نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هشتم، شماره اول، ۱۴۰۰
۹۳-۱۱۳
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2021.17250.2599

تأثیر کاربرد بیوچار و اسید سالسیلیک بر برخی صفات فیزیولوژیکی، زیست–شیمیایی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. در دورهای آبیاری مختلف

***زهرا تقی‌زاده طبری[۱]، حمیدرضا اصغری[۲]، حمید عباسدخت[۲] و اسماعیل باباخانزاده[۳]**

[۱]دانشجوی دکتری گروه اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران،
[۲]دانشیار و عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران،
[۳]مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) گیاهی علفی و یک‌ساله است که در مناطق معتدل و نیمه‌گرمسیر و به ویژه مدیترانه‌ای پراکنش دارد. امروزه استفاده از محلول پاشی اسید سالسیلیک به عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی هم‌چون خشکی افزایش یافته است. بیوچار ماده غنی از کربن است که مزایای کودهای آلی را دارا می‌باشد و در جهت اصلاح خاک‌های غیر حاصلخیز به کار می‌رود. با توجه به اهمیت پرورش گیاهان دارویی در مناطق خشک، بررسی و شناخت اثرات دور آبیاری بر گیاه گل گاوزبان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به تأثیر مثبت اسید سالسیلیک و بیوچار در تقلیل اثرات منفی خشکی و نیز بهبود روابط آبی خاک در گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی بیوچار و اسید سالسیلیک بر برخی از خصوصیات گیاه گل گاوزبان اروپایی در دورهای آبیاری مختلف انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح دور آبیاری در سه سطح (۵ روز یک بار که تحت عنوان شرایط نرمال آبیاری در نظر گرفته شد، و آبیاری ۱۰ روز یکبار و ۱۵ روز یکبار) و کرت‌های فرعی درجه اول شامل بیوچار در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و کرت‌های فرعی درجه دوم شامل محلول پاشی اسید سالسیلیک در دو سطح (۰ و ۰/۵ میلی‌مولار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در تمامی سطوح بیوچار با افزایش دور آبیاری، محتوی نسبی آب برگ به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت و کاربرد بیوچار تأثیر چشمگیری در تنش ناشی از خشکی نداشت. اسید سالیسیلیک در هر دو دور آبیاری ۱۰ و ۱۵روز محتوی نسبی آب برگ را نسبت به تیمار عدم مصرف آن افزایش داد، ولی تأثیر مثبتی بر کاهش تنش ناشی از افزایش دور آبیاری نداشت. با افزایش دور آبیاری میزان فلاونوئید نیز به‌شدت کاهش یافت، که کاربرد اسید سالسیلیک تا حدودی در تعدیل آن نقش داشت، اما کاربرد بیوچار بسته به دور آبیاری، اثرات متفاوتی بر روی میزان فلاونوئید داشت. افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز میزان

* مسئول مکاتبه: zt.tabari@gmail.com

آنتوسیانین را افزایش داد، اما با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز مقدار آن به شدت کاهش یافت. کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر روی میزان آنتوسیانین نداشت (هم در شرایط کاربرد اسید سالسیلیک و هم عدم مصرف آن)، اما با افزایش دور آبیاری به ۱۰ روز کاربرد بیوچار به تنهایی و بدون استفاده از اسید سالسیلیک ، موجب افزایش آن شد. درصد نیتروژن برگ گل گاوزبان با کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار در دور آبیاری ۵ روز و هم‌چنین کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در دور آبیاری ۱۵ روز، به‌طور چشمگیری نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف بیوچار) افزایش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز، تنش ناشی از افزایش دور آبیاری را در خصوص میزان نیتروژن برگ تعدیل نمود. افزایش دور آبیاری هم‌چنین موجب کاهش تعداد ساقه گل‌دهنده شد که مصرف بیوچار و اسید سالسیلیک آن را بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طورکلی کاربرد بیوچار در بهبود برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی گیاه گاوزبان در شرایط تنش خشکی اثر مثبتی داشت، گرچه بین سطوح مختلف بیوچار از لحاظ اثرات مثبت در تقلیل اثرات تنش ناشی از دور آبیاری در برخی صفات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. علاوه بر آن، کاربرد هم‌زمان بیوچار و اسید سالسیلیک در بیش‌تر صفات موجب افزایش کارایی آن‌ها در تقلیل اثرات خشکی شد.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، اسید سالسیلیک، گل گاوزبان اروپایی

مقدمه

امروزه با توجه به اثرات ناخواسته داروهای شیمیایی، نیاز به گیاهان دارویی روز به روز در حال افزایش می‌باشد که این امر باعث مطالعات گسترده در زمینه کشت این گیاهان گردیده است. از طرف دیگر، تأمین مواد اولیه صنایع داروسازی نیاز به افزایش تولید محصولات گیاهان دارویی در واحد سطح دارد که اولین، عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش جهت حصول این مورد، مطالعه در مورد نهاده‌های مورد استفاده در کشت و کار گیاهان دارویی می‌باشد (۱). گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) از خانواده گاوزبان[1] است و آرام بخش بوده و در کاهش استرس تأثیری فوق‌العاده دارد. همچنین غنی از مواد معدنی و پتاسیم است و از آن در تسکین درد، برطرف نمودن اختلالات کلیه و مثانه، تصفیه و دهیدروژنه کردن خون، درمان التهاب روده، رماتیسم و عوارض ناشی از یائسگی و برونشیت استفاده می‌کنند (۲). خانواده بورژیناسه خاصیت ضدباکتریایی داشته و از مهم‌ترین مواد شیمیایی آن‌ها می‌توان تانن‌ها، اسکوربیک اسید، بتاکاروتن‌ها، نیاسین، ریبوفلاوین، تیامین، آلکالوئید و پلی فنولیک‌ها را نام برد (۳). آب متداول‌ترین و حیاتی‌ترین ماده طبیعی می‌باشد و نقش بسیار مهمی را در بخش کشاورزی ایفا می‌کند و ۵۰ تا ۹۰ درصد حجم و وزن گیاه از آب تشکیل شده است. تنش خشکی از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، ریخت شناسی، فیزیولوژیک و زیست-شیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد. میزان خسارت ناشی از خشکی بستگی به نوع گیاه زراعی، شدت و مدت تنش و مرحله رشد گیاه دارد. از راهکارهای مقابله با اثرات نامطلوب کم‌آبی می‌توان به اصلاح خاک و یا کاربرد برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد برای تخفیف اثرات نامطلوب خشکی اشاره داشت. کاربرد بیوچار به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک موجب بهبود خصوصیات خاک و عملکرد آن، افزایش رشد و سلامت گیاه تثبیت کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (٤)؛ علاوه بر آن با بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه مانند نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تبخیر و تعرق و پتانسیل آب گیاه، کارایی آبیاری را افزایش می‌دهد (۵ و ٦). اسید

1- Boraginaceae

سالسیلیک یکی از تنظیم‌کننده‌های گیاهی است که در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی هم‌چون خشکی مؤثر بوده و در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه دارای نقش اساسی می‌باشد. افزایش جوانه‌زنی، القای گل‌دهی، بهبود رشد و نمو، افزایش میزان محصول و عملکرد میوه، بازدارندگی سنتز اتیلن و تأثیر در فعالیت‌های گیاهی از جمله باز و بسته شدن روزنه‌ها، روابط آبی، پایداری غشاء، جذب عناصر غذایی و فعال شدن عامل ایجاد مقاومت به بیماری‌ها از مواردی است که به کارکرد اسید سالیسیلیک نسبت داده می‌شود (٦ و ٧). با نگاهی به موقعیت ایران از نظر اقلیمی و وجود بحران آب، انجام مطالعه در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد، و با توجه به اهمیت دارویی و غذایی گیاه گل گاوزبان ، و مطالعات قبلی مبنی بر تأثیر مثبت اسید سالسیلیک (٧ و ٨) و بیوچار (٩ و ١٠) در تقلیل اثرات منفی خشکی و نیز تغییر سیستم‌های غیرآنزیمی در گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی این سه عامل مهم بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه گل گاوزبان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ٩٦-١٣٩٥ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح دور آبیاری در سه سطح (٥ روز که با توجه به شرایط آب و هوایی شاهرود به‌عنوان شرایط نرمال آبیاری در نظر گرفته شد و آبیاری ١٠ و ١٥ روز یکبار) و کرت‌های فرعی درجه یک شامل بیوچار در سه سطح (٠، ٥ و ١٠ تن در هکتار بیوچار) و کرت فرعی درجه دو شامل محلول‌پاشی اسید سالسیلیک در دو سطح (٠ و ٠/٥ میلی‌مولار اسید سالسیلیک) بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ٢ در ٤ متر و فاصله بین کرت‌ها ١٠٠ سانتی‌متر بود. هر واحد آزمایشی شامل ٥ ردیف کاشت به طول ٤ متر و با فاصله بین ردیف ٥٠ سانتی‌متر و روی ردیف ٢٠ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بیوچار از ضایعات چوب درخت گردو تهیه شد. برای این منظور از کوره‌ای که فضای آن کاملاً بسته بود، استفاده شد تا اکسیژن وارد کوره نشود و دمای کوره بین ٤٠٠-٦٥٠ درجه سانتیگراد بود. بیوچار به همراه کود پایه قبل از کاشت با خاک مخلوط شد و بذر مصرفی از شرکت Pharmasaat آلمان تهیه شد. کاشت بذور در تاریخ ٢٥ اسفند به شکل مستقیم انجام گردید. اولین آبیاری بعد از کاشت انجام شد و اعمال تیمار دور آبیاری بعد از استقرار کامل گیاهان انجام شد و حجم آب آبیاری در هر بار برای تمامی تیمارها یکسان بود (با قرار دادن کنتور از حجم آب یکسان استفاده شد) و از سیستم آبیاری قطره‌ای برای آبیاری کرت‌ها استفاده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و مورد استفاده به‌ترتیب در جدول ١ و جدول ٢ آمده است. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل و نحوه اندازه‌گیری این صفات در ادامه آورده شده است.

شاخص پایداری غشای پلاسمایی برگ: برای تعیین شاخص پایداری ٠/٠١ گرم از برگ‌ها به فالکن‌های حاوی ١٠ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شده و به‌مدت ٣٠ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد (C1) قرار داده شدند. به همین ترتیب سری دوم فالکن‌ها آماده سازی گردید و این بار به مدت ١٥ دقیقه در دمای ١٠٠ درجه سانتی‌گراد (C2) قرار گرفتند. پس از خنک شدن، در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی آن‌ها توسط دستگاه Ec متر اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه زیر میزان پایداری غشای پلاسمایی محاسبه گردید (١١).

$$\text{Membrane stability index (MSI)} = 1 - (\frac{C_1}{C_2}) \times 100 \quad (۱)$$

محتوای نسبی آب برگ: به‌منظور تعیین محتوی آب نسبی برگ، از هر کرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد. برگ‌ها بلافاصله درون پوشش‌های پلاستیکی روی یخ قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند و وزن تر اولیه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Wwet). سپس به‌مدت ۲٤ ساعت درون آب مقطر و در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۱۲). سپس برگ‌ها از آب مقطر خارج و آب روی آن‌ها با دستمال گرفته و خشک گردیدند و دوباره توزین شدند (Ws). پس از آن نمونه‌ها به‌مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (Wdry). در نهایت محتوای نسبی آب برگ (RWC) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{Leaf relative water content (RWC)} = [(Wwet - Wdry)/(Ws - Wet)] \times 100 \quad (۲)$$

آنتوسیانین برگ: برای سنجش میزان آنتوسیانین برگ مقدار ۰/۰۲ گرم از بافت برگ با ٤ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۱ درصد و متانول در یک هاون چینی ساییده شد و محلول حاصل به‌مدت ۲٤ ساعت در یخچال نگه‌داری شد. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. محلول دو فازی حاصل شد که مواد ته‌نشین شده دور ریخته شد و جذب محلول‌ها در محلول باقی مانده در طول موج‌های ۵۳۰ (A530) و ٦۵۷ (A657) نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین (A) برای هر عصاره با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری گردید (۱۳).

$$A = A530 - (0.25 \times A657) \quad (۳)$$

فلاونوئید برگ: برای این منظور مقدار ۰/۱ گرم از برگ در اتانول اسیدی (شامل اتانول و اسید استیک گلاسیال به نسبت ۹۹ به ۱) کاملاً ساییده شد و عصاره حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. مواد به فالکون دیگری منتقل شده و مواد ته‌نشین شده دور ریخته شد، سپس عصاره رویی به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان جذب عصاره در طول موج ۳۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد (۱٤) میزان درصد جذب فلاونوئید با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (هجم عصاره=v) (رابطه ٤).

$$100 \times \frac{V}{700} \times FLV = ABS(300nm) \quad (٤)$$

نیتروژن گیاه: اندازه‌گیری نیتروژن گیاه با استفاده از کجدال انجام شد (۱۵). برای انجام عمل هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم از نمونه خشک و پودر شده را درون لوله‌های دستگاه ریخته و سپس ۷ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹٦٪) و ۱/۱ گرم کاتالیزور (مخلوطی از ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم و ۱۰ گرم سولفات مس و ۱ گرم سلنیوم (برای ۱۰۰ نمونه)) در لوله‌ها ریخته و در جایگاه در دستگاه هضم قرار داده

شد. برای عمل تیتراسیون، چند قطره معرف متیل رد (حاوی ٦٦ میلی‌گرم متیل رد و ۹۹ میلی‌گرم بروموکروزول گرین در ۱۰۰ سی‌سی اتانول، با رنگ قرمز) و اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال به‌صورت دستی انجام گرفت، پس از یادداشت نمودن حجم اسید مصرفی مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه از فرمول زیر قابل محاسبه است (غلظت اسید=T؛ میزان اسید مصرفی جهت تیتر نمونه=a؛ حجم عصاره از عمل هضم= v؛ میزان اسید مصرفی جهت تیتر شاهد=b؛ وزن نمونه گیاه جهت انجام عمل هضم=w؛ درصد ماده خشک= DM) (رابطه ۵).

$$\%N = 0.56t(a-b) \times \frac{v}{w} \times \frac{100}{DM} \quad (۵)$$

وزن تر و وزن خشک گل و تعداد ساقه گل‌دهنده: به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک و تر گل و نیز نسبت وزن تر به خشک گل در زمان گلدهی کامل، گل‌های بالغ یک روز در میان برداشت شده و در دمای اتاق و دور از نور خورشید خشک شدند. اولین برداشت در اردیبهشت ماه صورت پذیرفت و تا اوایل تیرماه ادامه داشت. تعداد ساقه گل‌دهنده در ۵ بوته از هر کرت شمارش و پس از میانگین‌گیری ثبت گردید.

درصد روغن و وزن هزاردانه: استخراج روغن موجود در دانه‌ها توسط حلّال هگزان و دستگاه سوکسله انجام شد و برای اندازه‌گیری وزن هزاردانه با استفاده از دستگاه بذر شمار تعداد هزاردانه شمارش و بعد با ترازو اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. Some physicochemical characteristics of the soil.

بافت خاک Soil texture	کربن آلی (درصد) C(%)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	پی‌اچ pH	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	نیتروژن کل (درصد) N (%)
Loam-silt	0.4	19	0.41	8.30	149	0.04

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار به‌کار برده شده در آزمایش.

Table 2. Some physicochemical characteristics of the Biochar.

مواد آلی فرار و رطوبت (درصد) Volatile Organic matter and moisture (%)	خاکستر (درصد) Ash (%)	کربن آلی (درصد) C (%)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	پی‌اچ pH	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	نیتروژن کل (درصد) N (%)
46.95	7.60	45.44	0.01	1.72	9.70	0.21	1.27

نتایج و بحث

شاخص پایداری غشاء پلاسمایی: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر پایداری غشاء (جدول ۳) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری و بیوچار و سالسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل دوگانه آبیاری و اسید سالسیلیک و نیز اثرات متقابل سه‌گانه دور آبیاری و اسید سالسیلیک و بیوچار بر صفت فوق معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات سه گانه (جدول ٤) نشان داد که میزان پایداری غشاء گل گاوزبان اروپایی با افزایش دور آبیاری کاهش یافت. به‌طوری‌که میزان پایداری غشاء در شرایط عدم استفاده بیوچار و اسید سالسیلیک در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب نسبت به دور آبیاری ۵ روز، ۱۹ و ۱۸ درصد کاهش نشان داد. غشاء پلاسمایی است اولین بخش گیاه است که تحت شرایط تنش رطوبتی آسیب می‌بیند (١٦). تنش خشکی از تکامل دیواره سلولی ممانعت نموده و باعث نشت بیش‌تر الکترولیت‌ها از آن شده و پایداری غشاء سلولی را کاهش می‌دهد (۱۷). نتایج مشابه با مطالعه حاضر بر روی گیاه ذرت (۱۸) نیز نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار پایداری غشاء سیتوپلاسمی برگ می‌شود. کاربرد بیوچار موجب افزایش پایداری غشاء در پژوهش حاضر شد؛ کاربرد توأم اسید سالسیلیک و بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) باعث افزایش معنی‌دار میزان پایداری غشای سلولی برگ در دور آبیاری ۵ روز گردید. با افزایش دور آبیاری اثرات ترکیبی بیوچار و اسید سالسیلیک کاهش یافت. کاربرد اسید سالسیلیک به همراه بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) تنها در ۵ و ۱۰ روز آبیاری توانست موجب افزایش پایداری غشاء نسبت به شرایط عدم استفاده آن شود، اما تأثیر مثبتی در شرایط ۱۵ روز آبیاری بر صفت فوق نداشت. کاربرد اسید سالسیلیک در افزایش معنی‌دار پایداری غشاء و تقلیل اثرات افزایش دور آبیاری در این مطالعه مؤثر بود، اسید سالسیلیک با افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن را که عامل اصلی پر اکسیداسیون لیپیدهای غشاء و نشت مواد سلولی به خارج آن هستند، کاهش می‌دهد (۷) علاوه بر آن میزان تجمع یون کلسیم را در سلول افزایش داده و بنابراین به یکپارچگی غشاء کمک می‌کند (۱۸). اسید سالیسیلیک هم‌چنین میزان پلی آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد که می‌تواند به یکپارچگی و حفظ غشاء تحت شرایط تنش خشکی کمک کند (۱۹). بررسی مطالعات قبلی نیز نشان داد که خشکی موجب کاهش پایداری غشاء در گیاه زنیان شد و اسید سالسیلیک در تقلیل اثرات ناشی از خشکی اثر مثبتی در این گیاه داشت (۷).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر بیوچار و اسید سالسیلیک بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه گل گاوزبان اروپایی در دور آبیاری مختلف بر اساس میانگین مربعات.

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) the effect of biochar and salisilic acid on phisological characteristics of *Borago officinalis* L under differnet irrigation intervals.

آنتوسیانین برگ Anthocyanin of leaf	فلاونوئید برگ Flavonoid of leaf	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content (RWC)	شاخص پایداری غشای برگ Membrane stability index (MSI)	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
0.00007^{ns}	0.0060^{ns}	13.948^{ns}	2.931^{ns}	3	تکرار Replication (R)
0.01860^{**}	0.7928^{**}	2847.544^{**}	2587.297^{**}	2	دور آبیاری Water deficit (A)
0.00003^{ns}	0.0042^{**}	8.544^{ns}	3.115^{ns}	6	خطای آزمایشی Error a factor (a)
0.00036^{**}	0.0072^{*}	15.018^{ns}	66.97^{**}	2	بیوچار Biochar (B)
0.00026^{**}	0.0067^{**}	25.836^{**}	8.50^{ns}	4	بیوچار × دور آبیاری A×B
0.00206^{**}	0.0954^{**}	682.406^{**}	461.097^{**}	1	اسید سالسیلیک Salicylic acid (C)
0.00133^{**}	0.0207^{**}	27.750^{**}	391.792^{**}	2	اسید سالسیلیک × دور آبیاری A×C
0.00051^{**}	0.0006^{ns}	15.369^{ns}	2.085^{ns}	2	بیوچار × اسید سالسیلیک B×C
0.00026^{**}	0.0007^{ns}	5.262^{ns}	22.634^{**}	4	بیوچار × اسید سالسیلیک × دور آبیاری A×B×C
0.00004	0.0009	4.977	3.978	45	خطای کل Total error
14.44	14.18	3.84	3.923	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

محتوی نسبی آب برگ: طبق نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) دور آبیاری و سالسیلیک اسید و هم‌چنین اثرات متقابل آبیاری و بیوچار و سالسیلیک اسید و بیوچار در میزان محتوی نسبی آب برگ اثر معنی‌داری داشت. به‌طورکلی افزایش دور آبیاری موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ گل گاوزبان اروپایی شد. مقایسه میانگین کاربرد مقادیر بیوچار در دورهای مختلف آبیاری نشان داد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در دور آبیاری ۵ روز و کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار در دور آبیاری ۱۰ روز، محتوی نسبی آب برگ را نسبت به عدم کاربرد بیوچار افزایش داد، در صورتی‌که در دور آبیاری ۱۵ روز، کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار از این لحاظ تفاوتی با عدم مصرف آن نداشت و کاربرد مقادیر بالاتر (۱۰ تن در هکتار بیوچار) به‌طور معنی‌داری میزان آن را کاهش داد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در تمامی سطوح بیوچار با افزایش دور آبیاری محتوی نسبی آب برگ به‌طور چشمگیری کاهش یافت و کاربرد بیوچار تأثیر چشمگیری در کاهش اثرات تنش ناشی از دور آبیاری نداشت (شکل ۱).

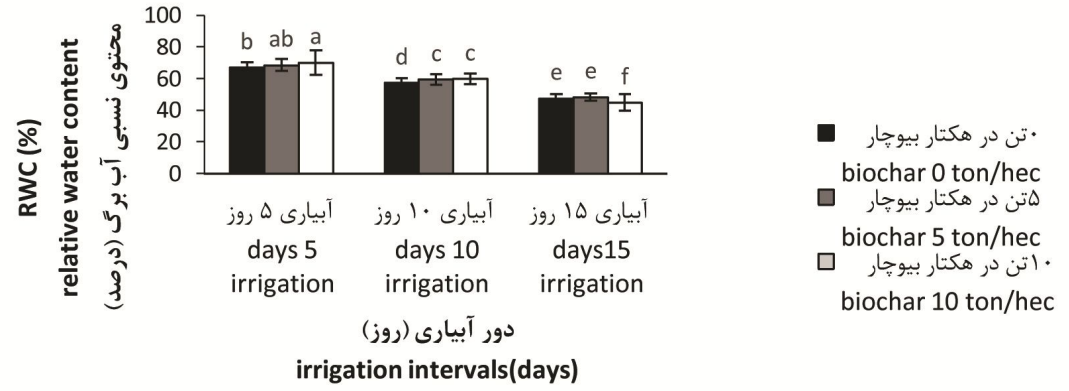
جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه دور آبیاری و بیوچار و اسید سالسیلیک بر برخی از صفات گیاه گل گاوزبان اروپایی.

Table 4. Comparison of triple effects of salicylic, biochar and different irrigation intervals on some characteristics of *Borago officinalis* L.

دور آبیاری (A) Irrigation (Day) (روز)	بیوچار (B) Biochar (ton/hec) (تن در هکتار)	اسید سالسیلیک (C) Salicylic acid (mM) (میلی‌مولار)	شاخص پایداری غشای برگ Membrane stability index (MSI) (%)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg/g)	تعداد ساقه گل‌دهنده Number of flowers shoot (per plant)
۵ روز 5day	صفر (b1)	عدم مصرف (c1)	52.90^{d}	0.032i^{h}	8^{e}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	67.022^{b}	0.043e^{fgh}	12.25^{b}
	۵ تن در هکتار (b2)	عدم مصرف (c1)	55.40^{d}	0.035^{ghi}	9.75^{cd}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	70.35^{a}	0.047^{ef}	10.25^{c}
	۱۰ تن در هکتار (b3)	عدم مصرف (c1)	59.55^{c}	0.039^{fgh}	9^{d}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	71.24^{a}	0.051^{e}	16^{a}
۱۰ روز 10day	صفر (b1)	عدم مصرف (c1)	42.46^{ijk}	0.061^{d}	5^{i}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	49.74^{e}	0.105^{a}	7.25^{fe}
	۵ تن در هکتار (b2)	عدم مصرف (c1)	45.36^{fgh}	0.069^{cd}	6^{gh}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	46.43^{fg}	0.079^{bc}	6.50^{fg}
	۱۰ تن در هکتار (b3)	عدم مصرف (c1)	43.95g^{hij}	0.065^{d}	5.25^{i}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	47.84^{ef}	0.088^{b}	7^{f}
۱۵ روز 15day	صفر (b1)	عدم مصرف (c1)	42.96^{hijk}	0.020^{jk}	1^{m}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	40.82^{k}	0.021^{jk}	4^{jk}
	۵ تن در هکتار (b2)	عدم مصرف (c1)	43.96^{ghi}	0.043^{efg}	1.75^{lm}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	41.89^{jk}	0.025^{ij}	4.50^{ij}
	۱۰ تن در هکتار (b3)	عدم مصرف (c1)	48.084^{ef}	0.013^{k}	2.50^{i}
		۰/۵ میلی‌مولار (c2)	44.84^{ghi}	0.017^{jk}	3.50^{k}

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

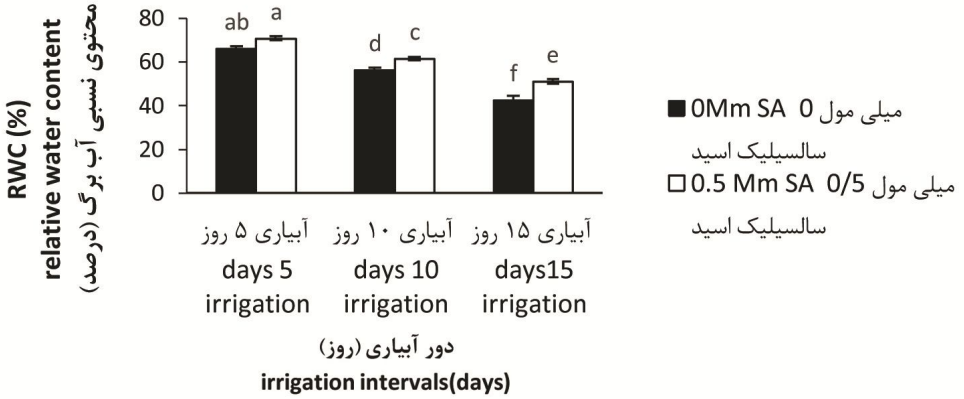
Means followed by similar letters have not significantly different at α= 5% probability level, LSD Test.



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوی نسبی آب برگ (درصد) تحت‌تأثیر برهمکنش بیوچار و دور آبیاری در گاوزبان اروپایی.

Fig. 1. Interaction effects of biochar and different irrigation intervals on leaf relative water content (RWC) in *Borago officinalis* L.

کاربرد اسید سالیسیلیک در هر دو دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز محتوی نسبی آب برگ را نسبت به تیمار عدم مصرف آن افزایش داد، اماتأثیری در تعدیل کاهش تنش ناشی از افزایش دور آبیاری نداشت (شکل ۲).



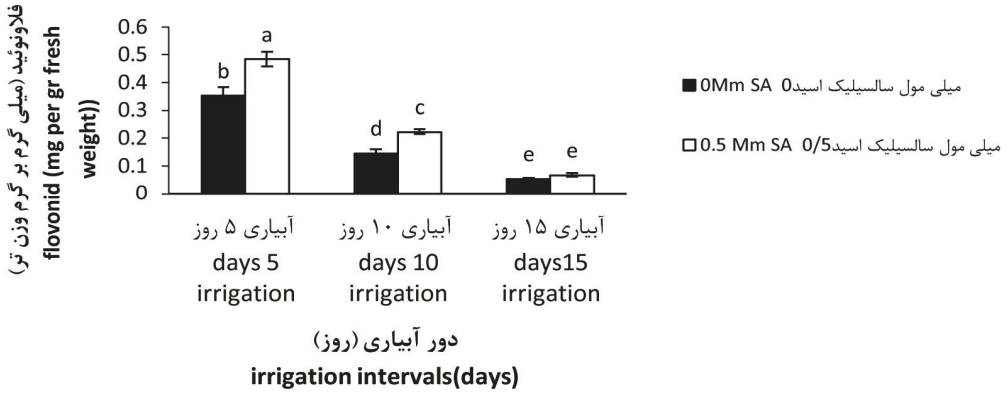
شکل ۲- مقایسه میانگین محتوی نسبی آب برگ (درصد) تحت‌تأثیر برهمکنش اسید سالسیلیک و دور آبیاری در گل گاوزبان اروپایی.

Fig. 2. Interaction effects of SA and different irrigation intervals on leaf relative water content (RWC) (%) in *Borago officinalis* L.

با کاهش آب در خاک، گیاه میزان آب پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رساند تا آب با نیروی بیش‌تری وارد گیاه شود. همین امر سبب کاهش آب در درون بافت‌ها در شرایط خشکی نسبت به شرایط بدون تنش خشکی می‌گردد (۲۰). کاهش محتوی نسبی آب برگ بر اثر تنش خشکی، همبستگی مثبت و بالایی با میزان رطوبتی موجود در خاک دارد (۲۱). از آن‌جا که به‌نظر می‌رسد، بیوچار به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک در افزایش آب قابل‌دسترس خاک و گیاه نقش دارد (۲۲)، بنابراین از این طریق موجب افزایش محتوی آب سلول شده است. در پژوهشی مشابه، کاربرد بیوچار موجب افزایش پایداری غشاء محتوی نسبی آب برگ در گوجه فرنگی تحت تنش خشکی شد (۲۳) هم‌چنین بیوچار رشد ریشه را گسترش داده و میزان تعرق را کاهش می‌دهد و از این طریق کارایی مصرف آب در گیاه را افزایش داده و موجب بهبود تحمل گیاه به خشکی می‌شود (۲٤). سایر بررسی‌ها نیز بیانگر آن است که بیوچار موجب افزایش آب قابل‌دسترس خاک و پتانسیل آب برگ می‌گردد. در این خصوص گزارش شده است که کاربرد بیوچار به میزان ۲۲ تن و ٤٤ تن در هکتار انگور، آب قابل‌دسترس خاک را به‌میزان ۳/۲ درصد تا ٤٥ درصد و پتانسیل آب برگ را نیز ۲٤ تا ۳۷ درصد افزایش داد (۲۲).

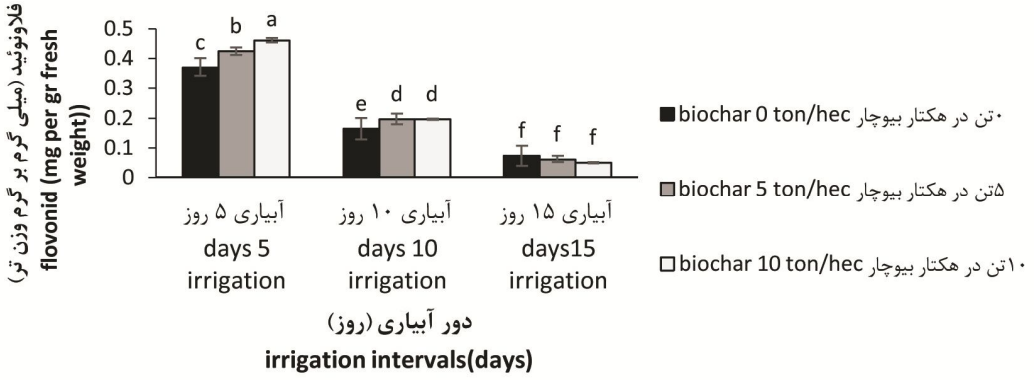
فلاونوئید برگ: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر میزان فلاونوئید برگ (جدول ۳) نشان داد که اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار و نیز دور آبیاری و اسید سالسیلیک بر صفت مذکور معنی‌دار بود. مقایسه میانگین کاربرد مقادیر مختلف اسید سالسیلیک در دور آبیاری مختلف نشان داد (شکل ۳) که با افزایش دور آبیاری میزان فلاونوئید برگ به‌شدت کاهش یافت، که کاربرد اسید سالسیلیک تا حدودی در بهبود آن نقش داشت، به‌طوری‌که در دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز، میزان فلاونوئید در شرایط

کاربرد اسید سالسیلیک نسبت به شرایط عدم مصرف آن به‌ترتیب ۳۷، ۵۲ و ۲٤ درصد بیش‌تر بود. کاربرد بیوچار بسته به دور آبیاری، اثرات متفاوتی بر روی میزان فلاونوئید برگ داشت، مصرف بیوچار در دور آبیاری ۵ روز و ۱۰ روز موجب بهبود مقدار فلاونوئید نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد که میان مقادیر مختلف بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) از لحاظ این اثر مثبت تنها در شرایط آبیاری ۵ روز تفاوت معنی‌داری دیده شد، به‌طوری‌که میزان آن در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار به‌ترتیب به‌میزان ۱٤/۵ و ۲٤/۵ درصد افزایش یافت (شکل ٤).



شکل ۳- مقایسه میانگین میزان فلاونوئید برگ تحت‌تأثیر بر همکنش اسید سالسیلیک **و دور آبیاری در گاوزبان اروپایی.**

Fig. 3. Interaction effects of SA and different irrigation intervals on flavonoids content of leaf in *Borago officinalis* L.



شکل ٤- مقایسه میانگین میزان فلاونوئید برگ تحت‌تأثیر برهمکنش بیوچار و دور آبیاری درگاوزبان اروپایی.

Fig. 4. Interaction effects of biochar and different irrigation intervals on flavonoids content of leaf in *Borago officinalis* L.

گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده ناشی از خشکی، سازوکارهای دفاعی مختلف آنزیمی و غیرآنزیمی را به‌کار می‌برند. سیستم غیرآنزیمی شامل ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین می‌باشد (۲۵)

گزارش‌ها بیانگر آن است که ساخت این مواد با محرک‌های محیطی گوناگون مانند نور ماوراءبنفش و خشکی و نیز حمله عوامل بیماریزا تحریک می‌شوند. کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه *Panax ginseng* افزایش قابل‌توجه میزان فلاونوئیدها را به همراه

داشت (۲٦). هم‌چنین، کاربرد هم‌زمان مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک و پنکونازول سبب افزایش فلاونوئید (با کاربرد مقدار ۲۰۰ میلی‌مولار) و آنتوسیانین (با کاربرد ۱۰۰ میلی‌مولار) در گیاه گلرنگ شد (۲۷). گرچه اثرات بیوچار بر روی خصوصیات فیتوشیمیایی گیاهان کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته است، اما برخی از مطالعات افزایش فلاونوئید را در اثر کاربرد بیوچار در گیاهان مورد مطالعه گزارش نموده‌اند (۲۸ و ۲۹ و ۳۰). کاربرد بیوچار به همراه لجن فاضلاب موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گندم شد که این افزایش به بهبود توانایی کلات‌سازی یون‌ها (۳۹/۸ درصد) و نیز رفع رادیکال‌های آزاد (۲۵ درصد) نسبت داده شد. مطالعه حاضر نشان داد که میزان فلاونوئید تحت‌تأثیر رطوبت نسبی و پایداری غشای برگ و نیز میزان نیتروژن برگ‌هاست (جدول ۵) و از آن‌جایی‌که بیوچار با بهبود خصوصیات خاک در افزایش صفات ذیل مؤثر بوده است، می‌تواند در افزایش فلاونوئید نیز اثرگذار باشد.

جدول ۵- همبستگی صفات مورد مطالعه در اثر تیمارهای دور آبیاری و بیوچار و اسید سالسیلیک.

Table 5. Correlation of traits in biochar, different irrigation intervals and salicylic acid treatment.

	درصد رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content (RWC)	درصد پایداری غشای پلاسمایی Membrane stability index (MSI) (%)	آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoids	درصد نیتروژن کل گیاه Total nitrogen of plant
درصد رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content (RWC)	1	0.71^{**}	0.35^{**}	0.89^{**}	0.57^{**}
شاخص پایداری غشای پلاسمایی Membrane stability index (MSI) (%)		1	0.01^{ns}	0.88^{**}	0.46^{**}
آنتوسیانین Anthocyanin			1	0.21^{ns}	0.05^{ns}
فلاونوئید Flavonoids				1	0.55^{**}
درصد نیتروژن گیاه کل Total nitrogen of plant					1

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** respectively non-significant, significant at 5% and significant at 1%.

آنتوسیانین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری، بیوچار و اسید سالسیلیک و هم‌چنین اثرات متقابل دوگانه دور آبیاری و اسید سالسیلیک و دور آبیاری و بیوچار و اثرات سه‌گانه آن‌ها بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه (جدول ٤) نشان داد که گیاه گل گاوزبان در پاسخ به افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز میزان آنتوسیانین خود را نسبت به حالت نرمال آبیاری افزایش داد اما با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز میزان آنتوسیانین به‌شدت کاهش یافت، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان آنتوسیانین در دور آبیاری ۱۵ روز و مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار و عدم مصرف بیوچار به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان آنتوسیانین نیز در دور آبیاری ۱۰ روز و با مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار توأم با کاربرد اسید سالسیلیک به‌دست آمد. در شرایط نرمال آبیاری (۵ روز) کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر روی میزان آنتوسیانین نداشت (هم در شرایط کاربرد اسید سالسیلیک و هم عدم مصرف آن)، اما با افزایش

دور آبیاری به ۱۰ روز کاربرد بیوچار به تنهایی و بدون استفاده از سالسیلیک اسید، موجب افزایش آنتوسیانین شد. کاربرد بیوچار به میزان ۵ تن در هکتار در آبیاری ۱۵ روز (در شرایط عدم مصرف اسید سالسیلیک) موجب افزایش چشمگیر آنتوسیانین شد، به‌طوری‌که میزان آنتوسیانین از میزان ۰/۰۲۰ (در شرایط عدم مصرف بیوچار) به ۰/۰۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. کاربرد اسید سالسیلیک توام با ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار در آبیاری نرمال موجب افزایش میزان آنتوسیانین نسبت به عدم مصرف آن شد، با افزایش دور آبیاری به ۱۰ روز، کاربرد اسید سالسیلیک به تنهایی و نیز توام با ۱۰ تن در هکتار توانست اثر معنی‌داری بر روی آنتوسیانین نسبت به عدم مصرف آن داشته باشد. در دور آبیاری ۱۵ روز تنها با کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار میزان آنتوسیانین نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت. به‌طورکلی به غیر از فعالیت‌های آنزیمی و تجمع مواد محلول، تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنلی و آنتوسیانین نیز به شدت تحت‌تأثیر تنش آب قرار می‌گیرد و شواهد زیادی نشان می‌دهد که در شرایط تنش تولید برخی از آن‌ها تا چندین برابر افزایش می‌یابد (۳۱). رضوی‌زاده و همکاران (۳۲) نشان دادند که گیاهچه‌های آویشن با افزایش سازوکارهای غیرآنزیمی مانند افزایش ترکیبات فنلی و آنتوسیانین تحت شرایط خشکی در شرایط درون‌شیشه‌ای از خود مقاومت نشان دادند. افزایش میزان این ترکیبات در اثر تنش خشکی القا شده در محیط، می‌تواند به‌دلیل عملکرد حفاظتی این ترکیبات در مقابل تنش و جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن باشد. این ترکیبات، ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاستی را از تأثیرات منفی خشکی محافظت می‌کنند و هم‌چنین با عمل لیپواکسیژناز از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کنند (۳۳). نتایج همبستگی (جدول ٦) نشان داد که با افزایش محتوی نسبی آب برگ میزان آنتوسیانین نیز افزایش می‌یابد و از آن‌جایی که بیوچار و سالسیلیک اسید در بهبود روابط آبی گیاه نقش مهمی دارند، به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش آنتوسیانین موجود در برگ‌ها افزایش محتوی نسبی آب برگ آن‌ها باشد.

نیتروژن کل گیاه: طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ٦) اثر اصلی بیوچار در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و هم چنین اثرات متقابل دوگانه بیوچار و آبیاری بر میزان نیتروژن کل معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری (شکل ٦) نشان داد که در دور آبیاری ۵ روز، کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار و هم‌چنین در دور آبیاری ۱۵ روز، کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار، درصد نیتروژن برگ گل گاوزبان اروپایی را به‌طور چشم‌گیری نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف بیوچار) افزایش داد. هم‌چنین نتایج بیانگر آن است که کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز، تنش ناشی از افزایش دور آبیاری را در خصوص میزان نیتروژن برگ تعدیل نمود.

نیتروژن یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بسیاری از مولکول‌های مهم مانند پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، برخی هورمون‌ها (مانند ایندول استیک اسید و سایتوکینین) و کلروفیل می‌باشد. یافته‌های این پژوهش با مطالعه قلی نژاد درباره اثرات منفی تنش خشکی در کاهش میزان نیتروژن گیاه گل گاوزبان اروپایی هم‌سو بود (۳٤ و ۳۵). تنش کم‌آبی دسترسی گیاه به نیتروژن، توان جذب نیتروژن و نیز فعالیت آنزیم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، عمدتاً نیترات ردوکتاز[1] و گلوتامین سنتاز[2] را کاهش می‌دهد. آنزیم نیترات ردوکتاز در تنظیم متابولیسم نیتروژن تحت تنش‌های محیطی دخالت دارد (۳٦). در برخی گزارش‌ها عنوان شده است که فعالیت آنزیم مذکور تحت‌تأثیر تنش خشکی ممانعت می‌شود. این بازدارندگی می‌تواند

1- Nitrate reductases (NR)
2- Glutamine synthetase (GS)

به‌واسطه کاهش قابلیت دسترسی و جذب نیتروژن توسط ریشه و نیز جریان آهسته نیتروژن از ریشه به برگ‌ها و در نهایت، کاهش مقادیر نیترات برگ طی تنش خشکی اتفاق بیافتند. (۳۷). برخی از پژوهش‌ها افزایش نیتروژن گیاهان مختلف را با کاربرد بیوچار گزارش نموده‌اند. (۳۸ و ۳۹). در گیاه برنج کاربرد بیوچار موجب افزایش ۲۳ تا ۲۷ درصدی جذب نیتروژن از ریشه شد، هم‌چنین کاربرد ۵ تا ۲۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش کارایی نیتروژن به میزان ۵/۲ تا ۳۷/۹ درصد در گندم شد (٤٠). بیوچار از طریق افزایش جذب و نگه‌داری نیتروژن به شکل نیترات و آمونیوم و کاهش آبشویی فسفر و نیتروژن در افزایش کارایی نیتروژن گیاه نقش دارد که ناشی از سطح ویژه بالای بیوچار و افزایش تبادل کاتیونی خاک است. علاوه بر آن، ساختار متخلخل بیوچار افزایش رشد ریشه و ایجاد فضای بهتر برای رشد آن را به دنبال دارد و همین امر نیز در افزایش کارایی نیتروژن مؤثر است (٤٠). علاوه بر آن کاربرد بیوچار موجب افزایش تثبیت نیتروژن توسط ریزجانداران می‌گردد که این امر را با تغییر نسبت کربن به نیتروژن و نیز میزان پی اچ و اکسیژن خاک فراهم می‌کند؛ بیوچار هم‌چنین دو آنزیم گلوتامات دهیدروژناز[1] و گلوتامین سنتتاز[2] را که هر دو در اسیلمیلاسیون نیتروژن و سنتز آمینو اسیدها بسیار مؤثر هستند، افزایش می‌دهد (۳۵).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر بیوچار و اسید سالسیلیک بر برخی خصوصیات زراعی گیاه گل گاوزبان اروپایی در دور آبیاری مختلف بر اساس میانگین مربعات.

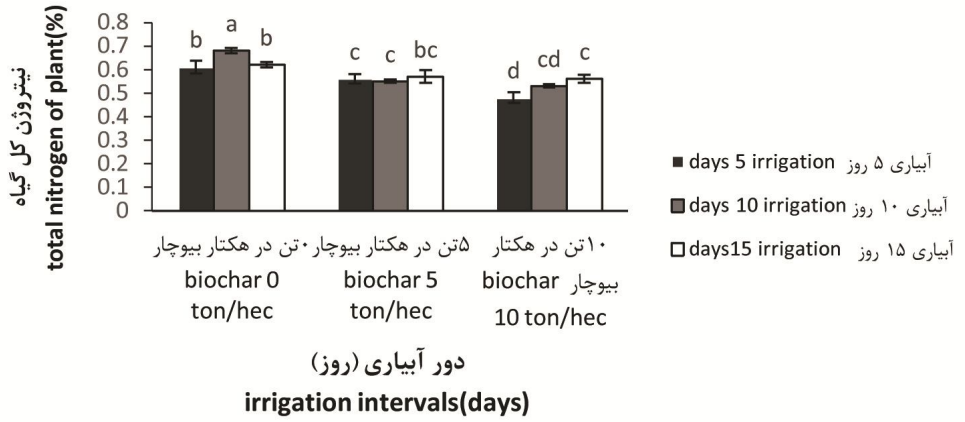
Table 6. Analysis of variance (mean of squares) the effect of biochar and salisilic acid on agronomicl characteristics of *Borago officinalis* L under differnet irrigation intervals.

نسبت وزن تر به خشک گل Ratio of Fresh Weight to Dry Weight of Flower	وزن تر گل Fresh Weight of Flower	وزن خشک گل Dry Weight of Flower	تعداد ساقه گل‌دهنده Number of flowers shoot	نیتروژن کل گیاه Total Nitrogen of plant	درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V.
0.151^{ns}	9.575^{ns}	5.03^{ns}	1.98^{ns}	0.0005^{ns}	3	تکرار Replication (R)
0.049^{ns}	254.274^{*}	71.80^{*}	388.01^{**}	0.0784^{**}	2	دور آبیاری water deficit (A)
0.062^{ns}	33.530^{**}	12.73^{**}	0.495^{ns}	0.0060^{*}	6	خطای آزمایشی Error a factor (a)
0.025^{ns}	0.173^{ns}	2.37^{ns}	12.84^{**}	0.0088^{*}	2	بیوچار Biochar (B)
0.014^{ns}	12.083^{ns}	4.24^{ns}	8.84^{**}	0.0078^{*}	4	بیوچار × دور آبیاری (A × B)
0.005^{ns}	0.008^{ns}	0.14^{ns}	117.55^{**}	0.0001^{ns}	1	سالسیلیک اسید Salicylic acid (C)
0.039^{ns}	13.891^{ns}	1.09^{ns}	9.18^{**}	0.0026^{ns}	2	سالسیلیک اسید × دور آبیاری (A×C)
0.040^{ns}	2.815^{ns}	1.74^{ns}	0.93^{ns}	0.0023^{ns}	2	بیوچار × سالسیلیک اسید (B×C)
0.013^{ns}	18.805^{ns}	6.27^{ns}	5.305^{**}	0.0006^{ns}	4	بیوچار اسید × سالسیلیک × دور آبیاری (A×B×C)
0.028	8.329	2.58	0.301	0.0024^{ns}	45	خطای کل Total error
10.22	14.78	13.49	8.27	8.54	-	ضریب تغییرات (درصد) CV(%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

1- Dehydrogenase Glutamine (GDHS)
2- Glutamine synthetase (GS)



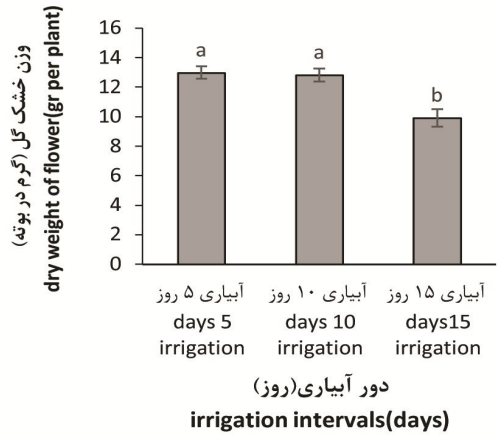
شکل ۵- مقایسه میانگین درصد نیتروژن کل گیاه تحت‌تأثیر برهمکنش بیوچار و دور آبیاری در گاوزبان اروپایی.

Fig. 5. Interaction effects of biochar and different irrigation intervals on total nitrogen of plant in *Borago officinalis* L.

تعداد ساقه گل‌دهنده: نتایج تجزیه واریانس (جدول ٦) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری، بیوچار و اسید سالسیلیک و هم‌چنین اثرات متقابل دوگانه دور آبیاری و اسید سالسیلیک و اثرات سه‌گانه دور آبیاری و سالسیلیک اسید و بیوچار بر تعداد ساقه گل‌دهنده معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه (جدول ٤) نشان داد که افزایش دور آبیاری موجب کاهش تعداد ساقه گل‌دهنده شد که مصرف بیوچار و اسید سالسیلیک آن را بهبود بخشید. به‌طوری‌که مصرف توام بیوچار(به‌میزان ۱۰تن در هکتار) به همراه سالسیلیک اسید بیش‌ترین تعداد ساقه گل‌دهنده را به همراه داشت (جدول ٤) مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تنش خشکی اثرات فیزیولوژیکی مختلفی مانند کاهش میزان فتوسنتز از طریق بستن روزنه‌ها، کاهش فضای بین سلولی، کاهش تقسیم سلول و در نتیجه کاهش رشد و ارتفاع گیاه را به دنبال دارد (٤١). برخی از پژوهشگران عوامل مؤثر در کاهش رشد گیاهان تحت تنش خشکی را اختلال در تقسیم میتوز، کاهش تورژسانس و رشد و توسعه سلولی می‌دانند که در نهایت کاهش رشد گیاه را در بر دارد (٤٢). با کاهش مقدار رطوبت و افزایش شدت بروز تنش خشکی از رشد رویشی گیاه کاسته شد و از آن‌جا که در شرایط بروز تنش راهکار گیاه این است که با حداقل رشد رویشی وارد مرحله رشد زایشی شود و دوره رشد خود را به‌سرعت به اتمام برساند، بنابراین، تعداد شاخه جانبی روندی کاهشی نشان داد (٤٣). مینایی و حیدری (٢٠١٤) نیز بیان نمودند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گل، عملکرد زیست‌توده، تعداد شاخه‌های جانبی و عملکرد سرشاخه گل گاوزبان اروپایی داشت که اعمال تنش خشکی ملایم سبب افزایش آن‌ها شد، اما با افزایش دور آبیاری مقادیر این صفات کاهش یافتند، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده و عملکرد سرشاخه‌ها مربوط به تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و بالاترین تعداد شاخه‌های جانبی مربوط به تیمار ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه بود (۳۳).

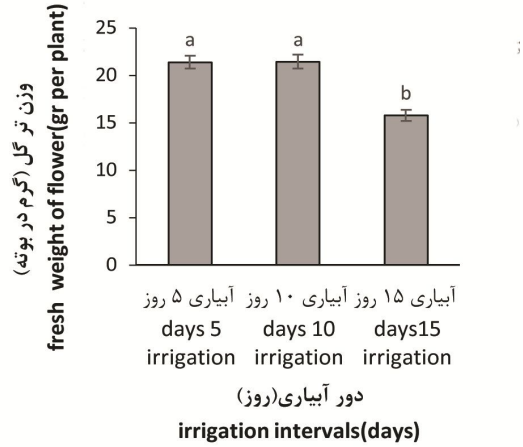
وزن خشک و تر گل و نسبت وزن تر به وزن خشک گل: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر وزن خشک و تر گل گاوزبان اروپایی (جدول ٦) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر هر دو صفات مذکور معنی‌دار بود، در حالی‌که که نسبت وزن تر گل به وزن خشک آن تحت‌تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها قرار نگرفت. مقایسه میانگین اثرات اصلی دور آبیاری

بر وزن خشک گل (شکل ٦) و نیز وزن تر آن (شکل ٧) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ٥ و یا ١٠ روز به ١٥ روز میزان وزن خشک و وزن تر گل به‌طور چشمگیری کاهش یافت. میزان کاهش وزن خشک و تر گل نسبت به شاهد به‌ترتیب ٢٩ و ٣٤ درصد بود. در مطالعه‌ای مشابه، اثرات ساده و متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تراکم بوته بر روی عملکرد گل گیاه گاوزبان اروپایی معنی‌دار بود به‌طوری‌که افزایش مقدار آبیاری از ١٠٠٠ به ٣٠٠٠ مترمکعب در هکتار موجب افزایش تعداد گل در تراکم مطلوب شد (٤٣). کاهش عملکرد گل تحت تنش خشکی می‌تواند به کاهش تعداد شاخه جانبی، کاهش تعداد گل، کاهش سطح برگ تولیدی و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه مربوط باشد (٣٣). از آن‌جایی‌که تنش خشکی موجب کاهش تعداد ساقه گل‌دهنده و نیز رطوبت نسبی و پایداری غشای برگ و درصد نیتروژن آن که نقش اساسی در توان فتوسنتزی و رشد گیاه دارند می‌گردد و از آن‌جایی‌که این صفات فوق همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقدار وزن گل (خشک و تر) دارند (جدول ٦)؛ به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی از طریق کاهش صفات فوق موجب کاهش گلدهی در گیاه گل گاوزبان اروپایی شده است.



شکل ٦- مقایسه میانگین وزن خشک گل تحت‌تأثیر دور آبیاری مختلف در گل گاوزبان اروپایی.

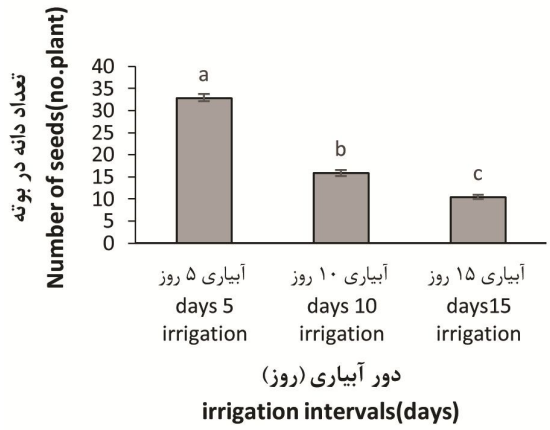
Fig. 6. Effects of different irrigation intervals on dry weight of flower in *Borago officinalis* L.



شکل ٧- مقایسه میانگین وزن تر گل تحت‌تأثیر دور آبیاری مختلف در گل گاوزبان اروپایی.

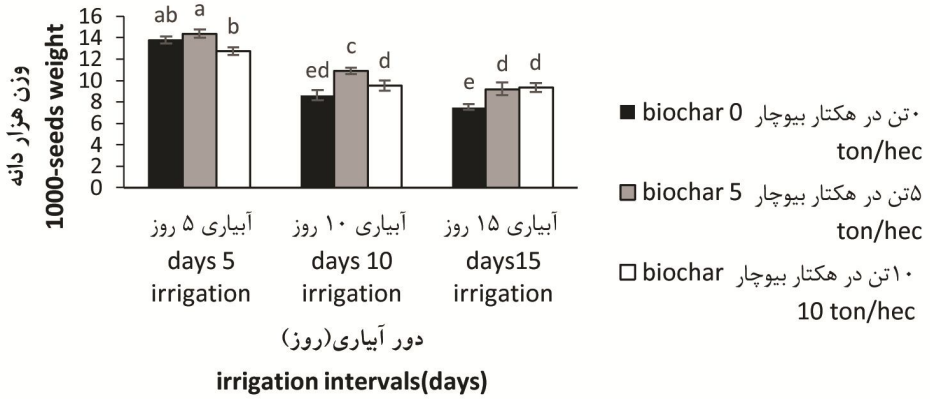
Fig. 7. Effects of different irrigation intervals on fresh weight of flower in *Borago officinalis* L.

تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر تعداد دانه و وزن هزاردانه در بوته گاوزبان اروپایی (جدول ۷) نشان داد که دور آبیاری اثر معنی‌داری هم بر روی تعداد دانه و هم وزن هزاردانه داشت، اما بیوچار و اثر متقابل بیوچار و دور آبیاری تنها بر روی وزن هزاردانه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری بر روی تعداد دانه (شکل ۸) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از شرایط نرمال به ۱۰ و ۱۵ روز تعداد دانه در بوته به‌ترتیب ۵۰ و ۶۸ درصد کاهش یافت. مقایسه میانگین اثرات متقابل بر روی وزن هزاردانه (شکل ۹) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۵ روز به ۱۰ و ۱۵ روز میزان وزن هزاردانه کاهش یافت و تفاوتی میان مصرف و عدم مصرف بیوچار در این دور آبیاری وجود نداشت. تنها در دور آبیاری ۱۰ روز میان بیش‌ترین میزان وزن هزاردانه با کاربرد بیوچار به میزان ۵ تن در هکتار حاصل شد. در بسیاری از گیاهان، وقوع تنش آبی در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد گل‌های بارور و به دنبال آن کاهش تعداد دانه می‌گردد که در نتیجه کاهش بسیار زیاد عملکرد را به دنبال دارد (۴۴).



شکل ۸- مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته تحت‌تأثیر دور آبیاری مختلف در گل گاوزبان اروپایی.

Fig. 8. Effects of different irrigation intervals on number of seeds plant in *Borago officinalis* L.



شکل ۹- مقایسه میانگین وزن هزاردانه تحت‌تأثیر برهمکنش بیوچار و دور آبیاری درگاوزبان اروپایی.

Fig. 9. Interaction effects of biochar and different irrigation intervals on 1000-seeds weight in *Borago officinalis* L.

درصد روغن: نتایج آنالیز واریانس تیمارهای آزمایش بر درصد روغن دانه‌های گاوزبان اروپایی (جدول ۷) نشان داد که دور آبیاری، اسید سالسیلیک و نیز بیوچار و اثرات دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر میزان درصد روغن اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد (جدول ۸) که بیش‌ترین درصد روغن در شرایط کاربرد بیوچار در آبیاری ۵ روز و ۱۰ روز دیده شد و با افزودن دور آبیاری به ۱۵ روز میزان روغن کاهش یافت و کاربرد بیو کاهش میزان روغن به علت خشکی در گیاهان بسیاری از جمله سویا گزارش شده است. کاهش درصد روغن را می‌توان به حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی و کاهش فتوسنتز جاری و کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پر شدن دانه و هم‌چنین کاهش طول دوره پر شدن دانه نسبت داد (٤٤).

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر بیوچار و اسید سالسیلیک بر خصوصیات بذر گیاه گل گاوزبان اروپایی در دور آبیاری مختلف بر اساس میانگین مربعات.

Table 7. Analysis of variance (mean of squares) the effect of biochar and salisilic acid on seeds characteristics of *Borago officinalis* L under differnet irrigation intervals.

روغن دانه (درصد) Oil seed(%)	وزن هزاردانه (گرم بر مترمربع) 1000- seed weight ($g.m^2$)	تعداد دانه در بوته Number of seeds (no.plant)	درجه آزادی (df)	منابع تغییر S.O.V.
0.586^{ns}	0.38^{ns}	25.90^{ns}	3	تکرار Replication (R)
335.69^{**}	164.080^{**}	3296.54^{**}	2	دور آبیاری water deficit (A)
0.363^{ns}	2.586^{ns}	15.43^{ns}	6	خطای آزمایشی Error a factor (a)
9.92^{*}	14.068^{**}	6.12^{ns}	2	بیوچار Biochar (B)
2.63^{ns}	5.040^{*}	3.22^{ns}	4	بیوچار × دور آبیاری (A × B)
9.80^{**}	4.073^{ns}	0.12^{ns}	1	اسید سالسیلیک Salicylic acid (C)
11.12^{**}	1.166^{ns}	16.79^{ns}	2	اسید سالسیلیک × دور آبیاری (A×C)
0.39^{ns}	0.583^{ns}	1.29^{ns}	2	بیوچار × اسید سالسیلیک (B×C)
9.78^{**}	0.586^{ns}	16.64^{ns}	4	بیوچار × اسید سالسیلیک × دور آبیاری (A×B×C)
1.95	1.363	10.92	45	خطای کل Total error
4.97	10.95	16.76	-	ضریب تغییرات (درصد) CV(%)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and ** non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه دور آبیاری و بیوچار و سالسیلیک اسید بر درصد روغن بذر گیاه گل گاوزبان اروپایی.

Table 8. Comparison of triple effects of salicylic, biochar and different irrigation intervals on oil seeds (%) of *Borago officinalis* L.

دور آبیاری (A) (روز) Irrigation (day)	بیوچار (B) (تن در هکتار) Biochar (ton/hec)	اسید سالسیلیک (C) (میلی‌مولار) Salicylic acid (Mm)	میزان روغن (درصد) Oil seedt (%)
۵ روز 5 day	صفر (b_1)	عدم مصرف (c_1)	31.04^{abcd}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	31.52^{abcd}
	۵ تن در هکتار (b_2)	عدم مصرف (c_1)	32.04^{abc}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	31.31^{a}
	۱۰ تن در هکتار (b_3)	عدم مصرف (c_1)	32.61^{bcde}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	30.16^{ef}
۱۰ روز 10 day	صفر (b_1)	عدم مصرف (c_1)	28.86^{bcde}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	27.61^{fgh}
	۵ تن در هکتار (b_2)	عدم مصرف (c_1)	29.82^{de}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	29.21^{abcde}
	۱۰ تن در هکتار (b_3)	عدم مصرف (c_1)	30.79^{abcde}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	22.86^{ij}
۱۵ روز 15 day	صفر (b_1)	عدم مصرف (c_1)	26.86^{fg}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	22.58^{g}
	۵ تن در هکتار (b_2)	عدم مصرف (c_1)	24.72^{hi}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	23.88^{ij}
	۱۰ تن در هکتار (b_3)	عدم مصرف (c_1)	23.35^{j}
		۰/۵ میلی‌مولار (c_2)	26.72^{gh}

میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Means followed by similar letters have not significantly different at α= 5% probability level based on LSD Test.

نتیجه‌گیری کلی

گرچه بین سطوح مختلف بیوچار از لحاظ اثرات مثبت در تقلیل اثرات تنش ناشی از دور آبیاری در برخی صفات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ اما به‌طورکلی کاربرد بیوچار در بهبود برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی گیاه گاوزبان در شرایط تنش خشکی اثر مثبتی داشت و می‌توان به‌عنوان یک راهکار پایدار برای افزایش مقاومت به خشکی به آن توجه بیش‌تری نمود. علاوه بر آن، کاربرد هم‌زمان بیوچار و اسید سالسیلیک در بیش‌تر صفات موجب افزایش کارایی آن‌ها در تقلیل اثرات خشکی شد.

منابع

1. Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A. and Maachi, R. 2016. Algerian mentha pulegium l. Leaves essential oil: chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. Ind. Crops Prod. 94: 197-205.
2. Karimi, E., Oskoueian, E., Karimi, A., Noura, R. and Ebrahimi, M. 2018. *Borago Officinalis* L. flower: a comprehensive study on bioactive compounds and its health-promoting properties. J. Food Meas. Charact. 12: 826-838.
3. Miceli, C., Moncada, A., Vetrano, F., Danna, F. and Miceli, A. 2019. Suitability of *Borago officinalis* for minimal processing as fresh-cut. Prod. Hort. 5: 4. 66.
4. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota: A review. Soil Bio. Biochem. 43: 9. 1812-1836.
5. Seehausen, M.L., Gale, N.V., Derange, S., Hudson, V., Liu, N., Michener, J., Thurston, E., Williams, C., Smith, S.M. and Thomas, S.C. 2017. Is there a positive synergistic effect of biochar and compost soil amendments on plant growth and physiological performance? Agron. 7: 13. 1-15.
6. Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S. and Rasul, F .2017. Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (l.) Merr. under drought stress. Pak. J. Bot. 49: 7-13.
7. Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K. and Zehtab Salamis, S. 2019. Changes in antioxidant enzymes activities and physiological traits of ajowan in response to water stress and hormonal application. Sci. Hort. 246: 957-964.
8. Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A. and Sareer, O. 2015. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. S. Afr. J. Bot. 98: 84-94.
9. Batool, A., Taj, S., Rashid, A., Khalid, A., Qadeer, S., Saleem, A.R. and Ghufran, M.A. 2015. Potential of soil amendments biochar and gypsum in increasing water use efficiency of *Abelmoschus Esculentus* L. Moench. Front. Plant Sci. 6: 1-13.
10. Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C. and Kammann, C. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. Plant Soil. 395: 1-2. 141-157.
11. Sairam, R.K. and Srivastsva, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*triticum aestivium* l.) vaiation in hydrogen peroxide assimilation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. J. Agron. Crop Sci. 186: 1. 63-700.
12. Kramer, P.S. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press. New York. 1st edition. 489: 342-415.
13. Mita, R. 1997. Oxidative stress. Antioxidants and stress tolerance. Trend. Plant Sci.. 7: 9. 405-410.
14. Krizek, D.T., Britz, S.J. and Mirecki, R.M. 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new red fire lettuce. Physiol. Plant. 103: 1. 1-7.
15. Papakosta, D.K. and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. Agron. J. 83: 5. 856-870.
16. Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S. and Fujita, K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis Palustris Huds*. Environ. Exp. Bot. 52: 2. 131-138.
17. Qayyum, A., Razzaq, A., Bibi, Y., Khan, S., Abbasi, S.K., Sher, A., Mehmood, A., Ahmed, W., Mahmood, I., Manaf, A., Khan, A., Farid, A. and Jenks, M. 2018. Water stress effects on biochemical traits and antioxidant activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) under in vitro conditions. Acta Agri Scand. 68: 4. 283-290.

18. Tarighaleslami, M., Kafi, M., Nezami, A. and Zarghami, R. 2017. Examining interactions of chilling and draught stresses on chlorophyll (SPAD), RWC, electrolyte leakage and seed performance in three hybrid varieties of maize. J. Crop Breed. 9: 23. 146-156. (In Persian)
19. Khan, N.A., Syeed, S., Masood, R., Nazar, A. and Iqbal, N. 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and anti-oxidative metabolism in mung bean and alleviates adverse effects of salinity stress. Int. J. Plant Sci. 1: 1. 1-8.
20. Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R. and Joshi, Y.C. 2002. Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field Crops Res. 74: 1. 67-79.
21. Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H. and Salahvarzi, Y. 2011. Effects of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of cucumber seedling (*Cucumis Sativus* Cv. Super Dominus) under drought stress. J. Plant Prod. 18: 3. 63-76. (In Persian)
22. Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C. and Genesio, L. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in (*Vitis vinifera* L.). Eur J. Agron. 53: 38-44.
23. Salim Akhtar, S., Guitong, L., Neumann Andersend, M. and Liu, F. 2018. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agri Water Manag. 138: 37-44.
24. Fischer, B., Manzoni, B., Morillas, L., Garcia, M., Johnson, M.S. and Lyon, S.W. 2019. Improving agricultural water use efficiency with biochar – a synthesis of biochar effects on water storage and fluxes across scales. Sci. Total Environ. 657: 853-862.
25. Azizian Shermeh, O., Taherizadeh, M., Valizadeh, M. and Qasemi, A. 2018. Robial and antioxidant activities and determining phenolic and flavonoid contents of the extracts of five species from different families of the medicinal plants grown in Sistan and Baluchistan province. J. Med Sci. 7: 465-479. (In Persian)
26. Ali, M.B., Hahn, E.J. and Paek, K.Y. 2007. Methyl jasmonate and salicylic acid induced oxidative stress and accumulation of phenolics in Panax ginseng bioreactor root suspension cultures. Molecules. 12: 3. 607-621.
27. Shaki F., Ebrahimzadeh, H. and Niknam, V. 2018. The effect of interaction between salicylic acid and penconazole on physiological and biochemical responses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity. J. Plant Res. 31: 2. 469-481. (In Persian)
28. Różyło, K., Świeca, M., Gawlik-Dziki, U. and Stefaniuk, M. 2017. The potential of biochar for reducing the negative effects of soil contamination on the phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain. Patryk Oleszczuk. Agr Food Sci. 26: 1. 34-46.
29. Ghassemi-Golezani, K. and Lotfi, R. 2015. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll a fluorescence in mung bean under salt stress. Russ. J. Plant Phys. 62: 5. 611-616.
30. Hashemi, A. and Shahani, A. 2019. Effects of salt stress on the morphological characteristics, total phenol and total anthocyanin contents of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Plant Phys. Reports, 24: 2. 210-214.
31. Hashem, I. and Mohamed, M.H. 2018. Aerodynamic performance enhancements of H-rotor Darrieus wind turbine. Energy. 142: 531-545.
32. Razavizadeh, R. and Adabavazeh, F. 2017 Effects of sorbitol on essential oil of (*Carum copticum* L.) under in vitro culture. Rom Biotech. Lett. 22: 1. 12281-12289.
33. Heidari, M. and Minaei, A. 2014. Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.) J. Plant Prod Res. 21: 1. 167-182. (In Persian)

34.Jones, J. and Benton, J. 2012. Plant nutrition and soil fertility manual. 2nd Edition. CRC Press Inc. Boca Raton, FL: 304.
35.Gholinezhad, R., Sirousmehr, A. and Fakheri, B. 2016. Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitive and quantitive yield of borage (*Borago officinalis* L.). J. Crop Ecophy. 10: 3. 683-696. (In Persian)
36.Prasad, P.V.V., Staggenborg, S.A. and Ristic, Z. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. In: Response of crops to limited water: understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. (Eds. Ahuja, L.R., Reddy, V.R., Saseendran, S.A. and Yu, Q. 301-355. American Society of Agronomy, Crop Science Society of American, Soil Science Society of American. Madison, USA.
37.Nasr Esfahani, M. and Madadkar Haghjou, M. 2015. Response of Glycine max to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. Iran. J. Plant Bio. 7: 24. 77-89.
38.Sun, H., Zhang, H., HI, W., Zhuo, M. and Ma, X. 2019. Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. Plant Soil Environ. 65: 2. 83-89.
39.Yadava, V., Karab, T., Singh, S., Kumar Singha, A. and Khare, P. 2019. Benefits of biochar over other organic amendments: responses for plant productivity (*Pelargonium graveolens* L.) and nitrogen and phosphorus losses. Ind. Crops Prod. 131: 96-105.
40.Cao, H., Ning, L., Xun, M., Feng, F., Li, P., Yue, S., Song, J., Zhang, W. and Yang, H. 2019. Biochar can increase nitrogen use efficiency of *Malus hupehensis* by modulating nitrate reduction of soil and root. App. Soil Eco. 135: 25-32.
41.Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. and Khodaei-Joghan, A. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agric Water Management, 117: 106-114.
42.Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H., Somasundaram, R. and Panneersel Vam, R. 2009. Drought stress in plants: A Review on morphological characteristics and pigments composition. Intel. J. Agri. Biol. 11: 1. 100-105.
43.Abdollahi Mayvan, M., Khorramdel, S., Koocheki, A. and Ghorbani, R. 2018. Evaluation of yield and yield component of borage (*Borago officinalis* L.) affected as irrigation level and plant density. J. Agroecol. 10: 2. 327-339. (In Persian)
44.Divsalarmary, M.Z., Thamasbisarvestani, A.M., Modaressanavi, A. and Hamidi. 2017. Study the effect of drought stress on oil, protein percent and fatty acids composition of soybean grain. J. Ecoph. 8: 44-55. (In Persian)