz A, Guan Y, Li Z, Huang Y and Hu J. 2016. Seed priming with polyethylene glycol induces antioxidative defense and metabolic regulation of rice under nano-zno stress. Environmental Science and Pollution Research. 23(19), 19989– 20002. DOI: 10.1007/s11356-016-7170-7

Shibli, R. A., Kushad, M., Yousef, G. G., & Lila, M, A. (2007). Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant Growth Regulation, 51 (2): 159-169. DOI:10.1007/s10725-006-9158-7

Shoghian, M., & 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. Doi:20.1001.1.2008403.1396.9.34.8.5. (In Persian).

Talaei, G., & Amini Dehaghi, M. (2015). Effects of bio and chemical fertilizers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 30(6), 932-942. Doi:10.22092/ijmapr.2015.11928. (In Persian).

Varavipour, M.(2011). Soil Science. Payame Noor University Press. (In Persian).

Yazdani Chamheidary, Y., Ramroudi, M., & Asgharipour, M. R. (2014). Evaluation the effects of drought stress on yield, yield components and quality of (Cuminum cyminum L.) under Fe and Zn foliar spraying conditions. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3(1), 81-96. http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-90-fa.html. (In Persian).

Youryousef, M. (2015). Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 30(6), 889-897. Doi: 10.22092/ijmapr.2015.11924. (In Persian).

Zhang, W., Cao, Z., Xie, Z, Lang, D., Zhou, L., Chu, Y., Zhao, Q., Zhang, X., Zhao,Y. (2017). Effect of water stress on roots biomass and secondary metabolites in the medicinal plant *Stellaria dichotoma* L. var. lanceolata Bge. Scientia Horticulturae 224: 280-285. DOI:10.1016/j.scienta.2017.06.030.

Ziaei, S. M., Salimi, K., Amiri, S. R., & Rigi, M. R. (2023). Effect of end-of-season drought and foliar application of zinc and manganese sulfate on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Saravan climatic conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 16(3), 803-815. Doi: 10.22077/escs.2023.5002.2101. (In Persian).

Effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation regimes

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Iran is one of the best places for the cultivation of medical plants due to its variable climate and geographical location. Since most part of Iran had arid lands and suffering from water deficit, any research focuses on optimizing water efficiency in agriculture would be worth able. Cumin is one of the most valuable agricultural products with high commercial income, grown allover part of Iran. According to the results, the consumption of micronutrients in non-stressed conditions had a greater effect on grain yield, at the same time; the positive effect of micronutrients consumption on crop yield in drought stress conditions is very promising. Salicylic acid is a naturally occurring phenolic compound. Salicylic acid plays an important role in the regulation of plant growth, development, ripening, and defense responses. The role of Salicylic acid in the plant–pathogen relationship has been extensively investigated. In addition to defense responses, Salicylic acid plays an important role in the response to abiotic stresses, including drought, low temperature, and salinity stresses. It has been suggested that Salicylic acid has great agronomic potential to improve the stress tolerance of agriculturally important crops. Zinc is one of the low-consumption essential elements that is absorbed by plants in the form of a divalent cation and has many physiological roles in higher plants. The provision of this element, especially in the conditions of drought stress, creates a special role in protecting the plant against stress.

Materials and methods:

In order to evaluate the effect of salicylic acid and zinc sulfate on quality and quantity characters of green cumin (Cuminum cyminum) under different irrigation regimes a field study was conducted at Fatholmobin Agro industry, Kashan, Iran. A split factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was used. The main plots considered irrigation regimes (irrigation after 70, 100 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan), and sub-plots considered two level of salicylic acid application (control and 1 mM) and three levels of zinc sulfate (control, 30 and 60 Kg/ha) as factorial. Plant height, leaf chlorophyll, number of branch per plant, number of umbel per plant, number seed per umbel, number seed per plant, 1000-grain weight, root length, root dry weight, biological and grain yields, harvest index, essence percentage and essence yields were measured.

Results and discussion:

Result showed that irrigation regimes had the significant effect on plant height, number branch, number umbel in plant, grain yield, biological yield, harvest index, essence percentage and essence yield. Irrigation after 70 and 130 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan had the highest and lowest plant height, leaf chlorophyll, number branch, 100- grain weight, grain yield and harvest index, and lowest and highest essence percentage, respectively. Delay in irrigation from 70 to 100 mm cumulative evaporation from class A evaporation pan increased root length, rood dry weight, number umbel per plant, number grain per umbel, number grain per plant, biological yield and essence yield. Application of salicylic acid and zinc sulfate (especially the amount of 60 kg per hectare) either separately or together reduced the effects of drought.

Conclusions:

It was concluded that by irrigation the cumin after 100 mm cumulative pan evaporation with combined use 60Kg.ha-1 zinc sulfate and 1 mM salicylic acid, water could be saved by 21.5% while increasing the yield of essential oil, the yield of seeds may decrease slightly under these conditions.

Keywords: Biomass, Drought Stress, Essence Percentage, Grain Yield, Number Umbel per Plant.