

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

رساله دکتری مهندسی زراعت (گرایش اکولوژی گیاهان زراعی)

بررسی اثر بیوچار و سالیسیک اسید بر خصوصیات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و
بیوشیمیایی گیاه گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. در شرایط تنش کم‌آبی

نگارنده: زهرا تقی زاده طبری

استاد راهنما:

دکتر حمید رضا اصغری

اساتید مشاور:

دکتر حمید عباسدخت

دکتر اسماعیل باباخانزاده سجیرانی

شهریور ۱۳۹۹

شماره: ۴۴۹

تاریخ: ۱۳۹۹/۸/۲۲

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

بدینوسیله گواهی می شود خانم زهرا تقی زاده طبری دانشجوی دکتری رشته زراعت به شماره دانشجویی ۹۴۰۰۲۳۵ و رودی ۹۴ در تاریخ ۹۹/۶/۳۰ از رساله نظری / عملی خود با عنوان: "بررسی اثر پیوجار و سالیسیک اسید بر خصوصیات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان اروپایی (Borago officinalis) در شرایط تنش کم آبی" دفاع و با اخذ نمره ۱۹/۵۴ به درجه: دکتری نائل گردید.

☒ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۷
☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹-۱۵	☐ د) مردود: کمتر از ۱۵

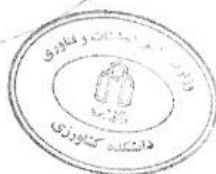
ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
1	استاد راهنما	دکتر حمید رضا اصغری	دانشیار	
2	مشاور	دکتر حمید عباس دخت	دانشیار	
3	مشاور	دکتر اسماعیل باباخانزاده	استادیار	
4	استاد مدعو داخلی	دکتر مصطفی حیدری	دانشیار	
5	استاد مدعو داخلی	دکتر مکاریان	دانشیار	
6	استاد مدعو خارجی	دکتر همنی	دانشیار	
7	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمد رضا عامریان	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای/خانم بعمل آید.

دکتر علی درخشان شادمهری رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تهدیه

روح بزرگوار پدرم و مادرم که راه زندگی من و خوشی بهیچکسی ام، هستند

و برادرم که سایه مهربانیش سایه ساز زندگیم می باشد

شکر و قدردانی

پاس از آفیدکاری که خوشن را به ما شناساند و دای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیا نماند. خدای رابی ما گرام که از روی کرم پدر و مادری خداکار نصیحت ساخت تا در سید دخت پر بار وجودشان بیایم و از ریثه آنها شاخ و برگ گیریم و از سید وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

پاس بی کران از جناب آقای دکتر حمید رضا صفری که گذر از مسیر دثوار رساله را بدیون بکاری و در اهنایی های بی دریغ ایشان، تسم و به راستی انجام این رساله بدون نظرهای صائب و بیکسیری های دلسوزانه و توثیق های امیدبخش ایشان میسر نبود. لطف و مهربانی بی شائبه شان همیشه در خاطر من خواهد ماند.

از زحمات بی دریغ و مشاورت های ارزشمند اساتید مشاور کرامیم جناب آقای دکتر حمید عبد خت و جناب آقای اسماعیل یلماخانزاده بجزرانی بسیار سپاسگزارم که با نظرات شوال راه گشایشان بر غنای علمی این تحقیق افزودند.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر مصطفی حیدری، جناب آقای دکتر حسن کلاریان، جناب آقای دکتر خدایار، بی که زحمت دآوری این رساله را متقبل شدند و همچنین از جناب آقای دکتر محمد رضا حامریان که زحمت هدایت جلد و دفع از رساله را بر همه گرفته، سپاسگزارم.

از سرکار خانم هانرس رشیدی، سانه میرزایی و افانیه بجزایی و به ویژه سرکار خانم هندس آموزکار به دلیل یاریا و راهنماییهای بی چشمداشت ایشان که بسیاری از سختیها را برایم آسانتر نمودند، کمال شکر را دارم.

تهدنامه

اینجانب زهرا تقی زاده طبری دانشجوی دوره دکتری رشته زراعت (اکولوژی گیاهان زراعی) دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثر بیوچار و سالیسیک اسید بر خصوصیات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* در شرایط تنش کم آبی تحت راهنمایی حمیدرضا اصغری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ شهریور ۱۳۹۹

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

با توجه به تاثیر سالیسیلیک اسید و بیوچار در تقلیل اثرات منفی تنش خشکی و نیز بهبود روابط آبی در گیاهان، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات گیاه گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و خاک تحت کشت در دوره‌های آبیاری مختلف انجام شد. این آزمایش در دو سال زراعی ۹۵ و ۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سطوح دور آبیاری در سه سطح (دور آبیاری ۵ روز یک بار که تحت عنوان شرایط نرمال آبیاری در نظر گرفته شد، دور آبیاری ۱۰ روز یکبار و ۱۵ روز یکبار) و کرت‌های فرعی شامل کاربرد بیوچار در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در دو سطح (۰ و ۰/۵ میلی مولار) بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر میزان رطوبت نسبی برگ، فلاونوئید برگ، کلروفیل b، تعداد ساقه گل دهنده، تعداد ساقه اصلی و نیتروژن گیاه (سال اول زراعی) و همچنین آمونیوم، نترات، نیتروژن خاک (هر دو سال زراعی) و تنفس خاک (سال زراعی دوم) معنی‌دار شد. اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان رطوبت نسبی برگ و فلاونوئید (هر دو سال زراعی) و کارتنوئید، وزن خشک ساقه گل دهنده و کل (سال اول زراعی) و اسیدهای چرب دانه، تعداد ساقه گل دهنده و اصلی (سال دوم زراعی) معنی‌دار بود. اثرات دو گانه بیوچار و سالیسیلیک اسید بر تعداد ساقه گل دهنده و اصلی و ارتفاع (سال دوم زراعی) و وزن خشک کل (سال اول زراعی) و نیز اثرات سه گانه تیمارهای سالیسیلیک اسید، بیوچار و دور آبیاری بر میزان کربن آلی خاک، شاخص پایداری غشای پلاسمایی، آنتوسیانین برگ، پرولین و آنزیم‌های آنتی اکسیدان، وزن خشک ساقه و برگ (هر دو سال زراعی) و کلروفیل b، وزن خشک کل، درصد روغن دانه (سال دوم زراعی) و تعداد ساقه گل دهنده، اصلی و ارتفاع بوته (سال اول زراعی) معنی‌دار شد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش دور آبیاری به میزان ۱۵ روز موجب کاهش میزان کلروفیل a شده (در سال اول ۳۸ و در سال دوم ۵ درصد) و میزان کلروفیل کل (در سال اول ۳۹ و در سال دوم ۷ درصد)، کلروفیل b (به ترتیب ۴۱ و ۵۰ درصد در سال‌های اول و دوم زراعی) را نیز کاهش می‌دهد. کاهش میزان کارتنوئید، پایداری غشای پلاسمایی (۲۳ و ۸ درصد سال‌های اول و دوم زراعی)، محتوی نسبی آب برگ (۳۳ و ۳۴ درصد در سال‌های اول و دوم زراعی) و قندهای محلول برگ (۳۱ و ۲۵ درصد در سال‌های اول و دوم زراعی) را نیز با افزایش دور آبیاری نسبت به ۵ روز مشاهده شد.

کاربرد بیوچار و سالیسیلیک اسید موجب بهبود برخی از صفات مورد بررسی تحت تنش کم آبیاری شد. استفاده از بیوچار موجب افزایش میزان کارتنوئید در سال زراعی اول شد، به طوری که میزان آن با کاربرد بیوچار به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار به ترتیب ۴۳ و ۷۳ درصد افزایش نشان داد. کاربرد بیوچار اثر معنی داری در افزایش وزن خشک گل داشت اما میان مقادیر بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) از این لحاظ تفاوتی مشاهده نشد. افزودن بیوچار در هر دو سال زراعی موجب کاهش معنی دار نیترات خاک در تمامی دوره های آبیاری نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد. میزان آنزیم های آنتی اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز و نیز میزان اسید آمینه پرولین در هر دو سال زراعی در شرایط دور آبیاری ۱۰ روز نسبت به شاهد افزایش یافت که با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز به شدت کاهش نشان داد. کاربرد توام بیوچار و سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف آن ها میزان آنزیم های فوق را بهبود بخشید. افزایش آنزیم های فوق به نوبه خود با کاهش رادیکال های آزاد اکسیژن در کاهش اثرات نامطلوب کم آبیاری موثر بودند، همچنین با افزودن دور آبیاری درصد روغن دانه کاهش یافت. کاربرد همزمان سالیسیلیک اسید و بیوچار (۱۰ تن در هکتار) در دور آبیاری ۱۵ روز موجب افزایش معنی دار روغن شد. نتایج این تحقیق بیانگر اثر مفید بیوچار و سالیسیلیک اسید (به تنهایی و یا بصورت ترکیبی) بر برخی از صفات گیاهی و خاک تحت کشت گیاه گل گاوزبان اروپایی در شرایط کم آبیاری است.

کلمات کلیدی: نیتروژن، کلروفیل، بیوچار، اسیدهای چرب، دور آبیاری

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- تقی زاده طبری، ز. اصغری، ح. عباسدخت، ح. باباخانزاده سجیرانی، ع (۱۳۹۸) " بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر روی برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. در شرایط کم آبی " اولین کنفرانس تحقیقات بنیادین در علوم کشاورزی و زیست محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.
- تقی زاده طبری، ز. اصغری، ح. عباسدخت، ح. باباخانزاده سجیرانی، ع (۱۳۹۸) " بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی خصوصیات کیفی خاک مزرعه تحت کشت گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. در شرایط تنش کم آبی " اولین کنفرانس تحقیقات بنیادین در علوم کشاورزی و زیست محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.
- تقی زاده طبری، ز. اصغری، ح. عباسدخت، ح. باباخانزاده سجیرانی، ع (۱۳۹۹). " بررسی اثر بیوچار و سالیسیلیک اسید بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در شرایط تنش کم آبی ". نشریه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. دوره ۳۶، شماره ۹۹، ص: ۹۸-۱۱۱.
- تقی زاده طبری، ز. اصغری، ح. عباسدخت، ح. باباخانزاده سجیرانی، ع (۱۳۹۹) " تاثیر کاربرد بیوچار و سالیسیلیک اسید در شرایط کم آبی بر برخی از صفات گیاه دارویی گیاه گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L. " پذیرش برای چاپ در نشریه پژوهش های تولید گیاهی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
اهداف تحقیق	۴
۱-۲ تاریخچه و جایگاه گیاهان دارویی	۴
۱-۳- مشخصات گیاهشناسی گاوزبان اروپایی	۵
۱-۴- خصوصیات دارویی گاوزبان اروپایی	۵
فصل دوم: بررسی منابع	۹
۱-۲-۱ تنش و انواع آن	۱۰
۱-۲-۲- اثرات تنش خشکی بر گیاهان	۱۱
۱-۲-۲-۱ اثر تنش خشکی بر فتوسنتز گیاه	۱۱
۱-۲-۲-۲ اثر تنش خشکی بر متابولیسم قندها، نشاسته و آمینو اسیدهای گیاهان	۱۲
۱-۲-۲-۳ اثر تنش خشکی بر متابولیسم های ثانویه گیاه	۱۴
۱-۲-۲-۳-۱ سیستم آنتی اکسیدانت غیر آنزیمی	۱۴
۱-۲-۲-۳-۲ سیستم آنتی اکسیدانت آنزیمی	۱۵
۱-۲-۲-۴-۱ اثر تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب و درصد روغن گیاهان	۱۷
۱-۲-۶- مقاومت به خشکی و راه های تقلیل اثرات آن	۱۹
۱-۲-۷- کاربرد هورمون سالیسیلیک اسید	۲۰
۱-۲-۸-۱-۲ اصلاح خاک از طریق افزودن بیوچار	۲۳
۱-۲-۸-۱-۲-۱ بیوچار چیست؟	۲۴
۱-۲-۸-۱-۲-۲ روش های تولید بیوچار	۲۴
۱-۲-۸-۱-۲-۳ خصوصیات بیوچار	۲۶
۱-۲-۸-۱-۲-۴ اثرات افزودن بیوچار به خاک	۲۷
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۱ افزایش تخلخل و کاهش چگالی ظاهری خاک	۲۷
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۲ تغییر خصوصیات هیدرولوژیکی خاک	۲۸
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۳ افزایش پی اچ خاک	۲۸
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۴ افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی	۲۹
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۵ کاهش آبشویی مواد غذایی و افزایش قابلیت دسترسی آنها	۳۰
۱-۲-۸-۱-۲-۴-۶ بهبود خصوصیات بیولوژیکی خاک	۳۱

۳۳	کاهش گازهای گلخانه‌ای
۳۷	۲-۹ اثرات کاربرد بیوچار بر رشد گیاهان
۳۹	فصل سوم: مواد و روش‌ها
۴۰	۳-۱ زمان، موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای پروژه
۴۰	۳-۲ مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش
۴۱	۳-۳ خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش و بیوچار
۴۱	۳-۴ عملیات اجرایی
۴۱	۳-۴-۱ کاشت
۴۱	۳-۴-۲ داشت
۴۲	۳-۴-۳ برداشت
۴۳	۳-۵ نمونه برداری جهت صفات شیمیایی خاک
۴۳	۳-۶ نمونه‌برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با گیاه
۴۴	۳-۷ اندازه‌گیری صفات مرتبط با گیاه
۴۴	۳-۷-۱ میزان کلروفیل و کاروتنوئید
۴۴	۳-۷-۲ محتوای نسبی آب برگ
۴۵	۳-۷-۳ شاخص پایداری غشای سلولی برگ
۴۵	۳-۷-۴ میزان آنتوسیانین برگ
۴۶	۳-۷-۵ اندازه‌گیری فلاونوئید برگ
۴۶	۳-۷-۶ سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ
۴۶	۳-۷-۶-۱ سنجش فعالیت آنزیم کاتالازبرگ
۴۷	۳-۷-۶-۲ سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز
۴۷	۳-۷-۶-۳ سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)
۴۹	۳-۷-۶-۴ سنجش میزان قندهای محلول
۵۱	۳-۷-۶-۵ سنجش میزان پرولین
۵۲	۳-۸ اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاه
۵۳	۳-۹ درصد روغن
۵۴	۳-۱۰ اجزای تشکیل دهنده روغن
۵۴	۳-۱۰ اندازه‌گیری صفات مرتبط خاک
۵۶	۳-۱۱-۱ اندازه‌گیری درصد کربن آلی خاک
۵۶	۳-۱۱-۲ اندازه‌گیری تنفس خاک
۵۶	۳-۱۱-۳ اندازه‌گیری نیتروژن خاک

۵۷	۳-۱۱-۴- اندازه‌گیری pH و EC خاک
۵۷	۳-۱۱-۵- اندازه‌گیری آمونیم و نیترات خاک
۵۸	۳-۱۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها
۵۹	فصل چهارم: نتیجه و بحث
۶۰	۴-۱- ویژگی‌های مرتبط با گیاه
۶۰	۴-۱-۱- رنگیزه‌های فتوسنتزی
۶۰	۴-۱-۱-۱- کلروفیل a
۶۱	۴-۱-۱-۲- کلروفیل b
۶۳	۴-۱-۱-۳- کلروفیل کل
۶۴	۴-۱-۱-۴- کارتنوئید
۶۷	۴-۱-۲- خصوصیات بیوشیمیایی گیاه
۶۷	۴-۱-۲-۱- شاخص پایداری غشاء سلولی
۷۰	۴-۱-۲-۲- محتوای نسبی آب برگ
۷۳	۴-۱-۲-۳- آنتوسیانین برگ
۷۴	۴-۱-۲-۴- فلاونوئید برگ
۷۶	۴-۱-۲-۵- قندهای محلول برگ
۷۸	۴-۱-۲-۶- آنزیم‌های آنتی اکسیدان و اسید آمینه پرولین
۸۴	۴-۱-۳- ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکردی گیاه
۸۴	۴-۱-۳-۱- تعداد ساقه گل دهنده و تعداد ساقه اصلی
۸۸	۴-۱-۳-۲- ارتفاع بوته
۸۹	۴-۱-۳-۳- وزن خشک ساقه گل دهنده، ساقه اصلی و برگ
۹۲	۴-۱-۳-۴- وزن خشک کل (وزن خشک اندام هوایی و ریشه بدون بخش‌های زایشی)
۹۶	۴-۱-۳-۵- وزن خشک و تر گل و نسبت وزن تر به وزن خشک گل
۹۷	۴-۱-۳-۶- نسبت وزن تر به خشک گل
۹۸	۴-۱-۳-۷- نیتروژن کل گیاه
۱۰۱	۴-۱-۳-۸- تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه
۱۰۲	۴-۱-۳-۹- درصد روغن
۱۰۴	۴-۱-۳-۱۰- درصد اسیدهای چرب دانه
۱۱۰	۴-۲- خصوصیات خاک
۱۱۰	۴-۲-۱- تنفس خاک
۱۱۱	۴-۲-۲- کربن آلی خاک
۱۱۳	۴-۲-۳- pH خاک

۱۱۵	۴-۲-۴- هدایت الکتریکی خاک
۱۱۷	۴-۲-۵- نیتروژن خاک
۱۱۹	۴-۲-۶- آمونیوم خاک
۱۲۰	۴-۲-۷- نترات خاک
۱۲۲	نتیجه‌گیری کلی
۱۲۳	پیشنهادهات
۱۲۴	منابع
۱۴۷	پیوست
	چکیده انگلیسی

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۰	جدول ۱-۳ مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش
۴۱	جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
۴۱	جدول ۳-۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوپار به کار برده شده در آزمایش
	جدول ۱-۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سال اول و دوم
۶۰	
	جدول ۲-۴. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری، بیوپار و سالیسیلیک اسید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سال اول و دوم
۶۱	
	جدول ۳-۴. مقایسه میانگین اثرات سه گانه مقدار کلروفیل b تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$ در سال اول زراعی
۶۳	
	جدول ۴-۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان کارتنوئید در سال اول و دوم زراعی
۶۴	
	جدول ۵-۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر شاخص پایداری غشای سلولی و محتوای نسبی آب برگ گیاه در دو سال زراعی
۶۷	
	جدول ۶-۴. مقایسه میانگین اثرات سه گانه شاخص پایداری غشای سلولی و آنتوسیانین برگ در دو سال زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$
۷۰	
	جدول ۷-۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوپار بر محتوای نسبی آب برگ و فلاونوئید برگ گل گاوزبان اروپایی
۷۱	
	جدول ۸-۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی و فلاونوئید برگ گل گاوزبان اروپایی
۷۲	

جدول ۴-۹. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر فلاونوئید و آنتوسیانین و قندهای محلول برگ	۷۵
جدول ۴-۱۰. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر محتوای آنزیم‌ها و پرولین گیاه گاوزبان اروپایی	۸۰
جدول ۴-۱۱ - مقایسه میانگین اثرات سه گانه بر محتوای کاتالاز و پراکسیداز گیاه گاوزبان اروپایی در دو سال زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$	۸۱
جدول ۴-۱۲ - مقایسه میانگین اثرات سه گانه بر محتوای سوپر اسید دیسموتاز گیاه گاوزبان اروپایی در دو سال زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$	۸۲
جدول ۴-۱۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه	۸۵
جدول ۴-۱۴ - مقایسه میانگین برخی صفات مرفولوژیک و عملکردی در سال اول زراعی تحت تاثیر اثر سه گانه متقابل $A \times B \times C$	۸۷
جدول ۴-۱۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی	۸۸
جدول ۴-۱۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سالیسیک اسید بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی	۸۸
جدول ۴-۱۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیک اسید بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی	۸۸
جدول ۴-۱۸. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه	۸۸
جدول ۴-۱۹ - مقایسه میانگین برخی صفات مرفولوژیک و عملکردی گیاه در سال اول زراعی تحت تاثیر اثر سه گانه متقابل $A \times B \times C$	۹۲
جدول ۴-۲۰. مقایسه میانگین بر وزن خشک کل در سال دوم زراعی تحت تاثیر اثر سه گانه متقابل $A \times B \times C$	۹۵
جدول ۴-۲۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه	۹۷
جدول ۴-۲۲. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری، بیوچار بر وزن تر و خشک گل در سال اول و دوم زراعی	۹۷
جدول ۴-۲۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه	۹۹
جدول ۴-۲۴. مقایسه میانگین اثرات سه گانه درصد روغن دانه در سال دوم زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$	۱۰۴

جدول ۴-۲۵. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم زراعی	۱۰۷
جدول ۴-۲۶. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم زراعی	۱۰۷
جدول ۴-۲۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم زراعی	۱۰۸
جدول ۴-۲۸. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم زراعی	۱۰۸
جدول ۴-۲۹. مقایسه میانگین اثرات سه گانه آراشیدیک اسید دانه در سال دوم زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$	۱۰۹
جدول ۴-۳۰. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات خاک	۱۱۱
جدول ۴-۳۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر تنفس خاک در سال اول زراعی و دوم	۱۱۲
جدول ۴-۳۲. مقایسه میانگین اثرات سه گانه مقدار کربن در هر دو سال زراعی تحت تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$	۱۱۳
جدول ۴-۳۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات خاک	۱۱۶
جدول ۴-۳۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر خصوصیات خاک در دو سال زراعی	۱۱۸

فهرست اشکال

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۲- مسیر تولید سالیسیلیک اسید (چن و همکاران، ۲۰۰۹)	۲۲
شکل ۲-۲- نمودار شماتیک تجزیه حرارتی برای تهیه بیوچار (پیرولیز) (روبرتز و همکاران، ۲۰۱۰)	۲۶
شکل ۲-۳- نمایی نزدیک از ساختار بسیار متخلخل بیوچار (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹)	۲۷
شکل ۴-۱- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل b تحت تاثیر برهمکنش دور آبیاری بیوچار در سال دوم زراعی	۶۲
شکل ۴-۲. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر میزان کلروفیل b در سال دوم زراعی	۶۲

شکل ۴-۳. مقایسه میانگین مقدار کارتنوئید تحت تأثیر برهمکنش دور آبیاری و سالیسیلیک اسید	۶۵
شکل ۴-۴. مقایسه میانگین مقدار کارتنوئید تحت تأثیر بیوچار در سال اول زراعی	۶۵
شکل ۴-۵. مقایسه میانگین اثرات دور آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ در سال اول زراعی	۷۷
شکل ۴-۶. مقایسه میانگین اثرات دور آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ در سال دوم زراعی	۷۷
شکل ۴-۷. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول برگ در سال اول زراعی	۷۷
شکل ۴-۸. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول برگ در سال دوم زراعی	۷۷
شکل ۴-۹. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر میزان پرولین برگ در سال اول زراعی	۸۳
شکل ۴-۱۰. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر میزان پرولین برگ در سال دوم زراعی	۸۳
شکل ۴-۱۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سال اول زراعی	۸۴
شکل ۴-۱۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سال دوم زراعی	۸۴
شکل ۴-۱۳. اثرات دور آبیاری بر ارتفاع بوته در سال دوم زراعی	۸۹
شکل ۴-۱۴. اثرات متقابل بیوچار و سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته در سال دوم زراعی	۸۹
شکل ۴-۱۵. اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ساقه گل دهنده در سال اول زراعی	۹۱
شکل ۴-۱۶. مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهمکنش دور آبیاری (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز) و سالیسیلیک اسید در سال اول زراعی	۹۵
شکل ۴-۱۷. مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهمکنش بیوچار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید در سال اول زراعی	۹۵
شکل ۴-۱۸. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر وزن نسبت وزن تر به وزن خشک گل	۹۸
شکل ۴-۱۹. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر میزان نیتروژن کل گیاه در سال اول زراعی	۹۹
شکل ۴-۲۰. اثرات دور آبیاری بر میزان نیتروژن کل گیاه در سال دوم زراعی	۱۰۰
شکل ۴-۲۱. اثرات بیوچار بر میزان نیتروژن کل گیاه در سال دوم زراعی	۱۰۰
شکل ۴-۲۲. اثرات دور آبیاری بر تعداد دانه در بوته در سال دوم زراعی	۱۰۲
شکل ۴-۲۳. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر وزن هزار دانه در سال دوم زراعی	۱۰۲
شکل ۴-۲۴. اثرات بیوچار بر میزان اروسیک اسید دانه در سال دوم زراعی	۱۰۹
شکل ۴-۲۵. اثرات بیوچار بر میزان pH خاک در سال اول زراعی	۱۱۵

- شکل ۴-۲۶. اثرات بیوچار بر میزان pH خاک در سال دوم زراعی ۱۱۵
- شکل ۴-۲۷. اثرات بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک در سال اول زراعی ۱۱۶
- شکل ۴-۲۸. اثرات بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک در سال دوم زراعی ۱۱۶

فصل اول:

مقدمه و کلیات

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 شده 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 (عابدلی و همکاران، ۲۰۱۶). گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) از خانواده گاوزبان (بورژیناسه) است و آرام بخش بوده و در کاهش استرس تأثیر فوق العاده‌ای دارد. همچنین سرشار 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 (کریمی و همکاران، ۲۰۱۸). خانواده گاوزبان خاصیت ضدباکتریایی دارد. مهمترین مواد شیمیایی آن می‌توان تانن‌ها، اسکوربیک اسید، بتاکاروتن‌ها، نیاسین، ریبوفلاوین، تیامین، آکالوئید و پلی فنولیک‌ها را نام برد (میسلی و همکاران، ۲۰۱۹).

آب متداول‌ترین و حیاتی‌ترین ماده طبیعی می‌باشد و نقش بسیار مهمی را در بخش کشاورزی ایفا می‌کند بطوری که ۵۰ تا ۹۰ درصد حجم و وزن گیاه از آب تشکیل شده است. تنش خشکی از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی 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 تنظیم کننده‌های رشد برای تخفیف اثرات نامطلوب خشکی اشاره داشت. بیوچار کربن فعال و یا کربن سیاه در خاک است که بسیار پایدار می‌باشد و می‌تواند برای صدها و یا هزاران سال در خاک باقی بماند. استفاده از بیوچار قدمت حداقل ۲۰۰۰ ساله دارد (ژو و همکاران، ۲۰۱۵). کاربرد بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک موجب بهبود خصوصیات خاک و عملکرد آن، افزایش رشد و سلامت گیاه، تثبیت کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (لهمان و همکاران، ۲۰۱۱)، علاوه بر آن با بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه مانند میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تبخیر و تعرق و پتانسیل آب گیاه

و سبب افزایش کارایی آبیاری می‌گردد (سین هاوس و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات متعددی اثرات مثبت بیوچار بر روابط آب، خاک و گیاه از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان داده‌اند که شامل کاهش چگالی ظاهری خاک (عباس و همکاران، ۲۰۱۸)، افزایش قابلیت نگهداری آب خاک که ناشی از تخلخل بالای بیوچار و توانایی آن در افزایش دانه‌بندی خاک است (هراس و همکاران، ۲۰۱۳). اثرات قلیایی شدن خاک و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی (لایرد و همکاران، ۲۰۱۰) از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی که خود موجب افزایش پتانسیل جذب اکثر عناصر غذایی اصلی می‌شود نیز از دیگر اثرات بیوچار بر خاک است (گرابر و همکاران، ۲۰۱۴). بر اساس مطالعات اخیر بیوچار توانایی جذب گازهایی نظیر دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن را تا حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد دارد. این ماده بدلیل سطح ویژه بالا و منافذ بسیار پیچیده یک زیستگاه امن برای میکروارگانیسم‌ها و قارچ‌ها می‌باشد. بیوچار بسیار پایدارتر از مواد آلی دیگری است که در خاک مصرف می‌شود. بدلیل دوام بسیار بالای آن در خاک (بیش از ۲۵۰۰ سال) تمام مزایای مربوط به کودهای آلی از قبیل نگهداری عناصر، حفظ آب و حاصلخیزی خاک را به‌تنهایی دارا می‌باشد. بیوچار ثبات بالایی داشته و برخلاف سایر افزودنی‌های خاک مقاوم به تجزیه میکروبی و شیمیایی می‌باشد. عبارتی کمپوست یک منبع غذایی و تامین کننده عناصر غذایی برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاهان زراعی است که تنها برای چند سال محدود در خاک دوام دارد در صورتیکه بیوچار علاوه بر پایداری بسیار بالا در خاک تمام مزایای کمپوست را نیز دارا می‌باشد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۷).

سالیسیلیک اسید یکی از تنظیم کننده‌های گیاهی است که در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌هایی همچون خشکی موثر 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 سالیسیلیک اسید نسبت داده می‌شود.

اهداف تحقیق:

- تعیین تأثیر بیوچار بر خصوصیات شیمیایی و اکولوژیکی خاک، جذب عناصر و رشد گیاه گاوزبان اروپایی.
- تعیین پتانسیل سالیسیلیک اسید و بیوچار در افزایش مقاومت گیاه گل گاوزبان اروپایی به کمبود آب و کاهش مصرف آب.
- تعیین اثرات بیوچار و سالیسیلیک اسید بر میزان اسیدهای چرب گیاه گاوزبان اروپایی در شرایط خشکی

۱-۲- تاریخچه و جایگاه گیاهان دارویی

گیاهان دارویی از مدت‌ها قبل در طب سنتی جهت درمان و پیشگیری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار گرفت (لوپز لاتز و همکاران، ۲۰۰۸) و استفاده از آن‌ها به‌منظور درمان بیماری‌ها با تاریخ زندگی بشر همزمان بوده است. در اروپا، یونانی‌ها و رومی‌ها برای اولین بار مطالعات علمی روی اثرات دارویی گیاهان را آغاز کردند، که نمونه آن‌ها مدرسه هیپوکرات در ۴۰۰ سال قبل از میلاد می‌باشد (ماسارویکف و همکاران، ۲۰۰۶).

گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از مناطق جهان را شامل می‌شوند. اختصاص یک سوم کلیه داروهای تجویز شده در دنیا به ترکیبات فعال بیولوژیکی حاصل از گیاهان، حاکی از ارزش اقتصادی قابل توجه گیاهان دارویی در جوامع بشری می‌باشد (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اینکه رویکرد جهانی به سمت داروهای گیاهی و فاصله گرفتن از داروهای شیمیایی است، توجه بیش از پیش به گیاهان دارویی را ایجاب می‌نماید. یکی از عمده‌ترین مشکلات در این زمینه محدود بودن گیاهان موجود در طبیعت و نیز بهره برداری بیش از حد ظرفیت است که باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد تا با برداشت بی‌رویه شاهد انقراض آن‌ها نباشیم و با کشت و اهلی نمودن آن‌ها جوابگوی نیاز روز افرون جامعه به این گیاهان باشیم. حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با توجه به اصول کشاورزی اکولوژیک نقش مهمی در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی دارد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۷؛ دست برهان و همکاران، ۱۳۹۴). ایران با دارا بودن سیزده منطقه اقلیمی و بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی، محل رویش حدود ۱۴۰۰ گونه دارویی بوده و بستر مناسبی برای دستیابی به گونه‌های با ارزش دارویی و نادر است. سطح زیر کشت تولید گیاهان دارویی (در فضای باز) در کشور در سال ۱۳۹۷ بالغ بر ۶۷۸۶۷ هکتار بوده که سهم استان سمنان از این مقدار تنها ۱۶۰۷ هکتار برآورد شده است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷).

۳-۱- مشخصات گیاهشناسی گاوزبان اروپایی

گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) از خانواده Boraginaceae است. تیره گل گاوزبان یکی از تیره‌های بزرگ گیاهان دو لپه‌ای پیوسته گلبرگ است. گونه‌های مختلف این تیره دارای گسترش جهانی است و در مناطق معتدل و نیمه گرمسیر و به ویژه مدیترانه‌ای پراکنش دارند. تیره گاوزبان دارای ۲۰۰۰ نوع گیاه است که در ۱۰۰ جنس جا داده شده‌اند (عبداللهی مایوان و همکاران، ۱۳۹۷). گاوزبان اروپایی گیاهی علفی و یک ساله با ارتفاع ۴۵ تا ۷۰ سانتی متر و قطر بیش از ۱ سانتی متر است که گل‌هایی به رنگ آبی و به ندرت سفید داشته (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۹) همچنین کاسه و جام گل در آن پنج قسمتی می‌باشد. مادگی این گیاه داری تخمدان فوقانی است که پس از رسیدن، به میوه-هایی با ۳ تا ۴ بذر تبدیل می‌شود که این بذور رسیده تیره رنگ هستند (حسینی مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). زمان مناسب برای کشت این گیاه اوایل بهار است، و همچنین با توجه به شرایط محیطی امکان کشت آن در پاییز و اواخر زمستان نیز وجود دارد (حیدری و مینایی، ۱۳۹۳).

۴-۱- خصوصیات دارویی گاوزبان اروپایی:

گاوزبان اروپایی دارای موسیلاژ، صمغ، تانن، املاح منگنز، منیزیم و مواد معدنی دیگر است. ترکیبات فرار اسانس درصد بسیار کمی از متابولیت‌های ثانویه در گلبرگ‌ها و پیکره رویشی گاوزبان اروپایی را تشکیل داده است، بنابراین احتمال داده می‌شود که خواص درمانی گلبرگ‌ها و پیکره رویشی این گیاه به علت وجود اسانس‌ها و مواد فرار نباشد (حسینی مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). در طب سنتی، مواد مؤثره موجود در گل‌ها و سرشاخه‌های این گیاه برای تصفیه خون، نرم کنندگی سینه، تقویت قلب، به عنوان مدر، معرق، آرام بخش و موارد متعدد درمانی دیگری نیز استفاده می‌شود همچنین به تازگی اثرات ضد میکروبی و ضد سرطانی در این گیاه نیز به اثبات رسیده است و گل آن نیز مورد توجه زنبور عسل است (سعادت‌مند و انتشاری، ۱۳۹۱). این گیاه به دلیل تانن‌های موجود در آن خاصیت قابض کننده دارد و موسیلاژ آن عامل کمپلکس و ضد سرفه می‌باشد (نصراللهی و همکاران،

۱۳۹۰) 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 (کریمی و همکاران، ۲۰۱۸). این گیاه به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع اسیدهای چرب اصلی نیز به شمار می‌رود؛ به‌طوری که از آن به عنوان غنی‌ترین منبع شناخته شده برای گاما لینولئیک اسید در نزد بشر یاد شده است (عبدالهی مایوان و همکاران، ۱۳۹۷). تمامی پیکر گیاه گاوزبان اروپایی حاوی اسیدهای چرب می‌باشد که میزان و ترکیب آن در شرایط مختلف رشدی گیاه و نیز در اندام‌های متفاوت به شدت متغیر است گرچه بیشترین مقدار اسیدهای چرب در بذر این گیاه موجود است، اما در برگ‌ها (۲/۴ تا ۲/۷ درصد)، ساقه‌ها (۱/۴ تا ۱/۵ درصد) و در برگچه‌های این گیاه (۱/۱ تا ۱/۲ درصد) دیده شده است علاوه بر آن ترکیب اسیدهای چرب در برگ‌ها در مراحل مختلف متغیر بود به طوری که در مرحله گلدهی میزان اولئیک اسید ۲۶/۴ درصد، در مرحله تورم جوانه گل به ۳۰ درصد و در مرحله جوانه بالغ و ۲۵/۹ درصد در مرحله گل‌های تماماً باز شده تغییر یافت (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۹).

میزان روغن بذر گاوزبان بین ۲۷-۳۷ درصد متغیر است که حاوی مقداری زیادی اسید چرب اشباع نشده امگا ۶ و امگا ۹ است و از آن به عنوان مکمل‌های غذایی حاوی امگا برای درمان بیماری‌های قلبی، اگزمای طبیعی، دیابت‌ها، ورم مفاصل و بیماری ام اس^۱ استفاده می‌شود (اسدی سامانی و همکاران، ۲۰۱۴). عصاره گاوزبان با داشتن خواص آنتی اکسیدانی قابل استفاده در فرمولاسیون‌های غذایی و نیز محصولات بهداشتی پوست بوده و می‌توانند طول موج ماورای بنفش نور خورشید را جذب کنند (وتسینگ و همکاران، ۲۰۰۱).

¹ Multiple sclerosis (MS)

فصل دوم:

بررسی منابع

۱-۲- تنش و انواع آن:

تنش به معنی تغییر شرایط فیزیولوژیک ناشی از عوامل بر هم زننده‌ی تعادل می‌باشد. به عبارت دیگر هر نوع تغییر فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده و دور شدن از شرایط مطلوب را تنش یا استرس می‌نامند (جلیل و همکاران، ۲۰۰۹). انواع تنش‌های محیطی را معمولاً به دو دسته تقسیم کرده‌اند: ۱- تنش‌های بیولوژیک و ۲- تنش‌های فیزیکوشیمیایی. تنش‌های بیولوژیک شامل حمله‌ی آفات و امراض به گیاهان، رقابت، دگرآسیبی و فعالیت‌های انسان می‌باشد. تنش‌های فیزیکوشیمیایی نیز به پنج گروه تقسیم می‌شوند: ۱- تنش آبی (کمبود یا غرقابی)، ۲- شوری، ۳- درجه‌ی حرارت (گرما یا سرما) ۴- مکانیکی (ناشی از نیروهای مکانیکی مانند باد) و ۵- پرتوژائی (تشعشع زیاد و یا پرتوهائی با طول موج مختلف مانند فرابنفش) (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

دسترسی به آب کافی یک محدودیت عمده برای تولید محصولات کشاورزی و یک فاکتور اساسی در نحوه‌ی پراکنش گونه‌های مختلف گیاهی می‌باشد. در حال حاضر بیش از ۳۵ درصد سطح زمین را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهند که مقدار بارش سالیانه آن‌ها برای کشت محصولات کشاورزی ناکافی می‌باشد. در مناطق تحت تأثیر تنش خشکی، عملکرد محصولات ممکن است تا ۵۰ درصد نسبت به سایر مناطق کاهش داشته باشد. علاوه بر این، در نتیجه کمبود آب در این مناطق درصد بالایی از اراضی کشاورزی در معرض تخریب شدن قرار گرفته‌اند (دیاز لوپز و همکاران، ۲۰۱۲).

تنش کم‌آبی در گیاه به وضعیتی گفته می‌شود که در آن سلول‌ها از حالت آماس خارج شده باشند. به عبارت ساده‌تر تنش کم‌آبی زمانی رخ می‌دهد که سرعت تعرق بیش از سرعت جذب آب باشد، با کاهش آب در خاک و عدم جایگزین آن، کاهش پتانسیل آب در منطقه توسعه ریشه‌ها و به تبع آن پتانسیل آب در گیاه کاهش می‌یابد. تنش کم‌آبی شدید موجب کاهش شدید فتوسنتز، اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و سرانجام خشک شدن و مرگ گیاه می‌گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). با بروز تنش خشکی و ایجاد اختلال در سوخت و ساز گیاهی و ساختار سلولی، شاهد اختلال در

واکنش‌های کاتالیزوری آنزیم‌ها نیز می‌باشیم. در طی تنش خشکی با کاهش محتوای آب گیاه، کاهش تورژسانس سلولی، پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد و در صورتی که مدت زمان اعمال تنش افزایش یابد با اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی و متابولیسمی در نهایت، مرگ گیاه را در بر خواهد داشت (جلیل و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۲- اثرات تنش خشکی بر گیاهان:

اثرات تنش بر روی گیاهان مختلف توسط مطالعات متعددی بررسی شده است. به شکل کلی می‌توان آن‌ها را به چند بخش تقسیم نمود:

۲-۲-۱- اثر تنش خشکی بر فتوسنتز گیاه

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در شرایط تنش و حتی تحت غلظت‌های بالای CO_2 محیطی، باز هم فتوسنتز کاهش می‌یابد که بیان کننده این امر است که دستگاه فتوسنتز صرف نظر از بسته شدن روزنه‌ها، تحت تاثیر قرار گرفته است. در شرایط تنش کمبود آب روزنه‌ها در گیاه بسته می‌شوند و متعاقب آن غلظت CO_2 در بافت مزوفیل گیاه کاهش می‌یابد و به دنبال این وضعیت واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل شده و محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی، که شامل ATP، NADPH است، مصرف نمی‌شود. در چنین شرایطی به دلیل عدم اکسید شدن مولکول NADPH، مصرف NADP^+ جهت دریافت الکترون کاهش می‌یابد، بنابراین مولکول اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به عنوان پذیرنده جانشین الکترون عمل می‌کند و منجر به شکل‌گیری رادیکال سوپر اکسید (O_2^-), پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) می‌گردد (سایرام و سیرواستا، ۲۰۰۲). فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) ممکن است سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها، (که منجر به تغییر ساختار غشاء و در نتیجه از هم پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود)، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسید شدن گروه‌های سولفیدریل ($-\text{SH}$), غیر فعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن و یا از

^۱1. Reactive Oxygen Speices (ROS)
2. Superoxide dismutase

بین رفتن رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای و هم‌چنین حمله مداوم به مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته‌های DNA گردد (حبیبی و همکاران، ۲۰۰۴؛ میتلر و همکاران، ۲۰۰۲؛ موهانتی و همکاران، ۲۰۰۳).

در مطالعات متعددی گزارش شده است که تنش خشکی از طریق تغییر در برخی از شاخص‌های فتوسنتزی گیاهان موجب کاهش آن می‌گردد. به طوری که در غلات دانه‌ای (فاروغ، ۲۰۱۷)، نخود (پانگ، ۲۰۱۷) و لوبیا (لانا، ۲۰۱۶) از طریق بسته شدن روزنه‌ها در آن‌ها، در گوجه فرنگی (ژو، ۲۰۱۹) با کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و در گیاه نخود (ساگلام و همکاران، ۲۰۱۴) و شبدر مدیترانه ای با کاهش فعالیت و میزان روبیسکو (مدرانو و همکاران، ۱۹۹۷) موجب کاهش میزان فتوسنتز شده است. علاوه بر آن خشکی بر روی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل‌های a و b نیز تاثیر منفی دارد و در گیاهچه‌های *Machilus pingii* تحت تنش خشکی مقدار کلروفیل a و b و نیز کارتنوئیدها، در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (سیوآی و همکاران، ۲۰۱۹). میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه آفتابگردان در شرایط خشکی نیز (چاوشی و همکاران، ۲۰۲۰) کاهش یافت.

۲-۲-۲- اثر تنش خشکی بر متابولیسم قندها، نشاسته و آمینو اسیدهای گیاهان

در رویارویی با کمبود آب، گیاهان ممکن است اسیدهای آمینه (پرولین و اسید آسپارتیک)، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌های محلول (ساکارز، گلوکز و مانیتول)، ترکیب‌های آمونیوم چهارتایی متیله (گلیسین بتابین و آلانین بتابین) و اسیدهای آلی را تولید و در یاخته‌ها جمع و ذخیره کنند (مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۵).

در تنش، گیاه برای گریز از پلاسمولیز و حفظ تورژسانس در سلول‌های خود، مولکول‌های درشت نظیر نشاسته را به ساکارز و بعد مولکول‌های کوچکتری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند که موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (شانجانی و همکاران، ۱۳۹۴). افزون بر این، فرآیند تنظیم اسمزی افزون بر تأمین فشار آماس یاخته‌های محافظ روزنه، امکان باز بودن آن‌ها در شرایط تنش خشکی و در نتیجه ادامه فرآیند نورساخت (فتوسنتز) را فراهم می‌کند. در نهایت با

حفاظت از غشاء، فرآیند ترجمه پروتئین و سوخت و ساز یاخته‌ای، اجازه ادامه فعالیت‌های یاخته‌ای را به گیاه می‌دهد (مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۵).

در پاسخ به تنش خشکی کاهش میزان نشاسته و افزایش ساکارز در گیاه پنبه (زاهور و همکاران، ۲۰۱۷)، افزایش قندها و فروکتان‌ها و کاهش میزان آمیلوزها و آمیلوپکتین‌ها در گیاه گندم (بالا و همکاران، ۲۰۱۸) و افزایش نشاسته به محض در معرض قرار گرفتن خشکی زود هنگام و سپس کاهش آن در گیاه *Grapevines* (فالچی و همکاران، ۲۰۱۹) گزارش شده است. افزایش جذب آمونیوم از طریق ریشه و متابولیسم نیتروژن گیاه برنج (کائو و همکاران، ۲۰۱۸)، افزایش نسبت آمونیوم به نیترات در ریشه و برگ‌های دو گونه از درختان سیب *Malus hupehensis Rehd.* (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و *Papalus simonii* (منگ و همکاران، ۲۰۱۸)، افزایش کارایی جذب نیتروژن و میزان پروتئین جو بهاره (حسین لو و همکاران، ۲۰۱۳) و افزایش بیان تمامی ژن‌های درگیر در جذب و آسیمیلاسیون نیتروژن در ریشه‌های ذرت (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶) نیز از اثرات خشکی بر ترکیبات نیتروژنه گیاه است. از پاسخ‌های دیگر گیاهان در برابر تنش، افزایش سطح پرولین و القای فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیون می‌باشد (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش پرولین در گیاهان سیب زمینی (وگنر و همکاران، ۲۰۱۵) و *Poterium sanguisorba* (تایلور و همکاران، ۱۹۸۲) تریتیکاله (اکبری‌ان و ارزانی، ۱۳۹۴) در شرایط خشکی مشاهده شده است.

پرولین اسیدآمینه‌ای است که بخش عمده بسیاری از پروتئین‌های درگیر در تنظیم اسمزی، دیواره سلولی و غشا را تشکیل می‌دهد. در شرایط تنش خشکی، پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد و حفاظت ماکرومولکول‌ها از واسرشتی، تنظیم پی‌اچ سلولی نقش دارد، همچنین پرولین به عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (امینی و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی می‌گردد و از آن جایی که در بیوسنتز پرولین، از NADPH به عنوان دهنده الکترون استفاده می‌شود، بنابراین $NADP^+$ را که به

عنوان پذیرنده الکترون در فتوسیستم I در غشای تیلاکوئید عمل می‌کند، مهار کرده و موجب کاهش تولید اکسیژن منفرد می‌شود و به این ترتیب در مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد نقش دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۹).

۳-۲-۲- اثر تنش خشکی بر متابولیسم های ثانویه گیاه

۳-۲-۲-۱ سیستم آنتی اکسیدانت غیر آنزیمی

گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده به علت خشکی مکانیسم‌های دفاعی مختلفی شامل آنزیمی و غیرآنزیمی را بکار می‌برند (ازکور و همکاران، ۲۰۰۹). سیستم آنزیمی شامل تعداد زیادی از آنزیم‌ها از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD)^۱، کاتالاز (CAT)^۲، پراکسیداز (POD)^۳ آسکوربیک اسید گلوتامین (AsA-GSH)^۴ و آسکوربات پراکسیداز (APX)^۵ سیستم غیرآنزیمی شامل فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین می‌باشد. ترکیب‌های فنلی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه هستند که بسیاری از ترکیب‌های حلقوی مثل فلاونوئیدها، تانن‌ها و حتی اسیدهای آمینه حلقوی مثل پرولین را شامل می‌شوند. این ترکیب‌ها دارای نقش‌های متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (گائوا و همکاران، ۲۰۲۰). فلاونوئیدها می‌توانند از تنش‌های اکسیداتیو جلوگیری کنند، به این معنا که در شرایط تنش افزایش می‌یابند و توان پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن را دارند. آنتوسیانین‌ها نیز رنگیزه محافظ بوده که در شرایط تنش افزایش می‌یابند و گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کنند (چاکراسکات و همکاران، ۲۰۰۲). این افزایش به علت نقش حفاظت نوری آنتوسیانین به وسیله حذف مستقیم ROS در طول تنش اکسیداتیو می‌باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده

1 Superoxide dismutas

2 Catalase

3 Peroxidase

4 Ascorbic acid-glutathione

5 Ascorbate peroxidase

وجود دارد (سایرام و ساکسنا، ۲۰۰۰؛ سایرام و سیرواستا، ۲۰۰۲) به طوری که افزایش میزان مواد فنولیک در گیاه *Trachyspermum ammi* L. (ازهر و همکاران، ۲۰۱۱) و *Amaranthus tricolor* (سارکر و همکاران، ۲۰۱۸)، افزایش میزان فلاونوئیدها در *Glechoma longituba* (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲) و *Amaranthus tricolor* (سارکر و اوبا، ۲۰۱۸)، و افزایش ترینها در *Cistus monspeliensis* (نیگوسی و همکاران، ۲۰۱۵) و مونوترپن‌ها در *Salvia officinalis* L. (نواک و همکاران، ۲۰۱۰) و پلی‌ساکاریدها و آلکالوئیدها در گیاهان *Dendrobium moniliforme* (L.) (وو و همکاران، ۲۰۱۶) و *Catharanthus roseus* (یحیی زاده و همکاران، ۲۰۱۸) و افزایش فلاونوئید، آنتوسیانین و فنول‌ها در آفتابگردان (چاوشی و همکاران، ۲۰۲۰) در شرایط خشکی گزارش شده است.

۳-۲-۲- سیستم آنتی اکسیدانت آنزیمی:

کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز آنزیم‌های مهم در گیاهان هستند که در سیستم پاکسازی گیاه از رادیکال‌های آزاد اکسیژن نقش دارند. از میان این آنزیم‌ها سوپر اکسید دیسموتاز اولین خط گیاه در برابر تنش‌های محیطی است که رادیکال اکسیژن (O_2^-) را به H_2O_2 تبدیل می‌کند، سپس کاتالاز پراکسیداز این H_2O_2 را به O_2 و H_2O تبدیل می‌کند. آسکوربات پراکسیداز نیز آنزیم حاصل چرخه (گلوتاتیون آسکوربات) ASA-GSH^۱ است که در از بین بردن H_2O_2 نقش دارد (یو و همکاران، ۲۰۱۲). گرچه مطالعات متعددی نشان داده است که میزان هر سه این آنزیم‌ها در تنش خشکی افزایش می‌یابد (سائو و همکاران، ۲۰۱۷؛ گائو و همکاران، ۲۰۲۰)، اما روند تغییرات کلی این آنزیم‌ها در گیاهان مختلف تحت تنش متفاوت و در مواردی حتی متناقض است. به عنوان مثال در دو گونه گیاه آدونیس^۲ مقدار آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربیک پراکسیداز در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد بیشتر بود، اما سوپراکسید دیسموتاز در پاسخ به تنش خشکی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به طوری که در مراحل آخر تنش مقدار این آنزیم و نیز آنزیم کاتالاز کمتر از شاهد بود (گائو و همکاران، ۲۰۲۰). مشابه

^۱ Glutathione-ascorbate cycle

^۲ Adonis

این یافته‌ها در گیاه *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todar. تحت تنش خشکی به‌دست آمد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

اثر تنش اکسیداتیو (Oxidative stress) ناشی از تنش خشکی و پیری بر میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدان شامل سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در مراحل شروع باروری، پرشدن دانه، شیرید شدن ثانویه و خمیری نرم در شرایط مزرعه‌ای در دو ژنوتیپ جو با عملکرد متفاوت (ژنوتیپ Q13 با عملکرد ۱۳۹۰ کیلوگرم در هکتار و ژنوتیپ Q20 با عملکرد ۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار) در گیاهان تحت تیمارهای آبی و خشکی بررسی گردید (امینی و حداد، ۱۳۹۲). نتایج آن‌ها نشان داد که فعالیت APX در گیاهان تحت تنش نسبت به گیاهان آبیاری شده در ژنوتیپ‌های Q13 و Q20 به ترتیب در نمونه‌برداری اول ۱۲۷ درصد و ۶۲ درصد، در نمونه‌برداری دوم ۱۲۶ درصد و ۵۲ درصد و در نمونه‌برداری سوم ۱۶۳ درصد و ۱۱۴ درصد افزایش نشان داد. فعالیت APX در گیاهان تحت تنش خشکی ژنوتیپ Q13 نیز مانند گیاهان آبیاری شده با افزایش سن گیاه کاهش پیدا کرد. اما میزان کاهش در گیاهان تحت تنش خشکی از گیاهان آبیاری شده کمتر بود. فعالیت APX در طول دوره آزمایش در گیاهان تحت تنش خشکی در ژنوتیپ Q13، ۱۵ درصد کاهش نشان داد. در صورتی که در ژنوتیپ Q20 تغییر معنی‌داری مشاهده نگردید. با افزایش سن گیاه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در هر دو ژنوتیپ هم در گیاهان تیمار آبی و هم در گیاهان تیمار خشکی کاهش یافت. اما در گیاهان تحت تنش خشکی ژنوتیپ Q13 فعالیت این آنزیم با شدت بیشتری کاهش یافت. از طرفی افزایش فعالیت SOD در اثر تنش خشکی به وسیله محققین دیگر نیز گزارش شده است. حبیبی (۲۰۰۴) در بررسی نحوه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط مزرعه در ۵ رقم آفتابگردان نشان داد که در اثر تنش خشکی فعالیت SOD افزایش می‌یابد. در آزمایش مشابهی بر روی نشاهای برنج نیز مشخص گردید که فعالیت SOD در اثر تنش خشکی افزایش می‌یابد. به طور کلی آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز نقش عمده‌ای در محافظت سلول‌ها علیه تنش اکسیداتیو بر عهده دارند. زیرا آن‌ها رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌کنند. در اثر تنش خشکی فعالیت هر

سه نوع آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش پیدا می‌کند. افزایش فعالیت SOD می‌تواند به دلیل افزایش رادیکال سوپر اکسید و یا اینکه یک مکانیسم دفاعی علیه تنش اکسیداتیو در گیاهان باشد (شارما و دوبی، ۲۰۰۵). آنزیم‌های آنتی اکسیدان در ژنوتیپ‌های گندم و تریتیکاله نیز در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی افزایش معنی‌داری داشت (اکبریان و ارزانی، ۱۳۹۴). تنش خشکی به شکل ملایم و شدید به ترتیب موجب افزایش CAT (به میزان ۱۹ و ۱۰۴ درصد)، APX (به میزان ۵۶ و ۸۴ درصد) و POX (به میزان ۷۵ و ۸۵ درصد) در گیاه نیشکر شد (غفاری و همکاران، ۲۰۱۹).

۴-۲-۲- اثر تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب و درصد روغن گیاهان:

اسیدهای چرب بخش مهمی از متابولیسم‌های بیولوژیکی هستند که در مقاومت گیاهان به تنش خشکی نقش کلیدی دارند. گرچه ترکیب اسیدهای چرب گیاهان اغلب توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، اما کم آبی نیز می‌تواند موجب تغییر در آن شود (ابراهیمیان و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات متعددی نشان داده است که خشکی موجب تخریب دیواره سلولی می‌شود. گیاه می‌تواند با تغییر نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع که از مهم‌ترین فسفولیپیدهای دیواره سلولی هستند، موجب افزایش سیالیت غشای دیواره سلولی و قابلیت بد شکل شدن آن داشته و از این طریق می‌تواند یک راهکار موثر برای غلبه بر تنش باشد (لیو و همکاران، ۲۰۱۷). خشکی سبب تغییر مقدار اسیدهای چرب در گیاهان مختلف از جمله پونه کوهی (مرشدلو و همکاران، ۲۰۱۷) برگ بو (ماتالاه و همکاران، ۲۰۱۶) و آفتابگردان (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹) شده است. خشکی موجب کاهش ۴ تا ۳۷ درصدی روغن در گیاه کنجد شد (کرمانی و همکاران، ۲۰۱۹)، اما میزان روغن، استئاریک و لینولنیک اسید با افزایش سطوح خشکی در آفتابگردان افزایش و میزان لینولئیک را کاهش داد (استاجی و نیک نام، ۲۰۲۰).

اثر تنش خشکی بر کاهش اسیدهای چرب غیر اشباع (پالمیتیک اسید، لینولئیک اسید، لینولنیک اسید، گامالیونلنیک اسید) در *Salvia officinalis* L. (بتاب و همکاران، ۲۰۰۹)، *Prunus dulcis* (ژو و همکاران، ۲۰۱۵)، *Olea europaea* (پالسا و همکاران، ۲۰۱۰) و افزایش اسیدهای چرب اشباع در *Salvia officinalis* (بتاب و همکاران، ۲۰۰۹)، و ذرت (علی و افشار، ۲۰۱۱) مشاهده شده است.

محققان درباره اثرات تنش خشکی بر اسیدهای چرب پالمیتیک متحدالنظر نیستند، به طوری که بیان نمودند تنش خشکی ممکن است موجب کاهش پالمیتیک اسید (افشاری و رمزجو، ۲۰۱۰) و افزایش آن (نورائی و همکاران، ۲۰۱۶) گشته و حتی ممکن است تغییری در آن ایجاد نکند (ندرال، و همکاران ۲۰۱۴؛ اکبری و همکاران، ۲۰۱۹). علی‌رغم مطالعات قبلی میزان استئاریک اسید نیز در آفتابگردان (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹؛ افشاری و رمزجو، ۲۰۱۰) کاهش یافت.

در مطالعه‌ای تاثیر کم آبی بر روی گیاهان آفتابگردان، گلرنگ و کنجد در شرایط خشکی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که خشکی موجب کاهش معنادار اسیدهای چرب اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید در تمامی گیاهان یاد شده شد. میزان کاهش لینولئیک و پالمیتیک اسید در آفتابگردان ۲۳/۳ و ۲۸/۵ درصد، در گلرنگ ۲۹/۸ و ۲۵/۵ درصد و در کنجد ۲۴/۷ و ۲۲/۶ درصد بود (ابراهیمیان و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج مطالعه دیگری بر روی گیاه *Oenothera biennis* L. در تنش خشکی نشان داد که تنش کم‌آبی میزان اسیدهای چرب غیراشباع (امگا ۳، ۶، ۷، ۹) و نیز اسیدهای چرب غیراشباع کل و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع را کاهش می‌دهد اما میزان اسیدهای چرب اشباع را افزایش داده و به نظر می‌رسد که کیفیت اسیدهای چرب در شرایط آبیاری مطلوب بهبود بخشیده می‌شود (محمدی و همکاران، ۲۰۱۸). در گیاه کنجد تحت تنش خشکی نسبت به شرایط نرمال آبیاری افزایش ۳۰ درصدی اروسیک و ۱۴/۳ درصدی لینولئیک و کاهش ۷/۶ درصدی لینولئیک نیز گزارش شد (قره چایی و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعه دیگری گرچه تنش خشکی موجب کاهش درصد روغن در گیاه آفتابگردان شد، اما غلظت اولئیک اسید از ۴/۵ درصد در تیمار شاهد به ۱۱/۸ در تنش ملایم و ۶/۲ در تنش شدید افزایش یافت اما میزان لینولئیک اسید تغییری نکرد (زمانی و همکاران، ۲۰۲۰).

۲-۳ مقاومت به خشکی و راه های تقلیل اثرات آن:

به طور کلی گیاهان در مواجهه با شرایط تنش‌زا و جهت مقاومت^۱ به این شرایط به دو صورت عمل می‌کنند:

۱- اجتناب^۲: در این حالت گیاه به‌رغم وجود عامل تنش در محیط فشار آن را به روش‌های مختلف فیزیولوژیک و مورفولوژیک کاهش می‌دهد.

۲- تحمل^۳: در این حالت گیاه با تنش به تعادل ترمودینامیک می‌رسد، یعنی شرایط داخل گیاه در تعادل با شرایط خارجی آن قرار می‌گیرد.

دو مفهوم فیزیولوژیک دیگر نیز وجود دارد که هر دو به کسب مقاومت به یک تنش خاص توسط گیاه اشاره دارند:

۱- سازگاری^۴: تغییرات قابل توارث در ساختار و عملکرد گیاه که شایستگی گیاه را در محیط تنش‌زا افزایش می‌دهد.

۲- تطابق^۵: تغییرات فیزیولوژیک غیر قابل توارث که در طی زندگی یک گیاه رخ می‌دهد. این تغییرات به وسیله‌ی در معرض قرارگیری تدریجی گیاه در تنش، تحریک می‌شوند و در نتیجه گیاه این امکان را می‌یابد که در یک محیط تنش‌زا زندگی کرده و تولیدمثل نماید (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

به طور خلاصه، مکانیسم اجتناب و تحمل به خشکی عبارتند از: حفاظت آب (وجود برگ‌های کوچک، کاهش سطح برگ و بسته شدن روزنه‌ها)، حفاظت از آب موثر (سیستم‌های ریشه عمیق، گسترده و متراکم) و حفظ تورژسانس سلولی (تطابق اسمزی و الاستیک پایین) و سنتز املاح حفاظتی و آنزیم‌های مقاوم به خشکی که در نهایت با بهبود وضعیت آب گیاه سبب ایجاد مقاومت در برابر آسیب‌های ناشی از تنش خشکی می‌گردد (دiaz لویز و همکاران، ۲۰۱۲).

¹ Resistance

² Avoidance

³ Tolerance

⁴ Adaptation

⁵ Acclimation

از راهکارهای مقابله با اثرات نامطلوب کم‌آبی می‌توان به اصلاح خاک و یا کاربرد برخی از مواد تنظیم‌کننده رشد برای تخفیف اثرات نامطلوب خشکی اشاره داشت (بیات و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۲- کاربرد هورمون سالیسیلیک اسید:

سالیسیلیک اسید با نام شیمیایی ارتو هیدروکسی بنزوئیک اسید یک تنظیم‌کننده‌ی درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی می‌باشد که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه نقش اساسی دارد (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه کاربرد سالیسیلیک اسید به عنوان یکی از هورمون‌های گیاهی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌هایی همچون خشکی افزایش یافته است که با توجه به قیمت پایین و مصرف بسیار راحت سالیسیلیک اسید، کاربرد آن از نظر اقتصادی نیز توجیه پذیر به نظر می‌رسد. سالیسیلیک اسید به عنوان یک القاکننده موثر در بیان ژن‌های مقاومت شناخته شده است که پس از افزودن به سطح بیرونی بسیاری از گیاهان پروتئین‌های مرتبط با تنش را به رمز در می‌آورد (حیات و همکاران، ۲۰۱۰). مسیر سنتز سالیسیک اسید به خوبی شناخته شده نیست اما به طور کلی سنتز آن از دو مسیر IPL^۱ و IC^۲ انجام می‌گردد (شکل ۱-۱). 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 (افشاری و همکاران، ۲۰۱۳؛ قاسمی و همکاران، ۲۰۱۹). سالیسیلیک اسید از کاهش مقدار اکسین و سیتوکنین در گیاه جلوگیری کرده و با افزایش سطح اسید آبسزیک در ریشه یک پیش تطابق به تنش ایجاد می‌کند. همچنین، از طریق اثر بر پلی آمین‌ها باعث ایجاد کمپلکس‌های پایدار با غشاء شده و حفاظت از غشاء را در شرایط تنش سبب می‌شود (درویژه و همکاران، ۱۳۹۷).

استفاده از غلظت‌های مناسب سالیسیلیک اسید در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند جوانه زنی بذر، بسته شدن روزنه، مهار بیوسنتز اتیلن گیاه، افزایش میزان فتوسنتز و محتوی

^۱ Isochorismate pyruvate lyase

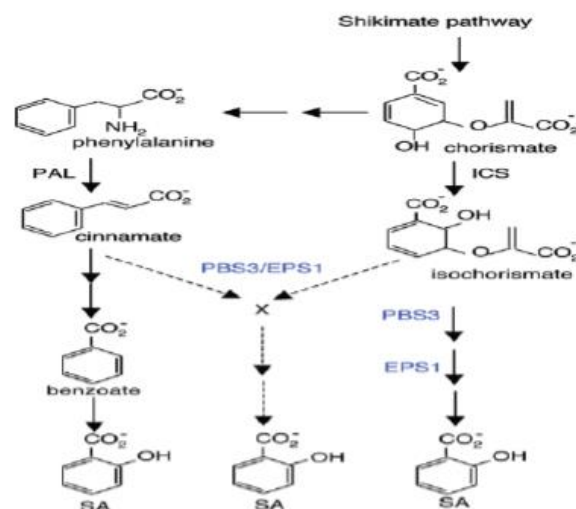
^۲ Isochorismate synthase

کلروفیل و تولید میوه، ایفا می‌کند (امیری و همکاران، ۱۳۹۴). کاربرد سالیسیک اسید در شرایط کم آبی موجب کاهش صدمات سلولی از طریق کاهش پراکسیداسیداسون لیپیدها و نیز تجمع پراکسید هیدروژن می‌گردد (خان و همکاران، ۲۰۱۴). خشکی موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌گردد که کاربرد سالیسیک اسید موجب افزایش بیشتر آن‌ها می‌گردد. به‌طوری که در گیاه *Brassica rapa* میزان آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، و گایاکول پراکسیداز به مقادیر ۱۶۰/۳، ۷۱/۹، ۸۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد سالیسیک اسید موجب افزایش بیشتر این آنزیم‌ها در شرایط خشکی شد (لی و همکاران، ۲۰۱۹). کاربرد این هورمون در تنش گرمایی نیز موجب افزایش رشد و توسعه گیاهچه‌ها، سرعت فتوسنتز، مقدار پرولین و افزایش پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب به‌ترتیب به میزان ۱۲ و ۲۳ درصد شد (جهان و همکاران، ۲۰۱۹).

مطالعات متعددی کاربرد این ماده در مقاطع مختلف رشدی گیاه را در افزایش رشد موثر دانسته‌اند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵؛ اسفینی فراهانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ رضایی چیاپه و پیرزاد، ۱۳۹۳؛ کهن‌مو و همکاران، ۱۳۹۵). در بررسی پرایمینگ بذرهای گاوزبان با ۴ غلظت سالیسیلیک اسید (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار) و اسپری گیاهان با چهار غلظت سالیسیلیک اسید (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومولار) در دو مرحله رشدی (قبل از گلدهی و ۵۰٪ گلدهی) نشان داده شد که که سالیسیلیک اسید بر روی تمامی صفات فتوسنتزی مورد بررسی و عملکرد گل تاثیر معنی‌دار داشت. به‌طوری که بیشترین سطح برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، کارایی کربوکسیلاسیون، کارایی مصرف آب فتوسنتزی و کمترین CO_2 درون روزنه‌ای مربوط به گیاهان پرایم شده با غلظت ۲۰۰۰ میکرومولار و اسپری شده با غلظت ۱۵۰۰ میکرومولار بود. بیشترین شاخص کلروفیل نیز در بذور اسپری شده با غلظت ۲۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکاری و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد سالیسیک اسید همچنین موجب افزایش میزان روغن دانه‌های پونه در شرایط تنش شوری شد و با کاهش اولئیک اسید و افزایش لینولئیک اسید کیفیت روغن دانه‌های آن را نیز بهبود بخشید (فرهادی و قاسمی گلزانی، ۲۰۲۰). افزایش روغن با کاربرد سالیسیلیک اسید در مطالعات فراوانی دیده

شده است به عنوان مثال در گیاهان ریحان و مرزنجوش (غریبی و همکاران، ۲۰۰۶)، علف لیمو (ایدریس و همکاران، ۲۰۱۰). در کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط تنش خشکی حتی در غلظت‌های پایین آن موجب افزایش مقدار روغن در گیاه آویشن کوهی گردید (محمدی و همکاران، ۲۰۱۹).

مطالعات متعددی افزایش میزان پرولین با کاربرد سالیسیلیک اسید در تنش خشکی را گزارش کرده اند (کردی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پال و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج مطالعه بر روی گیاه *Silybum marianum* L. نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید (به مقادیر ۰/۵ و ۱ میلی مولار) در شرایط تنش خشکی موجب افزایش روغن به میزان ۵۵ و ۳۰ درصد شد. همچنین میزان ساکارز و کربوهیدارت‌های محلول را در گیاه فوق افزایش داد. میزان پرولین نیز با کاربرد سالیسیلیک اسید افزایش یافت (استاجی و نیک نام، ۲۰۲۰). برخی از محققین علت آن را تغییر آنزیم‌هایی نظیر پرولین ۵ کربوسیلات ردکتاز^۱ و گاما گلوتامیل کیناز^۲ دانستند (خان و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۲-۱- مسیر تولید سالیسیلیک اسید (چن و همکاران، ۲۰۰۹)

^۱ Pyrroline-5-carboxylate reductase
^۲ γ -glutamyl kinase

۲-۵- اصلاح خاک از طریق افزودن بیوجار:

برای دستیابی به سیستم‌های زراعی پایدار، سلامت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گیاهان عناصر غذایی خود را از مواد آلی یا مواد معدنی موجود در خاک‌ها بدست می‌آورند. کشاورزی مدرن از طریق برداشت‌های مکرر محصول سبب کاهش مواد آلی خاک می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی که با صنعتی شدن کشاورزی رواج یافت عملکرد گیاهان زراعی را به دو یا سه برابر افزایش داد ولی بدلیل کاهش کیفیت خاک استفاده از کودهای شیمیایی برای حصول همان مقدار عملکرد به تدریج در طی زمان افزایش یافت. از طرف دیگر استعمال کودهای شیمیایی بویژه نیتروژن باعث تخریب خاک و مشکلات زیست محیطی در طی زمان شد. از دلایلی که موجب شده ماده آلی جزء ضروری سیستم‌های کشاورزی شود، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- منبع تأمین کربن آلی خاک است.
- ۲- ایجاد نگهدارنده و ثبات دهنده‌ی ذرات خاک به یکدیگر و در نتیجه کاهش فرسایش خاک
- ۳- کمک به رشد محصول به واسطه بهبود توانایی خاک در ذخیره و انتقال آب و هوا
- ۴- مانع از فشردگی خاک می‌شود (کاهش تراکم خاک)
- ۵- موجب ترسیب کربن می‌شود
- ۶- افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌های ریشه و برگ
- ۷- کاهنده سله و رواناب، افزایش نفوذپذیری خاک و ایجاد شرایط مناسب برای نفوذ ریشه
- ۸- افزایش تنوع زیستی و بیوماس میکروبی خاک
- ۹- افزایش کارایی کودهای شیمیایی (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵)

در حال حاضر مدیریت نادرست بقایای محصولات کشاورزی بعد از برداشت بر مشکلات زیست محیطی افزوده است به‌طوریکه سالانه میلیون‌ها تن از بقایا در سطح مزارع سوزانده می‌شوند که علاوه بر از بین رفتن موجودات خاکزی و از بین رفتن کربن آلی خاک، منبع عظیمی از دی اکسید کربن،

مونواکسید کربن ، ترکیبات هالوژنی و اکسیدهای نیتروژن را به جو زمین وارد می‌کند که در گرم شدن دمای جهان موثرند. بعلاوه سوزاندن بقایا، باعث لخت شدن سطح خاک شده و آن را در معرض باد و باران قرار داده و سبب تسریع فرسایش خاک می‌گردد. تولید بیوپچار از این زیست‌توده‌های گیاهی می‌تواند یک روش مدیریتی مناسب در جلوگیری از سوختن نامناسب آن‌ها باشد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی دیگر حاصلخیزی خاک باگذشت زمان به علت برداشت گیاهان از خاک کاهش می‌یابد. مواد آلی در طول زمان کاهش یافته و ظرفیت تبادل کاتیونی آن نیز کم می‌شود. با اینکه اصلاح خاک را می‌توان از طریق کودها نیز انجام داد، اما این عوامل به راحتی در خاک ازدست داده می‌شود و یا توسط میکروب‌ها شکسته می‌شوند و از طرف دیگر گران و وقت گیر می‌باشند (ورهیجان و همکاران، ۲۰۱۰). جایگزین این مواد افزودنی که دوام بالایی نیز در خاک دارد می‌تواند بیوپچار باشد.

۲-۵-۱- بیوپچار چیست؟

بیوپچار یک فرآورده جانبی غنی از کربن است که از گرمادهی بیوماس چوب، کود دامی و کاه و کلش و یا برگ و در غیاب اکسیژن تولید می‌شود (لهامن و جوزف، ۲۰۰۹ و ورهیجان و همکاران، ۲۰۱۰). ایده اصلی استفاده از بیوپچار برای افزایش حاصلخیزی خاک به دو هزار سال قبل برمی گردد. در زمین‌های سیاه حوزه آبخیز آمازون شواهدی از استعمال گسترده بیوپچار در خاک‌هایی موسوم به Terra preta وجود دارد که توسط اقوام بومی برای افزایش حاصلخیزی خاک بکار می‌رفته است. این خاک‌ها از نظر مواد آلی چهار برابر غنی‌تر از خاک‌های نواحی دیگر بوده‌اند به طوری که در این خاک‌ها چندین برداشت در سال بدون افزودن کود انجام می‌شده است. این خاک‌ها از تنوع موجودات خاکی بالاتری برخوردار بوده و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و قدرت نگهداری فسفر بالایی داشته اند (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۵-۲- روش‌های تولید بیوپچار:

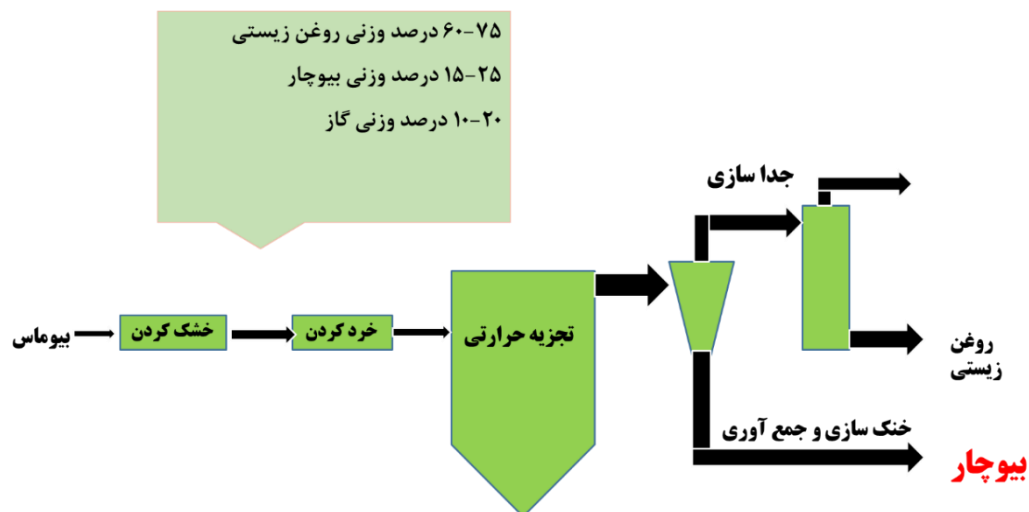
تولید مصنوعی بیوپچار اغلب به دو روش انجام می‌گیرد: ۱- پیرولیز ۲- کربنیزه شدن هیدروترمال.

در هر دو فرآیند، سوبستراهای بیوماس ارگانیک (بیوماس، کاه و کلش و ...) توسط فرآیندی به نام پیرولیز به فرآورده‌های غنی از کربن تبدیل می‌شوند (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹). پیرولیز یک فرآیند ترموشیمیایی است که شامل گرمادهی بیوماس در دمای بالای ۳۰۰ درجه و در غیاب اکسیژن به منظور آزادسازی انرژی شیمیایی از مواد آلی است. در فرآیند پیرولیز سه ماده اصلی تولید می‌شود: ۱- گازهای غیرقابل انجماد ۲- سوخت زیستی و ۳- بیوچار (لایرد و همکاران، ۲۰۰۸).

گازهای غیر قابل انجماد هیدروکربن‌های قابل اشتعالی هستند که می‌توانند در انرژی ژنراتور استفاده شوند (کرومبی و ماسک، ۲۰۱۵). پیرولیز شامل انواع مختلفی از جمله سریع، متوسط و آهسته می‌باشد که در تمامی این روش‌ها مواد خام باید کمتر از ۱۰ درصد رطوبت داشته باشند. فرآورده‌های فرآیند پیرولیز شامل سه فرآورده گاز، مایع و چار (زغال زیستی) است. پیرولیز آهسته با دمای کم (کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد) و زمان نگهداری مواد در فرآیند تبخیر بالامنجر به تولید بیشترین مقدار زغال زیستی می‌شود (در حدود ۳۵ درصد). در فرآیند پیرولیز متوسط (۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد) و زمان کوتاه تبخیر (۱ تا ۳۰ ثانیه) برای تولید مایع مناسب است (۵۰ تا ۷۰ درصد) و دماهای بالا (۷۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد) و زمان بالای این فرآیند موجب تبدیل بیوماس به گاز (۷۵ درصد) می‌شود (بریج واتر، ۲۰۱۲). شکل ۲-۲ مراحل اصلی تولید بیوچار و انواع و کاربرد محصولات فرآیند پیرولیز را نشان می‌دهد. برای تولید بیوچار، ابتدا زیست توده را خشکانده و سپس درون یک محفظه قرار داده و آن را تا رسیدن به یک دمای حداکثر حرارت می‌دهند. به منظور خارج کردن گاز و روغن تولید شده در طی فرآیند پیرولیز، به ترتیب دریچه‌ای در بالا و شیری در پایین محفظه تولید بیوچار تعبیه می‌کنند. همچنین یک ورودی و یک خروجی برای جریان گاز بی‌اثر مانند نیتروژن یا آرگو در محفظه تعبیه می‌شود. این جریان گاز بی‌اثر دو نقش مهم بر عهده دارد. اول، محیط فرآیند پیرولیز را از اکسیژن خالی می‌کند و دوم، گازهای تولید شده در طی فرآیند را به بیرون از سیستم هدایت می‌کند. فرآیند گرماکافت باعث خروج هیدروژن و اکسیژن از ساختمان زیست توده شده و با کاهش نسبت در (O:C) و اکسیژن به کربن (H:C) هیدروژن به کربن ساختمان بیوچار، درصد آروماتیک بودن کربن در بیوچار

را افزایش می دهد. بنابراین، کربن آلی بیوچار ساختار آروماتیکی داشته و در برابر تجزیه های زیستی و غیرزیستی مقاومت بسیار زیادی دارد (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹).

روش کربنی شدن هیدروترمال در محیط های مرطوب انجام می شود که در آن بیوماس در یک اتوکلاو در فشار و دمای ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد برای ۲-۴ ساعت قرار می گیرد. در هر دو روش پیرولیز و کربنی شدن هیدروترمال، مطالعات نشان دادند که ساختار متخلخل موادارگانیک نگه داشته خواهد شد (بریج واتر و همکاران، ۲۰۱۲).

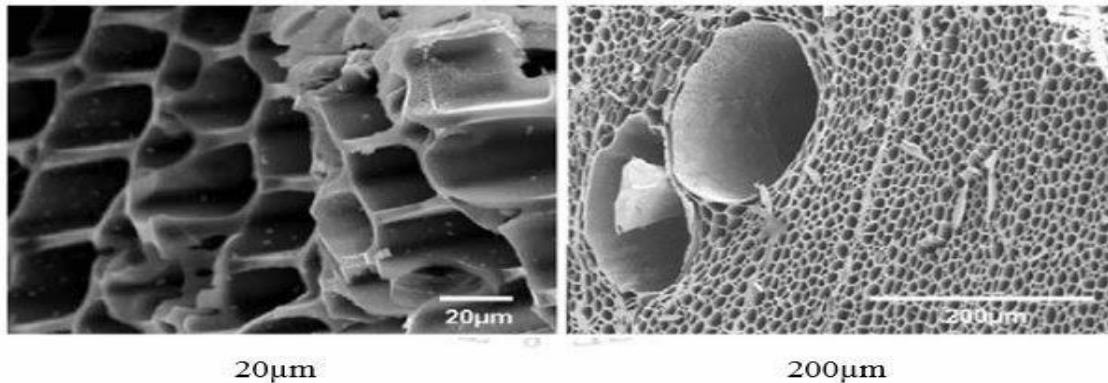


شکل ۲-۲- نمودار شماتیک تجزیه حرارتی برای تهیه بیوچار (پیرولیز) (روبرتز و همکاران، ۲۰۱۰)

۲-۵-۳- خصوصیات بیوچار:

تمامی بیوچارها خصوصیات یکسانی ندارند زیرا خصوصیات آنها تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی کنترل می گردد. از جمله این فاکتورها می توان به بسته به نوع ماده اولیه و شرایط پیرولیز (دمای نهایی پیرولیز، سرعت گرمادهی (پیرولیز آهسته یا سریع و زمان نگهداری بیوچار در محفظه تولید) اشاره داشت. تحت تاثیر فاکتورهای ذیل بیوچار ساختارهای فیزیکی و شیمیایی مختلف بدست خواهد آورد که می تواند به شکل متفاوتی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را تغییر دهد (ورهیجان و همکاران، ۲۰۱۰؛ مرکوری و لیا، ۲۰۱۴). به شکل کلی بیوچار یک ساختار چند شکلی کریستالی است

که از به هم پیوستن ترکیبات آروماتیک پدید آمده است (گراپر و همکاران، ۲۰۱۱). اسکلت کربنی در طول فرآیند تشکیل بیوچار از مواد آلی تشکیل شده و منجر به نفوذپذیری بالای بیوچار می‌گردد که علت آن ساختار اسفنجی آن است (کومادی و همکاران، ۲۰۱۵).



شکل ۲-۳- نمای نزدیک از ساختار بسیار متخلخل بیوچار (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹)

۲-۵-۳- اثرات افزودن بیوچار به خاک:

مطالعات فراوانی اثرات مثبت کاربرد بیوچار در خاک را گزارش نموده‌اند که برخی از آن‌ها به قرار زیر است:

۲-۵-۳-۱- افزایش تخلخل و کاهش چگالی ظاهری خاک:

در اکثر مطالعات با افزودن بیوچار به خاک کاهش چگالی ظاهری به شکل معنی‌داری اتفاق می‌افتد (موکرجی و لال، ۲۰۱۳؛ نلیسن و همکاران ۲۰۱۵). سطح ویژه بالای بیوچار فضایی را برای شکل‌دهی پیوندها و ایجاد کمپلکس با کاتیون‌ها و آنیون‌ها و نیز فلزات و عناصر خاک فراهم می‌کند که خود سبب افزایش ظرفیت نگهداری مواد غذایی توسط آن می‌گردد (موکرجی و لال، ۲۰۱۳). بررسی متآنالیز مطالعات متعدد تا سال ۲۰۱۶ بر روی اثر بیوچار بر چگالی ظاهری خاک نشان داد که کاربرد بیوچار به‌طور کلی موجب کاهش ۳-۳۱ درصدی چگالی ظاهری خاک می‌گردد، همچنین مطالعات گزارش نمودند که بیوچار موجب افزایش ۴/۸ درصدی تخلخل خاک می‌گردد (اوموندی و همکاران، ۲۰۱۶).

مطالعه دیگری در همین راستا میزان کاهش چگالی ظاهری خاک را تا ۱۳ درصد اعلام نمود (یو و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۵-۳-۲- تغییر خصوصیات هیدرولوژیکی خاک:

خصوصیات هیدرولوژیکی خاک شامل محتوای رطوبت، ظرفیت نگه‌داری آب خاک، هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ آب می‌باشند که به سطح ویژه، تخلخل، وزن ظاهری خاک، پایداری و دانه‌بندی ذرات آن بستگی دارد (موکرجی و لال، ۲۰۱۳). اثر بیوپار بر روی هدایت هیدرولیکی خاک بسته به نوع بافت خاک متفاوت است. بررسی اثرات افزودن مقادیر مختلف وزنی بیوپار (عدم مصرف، ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد وزنی) به خاک شنی نشان داد که مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع به شکل خطی کاهش یافت (گیتنجی، ۲۰۱۴). به نظر می‌رسد که افزودن بیوپار در خاک رسی ممکن است موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع با افزایش تعداد و یا ارتباط ماکروپورها می‌شود، در حالی که در خاک‌های شنی موجب کاهش آن گردد. به‌طوری که در برخی مطالعات مقدار هدایت هیدرولیکی در شرایط کاربرد بیوپار در خاک رسی نصف خاک شنی بود (هاردیه و همکاران، ۲۰۱۴؛ جفری و همکاران، ۲۰۱۵). تغییر در این شاخص منجر به تغییر در تخلخل خاک، دانه‌بندی و نیز ظرفیت نگه‌داری آب خاک می‌گردد (نلیسون و همکاران، ۲۰۱۵). از اثرات دیگر بیوپار افزایش قابلیت نگه‌داری آب گزارش شده که به تخلخل بالا و توانایی آن در افزایش دانه‌بندی خاک نسبت داده شده است (لایرد و همکاران، ۲۰۱۰). در یک مطالعه ۵ ساله در فنلاند بیوپار موجب افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک نزدیک به ۱۱ درصد شد (کارهو و ماتیلا، ۲۰۱۱) البته قابل ذکر است که افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک لزوماً به معنی افزایش آب قابل دسترسی گیاه نیست. همچنین کاربرد بیوپار روی گیاه *Robinia pseudoacacia* آب قابل دسترسی گیاه (۹۷ درصد) و نیز محتوای رطوبت اشباع را افزایش داد اما موجب کاهش هدایت الکتریکی شد (اوزما و همکاران، ۲۰۱۱).

۲-۵-۳-۳- افزایش پی‌اچ خاک:

بیوپار موجب قلیایی کردن خاک می‌گردد که علت آن منشاء پی‌اچ بالای آن می‌باشد (لهمان و

همکاران، ۲۰۱۱؛ لایرد و همکاران، ۲۰۱۰). خاصیت آلكالین بیوچار به علت مواد معدنی غیر آلی مانند کربنات‌ها و فسفات‌ها و خاکستر تشکیل شده در فرآیند پیرولیز است (یوان و همکاران، ۲۰۱۱). تغییر در میزان پی‌اچ خاک توسط بیوچار به نوع ماده خام و دمای پیرولیز آن بستگی دارد (لهمان و همکاران، ۲۰۱۵) به‌طوری که در شرایط یکسان پیرولیز، میزان پی‌اچ بیوچار لگومینوزها بیش از غیر لگومینوزها و بیوچار ناشی از ماکیان بیش از گیاهان علفی است. با افزایش دمای پیرولیز به علت تجزیه گروه‌های عاملی اسیدی مانند کربوکسیل و فنولیک کربوکسیل و نیز تبخیر اسیدهای آلی، میزان پی‌اچ افزایش می‌یابد (چینتالا و همکاران، ۲۰۱۴؛ یوان و همکاران، ۲۰۱۱).

جفری و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که به طور کلی افزودن بیوچار موجب افزایش بین ۰/۱ تا ۲ واحد در پی‌اچ خاک می‌گردد. خاک‌هایی با pH ۶ تا ۷/۵ برای تشکیل یون‌های اورتوفسفات ($H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-}) موثر است، پی‌اچ زیر ۵/۵ قابلیت دسترسی به فسفر را محدود می‌کند. مقادیر پی‌اچ بالا، با افزایش جذب یون‌های خاک و تشکیل رسوبات و حضور آنیون‌هایی مانند کربنات‌ها، هیدروکسید، سولفات و فسفات‌ها موجب افزایش بی‌حرکی فلزات خاک و غیر قابل دسترس شدن آن‌ها می‌گردد (مانولیکاکی و دیامادوپولوس، ۲۰۲۰). اثرات مثبت دیگر پی‌اچ بالا شامل افزایش در تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها و محدودیت قابلیت دسترسی برخی از عناصر سنگین مانند آلومینیوم و منگنز ۳- بهبود تجزیه میکروبی مواد آلی می‌شود (جفری و همکاران، ۲۰۱۵). اثرات مثبت کاربرد بیوچار در افزایش دفع فلزات سنگین و در نتیجه کاهش آلودگی آن‌ها در مطالعات متعددی اشاره شده است. افزایش دفع کروم (۱۲۳ میلی‌گرم بر گرم) (دانگ و همکاران، ۲۰۱۱)، سرب (۳۰/۸۸ میلی‌گرم بر گرم) (لو و همکاران، ۲۰۱۲)، کادمیم (۶/۳۴ میلی‌گرم بر گرم) (وو و همکاران، ۲۰۱۸)، فسفات (۶ میلی‌گرم بر گرم) (وو و همکاران، ۲۰۱۷) و نیترات (۰/۰۲ میلی‌گرم بر گرم) (یوان و همکاران، ۲۰۱۲) در مطالعات پیشین گزارش شده است.

۴-۳-۵-۲- افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی:

در مطالعه‌ای با کاربرد بیوچار نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی در شرایط مصرف بیوچار ۱/۹ برابر

شرایط عدم مصرف آن بود که آن را به بار دانسیته بالا و سطح ویژه بالای ذرات بیوچار نسبت دادند (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹؛ بیسلی و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین مطالعات متعددی نشان داده اند که کاربرد بیوچار به شکل معنی داری مقدار هدایت الکتریکی را افزایش می دهد (قربانی و امیر احمدی، ۲۰۱۸؛ ماسولی و همکاران، ۲۰۱۰). افزودن بیوچار کاه و کلش برنج (۱ و ۵ درصد وزنی) میزان ظرفیت تبادل کاتیونی را به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش یافت (قربانی و همکاران، ۲۰۱۹).

۵-۳-۵-۲- کاهش آبشویی مواد غذایی و افزایش قابلیت دسترسی آن ها :

آبشویی مواد غذایی یکی از مشکلات بزرگ در تولیدات کشاورزی است که منجر به مصرف روز افزون نهاده ها در بخش کشاورزی می گردد. مطالعات متعددی نشان داده اند که کاربرد بیوچار اثر قابل ملاحظه ای بر روی قابلیت دسترسی فسفر، گوگرد، پتاسیم و منیزیم خاک داشته است و نه تنها جذب آن ها را از طریق خاک بهبود می بخشد، بلکه موجب افزایش جذب آن ها از طریق گیاه نیز می گردد (لی و همکاران، ۲۰۱۹).

افزایش معنی دار جذب نیتروژن خاک (بالای ۷ درصد)، کربن آلی (بالای ۶۹ درصد) و فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم خاک با کاربرد بیوچار گزارش شده است (لایرد و همکاران، ۲۰۱۰).

بیوچار موجب کاهش آبشویی آمونیم و نیترات به ترتیب از طریق مکانیسم افزایش ظرفیت تبدالی کاتیونی و افزایش ظرفیت نگه داری آب می گردد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ یائو و همکاران، ۲۰۱۲). در یک مطالعه گلخانه ای افزایش کود کمپوست و ترکیب بیوچار را مورد بررسی قرار دادند. هیچ شواهدی مربوط به کاهش آمونیم و نیترات و یا آبشویی فسفات را نشان نداد، گرچه کاهش نیتریفیکاسیون مشاهده شد (شولز و گلاستر، ۲۰۱۲). در مطالعات دیگری کاربرد بیوچار بدون اضافه نمودن کود، موجب بهبود عملکرد محصول و قابلیت دسترسی عناصر غذایی (به خصوص پتاسیم) در دو سیستم های زراعی (تولید برنج و پوشال برنج و نیز گندم با بیوچار سخت) گشت (اوگاوا و اوکیموری، ۲۰۱۰؛ لهمان و همکاران، ۲۰۱۱).

۶-۳-۵-۲- بهبود خصوصیات بیولوژیکی خاک:

تغییر در بیوتای خاک اثرات مستقیم بر روی گیاهان دارد. ساختار متخلخل بیوچار یک مکان مناسب برای میکروارگانیسم‌ها و محافظت آن‌ها از شکارچیان و یا رطوبت است (جیندو همکاران، ۲۰۱۴؛ شبان و همکاران، ۲۰۱۸). اثر بیوچار بر روی باکتری‌های خاک بسیار متفاوت است، به‌طوری که گرچه مطالعات زیادی افزایش بیوماس میکروبی و فعالیت آن‌ها را در اثر کاربرد بیوچار نشان داده اند، اما برخی از آن‌ها کاهش تنوع و فعالیت میکروبی را نشان داده‌اند و خاطر نشان کرده اند که بیوچار به شکل انتخابی عمل می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). به عنوان مثال گونه‌های *Nitrospira* و *Chloroflexi* در شرایط کاربرد بیوچار گونه غالب خاک بودند (لیو و همکاران، ۲۰۱۸) در حالی که بیوچار تهیه شده در دمای بسیار بالا، تنها گونه غالب *Chloroflexi* بود (دای و همکاران، ۲۰۱۷). برخی از اثرهای تاثیر بیوچار در بیوتای خاک در زیر آمده است.

۱- بهبود رشد قارچ میکوریزا: گرچه ارتباط میان بیوچار و میکوریزا کاملاً واضح نیست اما به نظر می‌رسد اثر مثبت بیوچار در بهبود میکوریزا به علت ساختار متخلخل بیوچار و نیز فضای بسیار کوچک میان ذرات آن است. ساختار متخلخل آن هیف‌های قارچ را در برابر شکارچیان مصون می‌کند. همچنین فضای بسیار کوچک بین ذرات آن (کمتر از ۱۰ میکرومتر) موجب می‌شود که ریشه‌های گیاه نتوانند آن فضا را اشغال کنند و این فضای اضافی در اختیار هیف های قارچ قرار گیرد (اورتاس و همکاران، ۲۰۱۶).

۲- افزایش فراوانی باکتری‌ها: باکتری‌ها ممکن است در سطح بیوچار جذب شوند که موجب می‌شود قابلیت سوسپانسیون آن‌ها کاهش یافته و در نتیجه آبشویی آن‌ها کمتر شود. لی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که افزودن بیوچار به خاک موجب افزایش فراوانی باکتری تا ۱۶۱ درصد می‌گردد و بیوچار باکتری‌های گرم مثبت را بیشتر از گرم منفی افزایش می‌دهد. اندرسون و همکارانش (۲۰۱۱) نیز بیان داشتند که افزودن بیوچار موجب تغییر در جامعه میکروبی خاک و عملکرد آن‌ها می‌گردد. مطالعه آن‌ها نشان داد که در اثر کاربرد بیوچار باکتری‌های *Bradyrhizobiaceae* (۵درصد)،

Thermomonosporaceae و *Streptosporangineae* (۶ درصد) و *Hyphomicrobiaceae* (۱۴ درصد)، (۸ درصد) افزایش یافت، در حالی که خانواده *Streptomyetaceae* (۱۱ درصد) و *Micromonosporaceae* (۱۱ درصد) کاهش نشان داد.

همچنین مقدار باکتری‌های *Actinobacteria* و *Gemmatimonadetes* با افزودن بیوچار بلوط افزایش یافت، اما میزان باکتری‌های اسید دوست یعنی *Methylophilaceae* و *Hydrogenophilaceae*، به دلیل افزایش خاصیت بازی خاک کاهش یافت (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

۳- افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن:

مکانیسم افزایش تثبیت بیولوژیکی خاک توسط بیوچار شامل موارد زیر می‌گردد (میا و همکاران، ۲۰۱۴):

– imobalization (عدم تحرک) نیتروژن غیرآلی که موجب تحریک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود.

– افزایش گره‌بندی

– افزایش فسفر قابل دسترسی

– جذب فلاونوئیدها و فاکتور nod توسط بیوچار که سبب افزایش سیگنال‌دهی برای گره‌بندی می‌شود.

– افزایش پی‌اچ خاک

۴- کاهش پاتوژن‌ها و کاهش بیماری در گیاهان: مطالعات متعددی کاهش پاتوژن‌های گیاهی را در اثر کاربرد بیوچار نشان داده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش قارچ‌های *Botrytis cinerea* در *Leveillula taurica* در فلفل قرمز و *Podosphaera aphanis* که عامل سفیدک پودری در توت فرنگی است نام برد (رامادان و همکاران، ۲۰۲۰). بیوچار هم چنین موجب کاهش پاتوژن‌های خاکزی نظیر *Phytophthora* و *Fusarium oxysporum f. sp. asparagi and Fusarium proliferatum* و *Rhizoctonia solani* و *cactorum and Phytophthora cinnamomi* شده است (سیلوا و همکاران،

(۲۰۲۰).

بیوپچار از مکانسیم‌های زیر موجب کاهش پاتوژن‌های بیماری‌زایی در گیاهان می‌گردد: (لهمان و همکاران، ۲۰۱۱).

- آزدسازی مستقیم بازدارنده‌های پاتوژن گیاهی

- تسریع عمل میکروارگانیسم‌هایی که عمل آنتاگونیستی در مقابل پاتوژن‌های گیاهی دارند (به شکل رقابت برای مواد غذایی و یا تولید آنتی بیوتیک‌ها)

- بهبود جذب مواد غذایی که منجر به افزایش مقاومت گیاه در برابر پاتوژن‌ها می‌گردد

- فعال کردن مکانیسم دفاعی گیاه با افزایش میکروارگانیسم‌های خاص

- جذب ترکیبات ارگانیک بر بروی سطح بیوپچار که موجب تغییر سیگنال‌دهی میان گیاه و پاتوژن می‌گردد.

- اثر روی قابلیت تحرک پاتوژن‌ها

۵- افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک: مطالعات ژو و همکارانش (۲۰۱۹) نشان داد که کاربرد بیوپچار موجب افزایش آنزیم‌های چرخه نیتروژن و فسفر به‌ترتیب به میزان ۱۴ و ۱۱ درصد شد که آن را ناشی از خاصیت آهکی بیوپچار و نیز عرضه مواد غذایی و بهبود خصوصیات خاک و آب قابل دسترس آن دانستند اما بیوپچار میزان آنزیم‌های چرخه کربن را کاهش داد که این کاهش به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالای بیوپچار و محتوای کربن آروماتیک بالای آن بود که اثر منفی بر روی رشد باکتری‌ها و فعالیت آنزیم‌های خاک داشت. علاوه بر آن رهاسازی مولکول‌های کوچک (فنول‌ها و پلی‌فنول‌ها) توسط بیوپچار موجب کاهش فعالیت این چرخه شد.

۷-۳-۵-۲- کاهش گازهای گلخانه‌ای:

۶۰ درصد از انتشار گازهای جهانی مربوط به بخش کشاورزی است آزاد شدن CH_4 از شالیزارها، و CO_2 از سوزاندن بقایای کشاورزی و N_2O در اثر مصرف کودهای نیتروژنه نمونه‌های بارز از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با کشاورزی می‌باشد. بیوپچار انتشار این گازهای گلخانه‌ای مهم از خاک را کاهش

می‌دهد (بورچارد و همکاران، ۲۰۱۹).

افزایش گاز دی‌اکسیدکربن اتمسفر در نتیجه سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی از علت‌های اصلی گرمایش جهانی به‌شمار می‌رود. سالانه حجم بسیار زیادی از پسماندهای کشاورزی و جنگلی و ضایعات آلی صنایع وابسته به کشاورزی در جهان تولید می‌شود که اغلب سوزانده می‌شوند. سوزاندن این بقایای آلی بویژه بقایای محصولات کشاورزی سالانه مقادیر قابل توجهی گاز دی‌اکسیدکربن را وارد اتمسفر می‌کند؛ درحالی که با تبدیل این پسماندها به بیوپچار و افزودن آن به خاک، می‌توان ضمن بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش حاصلخیزی آن، کربن اتمسفر را برای قرن‌ها و حتی هزاران سال در خاک ذخیره کرد (چینتالا و همکاران، ۲۰۱۴). بخشی از کربن دریافت شده توسط گیاه دوباره طی فرآیند تنفس به اتمسفر باز گردانده می‌شود. ولی بخش زیادی از آن در ساختار زیست توده به شکل انواع ترکیبات آلی تثبیت می‌شود. این کربن تثبیت شده بعد از مرگ گیاه یا درخت با تجزیه و تخریب زیستی و غیرزیستی و یا سوزاندن زیست توده به صورت دی‌اکسیدکربن به اتمسفر باز می‌گردد. ممکن است با به دام افتادن زیست‌توده در داخل رسوبات، این فرآیند آزاد شدن CO_2 به اتمسفر به تعویق افتد (مانند پیت) با افزوده شدن بر بار رسوبات روی زیست توده‌ها، فشار افزایش یافته و اکسیژن کاهش می‌یابد. تداوم چنین شرایطی در دراز مدت باعث می‌شود که زیست توده‌ها طی یک سری از واکنش‌های گسست، به یک ذخیره کربنی مانند زغال سنگ، نفت خام و یا گاز طبیعی تبدیل شوند. فرآیند کربونیزاسیون در واقع نوعی تقلید از همین فرآیند بسیار طولانی طبیعی می‌باشد که در آن، با ایجاد شرایط مورد نیاز، این فرآیند به طور مصنوعی تسریع می‌شود و با تبدیل زیست توده‌ها به بیوپچار، کربن اتمسفر برای چندصد تا چندهزار سال تثبیت شده و ورود گاز دی‌اکسیدکربن به اتمسفر کاهش می‌یابد (عظیم زاده و نجفی، ۱۳۹۶).

مکانیسم اثر بیوپچار بر کاهش انتشار CH_4 از شالیزار نه به خاطر کاهش میکروب‌های

تولیدکننده متان^۱ بلکه به خاطر افزایش میکروب‌های اکسیدکننده متان^۲ می‌باشد که بیشتر به علت ساختار متخلخل بیوچار و تغییرات pH خاک می‌باشد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۲).

NH₃ و N₂O نیز از آلاینده‌های مهم اتمسفری هستند. NH₃ در یوتریفیکاسیون آب، اسیدی کردن و تغییر در تنوع زیستی از طریق فرآیند انتقال اتمسفری می‌گردد. N₂O یک گاز گلخانه‌ای دیرماند است که به عنوان گاز تخریب کننده اوزون شناخته می‌شود. دو نتیجه اصلی فعالیت‌های میکروبی است که بر روی میزان نیتروژن غیرآلی خاک از طریق فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون اثر می‌گذارد (بورچارد و همکاران، ۲۰۱۹).

کارایی نیتریفیکاسیون به قابلیت دسترسی نیتروژن و اکسیژن بستگی دارد، در حالی که قابلیت دسترسی به موادآلی قابل تجزیه و کمبود اکسیژن دنیتریفیکاسیون را بهبود می‌بخشد. علاوه بر آن میکروب‌هایی که نیتریفیکاسیون را انجام می‌دهند اغلب نیاز به پی‌اچ اسیدی دارند، در حالی که پی‌اچ مطلوب دنیتریفیکاسیون بین ۴ تا ۸ است (بورچارد و همکاران، ۲۰۱۹).

مطالعات نشان می‌دهد که بیوچار از طریق مکانیسم‌های زیر موجب تغییر در میزان NH₃ و N₂O می‌گردد:

۱- نگهداری نیتروژن غیر آلی از طریق جذب NH₄⁺ و غیر متحرک سازی^۳ نیتروژن (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵؛ کایزیتو و همکاران، ۲۰۱۵)

۲- تغییر در pH خاک و دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک که بر روی عملکرد سطوح میکروبی نیتريت‌سازها^۴ و اکسیدکننده‌های آمونیوم^۵ اثر می‌گذارد و به شکل مستقیم موجب تغییر در تعادل میان NH₃ و NH₄⁺ می‌شود (عباس و همکاران، ۲۰۱۲)

۳- جذب نیتروژن بیشتر از طریق گیاه به واسطه افزایش رشد گیاه (عباس و همکاران، ۲۰۱۸؛

¹ Methanogenic archaea

² Methanotrophic proteobacteria

³ Immobilization

⁴ nitrifier

⁵ ammonia oxidizer

ژو و همکاران، ۲۰۱۲)

۴- بهبود تهویه خاک از طریق کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش تخلخل آن که موجب

کاهش تولید N_2O می‌شود (آملوت و همکاران، ۲۰۱۶).

۵- تغییر در بیان ژن های درگیر در فرآیند تبدیل N_2O به N_2 به طور کلی در فرآیند احیا

نیتрат به نیتروژن ژن های $narG$ و $napA$ (سنتز کننده آنزیم نیترات ردکتاز)، $nirK$ و $nirS$ (سنتز

کننده آنزیم نیتريت ردکتاز) $norB$ (سنتز کننده آنزیم نیتريك اكسيد ردكتاز) و در نهایت $nosZ$ (سنتز

کننده آنزیم نیتروژن اكسيد ردكتاز) نقش دارند (مارتوس و همکاران، ۲۰۲۰). بیوپچار موجب تغییر در

فراوانی مقادیر این ژن ها و در نتیجه تغییر فرآیند فوق می گردد. در مطالعه‌ای بر روی اثر بیوپچار بر

فراوانی ژن های $nirK$ و $nosZ$ مشاهده شد که فراوانی آن‌ها در ابتدا مشابه عدم مصرف بیوپچار بود ولی

با گذشت زمان بیشترین فراوانی این دو ژن در تیمارهای کاربرد بیوپچار دیده شد و کمترین مقدار آن

در شاهد بود (امر و همکاران، ۲۰۲۰).

در میان شکل‌های مختلف نیتروژن، نیتروژن نیتراتی به دلیل این که جذب ذرات خاک نمی‌شود، به

عنوان یکی از شکل‌های اصلی نیتروژن که مستعد آبشویی می‌باشد شناخته شده است. به طوری که

ارتباط آشکاری بین کاربرد کود نیتروژنی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی یافت شده است. آمونیم

معمولاً به صورت یونی و به شکل قابل تبادل و تثبیت شده در سطح کانی‌های رس و به مقدار کمی در

محلول خاک یافت می‌شود و می‌تواند توسط بارهای منفی ذرات معدنی رس و ذرات آلی نگه داشته

شود. به همین علت تحرک یون آمونیم در مقایسه با یون نیترات کم‌تر است.

مطالعه متاآنالیز انجام شده توسط ليو و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بیوپچار بر روی چرخه نیتروژن،

انتقال و ذخایر آن اثرگذار است و انتشار نیتروژن و آبشویی NO_3^- با کاربرد بیوپچار کاهش می‌یابد، که

مقدار این کاهش در مطالعه دیگری ۱۲ درصد برآورده شد (نگوئن و همکاران، ۲۰۱۷).

۶-۲- اثرات کاربرد بیوپچار بر رشد گیاهان:

مطالعات متعددی خاطر نشان کرده‌اند که کاربرد بیوپچار موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی و نیز سیستم های جنگلی در انواع مختلف خاک شده است (یو و همکاران، ۲۰۱۹؛ اوزما و همکاران، ۲۰۱۱، ماجور و همکاران، ۲۰۱۰، ژائو و همکاران، ۲۰۱۴). به طوری که در خاک های شنی افزایش عملکرد کتان (۲۱/۹-۹/۲ درصدی) و برنج (آسای و همکاران، ۲۰۰۹)؛ در خاک های اسیدی افزایش عملکرد ذرت (ماجور و همکاران، ۲۰۱۰) و آفتابگردان (تاتارکووا و همکاران، ۲۰۱۳) شد. افزودن بیوپچار (کاه و کلش گندم) در خاک های شور نیز سبب افزایش عملکرد گندم (۳۸ درصد) شد (لاشری و همکاران، ۲۰۱۳) و کاربرد بیوپچار کاه و کلش ذرت در محصول گندم میزان عملکرد گندم را ۲۷/۷ درصد افزایش داد (لین و همکاران، ۲۰۱۵).

جفری و همکاران (۲۰۱۱) تخمین زد که میان کاربرد بیوپچار و افزایش عملکرد و بیوماس زراعی رابطه مستقیمی وجود داشته و به شکل میانگین موجب افزایش ۱۰ درصدی عملکرد می‌شود. وی همچنین با مطالعه متاآنالیز مقالات چاپ شده بر روی اثر بیوپچار بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مقالات متعددی بیان نمود که بیشترین اثر مثبت بیوپچار با کاربرد مقادیر ۱۰۰ تن در هکتار بیوپچار (۳۹٪) و در خاک های اسیدی (۱۴٪) با بافت درشت (۱۰٪) و متوسط (۱۳٪) و pH خنثی (۱۳٪) دیده شده است. گرچه مطالعات دیگری نشان داده است که بیشترین کارایی بیوپچار در افزایش عملکرد گیاهان زراعی در خاک های شنی (۲۹/۶ درصد) است (لیو و همکاران، ۲۰۱۳)

افزایش وزن خشک برگ‌های گیاه *Phyllostachy pubescens* و نیز ریشه‌ها و ساقه‌های آن به نسبت ۴ و ۲ درصد نسبت به شاهد گزارش شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعه دیگری نیز نشان داد که کاربرد بیوپچار در برنج، گندم، ذرت و سویا موجب افزایش رشد آن‌ها به مقدار ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۲ درصد شد (جفری و همکاران، ۲۰۱۵).

کاربرد بیوپچار موجب افزایش وزن خشک بخش هوایی (۵۹-۱۸۶ درصد) و ریشه (۹۲-۸۳

درصد) نسبت به حالت شاهد در گیاه ذرت شد (مانولیکاکی و دیامادوپولوس، ۲۰۲۰). بوتنان و همکاران (۲۰۱۵) نیز افزایش ۱۱۵ تا ۶۰۰ درصدی وزن خشک ریشه را نسبت به حالت شاهد گزارش کرد.

افزایش رشد گیاه با کاربرد بیوچار بیشتر به علت افزایش حاصلخیزی خاک از طریق افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی مانند کلسیم و منیزیم در خاک‌های اسیدی، افزایش نگهداری نیتروژن و افزایش کارایی نیتروژن، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و بهبود رژیم رطوبتی خاک بوده است، به طوری که مطالعه بر روی ۱۰۳ مقاله مرتبط با این موضوع نشان داد که به طور کلی کاربرد بیوچار موجب افزایش ۸/۴ درصدی عملکرد و ۱۲/۵ درصدی بیوماس هوایی در گیاهان مختلف شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات دیگری افزایش عملکرد از طریق مصرف بیوچار را ناشی از افزایش بیوماس میکروبی، افزایش مقادیر نیتروژن و فسفر و نگهداری آب و میزان pH و گره بندی ریزوبیوم بیان نمودند (مارتوس و همکاران، ۲۰۲۰).

فصل سوم:

مواد و روش ها

۳-۱- زمان، موقعیت جغرافیایی و مشخصات آب و هوایی محل اجرای

پروژه

این تحقیق در سال های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود در شهر بسطام واقع در ۸ کیلومتری شمال شرقی شاهرود به اجرا درآمد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی شهرستان شاهرود در طول شمالی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی دارای اقلیم سرد و خشک می باشد. ارتفاع شهرستان شاهرود از سطح دریا ۱۳۶۷ متر و ارتفاع محل اجرای آزمایش ۱۳۴۹ متر است.

جدول ۱-۳ مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش							
تعداد روزهای بارندگی	تعداد روزهای یخبندان	بارندگی (میلیمتر)	رطوبت نسبی حداکثر	رطوبت نسبی حداقل	حداکثر درجه حرارت (سانتی گراد)	حداقل درجه حرارت (سانتی گراد)	سال
۴۸	۹۷	۸۷/۷	۹۸	۱۰	۳۹/۵	-۲	سال ۹۶
۲۴	۹۵	۸۵/۲	۱۰۰	۱۰	۳۷	-۱/۵	سال ۹۷

۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

این آزمایش در دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت های اصلی شامل سطوح دور آبیاری در سه سطح (آبیاری به شکل معمول (شاهد و هر ۵ روز یکبار)، آبیاری هر ۱۰ و هر ۱۵ روز یکبار) و کرت های فرعی شامل بیوچار در سه سطح (عدم مصرف بیوچار، ۵ تن در هکتار بیوچار و ۱۰ تن در هکتار بیوچار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (شاهد و ۰/۵ میلی مول سالیسیلیک اسید) بود. کاربرد سالیسیلیک اسید به شکل محلول پاشی در زمان های قبل و بعد گلدهی انجام شد و برای تهیه محلول سالیسیلیک اسید، پودر سالیسیلیک اسید در ۵۰۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر با غلظت ده برابر نسبت به بیشترین غلظت مورد نظر حل شده و سپس برای تهیه غلظت

های مورد نظر با آب مقطر رقیق سازی شد. ابعاد کرت‌های آزمایش ۴ در ۲/۵ متر بود. هر واحد آزمایشی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و با فاصله‌ی بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. همچنین در یک بلوک فاصله کرت‌های اصلی ۱ متر و فاصله بین دو بلوک ۳ متر در نظر گرفته شد.

۳-۳- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش و بیوپار

پیش از اجرای آزمایش و عملیات آماده سازی زمین جهت تعیین بافت و عناصر مصرفی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از خاک محل کشت نمونه برداری شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۳-۲ و بیوپار در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

نیترژن کل	پتاسیم	pH	هدایت الکتریکی	فسفر	کربن آلی	بافت خاک
(درصد)	(پی پی ام)		(دسی زیمنس بر متر)	(پی پی ام)	درصد	
۰/۰۴	۱۴۹	۸/۳۰	۰/۴۱	۱۹	۰/۴	لوم سیلت

جدول ۳-۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوپار به کار برده شده در آزمایش

نیترژن کل	پتاسیم	pH	هدایت الکتریکی	فسفر	کربن آلی	خاکستر	مواد آلی فرار
(درصد)	(درصد)		(دسی زیمنس بر متر)	(درصد)	(درصد)	درصد	در رطوبت (درصد)
۱/۲۷	۰/۲۱	۹/۷۰	۱/۷۲	۰/۰۱	۴۵/۴۴	۷/۶۰	۴۶/۹۵

۳-۴- عملیات اجرایی

۳-۴-۱- کاشت

آماده سازی زمین در زمستان سال ۱۳۹۵ انجام شد و شخم عمیق توسط گاواهن برگردان‌دار و نیمه

عمیق طبق نقشه کشت اعمال گردید. جوی و پشته‌ها توسط فاروئر انجام شد. قبل از اجرای آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک محل اجرای آزمایش انجام شد و کود پایه اوره بر طبق نیاز خاک مصرف گردید و عناصر موجود در بیوچار نیز از طریق آزمایش مشخص شد. بیوچار فقط در سال اول مصرف شد، اما تیمارهای سالسیلیک اسید و دور آبیاری در هر دو سال اعمال شد. بیوچار پس از توزین (به مقادیر ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در کیسه های جداگانه با ایجاد شیار در پشته ها اضافه شده و با خاک تا عمق ۱۰ - ۱۵ سانتیمتری مخلوط شد. اعمال تیمار سالسیلیک اسید در آغاز گلدهی و اعمال تیمار دور آبیاری در زمان استقرار کامل گیاه (مرحله ۳-۴ برگی و تقریباً دو ماه بعد کاشت) بود. گاو زبان اروپایی در هر دو سال در همان کرت‌های سال اول کشت شد. بذور مصرفی گاو زبان اروپایی از شرکت Pharmasaat آلمان تهیه شده و آماده-سازی زمین و کاشت آن در تاریخ ۲۵ اسفند ماه در سال اول انجام شد و کاشت بذور در سال دوم در تاریخ ۲۷ اسفند ماه انجام گرفت. کشت بذر به شکل مستقیم انجام گشت.

۳-۴-۲- داشت

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذر انجام شد و آبیاری‌های بعدی با توجه به فواصل آبیاری تیمارها به شیوه آبیاری تحت فشار و به‌طور یکسان در تمامی تیمارها انجام گرفت. به منظور رسیدن به تراکم مناسب بوته در مترمربع، در مرحله ۸-۶ برگی اقدام به تنک و وجین علف‌های هرز گردید و مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. تراکم بوته ۱۰ بوته در مترمربع بود.

۳-۴-۳- برداشت

در زمان گلدهی کامل، گل‌های بالغ را یک روز در میان برداشت نموده و در دمای اتاق و دور از نور خورشید و در سایه (دمای ۳۰ درجه) خشک شدند. اولین برداشت در اردیبهشت ماه صورت گرفت و پس از این تاریخ، با توجه به شرایط محیطی، چین‌های بعدی به فواصل یک روز در میان تا اوایل تیرماه ادامه یافت.

۵-۳- نمونه برداری جهت صفات شیمیایی خاک

همزمان با عملیات برداشت گیاه، از عمق ۰-۱۵ سانتی متری هر کرت از سه نقطه نمونه گیری انجام شد و بعد از اختلاط آن ها، در کیسه های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه ها در آزمایشگاه هوا خشک شد و پس از عبور دادن آن ها از الک، pH و هدایت الکتریکی خاک اندازه گیری شد. برای اندازه گیری نمونه های نیتрат، آمونیم، تنفس و کربن خاک نمونه گیری قبل از برداشت مزرعه و در شرایطی که خاک مزرعه دارای رطوبت بود (یک روز بعد از آبیاری) انجام گرفت و نمونه ها تا زمان آزمایش در یخچال نگه داری شد.

۶-۳- نمونه برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه

جهت اندازه گیری صفات زراعی و مورفولوژیک گیاه نمونه برداری در زمان گلدهی آغاز گردید. برای این منظور دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف شده و قطع بوته ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه صورت گرفت. سپس بوته ها در پاکت های دارای اتیکت شناسایی قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه گیری وزن خشک برگ، ساقه و کل نمونه های منتقل شده به آزمایشگاه به بخش های برگ، ساقه تفکیک شدند و به طور مجزا در پاکت قرار داده شدند و وزن خشک آن ها تعیین گردید. برای این منظور بخش های تفکیک شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار گرفتند. پس از اعمال زمان لازم، پاکت ها به مدت ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. مقادیر به دست آمده بر حسب گرم در بوته گزارش شد.

برای اندازه گیری ارتفاع ساقه اصلی در ۵ بوته از هر کرت بر حسب سانتی متر اندازه گیری و پس از میانگین گیری ثبت گردید. همچنین صفاتی مانند تعداد انشعابات جانبی (شاخه های فرعی و فرعی فرعی) شمارش و در نهایت از میانگین آن ها برای انجام محاسبات استفاده گردید.

برای صفات فیزیولوژیک یک هفته بعد از محلول پاشی، نمونه برداری از بوته های خطوط کاشت

وسط با احتساب اثر حاشیه انجام گرفت و به شکل تصادفی از ۵ گیاه در هر کرت، از برگ‌های همسن نمونه‌برداری انجام شد. به این صورت که برگ‌های همسن در قسمت یک سوم بالا، وسط و پایین در هر کرت نمونه‌برداری شدند. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها سریعاً به داخل یخچال صحرایی حاوی یخ انتقال داده شده و پس از آن برای انجام آزمایشات لازم به آزمایشگاه منتقل و به وسیله‌ی ازت مایع فریز شدند و در دمای ۱۸- (نمونه‌های آنزیم در دمای ۷۰-) نگهداری شد.

۳-۷- اندازه‌گیری صفات مرتبط با گیاه

۳-۷-۱ میزان کلروفیل و کاروتنوئید: جهت ارزیابی غلظت کلروفیل برگ ۰/۰۱ گرم از بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچکی خرد شد. به نمونه‌ها ۶ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید اضافه شد و محلول حاصل به مدت ۴ ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج شدند و پس از سرد شدن با قرار گرفتن در اسپکتروفتومتر ، میزان جذب نمونه‌های حاوی کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه گردید (هیسوکس و ایسریستام، ۱۹۷۹).

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = (12.25 \text{ A } 663) - (2.55 \text{ A } 645) \quad (\text{رابطه ۱-۳})$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = (20.31 \text{ A } 645) - (4.91 \text{ A } 663) \quad (\text{رابطه ۲-۳})$$

$$\text{Chl T} = \text{chl a} + \text{c} \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

$$\text{Car } (\mu\text{g/ml}) = (1000 \text{ A } 470 - 1.90 \text{ Chla} - 63.14 \text{ Chlb}) / 214 \quad (\text{رابطه ۴-۳})$$

پس از جایگزین کردن داده‌ها در روابط بالا اعداد به‌دست آمده در $V/W \times 1000$ ضرب گردید تا اعداد برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آمد V حجم محلول کلروفیلی بر حسب میلی‌لیتر و W وزن نمونه تر برگ حسب گرم بود.

۳-۷-۲ محتوای نسبی آب برگ: به منظور تعیین مقدار رطوبت نسبی برگ، برگ‌ها بلافاصله

درون پوشش‌های پلاستیکی داخل یخدان قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از توزین با ترازو

با دقت ۰/۰۰۱ گرم (وزن تر)، به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر و در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند سپس برگ‌ها از آب مقطر خارج و آب روی آن‌ها با دستمال گرفته و خشک گردیدند و دوباره توزین شدند (وزن اشباع)، در نهایت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (وزن خشک). مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۳-۵ محاسبه شد. (کرامر، ۱۹۸۳).

رابطه (۳-۵) $100 \times \{(\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})\} = \text{مقدار آب نسبی}$

۳-۷-۳- شاخص پایداری غشای سلولی برگ: برای تعیین شاخص پایداری غشای از نمونه

برگ‌های تهیه شده به اندازه ۰/۰۱ گرم به صورت قطعات کوچک و هم‌اندازه جدا گردید، سپس این قطعات به فالکن‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (C1) قرار داده شدند. به همین ترتیب سری دوم فالکن‌ها آماده سازی گردید و این بار به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C2) قرار گرفتند. پس از خنک شدن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی آن‌ها توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه ۳-۶ میزان پایداری غشای سلولی محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۶) $100 - (C1/C2) = \text{شاخص پایداری غشای سلولی}$

۳-۷-۴- میزان آنتوسیانین برگ: برای سنجش میزان آنتوسیانین برگ مقدار ۰/۰۲ گرم از بافت

برگ با ۴ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک ۱ درصد و متانول در یک هاون چینی ساییده شد و محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه و در ۱۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. محلول دو فاز حاصل شد که مواد ته نشین شده دور ریخته شد و جذب محلول‌ها در محلول باقی مانده در طول موج‌های ۵۳۰ (A530) و ۶۵۷ (A657) نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین (A) برای هر عصاره با استفاده از رابطه‌ی (۳-۷) زیر اندازه‌گیری گردید (میتا و همکاران، ۱۹۹۷).

$$A = A530 - (0.25 \times A657) \quad \text{رابطه (۷-۳)}$$

۳-۷-۵- اندازه‌گیری 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 به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مواد به فالكون دیگری منتقل شده و مواد ته‌نشین شده دور ریخته شد، سپس عصاره رویی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. میزان جذب عصاره در طول موج ۳۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. میزان درصد جذب فلاونوئید با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (کرزک و همکاران، ۱۹۹۸) (هجم عصاره=V) (رابطه ۸-۳)

$$100 \times \frac{V}{700} \times FLV = ABS(300nm) \quad \text{رابطه (۸-۳)}$$

۳-۷-۶- سنجش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ

عصاره‌گیری: عصاره‌گیری به روش گانگ و همکاران (۲۰۰۱) با کمی تغییرات صورت گرفت. مقدار ۰/۲ گرم بافت گیاهی را در هاون چینی سرد با محلول عصاره‌گیری (۱۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم با pH=۶/۸، ۲۰ میکرولیتر ۱ EDTA ۰/۱ مولار و ۳۸۰ میکرولیتر آب مقطر) هموژن شد. سپس به مدت ۲۵ دقیقه در ۱۴۰۰۰ rpm در ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ از فاز بالایی عصاره برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد.

۳-۷-۶-۱ سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز برگ

به‌منظور بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز از روش ابی، ۱۹۸۴ استفاده شد. پس از آماده‌سازی عصاره آنزیمی، به‌منظور سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم کاتالاز، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (۰/۰۵ و pH=۷) و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳٪ را در حمام یخ با یکدیگر مخلوط کرده و بلافاصله ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه

اسپکتروفتومتر خوانده شد، واکنش با افزودن پراکسید هیدروژن آغاز شد و کاهش جذب به مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیمی بر حسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه گردید و ضریب خاموشی کاتالاز ۳۹/۴ در نظر گرفته شد. مقدار آنزیم با استفاده از رابطه ۹-۳ محاسبه شد:

$$\text{رابطه ۹-۳} \quad \frac{\Delta A_{240} \times I \times V_t \times df}{\epsilon \times l \times t \times V_s}$$

(A240) تفاوت میزان جذب مخلوط واکنش در زمان شروع و پایان واکنش؛ I: با توجه به ضریب پراکسیداسیون هیدروژن معدل ۲ می‌باشد؛ V_t : حجم مخلوط واکنش (در این آزمایش برابر ۳ میلی‌لیتر بود)؛ df: فاکتور رقیق کننده (۵۰)؛ t مدت زمان واکنش (۱۸۰ ثانیه)؛ V_s : حجم نمونه (در این آزمایش برابر ۲۰ میکرولیتر بود)؛ ϵ : ضریب خاموشی؛ l طول مسیر عبور نور از مخلوط واکنش (برابر ۱)

۳-۶-۷-۲- سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش چانس و مهلی، ۱۹۵۵ اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل مواد شیمیایی زیر بود:

۱۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۷۵۰ میکرولیتر گوئیکول ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دوبار تقطیر، ۱۰۰ میکرولیتر H_2O_2 ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار pH=۷، ۷۵۰ میکرولیتر آب دوبار تقطیر استریل شده. مخلوط واکنش بالا به اضافه مقدار معینی از عصاره آنزیمی در یک کووت شیشه‌ای ۳ میلی‌لیتری ریخته شده و با قرار گرفتن در دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر و در مدت زمان واکنش ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. از مخلوط واکنش بالا بدون عصاره آنزیمی به عنوان شاهد اسپکتروفتومتر استفاده گردید. ضریب خاموشی پراکسیداز ۲۶/۶ در نظر گرفته شد.

۳-۶-۷-۳- سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (SOD) برگ

جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت این آنزیم از روش بیچمن و فریدوویچ، ۱۹۷۱ استفاده گردید. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از سنجش میزان احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم (NBT) در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. محلول‌های مورد نیاز برای سنجش فعالیت این آنزیم عبارتند از:

۲۳۰۰ μ l	۵۰ میلی‌مولار	بافر فسفات پتاسیم (pH = 7.8)
۱۰۰ μ l	۱۳ میلی‌مولار	متیونین
۱۰۰ μ l	۷۵ میکرومولار	نیترو بلو تترازولیوم (NBT)
۱۰۰ μ l	۰/۱ میلی‌مولار	EDTA
۱۰۰ μ l	۲ میکرومولار	ریبوفلاوین
۳۰۰ μ l		عصاره آنزیمی

قبل از اضافه کردن این ترکیبات به بافر فسفات پتاسیم، ظرف حاوی مخلوط واکنش با فویل آلومینیومی به خوبی پوشانده شد تا به هیچ وجه نور نبیند. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از هر نمونه عصاره با سمپلر در هر لوله آزمایش ریخته ۲۷۰۰ میلی‌لیتر از محلول فوق به آن اضافه شد. بعد از آن بلافاصله لوله‌ها تحت تابش دو لامپ فلورسنت ۲۰ وات قرار گرفت و واکنش آغاز شد. پس از گذشت ۱۵ دقیقه سپس جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای صفر کردن دستگاه به عنوان شاهد، ۳ میلی‌لیتر از محلول تهیه شده با بافر فسفات پتاسیم را که فاقد عصاره بود، بدون آنکه نور ببیند درون کووت ریخته و دستگاه با آن صفر شد. برای سنجش فعالیت این آنزیم علاوه بر شاهد، نیاز به نمونه کنترل نیز می‌باشد که به آن شاهدروشنایی گفته می‌شود. برای تهیه شاهد روشنایی یک لوله آزمایش حاوی ۳ میلی‌لیتر از محلول واکنش (فاقد عصاره) همراه با دیگر لوله‌های حاوی عصاره در زیر نور فلورسنت با همان مدت زمان قرار گرفت و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌ها در مقایسه با شاهدروشنایی سنجیده شد.

$$HI = \frac{\Delta \text{ Abs without enzyme} - \Delta \text{ Abs with enzyme}}{\Delta \text{ Abs without enzyme}} \quad (\text{رابطه ۳-۱۰})$$

ابتدا نمونه کنترل که شامل موارد ذکر شده در بالا به غیر عصاره آنزیمی بود تهیه شد. سپس تحت تابش دو لامپ فلورسنت ۲۰ وات به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. از محلول نور ندیده به عنوان بلانک برای صفر کردن دستگاه استفاده شد. همچنین محلول تحت نور و فاقد آنزیم بعنوان شاهد استفاده شد و از جذب نمونه‌ها کسر شد (رابطه ۳-۱۱). در نهایت مقدار فعالیت آنزیمی سوپراکسید دسموتاز بر حسب تغییرات جذب به ازای میلی گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

$$SOD \text{ Activity} = \frac{HI \times 1000}{50 \times \text{mg protein}} \quad (\text{رابطه ۳-۱۱})$$

۳-۷-۶-۴-سنجش میزان قندهای محلول

جهت سنجش میزان قندهای محلول از روش آوآک، ۱۹۹۵ استفاده شد. محلول‌های مورد نیاز عبارتند از محلول ۵ درصد سولفات روی، محلول هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال، محلول ۵ درصد فنل، اتانول ۸۰ و اسیدسولفوریک ۹۸٪ آماده شد. برای تهیه استاندارد ppm ۱۰۰۰ (قسمت در میلیون) در بالن حجمی مقدار ۰/۲۵ گرم پودر گلوکز خالص را در آب مقطر حل نموده و حجم نهایی به ۲۵۰ میلی لیتر رسانده شد. برای تهیه استانداردهای ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ قسمت در میلیون، به ترتیب مقدار صفر، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۰ میلی لیتر از استوک ppm ۱۰۰۰ تهیه شده در مرحله قبل را برداشته و در بالن‌های حجمی به کمک آب مقطر حجم نهایی به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد.

استخراج نمونه: نمونه‌های گیاهی تهیه شده از برگ به مدت ۴۸ ساعت توسط آون، در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شد. سپس آن‌ها را آسیاب نموده به طوری که کاملاً پودر شده و از غربال مش ۸ عبور داده شدند. ۰/۱ گرم پودر نمونه تهیه شده به تیوب (فالكون) ۱۵ میلی لیتری درپیچدار منتقل شد. ۱۵ میلی لیتر اتانول ۸۰٪ کاملاً داغ را به تیوب اضافه نموده و پس از محکم نمودن درب تیوب به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شدند. به منظور جدا نمودن فاز جامد از مایع، تیوب به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت

۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ شدند. فاز شناور را به تیوب (فالكون) ۵۰ میلی لیتر جدید منتقل نموده و مراحل اضافه نمودن اتانول ۸۰٪ داغ به رسوب انتهای تیوب ۱۵ میلی لیتر، ورتکس، سانتریفیوژ و اضافه نمودن فاز شناور به تیوب ۵۰ میلی لیتر، دوبار دیگر تکرار شد تا تمامی قندهای محلول موجود در نمونه گیاهی حتی الامکان استخراج گردد. در انتهای این مرحله ۴۵ میلی لیتر اتانول ۸۰٪ در تیوب ۵۰ میلی لیتر جمع شده است. تیوب ۵۰ میلی لیتر را در آون با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد قرار داده تا در مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت اتانول موجود در تیوب تبخیر گردد (دماهای بالاتر ممکن است اثر منفی بر قندها بگذارد). پس از تبخیر کامل اتانول، ۴۰ میلی لیتر آب مقطر به تیوب اضافه نموده، درب تیوب را بسته و به مدت ۲ دقیقه ورتکس شدند تا رسوبات چسبیده به جداره تیوب در آب حل شود (قند به سهولت در آب حل می گردد). به منظور حذف رسوبات اضافی و دیگر ترکیبات زائد، ۵ میلی لیتر محلول سولفات روی ۵٪ و ۴/۷ میلی لیتر محلول هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال به تیوب اضافه و دوباره ورتکس شدند. تیوب با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند.

فاز شناور را در یک تیوب دیگر جمع آوری نموده، ۲ میلی لیتر از فاز شناور به یک تیوب ۱۵ میلی لیتر جدید انتقال داده شد. ۲ میلی لیتر از هر یک از ۸ محلول استاندارد گلوکز تهیه شده نیز به تیوب های ۱۵ میلی لیتر در پیچ دار منتقل شدند. به تیوب ۱۵ میلی لیتری نمونه و نیز هر یک از تیوب های گلوکز استاندارد (۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ قسمت در میلیون)، ۱ میلی لیتر محلول فنل ۵٪ اضافه نموده، درب تیوب را بسته و به شدت تکان داده شدند تا حباب های کف سفید داخل تیوب نمایان شود (این مرحله حتماً باید زیر هود آزمایشگاهی انجام گردد).

۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ بوسیله سرنگ به داخل تیوب با فشار اضافه شد (این مرحله نیز بسیار خطرناک است و باید با احتیاط کامل و زیر هود انجام گیرد، تیوب در این مرحله به شدت داغ می شود). در صورت وجود قند محلول در نمونه و با توجه به میزان قند، محتوای تیوب در این مرحله به رنگ نارنجی روشن تا قهوه ای پررنگ متمایل می گردد.

پس از گذشت ۴۵ دقیقه تا یک ساعت با تثبیت رنگ، توأم با خنک شدن تیوب در دمای اتاق توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اقدام به قرائت نمونه‌ها شد.

عدد قرائت شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در حقیقت معادل Y در معادله بوده که از طریق معادله میزان X به عنوان محتوای قند (میلی گرم در لیتر) به دست می‌آید. از آنجایی که در تهیه محلول‌های استاندارد غلظت به صورت میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته می‌شود و با توجه به استفاده از ۰/۱ گرم پودر خشک و رقیق نمودن نمونه‌ها و نظر به اینکه محتوای قند در برخی از گزارش‌ها بر حسب میلی گرم بر گرم نمونه خشک در گرم نمونه خشک ارائه می‌گردد می‌توان از فرمول زیر جهت تبدیل واحد استفاده نمود:

$$E = \frac{C \times D \times V}{DM \times 100000} \times 10 \quad (\text{رابطه ۳-۱۲})$$

E : مقدار قند نمونه بر حسب میلی گرم در وزن خشک

C : غلظت نمونه بر حسب میلی گرم در لیتر همان X است

D : درجه رقت (در این روش ۳ می باشد)

V : حجم نهایی عصاره تهیه شده (در این روش ۵۰ می باشد)

DM : وزن ماده خشک بر حسب گرم (۰/۱ می باشد)

۳-۷-۶-۵- سنجش میزان پرولین

برای اندازه گیری پرولین آزاد برگ از روش به یس و همکاران، ۱۹۷۳ استفاده شد. محلول‌های مورد نیاز عبارتند از: محلول اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد: برای این منظور ۳ گرم از پودر سولفوسالسیلیک اسید در ۹۷ میلی لیتر آب مقطر حل گردید (در صورت نبود اسید سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد می‌توان از اسید سولفوریک ۳ درصد نیز استفاده نمود، تهیه اسید سولفوریک ۳ درصد با مقدار ۳ میلی لیتر از اسید سولفوریک ۹۵ درصد که به حجم ۹۷ میلی لیتر آب مقطر به آرامی اضافه

می‌شود، به‌دست آید).

محلول اسید فسفریک ۶ مولار: برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید فسفریک ۶ مولار مقدار ۳۸ میلی‌لیتر اسید فسفریک با اضافه کردن به آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. معرف ناین هیدرین: ۰/۱۲۵ گرم از معرف ناین هیدرین را در ۷۰ سی‌سی اسید گلاسیال استیک و ۵۰ سی‌سی اسید فسفریک ۶ مولار حل کرده و روی حرارت قرار داده شد تا حل شود سپس سرد شد.

مقدار ۰/۰۵ گرم از بافت تازه برگ درون هاون قرار داده شد و ۴ سی‌سی اسید سولفوریک ۳ درصد به آن اضافه و کوبیده شد. سپس سانتریفیوژ گردید تا دو فاز ایجاد شود و فاز بالایی جدا و ۲ سی‌سی اسید گلاسیال استیک و ۲ سی‌سی از محلول ناین هیدرین مخلوط شد و محلول آماده شده درون حمام بن ماری به مدت نیم ساعت با دمای ۹۰ درجه قرار داده شد. پس از آن به لوله‌های سرد شده مقدار ۴ سی‌سی تولوئن اضافه شد و نمونه‌ها خوب تکان داده شد تا دو فاز ایجاد شود. فاز رویی برداشته و درون کووت اسپکتروفتومتر قرار داده شد، سپس نمونه‌ها درون دستگاه با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. ضمناً بلنک دستگاه نیز ماده تولوئن بود.

عدد قرائت شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در حقیقت معادل Y در معادله خط استاندارد بوده که از طریق معادله، میزان X به‌عنوان محتوای پرولین به‌دست می‌آید.

توجه به استفاده از ۰/۵ گرم ماده تر و رقیق نمودن نمونه‌ها و نظر به اینکه محتوای پرولین بر حسب میکرومول بر گرم نمونه تر محاسبه می‌گردد، از فرمول زیر جهت تعیین محتوای واقعی پرولین نمونه‌ها (میلی گرم) استفاده می‌گردد: (رابطه ۳-۱۳)

$$\mu\text{moles}^{\text{prolin}}_{\text{g}} \text{ of fresh weight} = \frac{\left[\frac{\mu\text{gprolin} \times \text{ml Toluene}}{115.5 \mu\text{g}/\mu\text{mol}} \right]}{(\text{gsample}/5)}$$

۳-۸- اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاه: اندازه‌گیری نیتروژن گیاه با استفاده از کج‌دال انجام شد. برای انجام عمل هضم نمونه‌ها، ۰/۵ گرم از نمونه خشک و پودر شده را درون لوله‌های دستگاه ریخته و

سپس ۷ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹۶٪) و ۱/۱ گرم کاتالیزور (مخلوطی از ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم و ۱۰ گرم سولفات مس و ۱ گرم سلنیوم (برای ۱۰۰ نمونه)) در لوله ها ریخته و در جایگاهشان در دستگاه هضم قرار داده شد. برای عمل تیتراسیون، چند قطره معرف متیل رد (حاوی ۶۶ میلی گرم متیل رد و ۹۹ میلی گرم بروموکروزول گرین در ۱۰۰ سی سی اتانول ، با رنگ قرمز) و اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال به صورت 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 تیتراژ نمونه = a ؛ حجم عصاره از عمل هضم = v ؛ میزان اسید مصرفی جهت تیتراژ شاهد = b ؛ وزن نمونه گیاه جهت انجام عمل هضم = w ؛ درصد ماده خشک = DM).

$$\%N = 0.56t(a - b) \times \frac{v}{w} \times \frac{100}{DM} \quad (\text{رابطه ۳-۱۴})$$

۳-۹- درصد روغن :

ابتدا ۱ گرم از نمونه را درون لوله آزمایش درپیچ دار با سپتوم مقاوم به حلال ریخته سپس مقدار ۱۵ سی سی از مخلوط دو حلال کلروفرم و متانول با نسبت ۲/۱ (دو حجم کلروفرم یک حجم متانول) به آن اضافه کرده در لوله را بسته و ۱۰ الی ۱۵ بار شیک می کنیم سپس بهتر است لوله را برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتیگراد یعنی همان دمای یخچال قرار دهیم. بعد از گذشت زمان فوق به لوله آزمایش مقدار ۵ سی سی آب مقطر اضافه کرده و به شدت شیک می کنیم. حال لوله را در داخل رک قرار داده تا محلول سه فاز شود. فاز رویی و میانی را دور ریخته و فاز زیری را بوسیله قیف جدا کننده (دکانتور) به یک لوله آزمایش تمیزانتقال داده سپس بوسیله حمام آب گرم و گاز نیتروژن حلال آن را که کلروفرم است تبخیر می کنیم. باقی مانده چربی استخراج شده است (فلج و همکاران، ۱۹۵۷).

۳-۱۰- اجزای تشکیل دهنده روغن بذر:

ابتدا در یک لوله آزمایش در پیچ دار مقدار ۰/۱ گرم روغن را وزن می کنیم، سپس مقدار ۵ میلی لیتر محلول سود متانلی ۲ درصد و ۱ میلی لیتر محلول اینترنال استاندارد با غلظت ۲ میلی گرم بر میلی لیتر به آن اضافه کرده در لوله آزمایش را به خوبی بسته و آن را در حمام آب جوش برای مدت ۱۰ دقیقه قرار می دهیم. (۲ گرم NaOH ساخت شرکت MERCK را باید با متانل ساخت همین شرکت به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده و بطور کامل حل کنیم). بعد از گذشت زمان فوق لوله ها را به آرامی از داخل آب جوش خارج کرده و در دمای آزمایشگاه خنک می کنیم، حال در لوله را باز کرده مقدار ۲/۱۷۵ میلی لیتر محلول برتری فلورید متانل ۲۰ درصد (BF₃ 20%) به آن اضافه می کنیم در لوله را بسته، بعد از تکان دادن، لوله را داخل حمام آبجوش برای مدت ۳ دقیقه قرار می دهیم. بعد از گذشت زمان فوق لوله را از حمام خارج کرده و در دمای آزمایشگاه خنک می کنیم. حال به لوله مقدار ۱ میلی لیتر آن-هگزان اضافه کرده در لوله را بسته و بعد از تکان دادن حدود ۱۰ مرتبه به آن مقدار ۱ میلی لیتر محلول اشباع نمک طعام اضافه می کنیم (باید توجه داشت نمک مورد استفاده باید کاملاً خالص باشد). حال در لوله را بسته آن را به شدت حدود ۱۲ با تکان می دهیم. بعد از این عمل لوله را در داخل جا لوله ای قرار داده تا محلول داخل آن دو فاز شود. در آخر بوسیله یک میکرو پیپت با دقت فقط فاز رویی را برداشته داخل یک فالکن ۱/۵ میلی لیتری می ریزیم. از عصاره بدست آمده مقدار ۰/۲ میکرو لیتر به دستگاه گاز کروماتوگرافی با شرایط گفته شده در جدول بالا تزریق می کنیم (مت کالف، ۱۹۶۶)

۳-۱۱- اندازه گیری صفات مرتبط خاک

۱۳-۱۱-۱- اندازه گیری درصد کربن آلی خاک: روش مورد استفاده در اندازه گیری کربن آلی

خاک، روش والکلی بلک بود (۱۹۳۴). در این روش خاک را با اسید سولفوریک غلیظ و بی کرومات مخلوط کرده و بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیاء، زیادی بی کرومات باقی مانده با آمونیوم

سولفات تیترا شد.

محلول‌های مورد نیاز برای این روش شامل:

۱- بی‌کرومات پتاسیم یک نرمال: مقدار ۴۹/۰۴ گرم بی‌کرومات پتاسیم (اگر بی‌کرومات حاوی کلورید باشد باید قبل از توزین خرد و در حرارت ۲۰۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خشک گردد) را با ترازوی حساس توزین کرده و پس از حل نمودن در بالن ژوژه به حجم ۱ لیتر رسانده شد.

۲- اسید سولفوریک غلیظ ۹۶ درصد

۳- فروآمونیم سولفات ۰/۵ نرمال: مقدار ۱۹۶/۰۸ گرم فروآمونیم سولفات توزین و در بالن یک لیتری حل شد. مقدار ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه و پس از سرد شدن به حجم ۱ لیتر رسانده شد.

۴- معرف ارتوفنانترولین ۰/۰۲۵ مولکول گرم در لیتر: مقدار ۱۴/۸۵ گرم ارتوفنانترولین منوهیدرات را وزن و ۶/۹۵ گرم سولفات فرو به آن اضافه و بعد از سرد شدن به حجم یک لیتر رسانده شد.

روش کار: مقدار ۵-۱۰ گرم خاک کاملاً کوبیده و از الک نیم میلی‌متری عبور داده شد (در این مرحله برای کوبیدن از هاون فولادی یا آهنی استفاده نشود، برای این منظور از هاون چینی یا عقیق استفاده گردد). یک گرم از خاک در ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم یک نرمال اضافه و به آرامی تکان داده شد تا ذرات در محلول پراکنده شود. ۲۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ خیلی سریع بطور مستقیم به محلول اضافه و به مدت یک دقیقه به آرامی تکان داده شد تا خاک با مواد مخلوط شود و سپس به مدت ۰/۵ ساعت به حال خود رها شد و سپس ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و بعد از سرد شدن ۱۰ قطره معرف ارتوفنانترولین اضافه و با فرو آمونیوم سولفات تیترا گردید (در نزدیک به انتهای تیتراسیون رنگ نمونه سبز کدر می‌شود که با چند قطره اضافی فرو آمونیوم سولفات به رنگ قرمز درمی‌آید). هنگامی که محلول قرمز رنگ شد، عدد یادداشت گردید. با استفاده از رابطه زیر مقدار کربن آلی بدست آمد.

$$\%OC = M \times 0/39 \times [(V1 - V2) / S] \quad (\text{رابطه ۳-۱۵})$$

M = نرمالیه فروآمونیم سولفات V1 = میلی لیتر فروآمونیم سولفات مصرفی برای بلانک V2 =

میلی لیتر فروآمونیم سولفات مصرفی برای نمونه S = وزن خاک خشک شده در هوای آزاد

۳-۱۱-۲- اندازه‌گیری تنفس خاک: تنفس پایه خاک از روش ایزر مایر با استفاده از ظروف

سر بسته به روش تیتراسیون برگشتی با سود باقیمانده اندازه‌گیری شد (پارکین و همکاران، ۱۹۹۷) در این روش ۲۵ گرم از خاک مرطوب تازه مزرعه در کیسه نایلونی در بسته ریخته شد و در ظرف‌های درداری که هر کدام حاوی ۲۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۵ نرمال (محلول سود به طور جداگانه در ظرف‌های کوچکتر در باز ریخته شده بود و این ظرف درون ظرف حاوی خاک قرار داده شد) هستند، قرار داده شد و سپس در ظرف‌ها بسته شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، دی‌اکسیدکربن پدید آمده از تنفس میکروبی که در سود جمع شده با محلول HCL تیترا شد. یک نمونه هم بدون خاک به عنوان بلانک تهیه و تیترا گردید و در پایان مقدار CO₂ با استفاده از معادله زیر بر حسب میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز به دست آمد.

$$\frac{(c - s) \times 2/2 \times 100}{sw \times \%dm} \quad (۳-۱۶)$$

۳-۱۱-۳- اندازه‌گیری نیتروژن خاک: اندازه‌گیری نیتروژن گیاه با استفاده از کجدال انجام

شد. برای انجام عمل هضم نمونه‌ها، ۱ گرم از نمونه خشک و پودر شده را درون لوله‌های دستگاه ریخته و سپس ۶ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ (۹۶٪) و ۱/۱ گرم کاتالیزور (مخلوطی از ۱۰۰ گرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ گرم سولفات مس و ۱ گرم سلنیوم (برای ۱۰۰ نمونه)) در لوله‌ها ریخته و در جایگاهشان در دستگاه هضم قرار داده شد. پس از سرد شدن کامل نمونه‌ها حجم عصاره‌ی بدست آمده یادداشت و عمل تقطیر انجام شد. برای عمل تیتراسیون، چند قطره معرف متیل رد (حاوی ۶۶ میلی گرم متیل رد و ۹۹ میلی گرم بروموکروزول گرین در ۱۰۰ سی سی اتانول، با رنگ قرمز) و اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال به صورت دستی انجام گرفت، پس از یادداشت نمودن حجم اسید مصرفی مقدار کل نیتروژن موجود

در نمونه از فرمول زیر قابل محاسبه است (میزان اسید مصرفی جهت تیترا نمونه=a؛ میزان اسید مصرفی جهت تیترا شاهد=b؛ وزن خاک=s؛ M=0.01؛ درصد رطوبت وزنی خاک =mcf) (پاپاکوستاو گایاناس، ۱۹۹۱).

$$\text{درصد نیتروژن} = M \times 1.4 \text{ mcf} \times \left[\frac{a-b}{s} \right] \quad (\text{رابطه ۳-۱۷})$$

۳-۱۱-۴- اندازه گیری pH و EC خاک : ابتدا سوسپانسیونی با نسبت ۱ به ۵ (خاک به آب) تهیه گردید. سپس به مدت ۹۰ دقیقه بر روی دستگاه لرزشگر قرار داده شد. از محلول حاصل شده عصاره گیری کرده و از عصاره بدست آمده EC و pH را با استفاده از دستگاه EC متر و pH سنج اندازه گیری گردید.

۳-۱۱-۵- اندازه گیری آمونیم و نیترات خاک:

آمونیم: برای اندازه گیری آمونیم و همچنین نیترات اولین کار عصاره گیری خاک با محلول KCL دو مولار است. لازم به ذکر است این آزمایش بسیار حساس است و برای دستیابی به داده های قابل استناد از عدم وجود هر آلودگی در ظروف، مواد و وسایل آزمایش باید اطمینان حاصل کرد؛ برای این منظور تمامی ظروف لازم برای آزمایش به مدت بیست و چهار ساعت قبل از استفاده درون ظرف حمام اسید قرار داده شد. برای اندازه گیری آمونیم و نیترات از روش سینق (۱۹۹۸) استفاده شد. روش کار به اینصورت بود که میزان ۱۰۰ میکرولیتر از معرف اول شامل (۵/۶ گرم سدیم سالیلات، ۵ گرم سدیم سیترات، ۵ گرم سدیم تارتارات، ۲۵/۰ گرم سدیم نیتروفر و سیانید دی هیدرات)، ۸۰ میکرولیتر از نمونه و ۱۰۰ میکرولیتر از معرف دوم شامل (۱۰۰ سی سی آب مقطر، ۶ گرم سدیم هیدروکسید ۲/۴ میلی - لیتر سدیم هیپوکلرایت) را درون سل ها ریخته و پس از گذشت یک الی دو ساعت با دستگاه اسپکت در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از رسم نمودار اعداد قرائت شده و مقدار اعداد بدست آمده از استانداردهای تعریف شده برای آمونیم، مقدار آمونیم موجود در نمونه ها بدست آمد.

نیترات: برای اندازه گیری نیترات محلول اول (شامل: ۴/۰ گرم وانادیوم کلراید (VCL₃) و ۵۰ میلی لیتر

هیدروکلریک اسید) به محلول دوم (شامل: ۰/۲ گرم سولفانیل آمید ($C_6H_8N_2O_2S$)؛ ۰/۰۱ گرم NED حل شوند در ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر) اضافه شده و به مدت بیست و چهار ساعت درون یخچال قرار گرفت. پس از اطمینان از عدم وجود آلودگی ۱۸ میکرولیتر عصاره نمونه و میزان ۱۷۷۰ میکرولیتر معرف درون سل ها ریخته شده و دوباره پس از گذشت بیست و چهار ساعت و اطمینان از صحت انجام آزمایش و عدم آلودگی در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت انجام شد. در نهایت با رسم منحنی اعداد قرائت شده و اعداد حاصل از استاندارد نیترات، میزان عددی نیترات برای هر نمونه بدست آمد. لازم به ذکر است هم در این آزمایش و هم در اندازه گیری آمونیوم نیاز به ساخت استاندارد می باشد (سینق، ۱۹۹۸).

۳-۱۲- تجزیه و تحلیل داده ها: تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و

رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.4 و رسم شکل ها توسط نرم افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

فصل چہارم:

نتیجہ و بحث

۴-۱- ویژگی‌های مرتبط با گیاه:

۴-۱-۱- رنگیزه‌های فتوسنتزی:

۴-۱-۱-۱-۴ کلروفیل a: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال زراعی (جدول ۴-۴)

(۱) حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر اصلی دور آبیاری، بیوچار و سالیسیلیک اسید در هر دو سال سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل a بود، اما اثرات متقابل هیچ یک از این تیمارها روی صفت فوق معنی‌دار نشد. در سال دوم نیز نتایج مشابه سال اول بدست آمد.

جدول ۴-۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سال اول و دوم

میانگین مربعات						منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی
کلروفیل کل		کلروفیل b		کلروفیل a			
۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵		
۰/۰۶۶۸ ^{ns}	۰/۰۱۶۷ ^{ns}	۰/۰۰۴۴ ^{**}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۴۹ ^{ns}	۰/۰۸۶ ^{ns}	۳	تکرار
۳۱/۶۹۱۱ ^{**}	۴۴/۸۷۳ ^{**}	۰/۲۵۶۶ ^{**}	۴/۸۰۵ ^{**}	۲۶/۲۹۵ [*]	۲۸/۲۲۴ ^{**}	۲	دور آبیاری (A)
۲/۷۰۳۱	۱/۳۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۳۵۷	۲/۷۰۵	۱/۷۶۷	۶	خطای آزمایشی (a)
۱/۵۵۳۶ ^{**}	۱/۵۹۳ [*]	۰/۰۱۷۱ ^{**}	۰/۱۰۲ [*]	۱/۲۶۷ [*]	۱/۶۰۴ ^{**}	۲	بیوچار (B)
۰/۲۷۵۵ ^{ns}	۰/۱۲۴ ^{ns}	۰/۰۰۸۸ ^{**}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۲۲۸ ^{ns}	۰/۱۰۹ ^{ns}	۴	اثر متقابل A×B
۱۲/۶۶۳۸ ^{**}	۱۸/۸۱۱ ^{**}	۰/۱۱۵۸ ^{**}	۱/۶۵۳ ^{**}	۱۰/۳۵۷ ^{**}	۹/۳۱۰ ^{**}	۱	سالیسیلیک اسید (C)
۰/۲۸۹۲ ^{ns}	۰/۷۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۴۱ ^{ns}	۰/۴۸۹ ^{**}	۰/۲۹۷ ^{ns}	۰/۰۲۳ ^{ns}	۲	اثر متقابل A×C
۰/۳۶۹۴ ^{ns}	۰/۱۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۳۳ ^{ns}	۰/۱۰۶ [*]	۰/۳۷۱ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۳۲۷۸ ^{ns}	۰/۳۹۴ ^{ns}	۰/۰۰۵۰ ^{ns}	۰/۱۰۱ [*]	۰/۳۱۰ ^{ns}	۰/۴۵۹ ^{ns}	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۲۵۴۵	۰/۳۳۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۲۸	۰/۲۵۷	۰/۲۳۸	۴۵	خطای آزمایشی b
۸/۷۹	۱۰/۵۰	۱۵/۶۸	۱۳/۰۳	۹/۳۱	۱۱/۴۵	-	ضریب تغییرات (درصد)

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

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

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارها بر کلروفیل a در هر دو سال زراعی نشان داد که با

افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز تغییر در مقدار کلروفیل a مشاهده نشد؛ اما در دور آبیاری ۱۵ روز مقدار

آن به شکل معنی‌داری کاهش یافت که مقدار این کاهش در سال اول ۳۸ درصد و در سال دوم ۷

درصد بود (جدول ۴-۲).

مقایسه اثرات اصلی بیوچار بر کلروفیل a در هر دو سال زراعی بیانگر آن بود که گرچه مقدار

عددی کلروفیل a در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار در هر دو سال زراعی بیش از شرایط عدم

کاربرد آن بود؛ اما تفاوت معنی‌دار آماری میان این دو تیمار از لحاظ مقدار کلروفیل a وجود نداشت؛ علاوه بر آن با افزایش مقدار بیوچار به ۱۰ تن در هکتار میزان کلروفیل a به شکل معنی‌داری کاهش یافت (در سال اول ۶ درصد و در سال دوم ۲۹ درصد) (جدول ۴-۲)؛ کاربرد سالسیلیک اسید موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a نسبت به شرایط عدم مصرف آن در هر دو سال زراعی شد؛ به‌طوری که میزان کلروفیل a با افزودن سالسیلیک اسید نسبت به شاهد ۱۸/۲ درصد افزایش یافت (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری، بیوچار و سالسیلیک اسید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی در سال اول و دوم

فاکتور	سطوح	کلروفیل a میلی گرم بر گرم وزن تر برگ	کلروفیل کل میلی گرم بر گرم وزن تر برگ	کارتنوئید میلی گرم بر گرم وزن تر برگ
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵
دور آبیاری (روز)	شاهد(۵)	۴/۸۷a	۵/۵۵a	۶/۶۷a
	۱۰	۴/۹۰a	۵/۶۱a	۵/۹۳a
	۱۵	۳b	۵/۱۸b	۴/۰۲b
بیوچار (تن در هکتار)	عدم مصرف	۴/۲۸a	۶/۰۱a	۵/۴۹ab
	۵	۴/۵۰a	۶/۰۹a	۵/۸۲a
	۱۰	۳/۹۹b	۴/۲۴b	۵/۳۱b
سالسیلیک اسید (میلی مولار)	عدم مصرف	۳/۹۰b	۵/۰۷b	۵/۰۳b
	۰/۵	۴/۶۱a	۵/۸۳a	۶/۰۵a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۱-۱-۲- کلروفیل b: طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱)، در سال اول زراعی اثرات

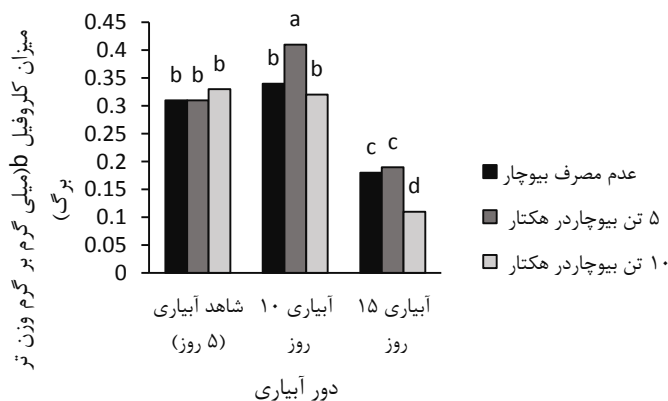
متقابل سه گانه دور آبیاری، بیوچار و سالسیلیک اسید بر کلروفیل b معنی‌دار بود. در سال دوم زراعی آبیاری و بیوچار و اثر متقابل آن‌ها و اثر ساده سالسیلیک اسید بر میزان کلروفیل b معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین اثرات سه گانه هر سه فاکتور در سال اول زراعی (جدول ۴-۳) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط نرمال آبیاری کاربرد توام بیوچار (۱۰ تن در هکتار) و سالسیلیک اسید موجب افزایش کلروفیل شد (۲/۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)، اما در دوره‌های آبیاری بالاتر

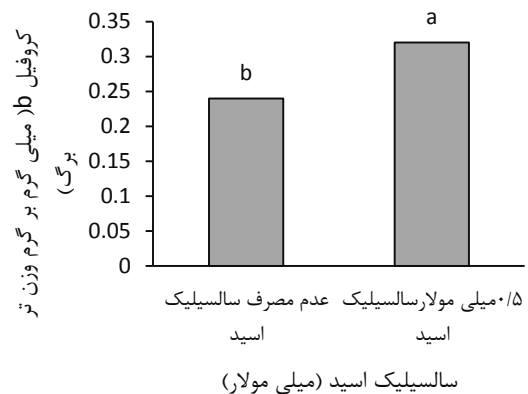
کاربرد بیوچار و سالیسیک اسید به تنهایی و یا مصرف توام آن‌ها نتوانست بر میزان کلروفیل b اثر گذار باشد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار در سال دوم زراعی (شکل ۴-۱) بر میزان کلروفیل b نشان داد که با افزایش دور آبیاری از شرایط نرمال آبیاری به ۱۰ روز میزان کلروفیل b افزایش یافت و سپس کاهش نشان داد. کاربرد بیوچار ۵ تن در هکتار در این دور آبیاری (۱۰ روز) صفت فوق را ۲۰ درصد (نسبت به عدم مصرف آن) افزایش داد و مقدار این افزایش در شرایط نرمال آبیاری به ۳۰ درصد رسید. اما با افزایش مقدار بیوچار به مقادیر ۱۰ تن در هکتار یک روند کاهشی در کلروفیل b مشاهده شد.

مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیک اسید بر میزان کلروفیل b در سال دوم زراعی (شکل ۴-۲) نشان داد که کاربرد سالیسیک اسید موجب افزایش ۳۳ درصدی کلروفیل b نسبت به عدم مصرف آن شد.



شکل ۴-۱- مقایسه میانگین مقدار کلروفیل b تحت تأثیر برهمکنش دور آبیاری بیوچار در سال دوم زراعی



شکل ۴-۲. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیک اسید بر میزان کلروفیل b در سال دوم زراعی

جدول ۴-۳. مقایسه میانگین اثرات سه گانه مقدار کلروفیل b تحت تاثیر اثر متقابل A×B×C در سال

اول زراعی

دور آبیاری (A)	بیوچار (B)	اسید سالیسیک (C)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)
شاهد (۵روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۱/۵۵c
شاهد (۵روز)	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۹۳b
شاهد (۵روز)	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۵۹c
شاهد (۵روز)	عدم مصرف	۰/۵ میلی مولار	۲/۰۴b
شاهد (۵روز)	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۲۹d
شاهد (۵روز)	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۲/۳۶a
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۷۸g
۱۰ روز	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۳ef
۱۰ روز	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۲ef
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۷edf
۱۰ روز	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۴ef
۱۰ روز	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۲۳de
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۹۱fg
۱۵ روز	۵ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۳ef
۱۵ روز	۱۰ تن در هکتار	عدم مصرف	۱/۰۱efg
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵ میلی مولار	۱/۱۳edf
۱۵ روز	۵ تن در هکتار	عدم مصرف	۰/۹۴fg
۱۵ روز	۱۰ تن در هکتار	۰/۵ میلی مولار	۱/۰۵ef

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۱-۱-۳- کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر میزان کلروفیل کل در

سال زراعی اول و دوم نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی بیوچار

و اسید سالیسیک در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۴-۱)

به طور کلی با افزایش دور آبیاری میزان کلروفیل کل کاهش یافت، به طوری که میزان کاهش

کلروفیل کل در سال اول زراعی در دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز نسبت به شرایط نرمال آبیاری به

ترتیب ۱۱/۰۹ درصد و ۳۹/۶۸ بود. در سال دوم زراعی افزایش دور آبیاری به ۱۰ روز میزان کلروفیل

کل را مقدار ناچیزی (۱ درصد) افزایش داد که با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز همانند سال اول

کلروفیل کل کاهش یافت (۷ درصد) (جدول ۴-۲).

در هر دو سال زراعی مقادیر بالای بیوچار (۱۰ تن در هکتار) موجب کاهش میزان کلروفیل کل شد که مقدار این کاهش در سال های اول و دوم زراعی به ترتیب ۳ و ۳۰ درصد بود (جدول ۴-۲). کاربرد سالسیلیک اسید موجب افزایش ۲۰ و ۱۵ درصدی میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد در سال اول و دوم زراعی شد (جدول ۴-۲).

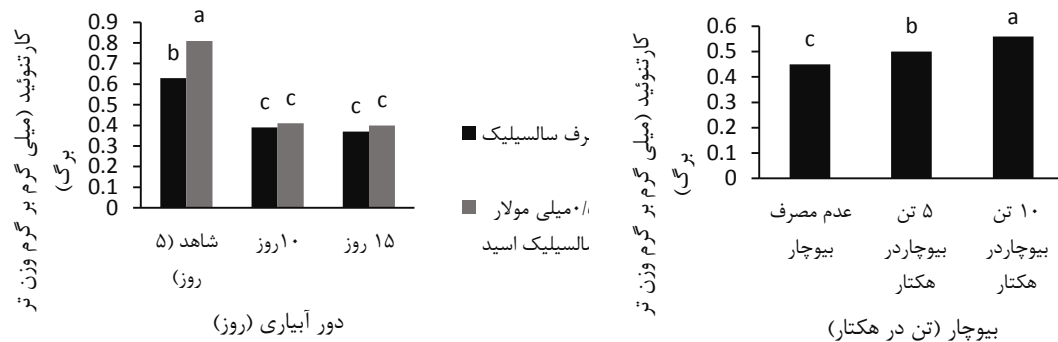
۴-۱-۱-۴ کارتنوئید: نتایج آنالیز واریانس تیمارهای آزمایش بر مقدار کارتنوئید (جدول ۴-۴) در سال اول زراعی نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری و اثر اصلی بیوچار و سالسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کارتنوئید معنی دار شد. هم چنین اثرات متقابل دو گانه آبیاری و سالسیلیک اسید نیز بر مقادیر کارتنوئید معنی دار بود. در سال دوم زراعی اثرات اصلی دور آبیاری و سالسیلیک اسید بر صفت فوق معنی دار بود.

جدول ۴-۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر میزان کارتنوئید در سال اول و دوم زراعی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر S. O. V
کارتنوئید			
۱۳۹۶	۱۳۹۵		
۰/۰۳۲۸**	۰/۰۰۵ ^{ns}	۳	تکرار
۰/۰۹۵۸**	۰/۰۸۳۸**	۲	دور آبیاری (A)
۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۶۲	۶	خطای آزمایشی (a)
۰/۰۰۹۰ ^{ns}	۰/۰۰۶۱**	۲	بیوچار (B)
۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۴	اثر متقابل A×B
۰/۰۱۵۲*	۰/۰۱۱۲**	۱	سالسیلیک اسید (C)
۰/۰۰۲۹ ^{ns}	۰/۰۰۵۲**	۲	اثر متقابل A×C
۰/۰۰۳۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۰ ^{ns}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۰۰۳۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۰۰۳۳۰	۰/۰۰۰۳	۴۵	خطای آزمایشی b
۱۹/۵۹	۱۱/۸۷	-	ضریب تغییرات (درصد)
^{ns} و * به ترتیب عدم معنی دار ی، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد			

مقایسه میانگین اثرات متقابل سالسیلیک اسید و دور آبیاری در سال اول زراعی (شکل ۴-۳) نشان داد که با افزایش دور آبیاری میزان کارتنوئید کاهش یافت. گرچه مصرف سالسیلیک اسید تنها در شرایط نرمال آبیاری موجب افزایش معنی دار کارتنوئید شد و با افزایش دور آبیاری، سالسیلیک اسید بر میزان کارتنوئید اثری نداشت اما میزان کارتنوئید در دوره های آبیاری نرمال، دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز به

ترتیب ۰/۶۳۱، ۰/۳۷۶، ۰/۳۹۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود که این مقادیر با کاربرد سالسیلیک اسید به ترتیب به مقادیر ۰/۸۱۷، ۰/۴۱۳، و ۰/۴۱۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ افزایش یافت. کاربرد بیوچار موجب افزایش میزان کارتنوئید در سال اول زراعی شد (شکل ۴-۴)، به طوری که با کاربرد بیوچار



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین مقدار کارتنوئید تحت تأثیر برهمکنش دور آبیاری و سالسیلیک اسید در سال اول زراعی

شکل ۴-۴- مقایسه میانگین مقدار کارتنوئید تحت تأثیر بیوچار در سال اول زراعی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش دور آبیاری از شرایط نرمال به ۱۵ روز، موجب کاهش کلروفیل a، کلروفیل کل و نیز کلروفیل b و کارتنوئید شد. گزارش‌های مختلفی در رابطه با افزایش و یا کاهش کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی وجود دارد. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند به واسطه کاهش سنتز کلروفیل و یا ناشی از تخریب آن باشد. اکثر مطالعات کاهش میزان کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به خوبی نشان داده‌اند (کشاورز افشار و همکاران، ۲۰۱۶؛ قبادی و همکاران، ۲۰۱۳؛ نظر و همکاران، ۲۰۱۵).

کاربرد بیوچار در بهبود تمامی رنگیزه‌های فتوسنتزی موثر نبود؛ گرچه کاربرد بیوچار میزان کلروفیل b در دور آبیاری ۱۰ روز افزایش جزئی داد، اما با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز کاهش یافت و کارتنوئید در اثر کاربرد بیوچار تنها در سال اول زراعی افزایش یافت. میزان کلروفیل کل و a نیز تحت تأثیر بیوچار قرار نگرفت و حتی مقادیر بالای بیوچار (۱۰ تن در هکتار) میزان کلروفیل a را در هر دو سال زراعی کاهش داد. گرچه مطالعات متعددی حاکی از اثرات مثبت کاربرد بیوچار در افزایش کلروفیل و فتوسنتز بر روی گیاهان مختلف هستند (ژو و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۴). اما برخی

از مطالعات از عدم تأثیر بیوچار بر فتوسنتز و نیز اثرات منفی آن شواهدی ارائه داده‌اند (ژو و همکاران، ۲۰۱۵؛ هاویو همکاران، ۲۰۱۷؛ کشاورز افشار و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین هاوی و همکاران (۲۰۱۸) کاربرد بیوچار را روی رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه *Panicum virgatum* بی‌اثر دانستند. در حالی که کامان و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که کاربرد بیوچار موجب کاهش میزان کلروفیل و کارایی فتوسنتز ظاهری و کاهش نیتروژن برگ در گیاه کینوا *Chenopodium quinoa* شد. آن‌ها دلیل این امر را تخصیص منابع نیتروژن بیشتر به رشد رویشی برگ‌ها و تقلیل ذخایر نیتروژن توسط آن‌ها و در نتیجه کاهش پرولین و نیز کاهش غلظت روبیسکو بیان نمودند.

بررسی اثرات تنش خشکی شدید و ملایم به همراه سطوح مختلف بیوچار (۱ و ۲ درصد وزنی بیوچار) در آزمایشی گلخانه‌ای بر گیاه خار مریم نشان داد که تنش خشکی میزان کلروفیل b را در این گیاه کاهش داده ولی تاثیری در میزان کلروفیل a و کارتنوئید نداشت (کشاورز افشار و همکاران، ۲۰۱۷). گرچه بیوچار موجب بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک و افزایش کارایی مصرف آب در این گیاه شد ولی روی مولفه‌های رشدی و فتوسنتزی گیاه بی‌اثر بود.

عباس پور همکاران (۱۳۹۷) به تأثیر بهتر مقدار متعادل از بیوچار در مقایسه با مقادیر پایین و زیادی آن اشاره کردند، آن‌ها تنظیم میزان pH و عناصر غذایی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط بیوچار را از دلایل بهتر بودن برخی از تیمارها نسبت به مصارف زیاد بیوچار عنوان نمودند.

کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط نرمال آبیاری و دوره‌های آبیاری بالاتر شد، اما بر روی بهبود میزان کارتنوئید در شرایط کم‌آبی اثری نداشت. مطالعات متعددی نشان داده که کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز خصوصاً در شرایط تنش خشکی شود. کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه نخود موجب بهبود سطح برگ و محتوای کلروفیل شد (افشاری و همکاران، ۲۰۱۳). تنش خشکی همچنین موجب کاهش ۵۰ درصدی فتوسنتز خالص در گیاه خردل وحشی شد که کاربرد سالیسیلیک اسید مقدار فتوسنتز خالص را به مقدار ۳۱/۸ درصد افزایش

داد. محققین دلیل این افزایش فتوسنتز را در افزایش مقدار پرولین عنوان نمودند (نظر و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی همبستگی صفات در مطالعه حاضر نیز حاکی از مثبت و معنی دار پرولین با کلروفیل های a، b، و کل در هر دو سال زراعی بود (پیوست ۱ و ۲)

همچنین ممانعت از اکسیداسیون اکسین و در نتیجه افزایش سطح اکسین و به دنبال آن بهبود فتوسنتز، از جمله اثرات مفید غلظت‌های پایین سالیسیک اسید بر فتوسنتز در شرایط خشکی است (قاسمی گلزانی و لطفی، ۲۰۱۵).

۴-۱-۲- خصوصیات بیوشیمیایی گیاه:

۴-۱-۲-۱- شاخص پایداری غشاء سلولی: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر پایداری غشای سلولی برگ در سال‌های اول و دوم زراعی (جدول ۴-۵) نشان داد اثرات متقابل سه گانه دور آبیاری و سالیسیک اسید و بیوچار بر صفت فوق در هردو سال زراعی معنی دار بود.

جدول ۴-۵. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر شاخص پایداری غشای سلولی و محتوای نسبی آب برگ گیاه در دو سال زراعی

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر S. O. V
محتوای نسبی آب برگ		شاخص پایداری غشای سلولی			
۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵		
۱۶/۲۹ ^{NS}	۱۳/۹۴ ^{NS}	۱۹/۴۷ ^{NS}	۲/۹۳ ^{NS}	۳	تکرار
۲۸۷۹/۵۸ ^{**}	۲۸۴۷/۵۴ ^{**}	۲۹۳۶/۶۶ ^{**}	۲۵۸۷/۲۹ ^{**}	۲	دور آبیاری (A)
۸/۰۳	۸/۵۴	۶/۹۳	۳/۱۱	۶	خطای آزمایشی (a)
۱۵/۴۲ ^{**}	۱۵/۰۱۸ ^{NS}	۶۱/۷۶ ^{**}	۶۶/۸۷ ^{**}	۲	بیوچار (B)
۲۵/۹۴ ^{**}	۲۵/۸۳ ^{**}	۶۵/۳۵ ^{**}	۸/۵۰ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B
۶۹۶/۵۱ ^{**}	۶۸۲/۴۰ ^{**}	۵۵۸/۳۰ ^{**}	۴۶۱/۰۹ ^{**}	۱	سالیسیلیک اسید (C)
۲۷/۵۵ ^{**}	۲۷/۷۵ ^{**}	۶۷۹/۷۲ ^{**}	۳۹۱/۷۹ ^{**}	۲	اثر متقابل A×C
۱۵/۳۹ ^{NS}	۱۵/۳۶ ^{NS}	۱۴/۲۱ ^{NS}	۲/۰۸۵ ^{NS}	۲	اثر متقابل B×C
۵/۰۷ ^{NS}	۵/۲۶ ^{NS}	۲۳/۹۳ ^{**}	۲۲/۶۳ ^{**}	۴	اثر متقابل A×B×C
۵/۰۳	۴/۹۷	۵/۳۳	۳/۹۷	۴۵	خطای آزمایشی b
۳/۹۹	۳/۸۴	۴/۳۵	۳/۹۲	-	ضریب تغییرات
					(درصد)

^{NS} و ^{**} به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارهای آزمایش (جدول ۴-۶) نشان داد که میزان پایداری غشاء پلاسمایی گل گاوزبان اروپایی در هر دو سال زراعی با افزایش دور آبیاری کاهش یافت که کاربرد بیوچار و سالیسیلیک اسید آن را بهبود بخشید. به طوری که میزان پایداری غشاء در شرایط عدم استفاده بیوچار و سالیسیلیک اسید در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز به ۱۹ درصد (در سال اول زراعی) و ۱۸ درصد (در سال دوم زراعی) نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان داد.

غشاء سلولی اولین بخش گیاه است که تحت شرایط تنش رطوبتی آسیب می بیند (سانثوگا و همکاران، ۲۰۰۴). تنش خشکی از تکامل دیواره سلولی ممانعت نموده و باعث نشت بیشتر الکترولیت-ها از آن شده و پایداری غشاء سلولی را کاهش می دهد (قیوم و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج مشابه با مطالعه حاضر بر روی گیاه ذرت (طریق الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار پایداری غشاء سیتوپلاسمی برگ می شود.

کاربرد بیوچار در سال اول زراعی موجب افزایش پایداری غشاء در تحقیق حاضر شد به طوری که کاربرد بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) توام با سالیسیلیک اسید تنها در آبیاری نرمال و ۱۰ روز آبیاری توانست موجب افزایش پایداری غشاء نسبت به شرایط عدم مصرف آن شود، اما تاثیر مثبتی در شرایط ۱۵ روز آبیاری بر صفت فوق نداشت. در سال دوم زراعی کاربرد توام این دو فاکتور (۵ تن در هکتار بیوچار و سالیسیلیک اسید) با مقادیر ۵ تن در هکتار بیوچار در تمامی دوره های آبیاری موجب افزایش شاخص پایداری غشا شد.

کاربرد سالیسیلیک اسید در افزایش معنی دار پایداری غشاء و تقلیل اثرات افزایش دور آبیاری در این مطالعه موثر بود، به طوری که بیشترین شاخص پایداری غشا در سال اول زراعی در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید به تنهایی و به همراه ۱۰ تن بیوچار در هکتار و در آبیاری نرمال دیده شد و در سال دوم زراعی نیز کاربرد توام سالیسیلیک اسید و بیوچار (۱۰ تن در هکتار) میزان شاخص پایداری نسبت به عدم مصرف توام آن ۴۸ درصد بیشتر بود.

سالیسیلیک اسید با افزایش آنتی اکسیدانت‌ها اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن را که عامل اصلی پر اکسیداسیون لیپیدهای غشاء و نشت مواد سلولی به خارج آن هستند، کاهش می‌دهد (فرهادی و قاسمی گلزانی، ۲۰۲۰) علاوه بر آن میزان تجمع یون کلسیم را در سلول افزایش داده و بنابراین به یکپارچگی غشاء کمک می‌کند (طریق الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۶). سالیسیلیک اسید همچنین میزان پلی آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین را در گیاه افزایش می‌دهد. این مواد از مهمترین پلی آمین‌های آزاد هستند که در طیف وسیعی از فرآیندهای رشد و نمو شامل تقسیم سلولی، رویانزایی، تاخیر پیری، پایداری غشاء، جمع آوری رادیکال آزاد و تحمل به تنش‌های مختلف به منزله تعدیل کننده اثر تنش عمل می‌کنند (کوسانو همکاران، ۲۰۰۸) و به دلیل خاصیت پلی کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل، فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها باعث ثبات بیولوژی غشا و ساختار سلول‌ها شوند (بیات و سپهری، ۲۰۱۲). در همین راستا کاربرد سالیسیلیک اسید در دو گیاه همیشه بهار (بیات و سپهری، ۲۰۱۲) و خردل (سعید و همکاران، ۲۰۰۸) موجب کاهش نشت یونی شد.

جدول ۴-۶. مقایسه میانگین اثرات سه گانه شاخص پایداری غشای سلولی و آنتوسیانین برگ در دو سال زراعی تحت

تاثیر اثر متقابل $A \times B \times C$

۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	سالسیلیک اسید (C) میلی مولار	بیوچار (B) تن در هکتار	دور آبیاری (A) روز
آنتوسیانین میلی گرم بر گرم وزن تر برگ	آنتوسیانین میلی گرم بر گرم وزن تر برگ	شاخص پایداری غشاء درصد	شاخص پایداری غشاء درصد			
۰/۰۲۳hi	۰/۰۳۲hi	۵۴/۳۳ef	۵۲/۹۰d	عدم مصرف	عدم مصرف	شاهد(۵)
۰/۰۳۳efgh	۰/۰۴۳fgh	۶۸/۵۲c	۶۷/۰۲b	۰/۵	۵	شاهد(۵)
۰/۰۲۵ghi	۰/۰۳۵ghi	۵۶/۷۹e	۵۵/۴۰d	عدم مصرف	۱۰	شاهد(۵)
۰/۰۳۷ef	۰/۰۴۷ef	۷۳/۰۷b	۷۰/۳۵a	۰/۵	عدم مصرف	شاهد(۵)
۰/۰۲۹fgh	۰/۰۳۹fgh	۶۰/۹۱d	۵۹/۵۵c	عدم مصرف	۵	شاهد(۵)
۰/۰۴۱de	۰/۰۵۱e	۸۰/۸۸a	۷۱/۲۴a	۰/۵	۱۰	شاهد(۵)
۰/۰۵۱cd	۰/۰۶۱d	۴۳/۷۹jkl	۴۲/۴۶ijk	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۰
۰/۰۸۴a	۰/۱۰۵a	۴۹/۰۷gh	۴۹/۷۴e	۰/۵	۵	۱۰
۰/۰۵۵c	۰/۰۶۹cd	۴۵/۳۹ijkl	۴۶/۳۶fgh	عدم مصرف	۱۰	۱۰
۰/۰۶۶b	۰/۰۷۹bc	۵۱/۲۶fg	۴۶/۴۳fg	۰/۵	عدم مصرف	۱۰
۰/۰۵۹bc	۰/۰۶۵d	۴۶/۷۳hij	۴۳/۹۵hij	عدم مصرف	۵	۱۰
۰/۰۷۸a	۰/۰۸۸b	۴۸/۳۰ghi	۴۷/۸۴ef	۰/۵	۱۰	۱۰
۰/۰۱۰kj	۰/۰۲۰jk	۴۹/۵۱gh	۴۲/۹۶hijk	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۵
۰/۰۱۵ij	۰/۰۲۱jk	۴۳/۲۲kl	۴۰/۸۲k	۰/۵	۵	۱۵
۰/۰۳۵k	۰/۰۴۳efg	۴۹/۳۴gh	۴۳/۹۶ghi	عدم مصرف	۱۰	۱۵
۰/۰۱۱kj	۰/۰۲۵ij	۴۲/۱۹l	۴۱/۸۹jk	۰/۵	عدم مصرف	۱۵
۰/۰۳۳efg	۰/۰۳۱k	۴۵/۲۴ijkl	۴۸/۰۸ef	عدم مصرف	۵	۱۵
۰/۰۰۷hj	۰/۰۱۷jk	۴۵/۶۳ijk	۴۴/۸۴ghi	۰/۵	۱۰	۱۵

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۲-۱-۲- محتوای نسبی آب برگ: طبق نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس (۴-۵) اثرات

متقابل آبیاری و بیوچار و آبیاری و سالسیلیک اسید در هر دو سال زراعی بر میزان محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد مقادیر بیوچار در دوره‌های مختلف آبیاری متفاوت در سال اول و دوم (جدول ۴-۷) نشان داد به طور کلی افزایش دور آبیاری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ گل گاوزبان اروپایی شد.

کاربرد بیوچار در دور آبیاری نرمال (به میزان ۵ تن در هکتار) و ۱۰ روز (به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار) محتوای نسبی آب برگ گل گاوزبان اروپایی را نسبت به شرایط عدم کاربرد آن‌ها افزایش داد، در حالی که در دور آبیاری ۱۵ روز کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار تفاوت معنی‌داری با عدم مصرف آن ایجاد ننمود

و کاربرد مقادیر بالاتر بیوچار (۱۰ تن در هکتار) به طور معنی داری میزان رطوبت نسبی برگ را کاهش داد.

همچنین نتایج اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید در هر دو سال زراعی نشان داد (جدول ۴-۸) که کاربرد اسید سالیسیلیک در هر دو دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار عدم مصرف آن افزایش داد و اثر معنی داری در تعدیل کاهش تنش ناشی از افزایش دور آبیاری داشت.

جدول ۴-۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر محتوای نسبی آب برگ و فلاونوئید برگ گاو زبان اروپایی

دور آبیاری روز	بیوچار تن در هکتار	محتوای نسبی آب برگ درصد	فلاونوئید برگ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ		
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
شاهد (۵)	عدم مصرف	۶۶/۷۹ab	۶۵/۰۶b	۰/۳۷c	۰/۳۸c
شاهد (۵)	۵	۶۸/۴۴ab	۶۶/۶۸ab	۰/۴۲b	۰/۴۴b
شاهد (۵)	۱۰	۷۰/۰۷a	۶۸/۲۵a	۰/۴۶a	۰/۴۸a
۱۰	عدم مصرف	۵۷/۱۱d	۵۵/۲۸d	۰/۱۶e	۰/۲۱e
۱۰	۵	۵۹/۳۸c	۵۷/۶۷c	۰/۱۹d	۰/۲۶d
۱۰	۱۰	۵۹/۷۹c	۵۸/۰۱c	۰/۱۹d	۰/۲۵d
۱۵	عدم مصرف	۴۷/۳۹e	۴۵/۵۲e	۰/۰۷۲f	۰/۰۷۵f
۱۵	۵	۴۸/۱۳e	۴۶/۲۵e	۰/۰۶۱f	۰/۰۵۸f
۱۵	۱۰	۴۴/۵۵f	۴۲/۶۴f	۰/۰۴۹f	۰/۰۵۹f

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند

جدول ۴-۸. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیک اسید بر محتوای رطوبت نسبی و

فلاونوئید برگ گل گاوزبان اروپایی

دور آبیاری	سالیسیک اسید	محتوای نسبی آب برگ	فلاونوئید برگ
روز	میلی مولار	درصد	میلی گرم بر گرم وزن تر برگ
		۱۳۹۵	۱۳۹۶
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۶۶/۱۱b	۶۴/۳۲b
شاهد (۵ روز)	۰/۵	۷۰/۷۵a	۶۹/۰۲a
۱۰	عدم مصرف	۵۶/۱۵d	۵۴/۳۴d
۱۰	۰/۵	۶۱/۳۷c	۵۹/۶۳c
۱۵	عدم مصرف	۴۲/۳۸f	۴۰/۴۷f
۱۵	۰/۵	۵۱e	۴۹/۱۴e

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

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 (نایوتال و همکاران، ۲۰۰۲). در مطالعه حاضر نیز رابطه مثبت و معنی‌دار میزان قندهای محلول برگ و محتوای آب نسبی برگ در سال‌های زراعی اول ($I=0/44^{**}$) و دوم ($I=0/43^{**}$) (جدول ۱ و ۲ پیوست) مشاهده شد.

کاهش محتوای نسبی آب برگ بر اثر تنش خشکی، همبستگی مثبت و بالایی با میزان رطوبتی موجود در خاک دارد (بیات و همکاران، ۲۰۱۱) از آنجا که به نظر می‌رسد، بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک در افزایش آب قابل دسترس خاک و گیاه نقش دارد (بارونتی و همکاران، ۲۰۱۴)، بنابراین از این طریق موجب افزایش محتوای آب سلول شده است. در پژوهشی مشابه، کاربرد بیوچار موجب افزایش پایداری غشاء و محتوای نسبی آب برگ در گوجه فرنگی تحت تنش خشکی شد (سلیم اختر و همکاران، ۲۰۱۸). سایر بررسی‌ها حاکی از آن است که بیوچار موجب افزایش آب قابل دسترس خاک و پتانسیل آب برگ می‌گردد. در این خصوص گزارش شده است که کاربرد بیوچار در انگور به میزان ۲۲ تن و ۴۴ تن در هکتار، آب قابل دسترس خاک را به میزان ۳/۲ درصد تا ۴۵ درصد و پتانسیل آب برگ را نیز ۲۴ تا ۳۷ درصد افزایش داد (بارونتی و همکاران، ۲۰۱۴).

۴-۱-۲-۳- آنتوسیانین برگ: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر میزان آنتوسیانین

برگ نشان داد (جدول ۴-۹) که اثرات سه گانه دور آبیاری، سالیسیلیک اسید و بیوچار بر میزان آنتوسیانین در هر دو سال زراعی معنی دار بود. مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارها بر میزان آنتوسیانین برگ (جدول ۴-۶) در هر دو سال زراعی 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 که کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار در این دور آبیاری در افزایش آنتوسیانین موثر بود، اما با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز میزان آنتوسیانین به شدت کاهش یافت.

بالاترین میزان آنتوسیانین در هر دو سال زراعی در دور آبیاری ۱۰ روز و در شرایط کاربرد توام سالیسیلیک اسید و بیوچار مشاهده شد با این تفاوت که در سال زراعی دوم در این دور آبیاری میان مقادیر بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) تفاوت معنی داری از این لحاظ وجود نداشت. به طوری که میزان آنتوسیانین برگ از میزان ۰/۰۶۱ (در شرایط عدم مصرف بیوچار) به ۰/۱۰۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ افزایش یافت. در سال دوم زراعی در این دور آبیاری مقدار آنتوسیانین برگ با کاربرد مقادیر بالاتر بیوچار (۵ تن در هکتار) از ۰/۰۵۱ به ۰/۰۸۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ و بیوچار ۱۰ تن در هکتار به ۰/۰۷۸ رسید.

به طور کلی به غیر از فعالیت های آنزیمی و تجمع مواد محلول، تجمع متابولیت های ثانویه از جمله ترکیبات فنلی و آنتوسیانین نیز به شدت تحت تأثیر تنش آب قرار می گیرد و شواهد زیادی نشان می دهد که در شرایط تنش تولید برخی از آن ها تا چندین برابر افزایش می یابد (هاشمی و شبانی، ۲۰۱۹). رضوی زاده و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند که گیاهچه های آویشن با افزایش مکانیسم های غیر آنزیمی مانند افزایش ترکیبات فنلی و آنتوسیانین تحت شرایط خشکی در شرایط درون شیشه ای از خود مقاومت نشان دادند. افزایش میزان این ترکیبات در اثر تنش خشکی القا شده در محیط، می تواند به دلیل عملکرد حفاظتی این ترکیبات در مقابل تنش و جمع آوری گونه های 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 (حیدری و مینایی، ۱۳۹۳). نتایج همبستگی (جدول پیوست ۱ و ۲) نشان داد که با افزایش محتوای نسبی آب برگ میزان آنتوسیانین نیز افزایش یافت و به نظر می‌رسد از آن جایی که بیوچار و سالیسیلیک اسید در بهبود روابط آبی گیاه نقش مهمی دارند، یکی از دلایل افزایش آنتوسیانین موجود در برگ‌ها افزایش محتوای نسبی آب برگ آن‌ها باشد.

علاوه بر آن از آن جایی که برای ساخت آنتوسیانین نیاز مبرم به ATP و NADPH می‌باشد به شدت با مقدار قندهای محلول وابسته است (محمد پور و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج همبستگی در هر دو سال زراعی (جدول پیوست ۱ و ۲) موید این مطلب بود که میزان آنتوسیانین متأثر از میزان قندهای محلول بوده و با افزایش آن‌ها افزایش یافت.

۴-۱-۲-۴- فلاونوئید برگ: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر میزان فلاونوئید برگ در سال‌های اول و دوم زراعی (جدول ۴-۹) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و بیوچار و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فلاونوئید برگ معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار و نیز دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر صفت مذکور در هر دو سال زراعی معنی‌دار بود.

جدول ۴-۹. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر فلاونوئید و آنتوسیانین و قندهای محلول برگ

منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		آنتوسیانین		فلاونوئید برگ		قندهای محلول برگ	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۳	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۱۹۷۴۴۶ ^{**}	۲۹۵۵۳۳ ^{**}
دور آبیاری (A)	۲	۰/۰۱۸۶۰ ^{**}	۰/۰۱۷۰۳ ^{**}	۰/۰۷۹۲۸ ^{**}	۰/۰۸۴۹ ^{**}	۱۰۷۵۲۷۵ ^{**}	۸۶۲۵۶۲ ^{**}
خطای آزمایشی (a)	۶	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۰۰۴	۲۰۹۵۴	۹۶۳۳
بیوچار (B)	۲	۰/۰۰۰۰۳۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۴۱ ^{**}	۰/۰۰۰۷۲ ^{**}	۰/۰۰۱۰ ^{**}	۱۱۹۲۴۴ ^{ns}	۸۱۴۶۰ ^{ns}
اثر متقابل A×B	۴	۰/۰۰۰۰۲۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۷ ^{**}	۰/۰۰۰۷ ^{**}	۱۸۳۵۱ ^{ns}	۶۲۵۹ ^{ms}
سالیسیلیک اسید (C)	۱	۰/۰۰۲۰۶ ^{**}	۰/۰۰۱۵۴ ^{**}	۰/۰۰۹۵۴ ^{**}	۰/۰۱۲۵ ^{**}	۲۹۹۳۳۲ ^{**}	۱۳۷۱۴۹ ^{**}
اثر متقابل A×C	۲	۰/۰۰۱۳۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۹۶ ^{**}	۰/۰۰۲۰۷ ^{**}	۰/۰۰۲۸ ^{**}	۴۱۶۹۸ ^{ns}	۲۶۲۶۸ ^{ns}
اثر متقابل B×C	۲	۰/۰۰۰۰۵۱ ^{**}	۰/۰۰۰۰۳۳ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۱۶۳۱۱ ^{ns}	۳۴۷۲۷ ^{ns}
اثر متقابل A×B×C	۴	۰/۰۰۰۰۲۶ ^{**}	۰/۰۰۰۰۳۱ ^{**}	۰/۰۰۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۵۷۸۴۲ ^{ns}	۳۱۷۷۱ ^{ns}
خطای آزمایشی b	۴۵	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۱	۴۷۴۵۵	۳۰۲۲۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۴/۴۴	۱۹/۰۵	۱۴/۱۸	۱۲/۸۸	۱۴/۳۶	۱۴/۶۴

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

مقایسه میانگین کاربرد مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید در دوره‌های آبیاری مختلف (جدول ۴-۹).
 ۸) نشان داد که اثر این دو فاکتور بر میزان فلاونوئید برگ در سال زراعی اول و دوم زراعی مشابه یکدیگر بود؛ به طوری که با افزایش دور آبیاری میزان فلاونوئید برگ به شدت کاهش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید تا حدودی در بهبود مقدار فلاونوئید نقش داشت، به طوری که در دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز، میزان فلاونوئید در شرایط کاربرد سالیسیلیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف آن در سال اول زراعی به ترتیب ۳۷، ۵۲ و ۲۴ درصد و در سال دوم زراعی ۴۱، ۵۲، ۱۳ درصد بیشتر بود.

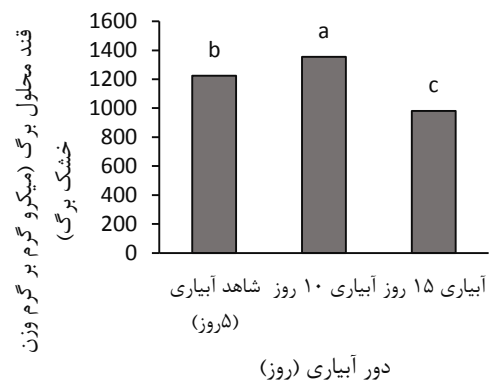
کاربرد بیوچار تنها بسته به دور آبیاری، اثرات متفاوتی بر روی میزان فلاونوئید برگ داشت (جدول ۴-۷)، مصرف بیوچار در دور آبیاری نرمال و ۱۰ روز موجب بهبود مقدار فلاونوئید نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد، اما در دور آبیاری بالاتر موثر نبود. میان مقادیر مختلف بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) از لحاظ این اثر افزایشی تنها در شرایط آبیاری ۵ روز تفاوت معنی داری دیده شد، کاربرد بیوچار در شرایط نرمال آبیاری با مقادیر ۵ و ۱۰ تن در هکتار در سال اول زراعی به ترتیب به میزان

۱۴/۵ و ۲۴/۵ درصد و در سال دوم زراعی ۱۳/۵ و ۲۴/۳ درصد مقدار فلاونوئید را افزایش داد. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ایجاد شده ناشی از خشکی، مکانیسم‌های دفاعی مختلف آنزیمی و غیرآنزیمی را به کار می‌برند. سیستم غیرآنزیمی شامل ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین می‌باشد (عزیزیان شرمه و همکاران، ۱۳۹۶). گزارشات حاکی از آن است که سنتز این مواد با محرک‌های محیطی گوناگون مانند نور ماوراءبنفش و خشکی و نیز حمله عوامل بیماریزا تحریک می‌شوند. 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 (قاسمی گلزانی و فرهنگ، ۲۰۱۹؛ هاشمی و شبانی، ۲۰۱۹). بررسی همبستگی صفات در مطالعه حاضر نشان داد که میزان فلاونوئید تحت تأثیر رطوبت نسبی و پایداری غشای برگ و نیز میزان نیتروژن برگ‌ها در هر دو سال زراعی بود (جدول پیوست ۱ و ۲) و به نظر می‌رسد از آن جایی که بیوچار با بهبود خصوصیات خاک در افزایش صفات ذیل موثر بوده است، می‌تواند در افزایش فلاونوئید نیز اثرگذار باشد.

۴-۱-۲-۵-قندهای محلول برگ:

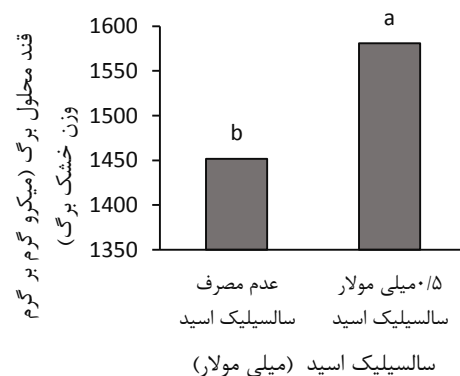
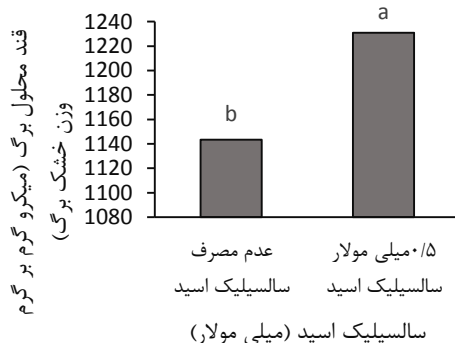
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در هر دو سال زراعی نشان داد (جدول ۴-۹) که اثرات اصلی دور آبیاری و نیز سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول برگ گیاه گاوزبان اروپایی اثر معنی‌داری داشت. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری (شکل ۴-۵ و ۴-۶) در هر دو سال زراعی نشان داد که با افزایش دور آبیاری تا ۱۰ روز میزان قندهای محلول برگ نسبت به شرایط نرمال آبیاری در سال اول (شکل ۴-۵) و دوم زراعی (شکل ۴-۶) به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد افزایش یافت، اما با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز به شدت کاهش نشان داد. به طوری که میزان قندهای محلول نسبت به آبیاری نرمال در سال زراعی اول و دوم به ترتیب ۱۹ و ۲۰ درصد کاهش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید در بهبود مقدار قندهای محلول در هر دو سال زراعی موثر بود (شکل ۴-۷ و ۴-۸) به طوری که میزان آن در سال زراعی اول (شکل ۴-۷) ۸ درصد و در سال زراعی دوم (شکل ۴-۸) ۷ درصد افزایش یافت. قندهای محلول در

شرایط تنش خشکی به عنوان اسمولیت های سازگار نقش مهمی در القای تحمل به خشکی ایفا می کنند. در شرایط تنش خشکی تجمع قند های محلول به عنوان اسمولیت های محافظ افزایش می یابد. در بررسی دو رقم گندم نان به محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط رژیم های متفاوت رطوبتی نشان داده شد که تیمار تنش خشکی و کاربرد سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد موجب افزایش میزان قندهای محلول شد، اما با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید از ۵۰ به ۱۰۰ میکرومولار میزان قندهای محلول برگ کاهش نشان داد (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۴-۵. مقایسه میانگین اثرات دور آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ در سال اول زراعی

شکل ۴-۶. مقایسه میانگین اثرات دور آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ در سال دوم زراعی



شکل ۴-۸. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول برگ در سال دوم زراعی

شکل ۴-۷. مقایسه میانگین اثرات ساده سالیسیلیک اسید بر میزان قندهای محلول برگ در سال اول زراعی

۴-۱-۲-۶- آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و اسید آمینه پرولین:

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۴-۱۰) که اثرات سه گانه تیمارهای دور آبیاری و سالیسیک اسید و بیوچار بر میزان آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD)، کاتالاز (CAT) هر دو سال زراعی اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت و اثرات متقابل آبیاری و بیوچار و آبیاری و سالیسیک اسید بر میزان پرولین معنی دار بود.

مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارها (جدول ۴-۱۱ و ۴-۱۲) نشان داد که به‌طور کلی میزان آنزیم‌های فوق در هر دو سال زراعی در شرایط دور آبیاری ۱۰ روز نسبت به شرایط نرمال آبیاری افزایش یافت، اما با رسیدن به دور آبیاری ۱۵ روز به شدت کاهش نشان داد. اما کاربرد سالیسیک اسید به تنهایی موجب افزایش مقدار آنزیم‌های CAT (در هر دو سال زراعی)، POD (تنها در سال دوم زراعی) و SOD (در هر دو سال زراعی) در این دور آبیاری شد؛ علاوه بر آن کاربرد توام بیوچار (۵ تن در هکتار) و سالیسیک اسید نسبت به شرایط عدم مصرف آن‌ها میزان CAT و SOD را بهبود بخشید. بیشترین میزان آنزیم CAT در سال زراعی اول و دوم با کاربرد سالیسیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده شد. کاربرد بیوچار و سالیسیک اسید به شکل توام در این دور آبیاری توانست میزان آنزیم کاتالاز را نسبت به شاهد در سال اول و دوم زراعی به ترتیب ۱۰۰ و ۳۶ درصد افزایش دهد (جدول ۴-۱۱).

در سال اول زراعی میان دور آبیاری نرمال و ۱۰ روز تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار آنزیم POD وجود نداشت و کاربرد سالیسیک اسید و بیوچار در دوره‌های آبیاری فوق تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد؛ اما در دور آبیاری ۱۵ روز کاربرد توام بیوچار (۵ تن در هکتار) و سالیسیک اسید میزان آنزیم فوق را نسبت به عدم مصرف هر دوی آن‌ها ۵۰ درصد افزایش داد. در این دور آبیاری (۱۵ روز) کاربرد سالیسیک اسید به‌تنهایی میزان آنزیم POD را ۳۱ درصد نسبت به عدم مصرف آن افزایش داد (جدول ۴-۱۱). در سال دوم زراعی نیز بیشترین میزان POD تنها با کاربرد سالیسیک اسید به‌تنهایی

و در دور آبیاری ۱۰ روز حاصل شد به طوری که در این دور آبیاری میزان آنزیم فوق ۱۳۳ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش نشان داد (جدول ۴-۱۱)

بیشترین میزان آنزیم SOD (جدول ۴-۱۲) در سال اول زراعی در دور آبیاری ۱۰ روز و در کاربرد توام سالسیلیک اسید و بیوچار (۵ تن در هکتار) و نیز سالسیلیک اسید به تنهایی دیده شد که به ترتیب ۷۷ و ۸۵ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف هر دوی آن‌ها در این دور آبیاری میزان افزایش یافت. در دور آبیاری نرمال نیز همین روند وجود داشت، اما در دور آبیاری ۱۵ روز کاربرد بیوچار و سالسیلیک اسید موثر نبود. در سال دوم زراعی نیز بالاترین میزان SOD با کاربرد سالسیلیک اسید به تنهایی در دور آبیاری ۱۰ روز حاصل شد.

مطالعات متعددی نشان داده اند که کاربرد سالسیلیک اسید موجب افزایش آنزیم‌های SOD، POD، CAT و APX می گردد و در بهبود شرایط تنش خشکی موثر است. کاربرد سالسیلیک اسید موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی از طریق افزایش آنزیم‌های فوق در گیاهان کنجد (پور قاسمیان و همکاران، ۲۰۲۰)، *Brassica rapa* L. (لی و همکاران، ۲۰۱۹) و *Portulaca oleracea* L. (ساحری و همکاران، ۲۰۲۰) شد.

تنش خشکی در گیاه *Pyrus ussuriensis* Maxim. ابتدا میزان آنزیم‌های SOD و POD را افزایش داد، اما با افزایش میزان تنش خشکی به شدت کاهش یافت. کاربرد بیوچار در شرایط تنش خشکی نتایج متفاوتی بر روی میزان آنزیم‌ها داشت به طوری که کاربرد بیوچار میزان SOD را نسبت به شرایط عدم مصرف آن ۳۵/۳ درصد افزایش داد؛ در حالی که میزان آنزیم‌های POD و CAT کاهش داد. مطالعات نشان داده اند که خصوصیات زنجیره انتقال الکترون II و فعالیت آنزیم POD برگ به شدت به یکدیگر وابسته هستند؛ علاوه بر آن افزایش آنزیم SOD بازدارنده فعالیت‌های اکسیداسیون و احیا فتوسیستم II می باشد. بنابراین کاربرد بیوچار می تواند سیستم دفاعی برگ را با اثر بر روی زنجیره انتقال الکترون‌ها و تنظیم فعالیت آنزیم‌های محافظ بهبود بخشد و موجب کاهش اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی بر پارامترهای فتوسنتزی گردد (لیو و همکاران، ۲۰۱۶). کاربرد بیوچار در شرایط تنش

خشکی نیز میزان آنزیم کاتالاز در گیاه لوبیا (فرهنگی آبریز و ترابیان، ۲۰۱۷) افزایش داد (لیو و همکاران،

۲۰۱۶). علت افزایش کاتالاز اثر بیوچار بر زنجیره انتقال الکترون بیان شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۶)

جدول ۴-۱۰. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر محتوای آنزیم‌ها و پرولین گیاه گاوزبان اروپایی

منابع تغییر S. O. V	$\frac{df}{df_1}$	میانگین مربعات							
		سوپر اکسید دیسموتاز		پرولین		پراکسیداز		کاتالاز	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۳	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۳۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}
دور آبیاری (A)	۲	۰/۲۶۱۸۸ ^{**}	۰/۵۵۳۸۶ ^{**}	۵/۱۹ ^{**}	۵/۲۴۳ ^{**}	۶/۹۰۲۶ ^{**}	۰/۴۳۴۱۰ ^{**}	۰/۰۷۴۴۴ ^{**}	۰/۵۰۲۳۳ ^{**}
خطای آزمایشی (a)	۶	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۶۲
بیوچار (B)	۲	۰/۰۱۰۹۶ ^{**}	۰/۰۲۱۵۶ ^{**}	۰/۰۸۰ ^{**}	۰/۰۸۶ ^{**}	۰/۰۴۱۴ ^{**}	۰/۰۲۳۶۲ ^{**}	۰/۰۰۳۸۰ ^{**}	۰/۰۲۲۵۷ ^{**}
اثر متقابل A×B	۴	۰/۰۰۳۰۷ ^{**}	۰/۰۱۱۴۷ ^{**}	۰/۰۳۴ [*]	۰/۰۳۶ [*]	۰/۰۱۴۶ [*]	۰/۰۱۴۰۲ ^{**}	۰/۰۰۱۹۳ ^{**}	۰/۰۰۹۹۱ ^{**}
سالسیلیک اسید (C)	۱	۰/۰۵۴۳۲ ^{**}	۰/۱۵۰۶۱ ^{**}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۲۷۶ ^{ns}	۰/۱۹۴۵ ^{**}	۰/۰۸۶۸۲ ^{**}	۰/۰۳۶۵۷ ^{**}	۰/۱۲۶۶۹ ^{**}
اثر متقابل A×C	۲	۰/۰۲۱۱۱ ^{**}	۰/۰۸۰۸۶ ^{**}	۰/۷۸ ^{**}	۰/۷۳۴۷ ^{**}	۰/۰۲۲۲ ^{**}	۰/۰۱۸۷۳ ^{**}	۰/۰۱۵۶۴ ^{**}	۰/۰۳۷۰۱ ^{**}
اثر متقابل B×C	۲	۰/۰۰۳۶۵ ^{**}	۰/۰۰۹۵۶ ^{**}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۵۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۹۸۲ ^{**}	۰/۰۰۲۰۹ ^{**}	۰/۰۰۶۱۹ ^{**}
اثر متقابل A×B×C	۴	۰/۰۰۱۶۴ ^{**}	۰/۰۰۴۶۶ ^{**}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۳۰۰ ^{**}	۰/۰۱۶۷۵ ^{**}	۰/۰۰۰۱۴ ^{**}	۰/۰۰۹۸۲ ^{**}
خطای آزمایشی b	۴۵	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۵۳	۱۱/۰۸	۱۱/۳۹	۱۳/۴	۸/۳۵	۱/۸۰	۸/۷۸	۱۱/۰۲

^{ns} و ^{*} و ^{**} به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- ۱۱ - مقایسه میانگین اثرات سه گانه بر محتوای کاتالاز و پراکسیداز گیاه گاوزبان اروپایی در دو

سال زراعی

۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	سالسیلیک اسید (C) میلی مولار	بیوجار (B) تن در هکتار	دور آبیاری (A) روز
پراکسیداز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه	پراکسیداز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه	کاتالاز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه	کاتالاز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه			
۰/۹۸۸fg	۱/۰۹cd	۰/۰۸۸gh	۰/۰۵۷ij	عدم مصرف	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۱/۰۷e	۱/۱۸bc	۰/۱۷۷ef	۰/۰۷۷fg	۰/۵	۵	شاهد (۵ روز)
۰/۹۷۵hg	۱/۰۹cd	۰/۰۷۵hi	۰/۰۵۶ij	عدم مصرف	۱۰	شاهد (۵ روز)
۱/۰۵۳e	۱/۱۴c	۰/۱۵۳f	۰/۰۶۸gh	۰/۵	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۰/۹۶۸hgi	۱/۰۱d	۰/۰۶۸hi	۰/۰۵۴ij	عدم مصرف	۵	شاهد (۵ روز)
۱/۰۰۸f	۱/۰۹cd	۰/۱۰۸g	۰/۰۵۹hi	۰/۵	۱۰	شاهد (۵ روز)
۱/۱۵۳c	۱/۲۴b	۰/۲۵۳d	۰/۱۰۷d	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۰ روز
۱/۱۵۶c	۱/۱۹bc	۰/۳۴۶b	۰/۲۱۹b	۰/۵	۵	۱۰ روز
۱/۱۴۴c	۱/۱۸bc	۰/۲۴۴d	۰/۰۹۰e	عدم مصرف	۱۰	۱۰ روز
۱/۴۲۶a	۱/۳۵a	۰/۴۳۶a	۰/۲۳۹a	۰/۵	عدم مصرف	۱۰ روز
۱/۱۰۵d	۱/۱۸bc	۰/۱۹۵e	۰/۰۸۶ef	عدم مصرف	۵	۱۰ روز
۱/۱۹۷b	۱/۲۶ab	۰/۳۱۷c	۰/۱۳۷c	۰/۵	۱۰	۱۰ روز
۰/۹۱۲l	۰/۱۶g	۰/۰۱۲l	۰/۰۳۹kl	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۵ روز
۰/۹۵۵hij	۰/۴۸e	۰/۰۵۵ij	۰/۰۵۳ij	۰/۵	۵	۱۵ روز
۰/۹۵۴hij	۰/۱۶g	۰/۰۵۴ij	۰/۰۲۷m	عدم مصرف	۱۰	۱۵ روز
۰/۹۴۳jkl	۰/۳۳f	۰/۰۴۳jk	۰/۰۵۱ij	۰/۵	عدم مصرف	۱۵ روز
۰/۹۲۰kl	۰/۱۵g	۰/۰۲۰kl	۰/۰۲۸lm	عدم مصرف	۵	۱۵ روز
۰/۹۲۸jkl	۰/۱۹g	۰/۰۲۸kl	۰/۰۴۷jk	۰/۵	۱۰	۱۵ روز

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۴-۱۲ - مقایسه میانگین اثرات سه گانه بر محتوای سوپر اسید دیسموتاز گیاه گاوزبان اروپایی در دو سال زراعی

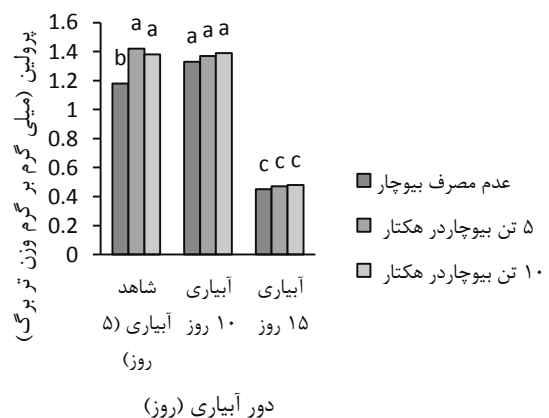
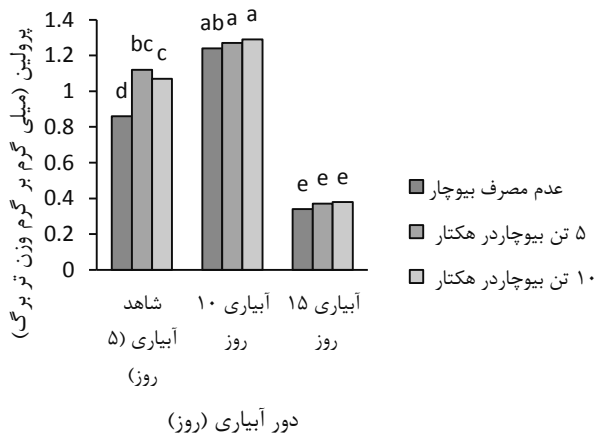
۱۳۹۶	۱۳۹۵			
سوپر اکسید دیسوتاز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه	سوپر اکسید دیسوتاز واحد آنزیمی در گرم برگ در دقیقه	سالیسیلیک اسید (C) میلی مولار	بیوچار (B) تن در هکتار	دور آبیاری (A) روز
۰/۰۴۸hi	۰/۰۷۱fg	عدم مصرف	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۰/۱۳۷f	۰/۱۴۰e	۰/۵	۵	شاهد (۵ روز)
۰/۰۳۵ji	۰/۰۵۹ghi	عدم مصرف	۱۰	شاهد (۵ روز)
۰/۱۱۳g	۰/۱۲۵e	۰/۵	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۰/۰۲۸kji	۰/۰۵۳hi	عدم مصرف	۵	شاهد (۵ روز)
۰/۰۶۸h	۰/۰۸۹f	۰/۵	۱۰	شاهد (۵ روز)
۰/۲۱۳d	۰/۱۸۱c	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۰ روز
۰/۴۶۱b	۰/۳۲۲a	۰/۵	۵	۱۰ روز
۰/۲۰۴d	۰/۱۹۴c	عدم مصرف	۱۰	۱۰ روز
۰/۴۹۶a	۰/۳۳۶a	۰/۵	عدم مصرف	۱۰ روز
۰/۱۶۵e	۰/۱۵۹d	عدم مصرف	۵	۱۰ روز
۰/۲۷۵c	۰/۲۲۰b	۰/۵	۱۰	۱۰ روز
۰/۰۲۷kj	۰/۰۱۲l	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۵ روز
۰/۰۱۵kjl	۰/۰۴۱ji	۰/۵	۵	۱۵ روز
۰/۰۱۴kl	۰/۰۶۷gh	عدم مصرف	۱۰	۱۵ روز
۰/۰۰۵l	۰/۰۳۱jk	۰/۵	عدم مصرف	۱۵ روز
۰/۰۰۲kjl	۰/۰۳۱jk	عدم مصرف	۵	۱۵ روز
۰/۰۱۱kl	۰/۰۲۱kl	۰/۵	۱۰	۱۵ روز

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و بیوچار در سال اول (شکل ۴-۹) و دوم زراعی (شکل ۴-۱۰)

۱۰) نشان داد که در هر دو سال زراعی کاربرد بیوچار تنها در شرایط نرمال آبیاری میزان پرولین را افزایش داد، به طوری که در سال زراعی اول با کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار به ترتیب ۲۰ و ۱۴ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف آن افزایش پرولین مشاهده شد. در سال دوم زراعی نیز مقادیر پرولین با کاربرد مقادیر ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوچار به میزان ۳۰ و ۲۴ درصد نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت. تاثیر مثبت بیوچار و سوپر جاذب بر میزان پرولین در گیاه گلرنگ تحت تنش خشکی گزارش شده است (گودرزیان و همکاران، ۱۳۹۶). به نظر می رسد از آن جایی که ترکیباتی نظیر پرولین

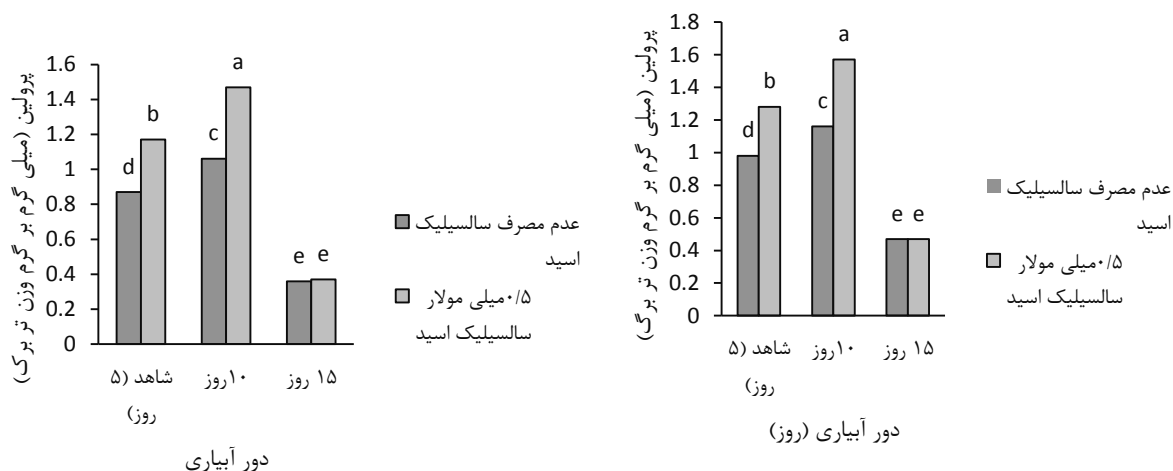
و کربوهیدرات در دارای ساختار نیتروژنی هستند کاربرد بیوچار می تواند در بهبود آن ها نقش داشته باشد (نجفی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و سالیسیک اسید در سال زراعی اول (شکل ۴-۱۱) و دوم (۴-۱۲) نشان داد که کاربرد سالیسیک اسید در دور آبیاری نرمال و ۱۰ روز موجب افزایش میزان پرولین شد، اما در دور آبیاری بالاتر (۱۵ روز) اثر مثبتی مشاهده نشد. افزایش میزان پرولین با کاربرد سالیسیک اسید در تنش خشکی در مطالعات متعددی گزارش شده است. ساحری و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که میزان پرولین در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی ۵/۵ برابر گیاهان شاهد بود. آن ها همچنین نتیجه گرفتند که میزان پرولین در گیاهان تیمار شده با سالیسیک اسید ۱/۲ برابر گیاهان دیگر بود. ایدریس و همکارانش (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که افزایش پرولین با کاربرد سالیسیک اسید به علت افزایش فعالیت آنزیم پرولین سنتتاز (گاما گلوتامیل کیناز) و کاهش فعالیت آنزیم تجزیه کننده پرولین (پرولین اکسیداز) است.



شکل ۴-۱۰ مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر میزان پرولین برگ در سال دوم زراعی

شکل ۴-۹ مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر میزان پرولین برگ در سال اول زراعی



شکل ۴-۱۲ مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سال دوم زراعی

شکل ۴-۱۱ مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر میزان پرولین برگ در سال اول زراعی

۴-۱-۳-ویژگی های مورفولوژیک و عملکردی گیاه:

۴-۱-۳-۱- تعداد ساقه گل دهنده و تعداد ساقه اصلی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۱۳)

در سال اول زراعی نشان داد که اثرات متقابل سه گانه دور آبیاری، سالیسیلیک اسید و بیوچار بر تعداد ساقه گل دهنده و تعداد ساقه اصلی معنی دار بود. در سال دوم زراعی اثرات متقابل دو گانه دور آبیاری و سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل بیوچار و آبیاری و نیز اثرات متقابل بیوچار و سالیسیلیک بر تعداد ساقه گل دهنده و تعداد ساقه اصلی معنی دار بود.

جدول ۴-۱۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه

منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد ساقه گل دهنده		تعداد ساقه اصلی		ارتفاع بوته	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۳	۱/۹۸ ^{ns}	۰/۳۴۷ ^{ns}	۰/۲۵۹ ^{ns}	۰/۴۹۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}
دور آبیاری (A)	۲	۳۸۸/۰۱ ^{**}	۱۵۸/۸۸۸ ^{**}	۱۶۴/۲۹۱ ^{**}	۳۶۰/۵۰ ^{**}	۰/۱۵۶۸ ^{**}	۰/۱۳۰۱ ^{**}
خطای آزمایشی (a)	۶	۰/۴۹۵	۱/۲۲۲	۰/۱۰۶	۱/۰۳۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵
بیوچار (B)	۲	۱۲/۸۴ ^{**}	۲/۷۲۲ ^{**}	۳/۰۴۱ ^{**}	۳/۱۶۶ ^{**}	۰/۰۰۲۴ ^{**}	۰/۰۰۴۲ ^{**}
اثر متقابل A×B	۴	۸/۸۴ ^{**}	۴/۵۷۶ ^{**}	۲/۸۹۵ ^{**}	۳/۷۰۲۹ ^{**}	۰/۰۰۱۴ ^{**}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}
سالسیلیک اسید (C)	۱	۱۱۷/۵۵ ^{**}	۲۸/۱۲۵ ^{**}	۵۳/۳۸۸ ^{**}	۳۰/۶۸۰ ^{**}	۰/۰۴۳۵ ^{**}	۰/۰۳۹۶ ^{**}
اثر متقابل A×C	۲	۹/۱۸ ^{**}	۴۰/۶۶۶ ^{**}	۳/۰۹۷ ^{**}	۳۷/۷۲۲ ^{**}	۰/۰۰۱۵ ^{**}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}
اثر متقابل B×C	۲	۰/۹۳ ^{ns}	۲/۱۶۶ ^{**}	۰/۱۸۰ ^{ns}	۲/۳۸۸ ^{**}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳۴ ^{**}
اثر متقابل A×B×C	۴	۵/۳۰۵ ^{**}	۰/۵۲۰ ^{ns}	۱/۵۷۶ ^{**}	۰/۳۸۸ ^{ns}	۰/۰۰۱۱ ^{**}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}
خطای آزمایشی b	۴۵	۰/۳۰۱	۰/۱۹۷	۰/۰۹۰	۰/۴۱۲	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۲۷	۸/۶۱	۶/۲۳	۱۲/۱۳	۲/۷	۳/۶۳

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

مقایسه میانگین اثرات سه گانه (در سال اول زراعی) بر تعداد ساقه گل دهنده و ساقه اصلی (جدول ۴-۱۴) نشان داد که افزایش دورآبیاری موجب کاهش تعداد ساقه گل دهنده و تعداد ساقه اصلی شد، به طوری که کاربرد توام بیوچار (به میزان ۱۰ تن در هکتار) و سالسیلیک اسید تعداد ساقه گل دهنده و اصلی را نسبت به عدم مصرف آن‌ها بهبود بخشید. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و بیوچار در سال دوم زراعی (جدول ۴-۱۵) نشان داد که بیشترین مقدار صفات فوق در شرایط آبیاری نرمال و کاربرد بیوچار به تنهایی (۱۰ تن در هکتار) مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سالسیلیک اسید در سال دوم زراعی بر تعداد ساقه گل دهنده و اصلی (جدول ۴-۱۶) نشان داد که بیشترین تعداد ساقه گل دهنده در شرایط کاربرد سالسیلیک اسید به تنهایی بوجود آمد که نسبت به شرایط عدم مصرف آن ۲۸ درصد بیشتر بود. اما بیشترین تعداد ساقه اصلی در شرایط کاربرد بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالسیلیک اسید به تنهایی دیده شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و سالسیلیک اسید در سال دوم زراعی بر تعداد ساقه اصلی (جدول ۴-۱۷) حاکی از اثر مثبت مصرف توام

این دو تیمار بر تعداد ساقه گل دهنده و ساقه اصلی بود، به طوری که بالاترین تعداد آن‌ها در شرایط کاربرد توام آن‌ها بدست آمد.

با کاهش مقدار رطوبت و افزایش شدت بروز تنش خشکی از رشد رویشی گیاه کاسته می‌شود و از آن جا که در شرایط بروز تنش، راهکار گیاه این است که با حداقل رشد رویشی وارد مرحله رشد زایشی شود و دوره رشد خود را به سرعت به اتمام برساند، بنابراین، تعداد شاخه جانبی روندی کاهش نشان می‌دهد (عبداللهی مایوان و همکاران، ۱۳۹۷). مینایی و حیدری (۱۳۹۳) نیز بیان نمودند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر 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، به طوری که بیشترین عملکرد زیست توده 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.

جدول ۴-۱۴ - مقایسه میانگین برخی صفات مرفولوژیک و عملکردی در سال اول زراعی تحت تاثیر اثر سه

گانه متقابل A×B×C

دور آبیاری (A) روز	بیوچار (B) تن در هکتار	سالیسیک اسید (C) میلی مولار	تعداد ساقه گل دهنده	تعداد ساقه اصلی	ارتفاع بوته متر
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۸e	۶e	۰/۴۵fe
شاهد (۵ روز)	۵	۰/۵	۱۲/۲۵b	۷/۵c	۰/۵۲b
شاهد (۵ روز)	۱۰	عدم مصرف	۹/۷۵cd	۶e	۰/۴۸d
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۰/۵	۱۰/۲۵c	۸/۵b	۰/۵۰c
شاهد (۵ روز)	۵	عدم مصرف	۹d	۷d	۰/۴۶e
شاهد (۵ روز)	۱۰	۰/۵	۱۶a	۱۰/۵a	۰/۵۶a
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۵i	۴g	۰/۳۹i
۱۰ روز	۵	۰/۵	۷/۲۵fe	۵f	۰/۴۴fe
۱۰ روز	۱۰	عدم مصرف	۶hg	۴g	۰/۴۱h
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵	۶/۵۰fg	۵/۲۵f	۰/۴۲g
۱۰ روز	۵	عدم مصرف	۵/۲۵i	۴g	۰/۴۰hi
۱۰ روز	۱۰	۰/۵	۷f	۵f	۰/۴۴fg
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۱m	۱k	۰/۲۹m
۱۵ روز	۵	۰/۵	۴kj	۳/۵h	۰/۳۶j
۱۵ روز	۱۰	عدم مصرف	۱/۷۵ml	۲j	۰/۳۲l
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵	۴/۵۰ji	۳i	۰/۳۷j
۱۵ روز	۵	عدم مصرف	۲/۵۰l	۱/۷۵j	۰/۳۳kl
۱۵ روز	۱۰	۰/۵	۳/۵۰k	۳i	۰/۳۴k

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۴-۱۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان

اروپایی در سال دوم زراعی

دور آبیاری (روز)	بیوچار (تن در هکتار)	تعداد ساقه گل دهنده	تعداد ساقه اصلی
شاهد (۵)	عدم مصرف	۱۰/۸۷۷b	۸/۸۷e
شاهد (۵)	۵	۱۱/۵۰b	۹/۵۰b
شاهد (۵)	۱۰	۱۲/۷۵a	۱۰/۷۵a
۱۰	عدم مصرف	۵/۲۵d	۳/۲۵ed
۱۰	۵	۵/۸۷cd	۳/۸۷cd
۱۰	۱۰	۶c	۴c
۱۵	عدم مصرف	۵/۲۵d	۳ef
۱۵	۵	۴e	۲g
۱۵	۱۰	۴/۳۷e	۲/۳۷fg

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۴-۱۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و سالیسیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی

بیوچار (تن در هکتار)	سالیسیک اسید (میلی مولار)	تعداد ساقه گل دهنده	تعداد ساقه اصلی
۰	۰	۱۰/۲۵b	۴/۲c
۰	۰/۵	۱۳/۱۶a	۵/۸ab
۵	۰	۴/۴۱e	۴/۲c
۵	۰/۵	۷c	۶a
۱۰	۰	۵/۴۱d	۵/۴b
۱۰	۰/۵	۳/۶۶f	۶a

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۴-۱۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکردی گل گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی

دور آبیاری (روز)	سالیسیک اسید (میلی مولار)	تعداد ساقه گل دهنده	تعداد ساقه اصلی
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۱۰/۲۵b	۸/۵۲b
شاهد (۵ روز)	۰/۵	۱۳/۱۶a	۱۱/۱۶a
۱۰	عدم مصرف	۴/۴۱e	۲/۴۱e
۱۰	۰/۵	۷c	۵c
۱۵	عدم مصرف	۵/۴۱d	۳/۲۵d
۱۵	۰/۵	۳/۶۶f	۱/۶۶f

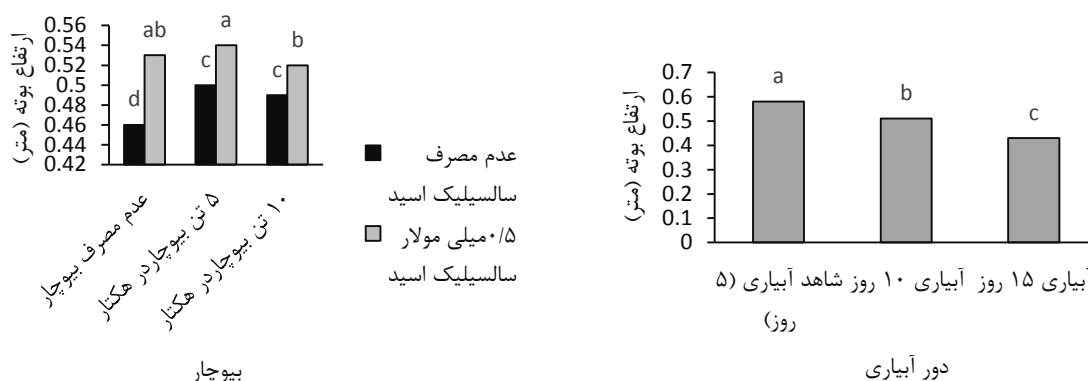
میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۱-۳-۲- ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سه گانه دور آبیاری، سالیسیک

اسید و بیوچار در سال اول زراعی بر میزان ارتفاع بوته (جدول ۴-۱۳) اثر معنی‌داری داشت، در حالی که در سال دوم زراعی تنها اثرات متقابل بیوچار و سالیسیک اسید و اثر اصلی دور آبیاری بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات سه گانه در سال اول زراعی بر ارتفاع بوته (جدول ۴-۱۴) نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع بوته در شرایط آبیاری نرمال و در زمان مصرف توام اسید سالیسیک و بیوچار به مقدار ۱۰ تن در هکتار به دست آمد و کمترین ارتفاع در دور آبیاری ۱۵ روز و در شرایط عدم مصرف آن‌ها مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری در سال دوم زراعی (شکل ۴-۱۳) نشان داد که با افزایش دور آبیاری مقدار ارتفاع کاهش یافت، به طوری که میزان ارتفاع بوته نسبت به شاهد در

دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز نسبت به شرایط نرمال آبیاری به ترتیب ۱۲ و ۲۵ درصد کاهش نشان داد. مقایسه اثرات دو گانه بیوچار و سالیلیک اسید در سال دوم زراعی (شکل ۴-۱۴) بر ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در شرایط کاربرد توام سالیلیک اسید و بیوچار و نیز کاربرد سالیلیک اسید به تنهایی مشاهده شد و کمترین ارتفاع در شرایط عدم مصرف آن‌ها مشاهده شد.

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 (غلام حسینی و همکاران، ۲۰۱۳). برخی از محققین عوامل موثر 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 (جلیل و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴-۱۳. اثرات دور آبیاری بر ارتفاع بوته در سال دوم زراعی
شکل ۴-۱۴. اثرات متقابل بیوچار و سالیلیک اسید بر ارتفاع بوته در سال دوم زراعی

۴-۱-۳-۳- وزن خشک ساقه گل دهنده، ساقه اصلی و برگ:

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه گل دهنده (جدول ۴-۱۸) نشان داد که در سال اول زراعی تنها اثر متقابل دور آبیاری و سالیلیک اسید بر وزن ساقه گل دهنده معنی‌دار بود، در حالی که در سال دوم زراعی اثر سه گانه تیمارها معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیلیک اسید در سال اول زراعی نشان داد که (شکل ۴-۱۵) کاربرد سالیلیک اسید در شرایط نرمال آبیاری بر روی وزن ساقه گل دهنده تاثیری نداشت، اما با افزایش دور آبیاری افزایش وزن ساقه

گل دهنده مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارهای آزمایش بر روی وزن خشک ساقه گل دهنده در سال دوم زراعی (جدول ۴-۱۹) نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار به تنهایی و تواما در دور آبیاری نرمال تاثیر مثبتی بر وزن خشک ساقه گل دهنده نداشت، اما در دور آبیاری ۱۰ روز کاربرد سالیسیلیک اسید به تنهایی و همراه بیوچار (۱۰ تن در هکتار) موجب افزایش وزن خشک ساقه گل دهنده شد.

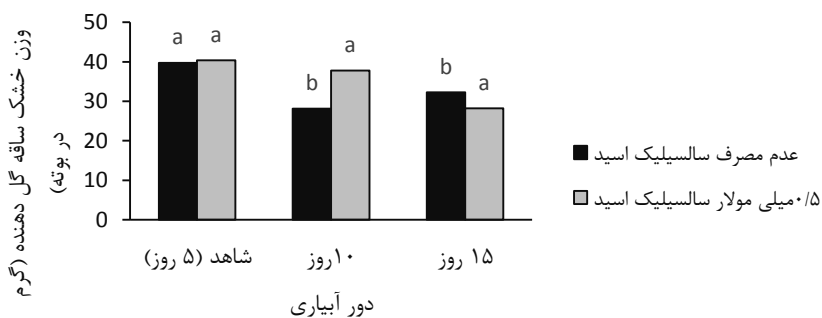
نتایج تجزیه واریانس وزن خشک ساقه اصلی و برگ نشان داد که بیوچار، سالیسیلیک اسید و دور آبیاری و اثرات دو گانه و سه گانه آنها بر صفات فوق در هر دو سال زراعی اثر معنی داری داشت (جدول ۴-۱۸). مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارهای آزمایش بر میزان وزن خشک ساقه اصلی در سال های اول و دوم زراعی (جدول ۴-۱۹) حاکی از آن بود که در سال اول زراعی بیشترین میزان وزن خشک ساقه اصلی در دور آبیاری ۱۰ روز و مصرف توام سالیسیلیک اسید و بیوچار (۱۰ تن در هکتار بیوچار) مشاهده شد. در سال دوم زراعی کاربرد بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) و نیز سالیسیلیک اسید در دور آبیاری نرمال اثری بر وزن خشک ساقه اصلی نداشت اما در دور آبیاری ۱۰ روز مصرف سالیسیلیک اسید به تنهایی و همراه با بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) موجب افزایش وزن خشک ساقه اصلی نسبت به عدم مصرف آنها شد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه بر وزن خشک برگ نشان داد (جدول ۴-۱۹) که در سال اول زراعی با افزایش دور آبیاری تا ۱۵ روز به شدت کاهش یافت که کاربرد بیوچار و سالیسیلیک اسید در این دور آبیاری اثر معنی داری ایجاد نکرد، اما بیشترین میزان وزن خشک برگ در شرایط نرمال آبیاری و در شرایط کاربرد توام سالیسیلیک اسید و بیوچار (۵ تن در هکتار) مشاهده شد. در سال دوم زراعی نیز بیشترین مقدار وزن خشک برگ با کاربرد بیوچار ۱۰ تن در هکتار (شرایط مصرف سالیسیلیک اسید و عدم مصرف آن) و ۵ تن بیوچار به تنهایی (عدم مصرف سالیسیلیک اسید) در شرایط آبیاری نرمال حاصل شد.

جدول ۴- ۱۸. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه

منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی	میانگین مربعات				وزن خشک برگ	
		وزن خشک ساقه گل دهنده		وزن خشک ساقه		وزن خشک برگ	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۳	۱۴۰/۴۸ ^{NS}	۱۳/۸۲ ^{NS}	۱۷۱/۰۶ ^{NS}	۳۵/۱۱۵ ^{NS}	۸۶۶/۸۸ ^{NS}	۳۴/۰۸۷ ^{NS}
دور آبیاری (A)	۲	۶۱۱/۰۱*	۶۰۰/۰۱۳**	۱۰۶۲/۳۲*	۳۱۸۲/۹۶۷**	۲۳۳۱/۸۶*	۵۰۶۱/۳۳۷**
خطای آزمایشی (a)	۶	۹۶/۹۸	۲۲/۰۲۳	۱۲۰/۶۳	۱۵/۸۳۰	۲۱۹/۹۶	۸/۵۸۲
بیوچار (B)	۲	۷/۳۳ ^{NS}	۵۹/۷۲۸**	۱۵۷/۸۲**	۳۹/۵۶۷ ^{NS}	۱۰۵/۳۸**	۲۰۳/۹۹۹**
اثر متقابل A×B	۴	۴۶/۷۷ ^{NS}	۱۵/۴۱۲ ^{NS}	۸۸/۹۹**	۵۸/۲۳۹*	۲۴/۰۲ ^{NS}	۱۴۳/۲۲۶**
سالیسیلیک اسید (C)	۱	۷۵/۵۶ ^{NS}	۵۰/۰۷۶*	۴۲۷/۱۱**	۳۰۱/۳۲۶**	۵۲۰/۰۹۵**	۱۵۰/۰۸۹*
اثر متقابل A×C	۲	۲۹۳/۳۸**	۱۲۶/۲۰۴**	۷۲۶/۲۱**	۶۱۰/۶۴۷**	۲۵۵/۲۰**	۵۶۲/۴۷۳**
اثر متقابل B×C	۲	۵۶/۸۷ ^{NS}	۲/۵۴۲ ^{NS}	۲۷۸/۵۵**	۱۳۶/۸۳۹**	۳۹۴/۶۷**	۲۱۳/۳۴۳**
اثر متقابل A×B×C	۴	۹۲/۳۹ ^{NS}	۷۲/۰۴۷**	۲۷۸/۳۵**	۱۳۵/۶۶۱**	۹۸/۱۴**	۱۴۵/۰۹۵**
خطای آزمایشی b	۴۵	۳۹/۷۵	۱۰/۳۷۸	۲۴/۴۷	۲۱/۵۶۱	۱۶/۰۱	۲۱/۹۶۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۳۱	۱۴/۵۶	۱۳/۴۸	۱۲/۳۱	۹/۶۶	۱۳/۷۸

^{NS} و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۴- ۱۵. اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ساقه گل دهنده در سال اول زراعی

جدول ۴-۱۹- مقایسه میانگین برخی صفات مرفولوژیک و عملکردی گیاه در سال اول زراعی تحت تاثیر اثرسه

گانه متقابل A×B×C

۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۶	۱۳۹۵	سالسیلیک اسید (C) میلی مولار	بیوچار (B) تن در هکتار	دور آبیاری (A) روز
وزن خشک برگ گرم در بوته	وزن خشک برگ گرم در بوته	وزن خشک ساقه گل دهنده	وزن خشک ساقه اصلی گرم در بوته	وزن خشک ساقه اصلی گرم در بوته			
۴۵/۰۴c	۴۴/۶۲cd	۲۵/۴۵abc	۴۷/۱۴bc	۴۷/۵۶b	عدم مصرف	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۴۸/۳۴bc	۵۷/۵۳a	۲۷/۳۱ab	۵۴/۹۴a	۴۰/۹۷bcde	۰/۵	۵	شاهد (۵ روز)
۴۵/۵۴ab	۴۷/۵۲bc	۲۹/۴۸a	۵۱/۱۴ab	۴۰/۴۷cde	عدم مصرف	۱۰	شاهد (۵ روز)
۳۸/۰۵de	۴۲/۶۴cd	۲۸/۵۳ab	۴۶/۱۵bc	۳۸/۰۹cdefg	۰/۵	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۵۳/۴۴ab	۴۵/۸۹c	۲۶/۴۳abc	۵۱/۲۹ab	۴۳/۵۷bcd	عدم مصرف	۵	شاهد (۵ روز)
۵۵/۹۴a	۴۷/۷۷bc	۲۹/۷۰a	۴۷/۵۴bc	۳۸/۵۱cdef	۰/۵	۱۰	شاهد (۵ روز)
۳۱/۰۳f	۳۵/۱۳ef	۱۸/۲۷efg	۲۶/۸۸hgi	۲۸/۰۷hi	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۰ روز
۴۳/۳۸cd	۱۶/۶۷a	۱۹/۱۳ef	۴۴/۹۸bc	۴۴/۸۸bc	۰/۵	۵	۱۰ روز
۲۷/۷۲fg	۴۵/۳۵cd	۱۸/۵۰ef	۳۶/۸۲de	۳۷/۶۳defg	عدم مصرف	۱۰	۱۰ روز
۳۱/۴۴fe	۴۵/۱۹cd	۲۴/۲۸bcd	۴۳/۰۴dc	۳۴/۳۱efgh	۰/۵	عدم مصرف	۱۰ روز
۱۸/۷۳h	۴۰/۱۲de	۱۳/۸۵gh	۲۲/۸۳hi	۲۷/۳۷hi	عدم مصرف	۵	۱۰ روز
۴۴/۸۲c	۵۱/۷۷b	۲۶/۱۸abc	۴۵/۴۲bc	۶۴/۴۹a	۰/۵	۱۰	۱۰ روز
۱۶/۲۵h	۳۲/۶۴fg	۱۶/۳۷fg	۲۱/۸۵hi	۲۹/۳۶hi	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۵ روز
۱۵/۶۱h	۳۱/۳۱fg	۱۹/۶۱ef	۲۴/۷۱fgi	۳۱/۳۴ghi	۰/۵	۵	۱۵ روز
۱۹/۰۴h	۳۳/۶۳gf	۲۲/۴۳cde	۲۸/۱۴hg	۲۶/۰۷i	عدم مصرف	۱۰	۱۵ روز
۱۹/۲۸h	۲۸/۶۶gh	۲۰/۳۹def	۲۹/۶۶fg	۲۷/۲۷hi	۰/۵	عدم مصرف	۱۵ روز
۲۸/۱۹fg	۲۳/۶۹h	۲۰/۴۱def	۳۴/۷۹fe	۲۸/۲۹hi	عدم مصرف	۵	۱۵ روز
۲۲/۱۳hg	۳۰/۴۱gf	۱۱/۲۵h	۲۱/۲۷i	۳۲/۲۹ghi	۰/۵	۱۰	۱۵ روز

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۱-۳-۴- وزن خشک کل (وزن خشک اندام هوایی بدون بخش‌های زایشی)

بر اساس نتایج آنالیز واریانس تیمارهای آزمایش وزن خشک کل در سال اول زراعی (جدول ۴-۴)

۲۱) اثرات اصلی اسید سالسیلیک و کم آبیاری و نیز اثرات متقابل سالسیلیک اسید و بیوچار و نیز سالسیلیک اسید و کم آبیاری بر صفت وزن خشک کل گیاه گاو زبان معنی‌دار بود اما در سال دوم زراعی اثرات متقابل سه گانه تیمارها معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات دو گانه دور آبیاری و سالسیلیک اسید (شکل ۴-۱۶) نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال کاربرد سالسیلیک اسید در بهبود وزن خشک

کل اثر معنی‌داری نداشت، اما بیشترین وزن خشک کل در شرایط آبیاری نرمال در شرایط مصرف سالیسیک اسید و عدم کاربرد آن و نیز ۱۰ روز همراه با سالیسیک اسید مشاهده شد. با افزایش دور آبیاری تا ۱۵ روز میزان وزن خشک کل کاهش معنی‌داری یافت گرچه کاربرد سالیسیک اسید در این دور آبیاری موثر نبود، اما در دور آبیاری ۱۰ روز میزان وزن خشک کل را بهبود بخشید.

مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهمکنش بیوچار و سالیسیک اسید در سال اول زراعی (شکل ۴-۱۷) نشان داد که سالیسیک اسید به همراه بیوچار (۱۰ تن در هکتار) وزن خشک را (نسبت به عدم مصرف سالیسیک اسید) افزایش معنی‌داری داد. کاربرد سالیسیک اسید به تنهایی نیز نسبت به شرایط عدم مصرف آن وزن خشک بالاتری داشت.

مقایسه میانگین اثرات سه گانه وزن خشک کل (جدول ۴-۲۰) نشان داد که در سال دوم زراعی با افزایش دور آبیاری نسبت به شرایط نرمال آبیاری میزان وزن خشک کل کاهش یافت (کاهش ۳۳ درصدی در دور آبیاری ۱۰ روز و ۵۵ درصدی در دور آبیاری ۱۵ روز). در دور آبیاری ۱۰ روز مصرف توام سالیسیک اسید و بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) و نیز مصرف سالیسیک اسید به تنهایی موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک کل شد، اما در دور آبیاری ۱۵ روز بیشترین مقدار وزن خشک کل با کاربرد بیوچار به تنهایی (۵ تن در هکتار) حاصل شد و در شرایط نرمال آبیاری هیچ کدام از این دو تیمار (بیوچار و سالیسیک اسید) بر روی افزایش وزن خشک کل اثر معنی‌داری نداشت.

کاربرد سالیسیک اسید موجب تخفیف اثرات تنش کم‌آبی و افزایش رشد گیاه گاوزبان شد. سالیسیک اسید از تجزیه هورمون اکسین ممانعت نموده و با تأثیر بر سیتوکین و اکسین، رشد و تقسیم سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ باعث افزایش سنتز پروتئین و آنزیم‌های مربوط به رشد می‌شود و از این طریق در تقلیل اثرات کاهش رشد ناشی از تنش خشکی بسیار موثر است (پورحیدرغفاری و همکاران، ۱۳۹۶).

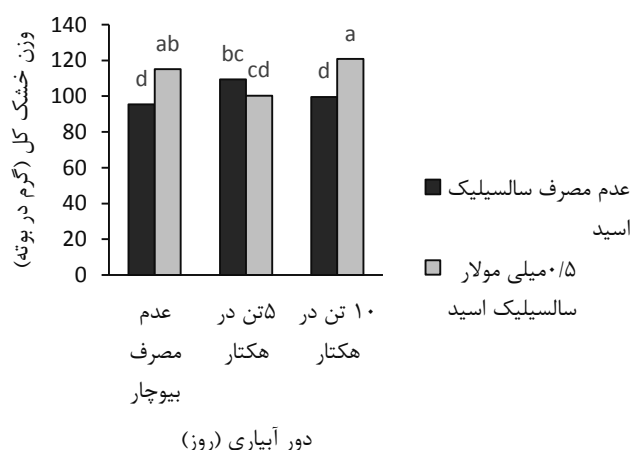
کاربرد بیوچار نیز موجب افزایش تمامی صفات موفولوژیک و عملکردی گیاه گاوزبان در مطالعه حاضر شد به طوری که بالاترین مقدار صفات فوق در شرایط نرمال آبیاری و ۱۰ روز بود که با مصرف

بیوپار بهبود یافت. اما با افزایش دور آبیاری مقدار ۵ تن در هکتار بهتر عمل کرد. امروزه اثرات بیوپار بر هر یک از مولفه‌های رشد گیاهان به خوبی شناخته شده است. بیوپار موجب بهبود اثرات منفی بر ارتفاع و سطح برگ را در شرایط تنش خشکی در گیاه بامیه شد، به طوری که میزان وزن خشک را در این گیاه به میزان ۲۰ درصد نسبت به عدم مصرف آن افزایش داد (بتول و همکاران، ۲۰۱۵). عباس و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی مقادیر مختلف بیوپار توام با سطوح مختلف خشکی نشان دادند که تنش خشکی در شرایط عدم حضور بیوپار به شکل ملایم (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش تعداد پنجه‌ها در بوته در گیاه گندم به ترتیب ۱۴ و ۳۱ درصد، کاهش وزن خشک به میزان ۱۲ تا ۱۶ درصد شد؛ اما مصرف بیوپار با بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در تعدیل شرایط تنش موثر بود. بیوپار مقدار آب قابل دسترس گیاه را به شکل معنی‌داری افزایش می‌دهد، علاوه بر آن افزایش رشد ناشی از کاربرد بیوپار می‌تواند به علت افزایش محتوای عناصر غذایی محلول خاک باشد که خود ناشی از جذب مواد غذایی بیشتر به علت تعدیل پی‌اچ خاک و یا افزایش کربن آلی خاک است، همچنین از آن جایی که کاربرد بیوپار موجب تغییر در تخلخل، رطوبت و نیز نیتروژن خاک می‌گردد، از این رو می‌تواند محیطی مناسب و نیز انرژی و غذای لازم برای باکتری‌های خاک را فراهم آورد و موجب تغییر جامعه میکروبی خاک شود (چن و همکاران، ۲۰۱۸).

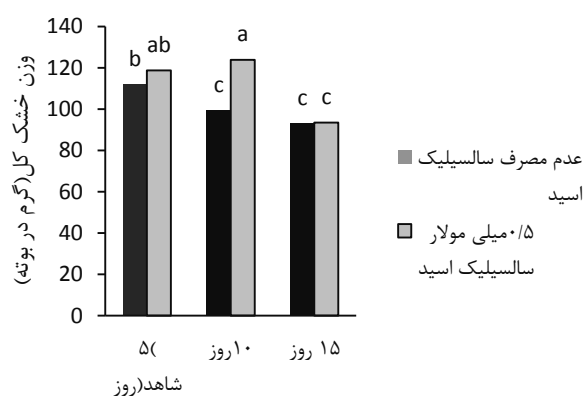
جدول ۴-۲۰. مقایسه میانگین بر وزن خشک کل در سال دوم زراعی تحت تاثیر اثرسه گانه متقابل A×B×C

دور آبیاری (A)	بیوچار (B)	اسید سالیسیک (C)	وزن خشک کل گرم در بوته
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۱۱۶/۴۰b
شاهد (۵ روز)	۵	۰/۵	۱۲۱/۸۶ab
شاهد (۵ روز)	۱۰	عدم مصرف	۱۲۴/۱۶ab
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۰/۵	۱۳۲/۷۳a
شاهد (۵ روز)	۵	عدم مصرف	۱۱۸/۶۸b
شاهد (۵ روز)	۱۰	۰/۵	۱۲۰/۶۸ab
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۷۷/۶۸efg
۱۰ روز	۵	۰/۵	۱۱۱/۶۷bc
۱۰ روز	۱۰	عدم مصرف	۸۳/۰۶۱ef
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵	۹۸/۷۶cd
۱۰ روز	۵	عدم مصرف	۷۳/۹۱fgh
۱۰ روز	۱۰	۰/۵	۹۹/۶۷cd
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۵۲/۳۵i
۱۵ روز	۵	۰/۵	۶۲/۴۳hi
۱۵ روز	۱۰	عدم مصرف	۷۴/۶۲fgh
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵	۶۹/۳۶hg
۱۵ روز	۵	عدم مصرف	۹۰/۳۹de
۱۵ روز	۱۰	۰/۵	۶۲/۱۶hi

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند



شکل ۴-۱۷. مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهمکنش بیوچار (شاهد، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سالیسیک اسید در سال اول زراعی



شکل ۴-۱۶. مقایسه میانگین مقدار وزن خشک کل تحت تأثیر برهمکنش دور آبیاری (شاهد، ۱۰ و ۱۵ روز) و سالیسیک اسید

۴-۱-۳-۵- وزن خشک و تر گل و نسبت وزن تر به وزن خشک گل: نتایج آنالیز واریانس

تیمارهای آزمایش روی وزن خشک و تر گاوزبان اروپایی (جدول ۴-۲۱) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد در سال اول زراعی بر هر دو صفات مذکور معنی دار بود، در سال دوم زراعی علاوه بر دور آبیاری، بیوچار نیز اثر معنی داری بر وزن خشک و تر گل داشت. در سال اول زراعی نسبت وزن تر گل به وزن خشک آن تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارها قرار نگرفت، در حالی که در سال دوم زراعی اثر متقابل بیوچار و دور آبیاری بر نسبت وزن تر به خشک گل معنی دار بود.

مقایسه میانگین اثرات اصلی دور آبیاری بر وزن خشک گل و نیز وزن تر آن در سال اول زراعی (جدول ۴-۲۲) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۵ و یا ۱۰ روز به ۱۵ روز میزان وزن خشک و وزن تر گل بطور چشمگیری کاهش یافت. میزان کاهش وزن خشک و تر گل نسبت به شاهد به ترتیب ۲۹ و ۳۴ درصد بود. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری بر وزن خشک و تر گل در سال دوم زراعی نشان داد که با افزایش دور آبیاری میزان وزن خشک و تر گل کاهش یافت که میان دورهای آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز از این لحاظ تفاوت معنی داری وجود نداشت.

مقایسه اثر کاربرد مقادیر مختلف بیوچار بر میزان وزن تر و خشک گل در سال دوم زراعی نشان داد که کاربرد بیوچار اثر معنی داری در افزایش وزن خشک گل داشت اما میان مقادیر بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) از این لحاظ تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۴-۲۲).

در مطالعه‌ای مشابه، اثرات ساده و متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تراکم بوته بر روی عملکرد گل گیاه گاوزبان اروپایی معنی دار بود به طوری که افزایش مقدار آبیاری از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ متر مکعب در هکتار موجب افزایش تعداد گل در تراکم مطلوب شد (عبدالهی مایوان و همکاران، ۱۳۹۷). کاهش عملکرد گل تحت تنش خشکی می تواند 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 (حیدری و مینایی، ۱۳۹۳). مصرف ۵ تن در هکتار بیوچار وزن خشک گل در گیاه گلرنگ را نسبت به شاهد ۲۷ درصد افزایش داد. به نظر می رسد با مصرف بیوچار و ایجاد شرایط مناسب در

محیط ریشه، جذب آب و انتقال آن به اندام های زایشی تا حدودی بهتر صورت می گیرد (ساجدی و ساجدی، ۱۳۹۹).

جدول ۴-۲۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مرفولوژیک و عملکردی گیاه

میانگین مربعات								منابع تغییر S. O. V	در جه آزا دی	
وزن خشک کل	وزن خشک گل	وزن تر گل	نسبت وزن تر به خشک گل	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶			
۳۳۲۱/۳۶*	۴۸/۵۷۷ ^{ns}	۵/۰۳ ^{ns}	۱/۲۴۱ ^{ns}	۹/۵۷۵ ^{ns}	۲/۱۹۳ ^{ns}	۰/۱۵۱ ^{ns}	۰/۰۰۹۲ ^{ns}		۳	تکرار
۳۳۳۶/۶۲*	۱۷۵۸۶/۷۸۱**	۷۱/۸۰*	۱۱۲/۰۵۳**	۲۵۴/۲۷۴*	۷۱/۲۴۴	۰/۰۴۹ ^{ns}	۰/۲۷۶۷**		۲	دور آبیاری (A)
۵۴۷/۵۹	۴۹/۶۲۹	۱۲/۷۳	۵/۴۰۷	۳۳/۵۳۰	۵/۲۹۹	۰/۰۶۲	۰/۰۱۹۱		۶	خطای آزمایشی (a)
۲۱۹/۵۲ ^{ns}	۲۷۲/۸۱۸*	۲/۳۷ ^{ns}	۱۳/۴۶۷**	۰/۱۷۳ ^{ns}	۱۲/۷۱۲	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۵۷**		۲	بیوچار (B)
۹۰/۲۱ ^{ns}	۴۲۷/۱۴۰**	۴/۲۴ ^{ns}	۲/۹۲۴ ^{ns}	۱۲/۰۸۳ ^{ns}	۲/۸۳۱ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۸۱*		۴	اثر متقابل A×B
۲۰۱۴/۱۷**	۱۰۲۹/۷۷۸**	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۱۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}		۱	سالیسیک اسید (C)
۹۴۲/۱۳**	۱۶۵۱/۵۵۳**	۱/۰۹ ^{ns}	۲/۲۶۸ ^{ns}	۱۳/۸۹۱ ^{ns}	۲/۵۳۱ ^{ns}	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۴۰ ^{ns}		۲	اثر متقابل A×C
۱۷۵۷/۳۵**	۴۲۳/۳۹۰*	۱/۷۴ ^{ns}	۰/۷۷۳ ^{ns}	۲/۸۱۵ ^{ns}	۰/۶۹۳ ^{ns}	۰/۰۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}		۲	اثر متقابل B×C
۱۱۳/۲۰ ^{ns}	۲۵۴/۷۲۱*	۶/۲۷ ^{ns}	۲/۲۳۰ ^{ns}	۱۸/۸۰۵ ^{ns}	۲/۲۴۵ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۳۳ ^{ns}		۴	اثر متقابل A×B×C
۱۳۴/۷۷	۸۹/۵۲۶	۲/۵۸	۱/۹۴۰	۸/۳۲۹	۱/۸۹۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲۵		۴۵	خطای آزمایشی b
۱۰/۸۷	۱۰/۰۷	۱۳/۴۹	۱۴/۶۰	۱۴/۷۸	۱۱/۱۷	۱۰/۲۲	۳/۸۸		-	ضریب تغییرات (درصد)

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴-۲۲. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری، بیوچار بر وزن تر و خشک گل در سال اول و دوم زراعی

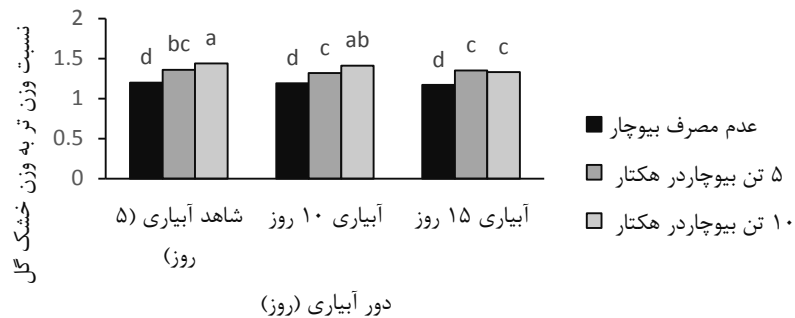
فاکتور	سطوح	وزن خشک گل	وزن تر برگ	۱۳۹۵	۱۳۹۶
دور آبیاری (روز)	شاهد (۵)	۱۲/۹۷a	۱۱/۹۷a	۲۱/۳۸a	۱۴/۲۲a
	۱۰	۱۲/۸۱a	۸/۷۷b	۲۱/۴۲a	۱۱/۷۷b
	۱۵	۹/۹۰b	۷/۸۶b	۱۵/۷۶b	۱۰/۹۰b
بیوچار (تن در هکتار)	عدم مصرف	۱۱/۵۶a	۸/۰۷b	۱۹/۴۲a	۱۱/۵۶b
	۵ تن در هکتار	۱۱/۹۵a	۹/۵a	۱۸/۵۱a	۱۲/۳۳ab
	۱۰ تن در هکتار	۱۲/۱۸a	۱۰/۲۶a	۱۹/۸a	۱۳/۰۱a

۴-۱-۳-۶- نسبت وزن تر به خشک گل:

نتایج آنالیز واریانس روی نسبت وزن تر به وزن خشک گل نشان داد که هیچ یک از فاکتورهای

آزمایش در سال اول زراعی بر آن موثر نبود در حالی که در سال دوم زراعی اثر ساده بیوچار و نیز اثرات

متقابل بیوچار و دور آبیاری معنی دار شد (جدول ۴-۲۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار در سال دوم زراعی نشان داد که تنها در بالاترین دور آبیاری (۱۵ روز) کاربرد بیوچار موجب کاهش نسبت وزن تر به وزن خشک گل شد (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر وزن نسبت وزن تر به وزن خشک گل

۴-۱-۳-۷-نیترژن کل گیاه:

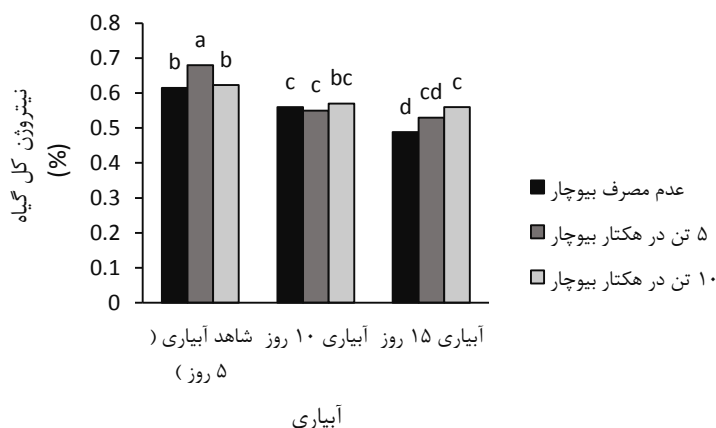
طبق نتایج آنالیز واریانس (جدول ۴-۲۳) در سال هر دو سال زراعی اثرات متقابل دو گانه بیوچار و آبیاری بر میزان نیترژن کل معنی دار بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری در سال اول زراعی (شکل ۴-۱۹) نشان داد که کاربرد بیوچار (۵ تن در هکتار) موجب افزایش نیترژن گیاه در شرایط نرمال آبیاری شد. گرچه در سایر دوره‌های آبیاری کاربرد بیوچار (۱۰ تن) موجب افزایش نیترژن گیاه شده، اما این افزایش معنی دار نبود.

جدول ۴-۲۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات مورفولوژیک و عملکردی گیاه

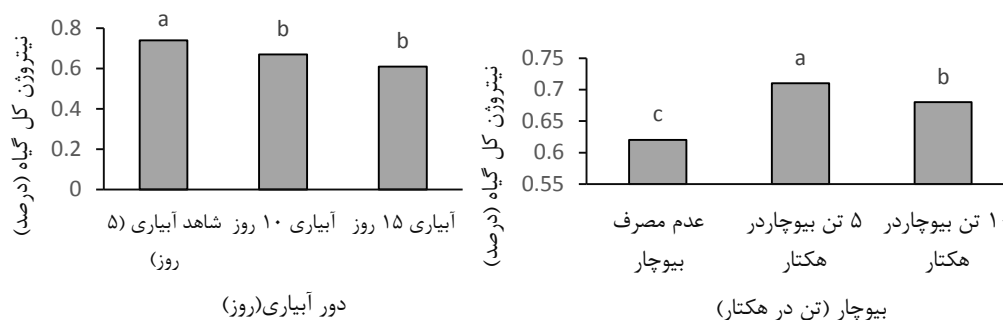
منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی	نیتروژن گیاه ۱۳۹۵ ۱۳۹۶	تعداد دانه ۱۳۹۶	وزن هزار دانه ۱۳۹۶	درصد روغن دانه ۱۳۹۶
تکرار	۳	۰/۰۰۵ ^{ns}	۲۵/۹۰ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۳۱۱ ^{ns}
دور آبیاری (A)	۲	۰/۰۷۸۴ ^{**}	۳۲۹۶/۵۴ ^{**}	۱۶۴/۰۸ ^{**}	۳۵۴/۶۹ ^{**}
خطای آزمایشی (a)	۶	۰/۰۰۶۰	۱۵/۴۳	۲/۵۸	۰/۵۸۱
بیوچار (B)	۲	۰/۰۰۸۸ [*]	۶/۱۲ ^{ns}	۱۴/۰۶ ^{**}	۲۰/۵۲ [*]
اثر متقابل A×B	۴	۰/۰۰۷۸ [*]	۳/۲۲ ^{ns}	۵/۰۴ ^{**}	۳/۳۵ ^{ns}
سالیسیک اسید (C)	۱	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۴/۰۷ ^{ns}	۱/۸۵ ^{ns}
اثر متقابل A×C	۲	۰/۰۰۲۶ ^{ns}	۱۶/۷۹ ^{ns}	۱/۱۶ ^{ns}	۸/۸۵ [*]
اثر متقابل B×C	۲	۰/۰۰۲۳ ^{ns}	۱/۱۲۹ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۱/۲۹ ^{ns}
اثر متقابل A×B×C	۴	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۱۶/۶۴ ^{ns}	۰/۵۸ ^{ns}	۶/۶۰ [*]
خطای آزمایشی b	۴۵	۰/۰۰۲۴	۱۰/۹۲	۱/۳۶	۱/۸۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۵۴	۱۶/۷۶	۱۰/۹۵	۴/۸۵

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری در سال دوم زراعی نشان داد (شکل ۴-۲۰) که با افزایش دور آبیاری میزان نیتروژن گیاه کاهش یافت اما تفاوت معنی داری از لحاظ مقدار نیتروژن گیاه در دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز وجود نداشت. مقایسه میانگین کاربرد بیوچار بر میزان نیتروژن گیاه در سال دوم زراعی (شکل ۴-۲۱) نشان داد که کاربرد بیوچار با مقادیر ۵ و ۱۰ تن در هکتار میزان نیتروژن گیاه را به مقادیر ۱۴/۵ و ۹/۶ درصد افزایش داد.



شکل ۴-۱۹. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر میزان نیتروژن کل گیاه در سال اول زراعی



شکل ۴-۲۱. اثرات بیوچار بر میزان نیتروزن کل گیاه در سال دوم زراعی

شکل ۴-۲۰. اثرات دور آبیاری بر میزان نیتروزن کل گیاه در سال دوم زراعی

نیتروزن یکی از اجزای تشکیل دهنده بسیاری از مولکول‌های مهم از قبیل پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، برخی هورمون‌ها (از قبیل ایندول استیک اسید و سایتوکینین) و کلروفیل می‌باشد. یافته‌های این تحقیق با مطالعه قلی نژاد درباره اثرات منفی تنش خشکی در کاهش میزان نیتروزن گیاه گل گاوزبان اروپایی هم سو بود (قلی نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). تنش کم آبی از طریق کاهش توان جذب نیتروزن و نیز فعالیت آنزیم‌های تثبیت کننده نیتروزن (نیترات ردوکتاز^۱ و گلوتامین سنتاز^۲) میزان دسترسی گیاه به نیتروزن را کاهش می‌دهد. آنزیم نیترات ردوکتاز در تنظیم متابولیسم نیتروزن تحت تنش‌های محیطی دخالت دارد. در برخی گزارش‌ها عنوان شده است که فعالیت آنزیم مذکور تحت تأثیر تنش خشکی ممانعت می‌شود (سائو و همکاران، ۲۰۱۸؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸). این بازدارندگی می‌تواند به واسطه کاهش قابلیت دسترسی و جذب نیتروزن توسط ریشه و نیز جریان آهسته نیتروزن از ریشه به برگ‌ها و در نهایت، کاهش مقادیر نیترات برگ طی تنش خشکی اتفاق بیافتند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸). برخی از پژوهش‌ها افزایش نیتروزن در گیاهان مختلف را با کاربرد بیوچار گزارش نموده‌اند (سان و همکاران، ۲۰۱۹؛ یاوادا و همکاران، ۲۰۱۹). در گیاه برنج کاربرد بیوچار موجب افزایش ۲۳ تا ۲۷ درصدی جذب نیتروزن از ریشه شد، همچنین کاربرد ۵ تا ۲۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش کارایی نیتروزن به میزان ۵/۲ تا ۳۷/۹ درصد در گندم شد (سائو و همکاران، ۲۰۱۸). بیوچار از طریق

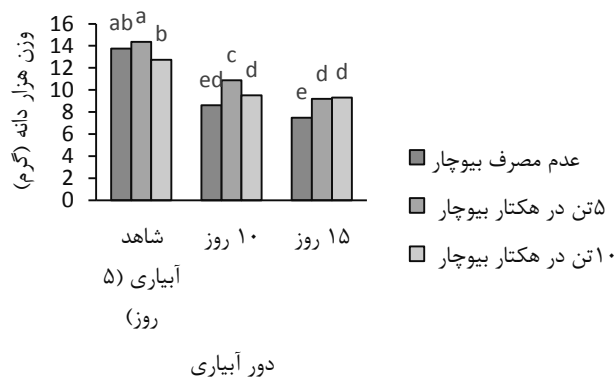
^۱ (NR) Nitrate reductases
^۲ (GS) Glutamine synthetase

افزایش جذب و نگهداری نیتروژن (به شکل نیترات و آمونیوم) و کاهش آبشویی فسفر و نیتروژن، در افزایش کارایی نیتروژن گیاه نقش دارد. این اثر مثبت بیوپار ناشی از سطح ویژه بالای بیوپار و افزایش تبادل کاتیونی خاک است. علاوه بر آن، ساختار متخلخل بیوپار افزایش رشد ریشه و ایجاد فضای بهتر برای رشد آن را به دنبال دارد و همین امر نیز در افزایش کارایی نیتروژن موثر است علاوه بر آن کاربرد بیوپار موجب افزایش تثبیت نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌ها می‌گردد که این امر را با تغییر نسبت کربن به نیتروژن و نیز میزان pH و اکسیژن خاک تسهیل می‌کند به طوری که افزودن بیوپار (۹۰ کیلوگرم بر گرم خاک) موجب افزایش تثبیت بیولوژیکی لوبیا از ۵۰ درصد (در شرایط عدم مصرف بیوپار) به ۷۲ درصد شد (ژو و همکاران، ۲۰۱۹).

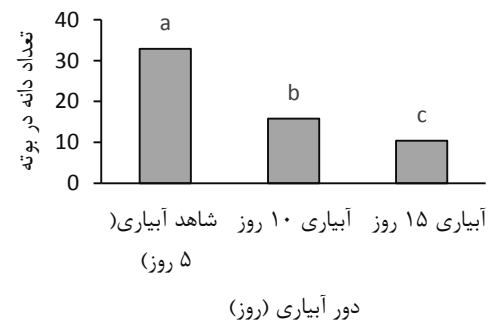
۴-۳-۱-۸- تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر تعداد دانه و وزن هزار دانه در بوته گاو زبان اروپایی در سال دوم زراعی (جدول ۴-۲۳) نشان داد که دور آبیاری اثر معنی‌داری هم بر روی تعداد دانه و هم وزن هزار دانه داشت. اما اثر متقابل بیوپار و دور آبیاری تنها بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرات ساده دور آبیاری بر روی تعداد دانه (شکل ۴-۲۲) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از شرایط نرمال به ۱۰ و ۱۵ روز تعداد دانه در بوته به ترتیب ۵۰ و ۶۸ درصد کاهش یافت. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوپار و دور آبیاری بر وزن هزار دانه (شکل ۴-۲۳) نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۵ روز به ۱۰ و ۱۵ روز میزان وزن هزاردانه به شدت کاهش یافت، گرچه تفاوتی میان مصرف و عدم مصرف بیوپار در دور آبیاری ۵ روز وجود نداشت، اما در دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز مصرف بیوپار باعث افزایش وزن هزار دانه در این گیاه 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 کاهش بسیار زیاد عملکرد را به دنبال دارد (دیوسالار و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج مطالعه بیطرفان و همکاران (۲۰۱۹) روی کاربرد بیوپار در گیاه دارویی شنبلیله در شرایط تنش خشکی نشان داد که کاربرد بیوپار کاه و کلش کلزا و گندم، به ترتیب در شرایط خشکی موجب

افزایش ۹/۲ و ۱۳/۵ درصدی تعداد دانه در غلاف شد. علاوه بر آن بیوچار کاه و کلش کلزا عملکرد دانه را به میزان ۲۱ درصد افزایش داد.

کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی ناشی از کاهش فتوسنتز در این شرایط است. کاهش تولید مواد فتوسنتزی شده موجب رسیدن سریع دانه ها می گردد، در نتیجه وزن هزار دانه گیاه کاهش می یابد (چمنی و همکاران، ۱۳۹۷). احتمالاً بیوچار با بهبود شرایط رشدی گیاه موجب افزایش میزان فتوسنتز و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه می شود و با افزایش میزان مواد فتوسنتزی در دانه، از کاهش تعداد و وزن آن جلوگیری می نماید.



شکل ۴-۲۳. اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر وزن هزار دانه در سال دوم زراعی



شکل ۴-۲۲. اثرات دور آبیاری بر تعداد دانه در بوته در سال دوم زراعی

۴-۳-۱-۹- درصد روغن: نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر درصد روغن دانه های گاوزبان اروپایی در سال دوم زراعی (جدول ۴-۲۳) نشان داد که اثرات سه گانه دور آبیاری، بیوچار و سالیسیک اسید بر میزان درصد روغن اثر معنی داری داشت. مقایسه میانگین اثرات سه گانه نشان داد (جدول ۴-۲۴) با افزودن دور آبیاری درصد روغن دانه کاهش یافت، به طوری که در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز درصد روغن به ترتیب ۳ و ۷ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان داد. کاربرد بیوچار و سالیسیک اسید و عدم مصرف آن ها در دوره های آبیاری مختلف اثرات متفاوتی بر درصد روغن داشت، به طوری که در حالی که مصرف آن ها به تنهایی و همزمان با یکدیگر در دور آبیاری نرمال و ۱۰ روز تفاوت معنی داری نسبت به عدم مصرف آن ایجاد ننمود، اما در دور آبیاری ۱۵ روز کاربرد

همزمان سالیسیلیک اسید و بیوچار (۱۰ تن در هکتار) موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن نسبت به سایر شرایط عدم استفاده از این دو فاکتور یا استفاده از هر کدام از آن‌ها به‌تنهایی شد. با افزایش شدت تنش آبی، مقدار تنفس گیاه افزایش می‌یابد و از این طریق انرژی نگهداری پایه گیاه بیشتر و از ذخایر چربی گیاه کاسته خواهد شد در نتیجه، درصد روغن دانه کاهش می‌یابد (سیبی و همکاران، ۱۳۹۳). از دلایل دیگر آن می‌توان به حساسیت زیاد تجمع لیپیدها نسبت به تنش خشکی در مرحله دانه بندی و کاهش فتوسنتز جاری و کاهش مواد فتوسنتزی عرضه شده برای پر شدن دانه و همچنین کاهش طول دوره پر شدن دانه اشاره داشت (دیو سالار و همکاران، ۱۳۹۵).

سیبی و همکاران نشان دادند که با افزایش شدت تنش آبی در گیاه آفتابگردان درصد روغن دانه کاهش پیدا کرد، به طوری که بیشترین میزان درصد روغن دانه در تیمار بدون تنش و کمترین آن متعلق به تیمار تنش شدید بود و مصرف سالیسیلیک اسید در افزایش درصد روغن دانه این گیاه مؤثر بود. سالیسیلیک اسید به هنگام وجود تنش آبی توانسته مانع از رسیدن آسیب زیاد به گیاه شود و گیاه به واسطه برخورد کمتر با شرایط تنش زای محیطی توانسته است درصد روغن خود را حفظ کرده و از کاهش بیشتر آن جلوگیری نماید (سیبی و همکاران، ۱۳۹۳). علاوه بر آن نه تنها سالیسیلیک اسید نقش مثبتی در فعالیت‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های مربوط به فتوسنتز دارد، بلکه باعث انتقال بهتر مواد پرورده از منبع به مخزن می‌شود، در نتیجه موجب رشد بهتر و عملکرد بیشتر گیاهان می‌شود (چمنی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۴-۲۴. مقایسه میانگین درصد روغن دانه در سال دوم زراعی تحت تاثیر اثر متقابل A×B×C

دور آبیاری (A)	بیوچار (B)	اسید سالیسیک (C)	روغن دانه (درصد)
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۳۱/۰۴abcd
شاهد (۵ روز)	۵	۰/۵	۳۱/۲۷abcd
شاهد (۵ روز)	۱۰	عدم مصرف	۳۲/۰۴ab
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۰/۵	۳۱/۳۱bc
شاهد (۵ روز)	۵	عدم مصرف	۳۲/۶۱a
شاهد (۵ روز)	۱۰	۰/۵	۳۰/۱۶bcde
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۲۸/۸۶fg
۱۰ روز	۵	۰/۵	۲۷/۶۱fg
۱۰ روز	۱۰	عدم مصرف	۲۹/۸۲cde
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵	۲۹/۲۱edf
۱۰ روز	۵	عدم مصرف	۳۰/۷۹abcd
۱۰ روز	۱۰	۰/۵	۲۲/۸۶efg
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۲۱/۸۶j
۱۵ روز	۵	۰/۵	۲۲/۵۸ij
۱۵ روز	۱۰	عدم مصرف	۲۴/۷۲h
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵	۲۳/۸۸hi
۱۵ روز	۵	عدم مصرف	۲۳/۳۵hi
۱۵ روز	۱۰	۰/۵	۲۶/۷۲g

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۳-۱-۱۰- ترکیب و مقدار اسیدهای چرب دانه:

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اعمال تیمارهای دور آبیاری و سالیسیک اسید در سال زراعی دوم در سطح احتمال ۱ درصد بر تمامی اسیدهای چرب اندازه گیری شده تاثیر معنی داری داشت همچنین تاثیر بیوچار تنها بر اروسیک اسید و اثرات متقابل بیوچار و دور آبیاری بر میزان ایکوسادونیک اسید معنی دار بود. اثرات متقابل سه گانه تیمارها نیز تنها بر آراشیدیک اسید معنی دار شد (جدول ۴-۲۵ و ۴-۲۶). در این آزمایش، از میان ۱۲ اسیدها چرب استخراج شده از دانه، بیشترین سهم مربوط به گاما لینولنیک اسید (۵۴/۴۹ میلی گرم در گرم)، لینولئیک (۶۲/۲۳ میلی گرم در گرم)، پالمیتیک (۲۹/۲ میلی گرم در گرم) و اولئیک اسید (۲۷/۸ میلی گرم در گرم) بود. کمترین آن‌ها در

آلفا لینولنیک (۰/۵۲ میلی گرم در گرم)، پالمیتولئیک (۰/۷۳ میلی گرم در گرم) و بهنیک اسید (۰/۶۵ میلی گرم در گرم) مشاهده شد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیلیک اسید (جدول ۴-۲۷ و ۴-۲۸) نشان داد که افزایش دور آبیاری موجب کاهش مقدار تمامی اسیدهای چرب نسبت به شرایط نرمال آبیاری شد، به طوری که با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز میزان تمامی اسیدهای چرب نسبت به حالت نرمال آبیاری کاهش یافت. کاربرد سالیسیلیک اسید به همراه دور آبیاری اثرات متفاوتی بر مقدار اسیدهای چرب داشت به طوری که در شرایط نرمال آبیاری کاربرد سالیسیلیک اسید موجب بهبود اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، گاما لینولنیک، ایکوسادینو اسید و اروسیک اسید و دوکوسپنتائیک اسید شد و آن‌ها را نسبت به حالت عدم مصرف آن به میزان کمتری کاهش داد. در دور آبیاری ۱۵ روز نیز (تنش شدید) کاربرد سالیسیلیک اسید بر مقدار اسیدهای چرب اولئیک اسید، گاما لینولنیک اسید و آلفا لینولنیک اسید و بهنیک اسید و ایکوسادینو اسید و نیز اروسیک اسید اثر مثبتی داشت اما در دور آبیاری ۱۰ روز هیچ اثر مثبتی در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید بر اسیدهای چرب مشاهده نشد (جدول ۴-۲۷ و ۴-۲۸). کاربرد بیوچار میزان اسیدهای چرب اروسیک اسید (شکل ۴-۲۴) را کاهش داد اما میان مقادیر مختلف بیوچار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) از این لحاظ تفاوتی وجود نداشت. مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارها بر میزان آراشیدیک اسید (جدول ۴-۲۹) نشان داد که بیشترین میزان آن در شرایط آبیاری نرمال و با کاربرد توام بیوچار (۵ تن در هکتار) و سالیسیلیک اسید بود. کمترین مقدار این اسید چرب هم در دور آبیاری ۱۵ روز و عدم مصرف بیوچار و سالیسیلیک اسید مشاهده شد. خشکی سبب تغییر مقدار اسیدهای چرب در گیاهان مختلف از جمله پونه کوهی (مرشدلو و همکاران، ۲۰۱۷) برگ بو (ماتالاه و همکاران، ۲۰۱۶) و آفتابگردان (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹) شده است. محققان درباره اثرات تنش خشکی بر اسیدهای چرب پالمیتیک نظر یکسانی ندارند، به طوری که بیان نمودند تنش خشکی ممکن است موجب کاهش پالمیتیک اسید (افشاری و رمزجو، ۲۰۱۰) و افزایش آن (نورائی و همکاران، ۲۰۱۶) گشته و حتی ممکن است تغییری در آن ایجاد نکند (ندرال و همکاران، ۲۰۱۴؛ اکبری و

همکاران، ۲۰۱۹). علی‌رغم مطالعات قبلی میزان استتاریک اسید نیز در آفتابگردان (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹) کاهش یافت. در مطالعه‌ای تاثیر کم آبی بر روی گیاهان آفتابگردان، گلرنگ و کنجد در شرایط خشکی مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که خشکی موجب کاهش معنی دار اسیدهای چرب اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید در تمامی گیاهان یاد شده شد. میزان کاهش لینولئیک و پالمیتیک اسید در آفتابگردان ۲۳/۳ و ۲۸/۵ درصد، در گلرنگ ۲۹/۸ و ۲۵/۵ درصد و در کنجد ۲۴/۷ و ۲۲/۶ درصد بود (ابراهیمیان و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه عباس پور و همکاران (۱۳۹۷) اعمال تیمارهای تنش آبی اثرات متفاوت افزایشی و کاهشی بر میزان اسیدهای چرب موجود در سیاهدانه داشت. مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری نشان داد که آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی بیشترین تاثیر را بر افزایش اسیدهای چرب مریستیک، پالمیتیک و لینولئیک داشت. آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی نیز موجب افزایش این اسیدهای چرب در مقایسه با تیمار نرمال آبیاری شد ولی تنش آبیاری در اسید استتاریک موجب کاهش این اسید چرب شد. اسید اولئیک به تیمار تنش آبیاری واکنشی نشان نداد. کاربرد بیوچار بر اسیدهای چرب مریستیک، پالمیتیک و لینولئیک موثر بود و کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار تاثیر بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت. کاربرد سالسیلیک در گیاه سویا موجب افزایش لینولئیک و لینولنیک اسید شد (قاسمی گلزانی و فرهنگی آبریز، ۲۰۱۸). علت این امر را افزایش سیالیت غشا و آنزیم اولئیل فسفاتیدیل کولین D12 دیسموتاز و اختلال در انتقال و تبدیل اسیدهای چرب به یکدیگر در سلول های سیتوسول و پلاستید گیاه گزارش نموده‌اند (قاسمی گلزانی و فرهنگی آبریز، ۲۰۱۸).

جدول ۴-۲۵. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم

میانگین مربعات							منابع تغییر S. O. V
دو کوساپنتانثیک اسید	اروسیک اسید	بهنیک اسید	ایکوسادینو اسید	آراشیدیک اسید	آلفا لینولنیک اسید	درج ه آزاد ی	
۰/۰۲۱۸۹ ^{NS}	۰/۰۳۷۵۰ ^{NS}	۰/۰۰۰۸ ^{NS}	۰/۲۱۲۵ ^{NS}	۰/۰۰۵۳*	۰/۰۰۱۰ ^{NS}	۳	تکرار
۲/۰۸۵۵**	۲۰/۳۶۹۵**	۱/۲۵۲۳**	۹/۶۷۴**	۰/۵۴۹۹**	۱/۱۷۵۶**	۲	تنش کم آبیاری (A)
۰/۰۱۶۹	۰/۰۴۶۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸	۶	خطای آزمایشی (a)
۰/۰۳۹۸ ^{NS}	۰/۱۰۲۳**	۰/۰۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۳۳۷ ^{NS}	۰/۰۰۵۹*	۰/۰۰۱۶ ^{NS}	۲	بیوچار (B)
۰/۰۱۴۱ ^{NS}	۰/۰۰۸۴ ^{NS}	۰/۰۰۱۱۶ ^{NS}	۰/۰۶۷۸*	۰/۰۰۵۱**	۰/۰۰۱۳ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B
۰/۴۳۹۰**	۱/۱۰۵۶**	۰/۰۴۲۰**	۱/۱۸۷۴**	۰/۰۰۲۶ ^{NS}	۰/۰۰۸۱**	۱	سالیسیک اسید (C)
۰/۱۹۵۲**	۳/۲۵۳۰**	۰/۰۱۸۷**	۰/۹۳۶۳**	۰/۰۰۴۳*	۰/۰۰۹۵**	۲	اثر متقابل A×C
۰/۰۱۲۹ ^{NS}	۰/۰۰۴۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۸۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۴ ^{NS}	۰/۰۰۲۱ ^{NS}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۰۰۷۱ ^{NS}	۰/۰۲۱۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۸۴ ^{NS}	۰/۰۴۵ ^{NS}	۰/۰۰۴۷*	۰/۰۰۱۰ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۰۱۳	۰/۰۱۴۹	۰/۰۰۱۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱	۴۵	خطای آزمایشی b
۳/۲۸	۱/۷۶	۸/۴۱	۱/۸۷	۵/۱۶	۱۱/۱۰	-	ضریب تغییرات (درصد)

^{NS} و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴-۲۶. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم زراعی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر S. O. V
پالمیتیک اسید	پالمیتولیک اسید	استئاریک اسید	لینولنیک اسید	اولئیک اسید	گاما لینولنیک اسید		
۴/۹۹ ^{NS}	۰/۰۱۰۹ ^{NS}	۰/۲۴۱ ^{NS}	۶۸/۵۶ ^{NS}	۴/۲۲۶ ^{NS}	۱۳/۴۶۴ ^{NS}	۳	تکرار
۹۱/۴۸**	۱/۰۲۵**	۲۱/۸۲۹**	۳۰۲/۷۹*	۱۰۴/۵۶۲**	۲۹۵/۴۰۵**	۲	دور آبیاری (A)
۳/۷۸	۰/۰۰۷۵	۰/۰۱۰۱	۵۵/۶۲	۳/۰۶۷	۹/۱۵۵	۶	خطای آزمایشی (a)
۳/۲۹ ^{NS}	۰/۰۰۳۱ ^{NS}	۰/۱۰۵ ^{NS}	۲/۷۰۷ ^{NS}	۱/۸۶۴ ^{NS}	۵/۵۹۰ ^{NS}	۲	بیوچار (B)
۰/۸۹ ^{NS}	۰/۰۰۲۰ ^{NS}	۰/۰۱۲ ^{NS}	۱/۴۷۹ ^{NS}	۰/۱۰۴ ^{NS}	۰/۳۳۱ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B
۶/۸۶*	۰/۰۰۱۵ ^{NS}	۰/۰۱۶ ^{NS}	۶/۷۲۵*	۵/۳۵۸**	۲/۶۴۵ ^{NS}	۱	سالیسیک اسید (C)
۱۶/۱۴**	۰/۱۱۸**	۲/۰۴۰**	۳۸/۷۶**	۱۴/۷۹۲**	۳۱/۷۷۵**	۲	اثر متقابل A×C
۱/۲۵ ^{NS}	۰/۰۰۱۵ ^{NS}	۰/۰۲۱ ^{NS}	۱/۲۲۵ ^{NS}	۰/۴۱۷ ^{NS}	۱/۰۳۵ ^{NS}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۷۵ ^{NS}	۰/۰۰۲۴ ^{NS}	۰/۰۲۸ ^{NS}	۱/۵۲۸ ^{NS}	۰/۴۹۳ ^{NS}	۰/۹۲۳ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B×C
۱/۰۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۳۴	۱/۲۰۴	۰/۳۱۱	۲/۰۸	۴۵	خطای آزمایشی b
۳/۶۴	۶/۶۱	۲/۱۲	۱/۸۴	۲/۱۲	۲/۷۷۰	-	ضریب تغییرات (درصد)

^{NS} و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴-۲۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیک اسید بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم

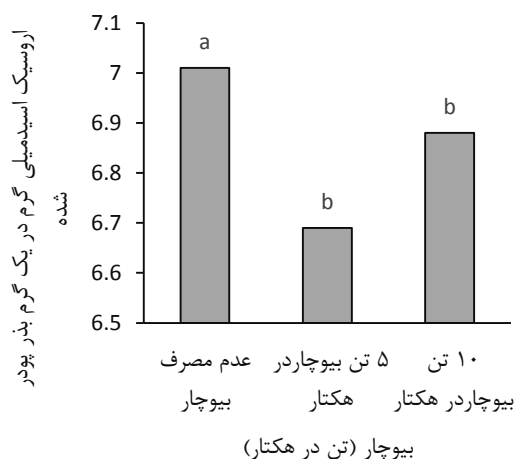
زراعی							دور آبیاری روز
اولئیک اسید	لینولئیک اسید	گاما لینولئیک اسید	پالمیتولئیک اسید	استئاریک اسید	پالمیتیک اسید	سالیسیک اسید	
میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی مولار	
۲۷/۸۷b	۶۲/۲۳a	۵۴/۴۹a	۰/۷۳b	۵/۹b	۲۹/۲۰b	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۲۸/۴۰a	۶۲/۳۳a	۵۵/۸۹a	۰/۸۹a	۹/۷۹a	۳۱/۵۱a	۰/۵	شاهد (۵ روز)
۲۷/۲۳c	۶۱/۵۵b	۵۳/۲۳b	۰/۵۷c	۹/۰۵c	۲۸/۶۶b	عدم مصرف	۱۰
۲۶/۲۱d	۵۹/۵۲c	۵۱/۱۰c	۰/۴۵d	۸/۴۲d	۲۷/۶۸c	۰/۵	۱۰
۲۲/۹۷f	۵۷/۰۸d	۴۷/۲۴e	۰/۴۲e	۷/۹۸e	۲۶/۴۰d	عدم مصرف	۱۵
۲۵/۰۹e	۵۳/۷۰e	۴۹/۶۲d	۰/۴۱e	۷/۵۲f	۲۶/۷۲d	۰/۵	۱۵

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

جدول ۴-۲۸. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و سالیسیک اسید بر اسیدهای چرب دانه در سال دوم

زراعی						دور آبیاری روز
دوکوساپنتائئیک اسید	اروسیک اسید	ایکوسادینو اسید	آلفا لینولئیک اسید	بهنیک اسید	سالیسیک اسید	
میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده	میلی مولار	
۳/۶۸b	۷/۵۴b	۸/۴۲b	۰/۵۲a	۰/۶۵a	عدم مصرف	شاهد (۵ روز)
۴a	۸/۱۴a	۹/۰۱a	۰/۵۳a	۰/۶۸a	۰/۵	شاهد (۵ روز)
۳/۵۵c	۷/۲۸c	۸/۲۴c	۰/۲۳b	۰/۳۵b	عدم مصرف	۱۰
۳/۵۱c	۶/۶۹d	۸/۰۶d	۰/۲۲b	۰/۳۵b	۰/۵	۱۰
۳/۱۵e	۵/۶۳f	۷/۲۶f	۰/۰۶d	۰/۱۶d	عدم مصرف	۱۵
۳/۳۵d	۶/۳۷e	۷/۳۶e	۰/۱۳c	۰/۲۷c	۰/۵	۱۵

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند



شکل ۴-۲۵. اثرات بیوچار بر میزان اروسیک اسید دانه در سال دوم زراعی

جدول ۴-۲۹. مقایسه میانگین اثرات سه گانه آراشیدیک اسید دانه در سال دوم زراعی تحت تاثیر

متقابل A×B×C

دور آبیاری (A)	بیوچار (B)	اسید سالیسیلیک (C)	آراشیدیک اسید میلی گرم در یک گرم بذر پودر شده
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۸۲c
شاهد (۵ روز)	۵	۰/۵	۰/۸۳c
شاهد (۵ روز)	۱۰	عدم مصرف	۰/۸۴bc
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۰/۵	۰/۹۱a
شاهد (۵ روز)	۵	عدم مصرف	۰/۸۲c
شاهد (۵ روز)	۱۰	۰/۵	۰/۸۹ab
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۶۸d
۱۰ روز	۵	۰/۵	۰/۶۵de
۱۰ روز	۱۰	عدم مصرف	۰/۶۵de
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵	۰/۶۴def
۱۰ روز	۵	عدم مصرف	۰/۶۲efg
۱۰ روز	۱۰	۰/۵	۰/۶۱efg
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۵۱j
۱۵ روز	۵	۰/۵	۰/۵۷ghi
۱۵ روز	۱۰	عدم مصرف	۰/۵۹fgh
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵	۰/۵۶hij
۱۵ روز	۵	عدم مصرف	۰/۵۴ij
۱۵ روز	۱۰	۰/۵	۰/۵۴ij

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۲- خصوصیات خاک

۴-۲-۱- تنفس خاک

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر میزان تنفس خاک (جدول ۴-۳۰) نشان داد که اثرات متقابل دور آبیاری و بیوچار در هر دو سال زراعی در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان تنفس خاک معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات دو گانه دور آبیاری و بیوچار (جدول ۴-۳۱) نشان داد که در هر دو سال زراعی با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز میزان تنفس خاک کاهش یافت. در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد ۵ تن در هکتار بیوچار نسبت به عدم مصرف آن و نیز مصرف ۱۰ تن در هکتار آن تنفس خاک بالاتر بود. نتایج در خصوص اثر بیوچار بر تنفس خاک بسیار متنوع است، به طوری استینر و همکاران (۲۰۱۱) افزایش فعالیت و سرعت رشد میکروبی را با افزودن بیوچار به خاک مشاهده کردند. ژو و همکاران (۲۰۱۶) افزایش چشمگیر تنفس خاک با کاربرد بیوچار بعد از ۵ و ۶ ماه گزارش کردند. روتیگلیانو و همکارانش (۲۰۱۴) نیز مشاهده کردند که میزان تنفس خاک در ۳ ماه اول نسبت به شاهد افزایش داشته و بعد از ۱۴ ماه تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها دیده نشد. میزان رطوبت خاک نیز در تجزیه مواد آلی و دی‌اکسید کربن خاک موثر است. خشکی عملکرد فیزیولوژیکی میکروب‌ها و انتشار مواد غذایی در منافذ خاک را محدود می‌کند و از این طریق موجب کاهش تنفس می‌گردد. از طرفی بیوچار با افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک باعث تعدیل شرایط تنش رطوبتی در خاک شده و افزایش در تنفس خاک می‌تواند نتیجه تجزیه کربن آلی خاک تحت شرایط رطوبتی بهتر باشد. علاوه بر آن در طی فرایند پیرولیز، منافذ میان ذرات ۱۰۰۰ برابر می‌شود و این فضاهای خالی محیطی مناسب برای میکروب‌ها فراهم می‌آورد. به عنوان مثال در مایکوریزا این منافذ به هیف‌های قارچ کمک می‌کند تا از گزند آفات و همچنین رقابت برای انرژی و مواد غذایی در امان باشد علاوه بر آن، باکتری‌ها ممکن است در سطح بیوچار جذب شوند که موجب می‌شود قابلیت سوسپانسیونی آن‌ها کمتر شود و در نتیجه آبشویی آن‌ها کمتر شود (کامان و همکاران، ۲۰۱۱). عباسپور و همکاران (۱۳۹۷) وابستگی تنفس

میکروبی با کربن آلی و عناصر غذایی را گزارش نمودند. نتایج همبستگی در مطالعه حاضر نیز موید این مطلب بود، میزان تنفس در سال اول زراعی با میزان کربن خاک در سال اول ($r=0.70^{**}$) (پیوست ۳) و دوم زراعی ($r=0.62^{**}$) (پیوست ۴) و نیتروژن خاک سال اول ($r=0.58^{**}$) (پیوست ۳) و دوم زراعی ($r=0.55^{**}$) (پیوست ۴) همبستگی بالایی داشت. میزان تنفس علاوه بر فاکتورهای فوق تحت تاثیر خصوصیات شیمیایی خاک نیز بود به طوری که با pH سال اول ($r=0.62^{**}$) و دوم ($r=0.23^{**}$) و هدایت الکتریکی در سال اول زراعی ($r=0.49^{**}$) و دوم ($r=0.45^{**}$) ارتباط مثبت و معنی داری داشت (پیوست ۷ و ۸).

جدول ۴-۳۰. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات خاک

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر S. O. V
pH خاک		کربن آلی خاک		تنفس خاک			
۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵		
۰/۰۶۵۵ ^{NS}	۰/۰۶۶۳ ^{NS}	۰/۰۱۲۷ ^{NS}	۰/۰۱۵ ^{NS}	۰/۲۳۶۱ ^{NS}	۰/۲۰۴ ^{NS}	۳	تکرار
۰/۰۹۵۷*	۰/۰۶۰۷ ^{NS}	۰/۸۰۳۰**	۰/۹۰۰**	۰/۷۹۵۴*	۰/۷۵۲*	۲	دور آبیاری (A)
۰/۰۱۶۹	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۸۰۰	۰/۰۸۰	۶	خطای آزمایشی (a)
۲/۴۶۴۱**	۲/۳۴۱۷**	۰/۹۹۲۰**	۱/۴۱۱**	۱۷/۵۳۴۷**	۱۷/۱۱۷**	۲	بیوچار (B)
۰/۰۰۹۵ ^{NS}	۰/۰۰۶۰ ^{NS}	۰/۳۶۰۰**	۰/۲۸۱**	۰/۴۰۵۳**	۰/۳۷۶**	۴	اثر متقابل A×B
۰/۰۲۰۵ ^{NS}	۰/۰۲۲۸ ^{NS}	۰/۰۰۱۰ ^{NS}	۰/۰۲۵*	۰/۰۰۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۶ ^{NS}	۱	سالیسیلیک اسید (C)
۰/۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۳۶۰**	۰/۰۰۸ ^{NS}	۰/۰۳۶۳ ^{NS}	۰/۰۰۹۰ ^{NS}	۲	اثر متقابل A×C
۰/۰۲۷۳ ^{NS}	۰/۰۲۷۰ ^{NS}	۰/۰۶۶۰**	۰/۰۸۸**	۰/۰۹۴۰ ^{NS}	۰/۰۸۵۶ ^{NS}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۰۰۷۳ ^{NS}	۰/۰۰۷۷ ^{NS}	۰/۰۱۹۰*	۰/۰۲۵**	۰/۱۰۹۳ ^{NS}	۰/۰۸۰۸ ^{NS}	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۰۱۱۲	۰/۰۱۱۱	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۶۹	۰/۰۹۴۶	۰/۰۸۵۱	۴۵	خطای آزمایشی b
۱/۱۹	۱/۱۹	۱۲/۹۵	۱۵/۲۳	۱۷/۲۷	۱۶/۸۸	-	ضریب تغییرات (درصد)
NS و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد							

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

۴-۲-۲- کربن آلی خاک: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی تنش کم آبیاری و بیوچار و

سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دوگانه این فاکتورها و نیز اثر متقابل سه گانه بیوچار و سالیسیلیک اسید و خشکی و بیوچار در سطح احتمال ۱ درصد در هر دو سال زراعی بر کربن آلی خاک معنی دار بود (جدول ۴-۳۰). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه تیمارهای فوق (جدول ۴-۳۲) در سال اول زراعی نشان داد که در دور آبیاری نرمال کاربرد سالیسیلیک اسید و بیوچار به تنهایی

جدول ۴-۳۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوپچار بر تنفس خاک در سال اول و دوم زراعی

دور آبیاری	بیوپچار	تنفس خاک	میلی گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز
روز	تن در هکتار		
			۱۳۹۵
			۱۳۹۶
شاهد (۵)	عدم مصرف	۰/۸۱d	۰/۸۶d
شاهد (۵)	۵	۲/۷۹a	۲/۸۵a
شاهد (۵)	۱۰	۲/۱۳b	۲/۱۷b
۱۰	عدم مصرف	۰/۷۱d	۰/۷۵d
۱۰	۵	۲/۵۰a	۲/۶۰a
۱۰	۱۰	۲/۹۱bc	۱/۹۷bc
۱۵	عدم مصرف	۰/۸۵d	۰/۸۹d
۱۵	۵	۲/۰۱bc	۲/۰۵bc
۱۵	۱۰	۱/۱۸c	۱/۸۵c

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

نسبت به شرایط عدم مصرف آن موجب بهبود میزان کربن آلی خاک شد، اما کاربرد توام آن‌ها در این دور آبیاری تنها در شرایط کاربرد ۱۰ تن بیوپچار در هکتار توانست میزان کربن آلی خاک را افزایش دهد، اما مقدار کمتر بیوپچار (۱۰ تن در هکتار) موثر نبود. در دور آبیاری ۱۰ روز کاربرد سالیسیلیک اسید توانست میزان کربن آلی خاک را افزایش دهد. نتایج سال دوم نیز مشابه سال اول بود. افزودن بیوپچار علاوه بر اثرات مثبت آن در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک باعث تشکیل خاکدانه‌های پایدار می‌گردد. با افزایش پایداری خاکدانه‌ها، حفاظت از مواد آلی موجود در خاک از طریق محبوس شدن این مواد در سطوح داخلی خاکدانه‌ها، باعث کاهش اثرات تجزیه میکروبی و آنزیم‌ها بر آنان می‌شود. در مطالعات نیز گزارش شده که کاربرد بیوپچار باعث افزایش ۱۵ تا ۱۶ درصدی کربن آلی خاک می‌گردد (بورچارد و همکاران، ۲۰۱۹) همچنین در شرایطی که بیوپچار همراه با سالیسیلیک اسید به کار رفت، اثرات بیوپچار در افزایش کربن آلی بیشتر بود.

جدول ۴-۳۲. مقایسه میانگین اثرات سه گانه مقدار کربن در هر دو سال زراعی تحت تاثیر اثر

متقابل A×B×C

دور آبیاری (A)	بیوچار (B)	سالیسیک اسید (C)	کربن آلی خاک (درصد)	کربن آلی خاک (درصد)
			۱۳۹۵	۱۳۹۶
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۳۸ij	۰/۲۱۱ij
شاهد (۵ روز)	۵	۰/۵	۰/۳۲j	۰/۲۰۱ij
شاهد (۵ روز)	۱۰	عدم مصرف	۱/۱۱ab	۰/۹۵a
شاهد (۵ روز)	عدم مصرف	۰/۵	۱/۰۶b	۱/۰۳a
شاهد (۵ روز)	۵	عدم مصرف	۱/۱۹a	۱/۰۳a
شاهد (۵ روز)	۱۰	۰/۵	۱/۱۳ab	۰/۹۷a
۱۰ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۴۸hig	۰/۲۸hi
۱۰ روز	۵	۰/۵	۰/۴۴higj	۰/۱۶j
۱۰ روز	۱۰	عدم مصرف	۰/۵۲efg	۰/۳۹efgh
۱۰ روز	عدم مصرف	۰/۵	۰/۷۷c	۰/۶۶b
۱۰ روز	۵	عدم مصرف	۰/۵۴efg	۰/۴۱def
۱۰ روز	۱۰	۰/۵	۰/۶۳ed	۰/۴۹cde
۱۵ روز	عدم مصرف	عدم مصرف	۰/۵۰fghi	۰/۲۴ij
۱۵ روز	۵	۰/۵	۰/۴۰hij	۰/۲۸ghi
۱۵ روز	۱۰	عدم مصرف	۰/۵۱fgh	۰/۳۹defg
۱۵ روز	عدم مصرف	۰/۵	۰/۷۰cd	۰/۵۷bc
۱۵ روز	۵	عدم مصرف	۰/۶۲efd	۰/۵۰cd
۱۵ روز	۱۰	۰/۵	۰/۴۸hig	۰/۳۶fgh

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۲-۳- pH خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳۰) اثر اصلی بیوچار در سطح ۱ درصد بر میزان pH

در هر دو سال زراعی تاثیرگذار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده بیوچار بر pH در سال اول

(شکل ۴-۲۶) و دوم (شکل ۴-۲۷) نشان داد که کاربرد بیوچار موجب افزایش pH نسبت به حالت

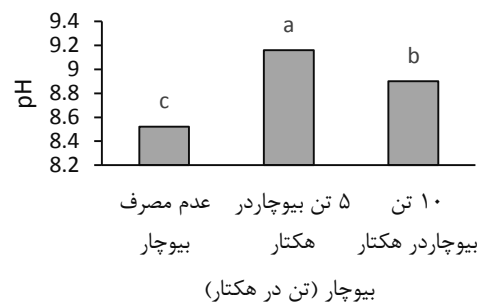
شاهد شد. به طوری که با کاربرد بیوچار به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار مقدار pH به ترتیب ۷ و ۴

درصد نسبت به شرایط عدم مصرف آن افزایش یافت.

نتایج متعدد نشان می‌دهد مصرف بیوچار در خاک موجب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک از

جمله pH و EC می‌گردد. مطالعات شیمیایی نشان دادند که بار منفی موجود در سطح ذرات بیوچار

منجر به افزایش قابلیت جذب سطحی آن می‌شود. بسته به ماده اولیه خام در تولید بیوپچار و نوع فرآیند پیرولیز، افزودن این ماده به خاک می‌تواند منجر به اثر خنثی سازی pH، افزایش در هدایت الکتریکی و تبادل کاتیونی گردد. خاک هایی با pH ۶ تا ۷/۵ برای تشکیل یون های اورتوفسفات (H_2PO_4^- و HPO_4^{2-}) موثر است، pH پایین تر از ۵/۵ قابلیت دسترسی به فسفر را محدود می‌کند (لهمان و همکاران، ۲۰۱۱). بیوپچار قابلیت قلیایی کردن خاک را به خاطر منشاء pH بالای آن دارد (لهمان و همکاران، ۲۰۱۱؛ لایرد و فلمینگ، ۲۰۱۰). خاصیت آلكالین بیوپچار به علت مواد معدنی غیر آلی مانند کربنات‌ها و فسفات‌ها و خاکستر تشکیل شده در فرآیند پیرولیز است (یوان و همکاران، ۲۰۱۱). البته قلیایی کردن بیشتر در خاک های اسیدی یک حسن محسوب می‌شود ولی در خاک‌های قلیایی می‌تواند مشکل ساز باشد. تغییر در میزان پی‌اچ خاک توسط بیوپچار به نوع ماده خام و دمای پیرولیز آن بستگی دارد (لهمان، ۲۰۰۷) به طوری که در شرایط یکسان پیرولیز، میزان پی‌اچ بیوپچار لگومینوزها بیش از غیر لگومینوزها و بیوپچار ناشی از ماکیان بیش از گیاهان علفی است. با افزایش دمای پیرولیز به علت تجزیه گروه‌های عاملی اسیدی مانند کربوکسیل و فنولیک کربوکسیل و نیز تبخیر اسیدهای آلی، میزان pH افزایش می‌یابد (چینتالا، ۲۰۱۴؛ یوان، ۲۰۱۱). اثرات مثبت pH بالا شامل افزایش در تثبیت نیتروژن در لگوم ها و محدودیت قابلیت دسترسی برخی از عناصر سمی مانند آلومینیوم و منگنز و بهبود تجزیه میکروبی مواد آلی می‌باشد (جفری و همکاران، ۲۰۱۵). همبستگی مثبت و معنی‌دار pH با میزان کربن و نیتروژن و آمونیوم خاک در مطالعه حاضر موید این مطلب بود (جدول پیوست ۷ و ۸).



شکل ۴-۲۶. اثرات بیوپار بر میزان pH خاک در سال اول زراعی
شکل ۴-۲۷. اثرات بیوپار بر میزان pH خاک در سال دوم

۴-۲-۴- هدایت الکتریکی: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴-۳۳) حاکی از اثر معنی‌دار بیوپار در هر دو سال زراعی بر میزان هدایت الکتریکی خاک بود. مقایسه میانگین اثرات ساده بیوپار بر هدایت الکتریکی در سال اول (شکل ۴-۲۸) و سال دوم زراعی (شکل ۴-۲۹) نشان داد که مصرف بیوپار موجب موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شد، به طوری که هدایت الکتریکی خاک با کاربرد ۱۰ تن در هکتار به ترتیب در سال های زراعی اول و دوم ۱۰۹ و ۱۰۷ درصد نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت. کاربرد ۵ تن بیوپار در هکتار نیز میزان هدایت الکتریکی خاک را طی سال های اول و دوم زراعی به میزان ۵۸ و ۸۲ درصد افزایش داد. مطالعات نشان داده اند که بیوپار با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی پتانسیل جذب اکثر موادمعدنی و غیر معدنی و عناصر غذایی اصلی را افزایش می‌دهد (بیسلی و همکاران، ۲۰۱۱). کاربرد بیوپار در مطالعه‌ای ظرفیت تبادل کاتیونی را ۱/۹ برابر شرایط عدم مصرف آن افزایش داد. محققین علت این افزایش را بار دانسیته بالا و سطح ویژه بالای ذرات بیوپار بیان نمودند (لهمان و همکاران، ۲۰۰۷؛ بیسلی و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر آن افزایش هدایت الکتریکی خاک در اثر کاربرد بیوپار احتمالاً به دلیل حضور نمک های محلول و خاکستر موجود در بیوپار (خادم و همکاران، ۱۳۹۷) و بالاتر بودن هدایت الکتریکی آن نسبت به هدایت الکتریکی خاک می باشد (هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۴). در مزرعه دیگری در شمال چین، مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۴/۵ درصد با افزودن ۴/۵ تن در هکتار بیوپار افزایش یافت (چن و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر آن افزایش معنی‌دار جذب عناصر خاک مانند نیتروژن (به میزان بیش از ۷ درصد)، کربن آلی (بیش از ۶۹ درصد)، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم با کاربرد بیوپار نیز گزارش شده است (لیراد و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعه

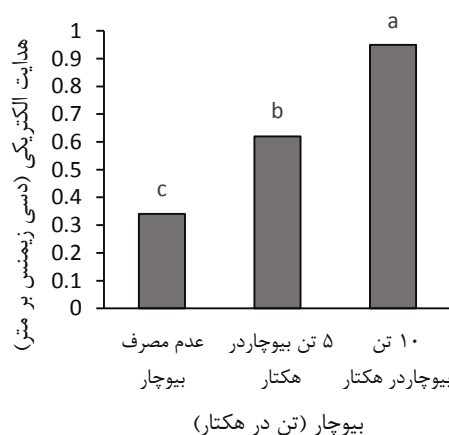
همبستگی نشان داد که افزایش هدایت الکتریکی در تحقیق حاضر موجب افزایش نیتروژن خاک در

سال اول ($r=0/39^{**}$) و دوم زراعی ($r=0/44^{**}$) شد (جدول پیوست ۷ و ۸)

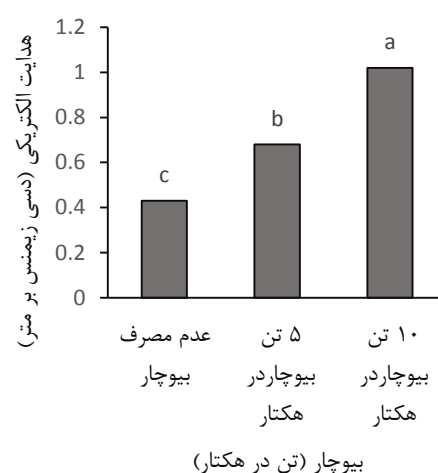
جدول ۴-۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد مطالعه بر خصوصیات خاک

منابع تغییر S. O. V	در جه آزاد ی	میانگین مربعات							
		هدایت الکتریکی خاک		آمونیم خاک		نترات خاک		نیتروژن خاک	
		۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۶
تکرار	۳	۰/۱۰۱ ^{ns}	۰/۰۹۴ ^{ns}	۱/۶۵ ^{ns}	۱/۴۵ ^{ns}	۲/۴۹ ^{ns}	۱/۵۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۹ ^{ns}
دور آبیاری (A)	۲	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۱۹/۹۵ ^{**}	۹۲/۷۵ ^{**}	۶۸/۵۱ ^{**}	۸۶/۳۲ ^{**}	۰/۰۰۴۳۱۰ ^{**}	۰/۰۰۵۰۳۱ ^{**}
خطای آزمایشی (a)	۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۸	۰/۸۹	۱/۳۲	۲/۲۶	۲/۷۶	۰/۰۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۲۰
بیوچار (B)	۲	۲/۲۳۵ ^{**}	۲/۱۰۹ ^{**}	۹۶/۵۷ ^{**}	۱۰۰/۲۷ [*]	۱۶۰/۷۲ ^{**}	۹۶/۵۱ ^{**}	۰/۰۰۱۹۳۷ ^{**}	۰/۰۰۲۰۷۱ ^{**}
اثر متقابل A×B	۴	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۸/۹۶ ^{**}	۹/۳۱ ^{**}	۴۳/۰۱ ^{**}	۲۴/۶۳ ^{**}	۰/۰۰۰۶۶۴ ^{**}	۰/۰۰۰۷۳۹ ^{**}
سالیسیلیک اسید (C)	۱	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۲/۲۵ ^{ns}	۳/۴۴ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۷۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۸ ^{ns}
اثر متقابل A×C	۲	۰/۰۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۸۴ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۱/۶۹ ^{ns}	۲/۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۷۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱ ^{ns}
اثر متقابل B×C	۲	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۳/۲۴ ^{ns}	۳/۸۵ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}	۱/۸۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۱ ^{ns}
اثر متقابل A×B×C	۴	۰/۰۲۳ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۱/۴۰ ^{ns}	۲/۴۵ ^{ns}	۵/۶۹ ^{ns}	۴/۵۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۷ ^{ns}
خطای آزمایشی b	۴۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۱/۰۷	۱/۲۵	۲/۳۱	۲/۸۶	۰/۰۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۸/۰۳	۱۵/۳۳	۱۵/۸۵	۱۳/۰۶	۹/۰۵	۱۲/۵۷	۶/۸۷	۶/۴۹

^{ns} و ^{*} و ^{**} به ترتیب عدم معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۴-۲۹. اثرات بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک در سال دوم زراعی



شکل ۴-۲۸. اثرات بیوچار بر هدایت الکتریکی خاک در سال اول زراعی

۴-۲-۵- نیتروژن خاک

بر اساس نتایج آنالیز واریانس تیمارهای آزمایش بیوپار، دور آبیاری و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال ۱ درصد) (جدول ۴-۳۳) در هر دو سال زراعی بر میزان نیتروژن خاک معنی‌داری بوده و مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و بیوپار (جدول ۴-۳۴) نشان داد که کاربرد بیوپار در دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز موجب افزایش نیتروژن خاک نسبت به شرایط عدم مصرف آن شد؛ اما با افزایش دور آبیاری به ۱۵ روز، میزان نیتروژن خاک به شدت کاهش یافت که در سال اول زراعی میان شرایط کاربرد بیوپار و عدم مصرف آن از لحاظ میزان نیتروژن خاک در این دور آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود داشت؛ در حالی که در سال دوم تفاوتی دیده نشد. در شرایط نرمال آبیاری در سال اول از لحاظ میزان نیتروژن خاک میان کاربرد بیوپار و عدم مصرف آن تفاوت معنی‌داری وجود داشت (گرچه میان مقادیر ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوپار از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت) و در سال دوم نیز همین روند وجود داشت با این تفاوت که بیشترین مقدار نیتروژن خاک با کاربرد ۱۰ تن در هکتار در این دور آبیاری مشاهده شد. در دور آبیاری ۱۰ روز نیز هر دو سال زراعی بالاترین مقادیر نیتروژن خاک مربوط به کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوپار بود.

بیوپار از طریق غیر متحرک سازی نیتروژن غیرآلی (که موجب تحریک تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود) و نیز افزایش گره بندی، افزایش فسفر قابل دسترسی و جذب فلاونوئید ها و فاکتور nod توسط بیوپار که سبب افزایش سیگنال دهی برای گره بندی می‌شود؛ همچنین افزایش پی‌اچ خاک موجب افزایش تثبیت بیولوژیکی خاک می‌گردد (میا و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر آن افزایش نیتروژن خاک احتمالاً ناشی از وجود نیتروژن در ساختار بیوپار است. بدیهی است که با افزایش مقدار بیوپار در خاک، این پارامتر نیز افزایش خواهد یافت (هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه حاضر نیز میزان pH همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان نیتروژن خاک در سال اول زراعی داشت (**/۵۰/۰ I=) (جدول پیوست ۳) مطالعات ژو و همکارانش (۲۰۱۹) نشان داد که کاربرد بیوپار موجب افزایش آنزیم‌های چرخه نیتروژن و فسفر به ترتیب به میزان ۱۴ و ۱۱ درصد شد که آن را ناشی از

خاصیت آهکی بیوپار و نیز عرضه مواد غذایی و بهبود خصوصیات خاک و آب قابل دسترس آن دانستند اما بیوپار میزان آنزیم‌های چرخه کربن را کاهش داد که این کاهش به دلیل نسبت کربن به نیتروژن بالای بیوپار و محتوای کربن آروماتیک بالای آن بود که اثر منفی بر روی رشد باکتری‌ها و فعالیت آنزیم‌های خاک داشت. علاوه بر آن رهاسازی مولکول‌های کوچک (فنول‌ها و پلی‌فنول‌ها) توسط بیوپار موجب کاهش فعالیت این چرخه شد. کاربرد تیمارهای ۲، ۵ و ۱۰ گرم بیوپار بر کیلوگرم خاک میزان نیتروژن کل خاک را به ترتیب ۹۶/۶ درصد ۷/۲۱ درصد و ۳/۳۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۴)

عباس‌پور و همکاران (۱۳۹۷) تاثیر بهتر مقدار متعادل از بیوپار در مقایسه با مقادیر پایین و زیادی آن اشاره کردند. تنظیم میزان pH و عناصر غذایی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط بیوپار از دلایل بهتر بودن برخی از تیمارها نسبت به مصارف زیاد بیوپار عنوان شده است.

جدول ۴-۳۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری و بیوپار بر خصوصیات خاک در دو سال زراعی

دور آبیاری	بیوپار	نیتروژن خاک	آمونوم خاک	نترات خاک	پی پی ام	پی پی ام
روز	تن در هکتار	درصد	پی پی ام	پی پی ام	۱۳۹۵	۱۳۹۶
شاهد (۵)	عدم مصرف	۰/۰۳۷d	۰/۰۴۷e	۳/۲۵e	۶/۲۵f	۱۳/۹۴cd
شاهد (۵)	۵	۰/۰۷۰a	۰/۰۸۰b	۸/۷۶b	۱۱/۶۴b	۸/۴۴f
شاهد (۵)	۱۰	۰/۰۷۰a	۰/۰۸۵a	۴/۷۸d	۷/۹۱de	۱۱/۶۳e
۱۰	عدم مصرف	۰/۰۴۰d	۰/۰۵۰e	۶c	۹cd	۱۷/۲۴a
۱۰	۵	۰/۰۴۷c	۰/۰۵۷d	۱۰/۰۴a	۱۳/۴۲a	۱۵/۵۱bc
۱۰	۱۰	۰/۰۵۲b	۰/۰۶۲c	۶/۲۱c	۹/۲۱c	۱۲/۲۴de
۱۵	عدم مصرف	۰/۰۳۰f	۰/۰۴۰f	۶/۳۴c	۶/۳۴f	۱۶/۰۱ab
۱۵	۵	۰/۰۳۴e	۰/۰۴۳f	۷/۷۴b	۷/۷۴e	۱۴/۱۷c
۱۵	۱۰	۰/۰۳۴e	۰/۰۴۳f	۵/۷۵cd	۵/۷۵f	۱۱/۹۴e

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند

۴-۲-۶-آمونیم خاک:

بر اساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۴-۳۳) تیمارهای آزمایش بیوپار در هر دو سال زراعی، دور آبیاری و اثر متقابل آنها (در سطح احتمال ۱ درصد) بر میزان آمونیم خاک اثر معنی داری داشتند. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوپار و دور آبیاری در سال اول زراعی (جدول ۴-۳۴) نشان داد که در هر دو سال زراعی در تمامی دوره‌های آبیاری مصرف بیوپار به میزان ۵ تن در هکتار موجب افزایش میزان آمونیم خاک شد. میان مقادیر بالاتر بیوپار (۱۰ تن در هکتار) و عدم کاربرد آن تفاوت معنی داری از لحاظ میزان آمونیم خاک وجود نداشت. گرچه در آبیاری نرمال در هر دو سال زراعی کاربرد بیوپار موجب افزایش نیتروژن خاک شد، اما میان مقادیر مختلف بیوپار (۵ و ۱۰ تن در هکتار) در سال زراعی اول تفاوتی وجود نداشت در حالی که در سال دوم زراعی کاربرد مقادیر مختلف بیوپار اثرات متفاوتی داشت. افزایش دور آبیاری موجب افزایش میزان آمونیم خاک در هر دو سال زراعی شد. به طوری که میزان آمونیم خاک در سال اول زراعی در دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز به ترتیب ۶۲ و ۳۲ درصد و در سال زراعی دوم ۸۵ و ۲۶ درصد بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود.

مطالعات متعددی نشان داده اند که بیوپار از طریق مکانیسم بالا بودن ظرفیت تبادلی کاتیونی و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب موجب کاهش آبهویی آمونیم و نترات خاک می‌شود (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ یائو و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعات دیگری کاربرد بیوپار بدون اضافه نمودن کود، موجب بهبود عملکرد محصول و قابلیت دسترسی عناصر غذایی (به خصوص پتاسیم) در دو سیستم زراعی (تولید برنج و پوشال برنج و نیز گندم با بیوپار سخت) گشت (اواوا و اوکیموری، ۲۰۱۰). مهمترین تفاوت میان جذب نترات و آمونیم از خاک در حساسیت آنها به pH است. آمونیم در محیط خنثی به بهترین وجه جذب می‌شود اما کاهش pH سرعت جذب آن را کاهش می‌دهد. عکس این حالت در مورد نترات صدق می‌کند (نجفی و پارسا زاده، ۱۳۸۹). میکروب‌هایی که نیتریفیکاسیون را انجام می‌دهند اغلب نیاز به pH اسیدی دارند، در حالی که pH مطلوب دنیتریفیکاسیون بین ۴ تا ۸ است (بورچارد و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش فعالیت نیتریفیکاتورها با افزایش رطوبت خاک می‌تواند

یکی از دلایل افزایش مصرف آمونیوم در نتیجه کاهش غلظت آمونیوم و آمونیفیکاسیون خالص باشد (هومیاک و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه اثر خشکی بر معدنی شدن نیتروژن در مراتع نشان داده شد که خشکی موجب افزایش نرخ معدنی شدن آمونیوم و مقدار آمونیوم خاک و کاهش نیترات خاک شد (فاچسلگرو و همکاران، ۲۰۱۴).

نتایج همبستگی در مطالعه حاضر نشان داد که افزایش pH توسط بیوچار موجب افزایش میزان آمونیوم خاک در سال زراعی اول ($r=0/56^{**}$) و دوم ($r=0/37^{**}$) شد، علاوه بر آن افزایش میزان تنفس با افزایش میزان آمونیوم می‌تواند موید این مطلب باشد که فعالیت میکروب های آمونیاک ساز افزایش یافته که به نوبه خود در افزایش آمونیوم موثر بود (جدول پیوست ۷ و ۸).

۴-۲-۷- نیترات خاک:

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی دور آبیاری و بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد در هر دو سال زراعی بر میزان نیترات خاک معنی‌دار بود (جدول ۴-۳۳). مقایسه میانگین اثرات دو گانه بیوچار و آبیاری بر روی نیترات خاک نشان داد (جدول ۴-۳۴) که افزودن بیوچار در هر دو سال زراعی موجب کاهش معنی‌دار نیترات در تمامی دوره‌های آبیاری نسبت به شرایط عدم مصرف آن در همان دور آبیاری شد به طوری که در سال اول زراعی میزان نیترات در شرایط مصرف بیوچار به میزان ۵ و ۱۰ تن در هکتار ۲۷/۶۳ و ۱۰/۵۲ درصد کمتر بود. همچنین میزان نیترات در دور آبیاری ۱۰ روز به میزان ۸/۱۹ و ۳۹/۳۲ درصد و در دور آبیاری ۱۵ روز ۹/۸۵ و ۳۴/۲۵ درصد کمتر از عدم مصرف آن بود. روند فوق در سال دوم زراعی نیز همینطور بود به طوری که بیشترین مقدار نیترات در دوره‌های آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز و در شرایط عدم مصرف بیوچار دیده شد.

گزارش‌های انجام شده نشان داده است که بیوچار به علت قابلیت جذب آنیونی (علاوه بر خاصیت جذب کاتیونی بالا) و همچنین سطح ویژه بالا، قابلیت نگهداشت بالایی از نیترات را داشته که در نتیجه آن نیترات در عصاره خاک را کاهش می‌دهد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در مطالعه متاآنالیز انجام شده توسط لیو (۲۰۱۸) نشان داده شد که بیوچار بر روی چرخه نیتروژن، انتقال و ذخایر آن اثر

گذار است و انتشار نیتروژن و آبشویی NO_3^- با کاربرد بیوپار کاهش می یابد که مقدار این کاهش در مطالعه دیگری ۱۲ درصد برآورده شد (نگوئن و همکاران، ۲۰۱۷؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸).

در مطالعه ای با هدف بررسی اثر کاربرد بیوپار ضایعات مختلف پسته بر برخی ویژگی های حاصلخیزی یک خاک لومی نشان داده شده شد که افزودن بیوپار به خاک موجب نگهداشت نیترات و کاهش معنی دار نیترات در محلول خاک نسبت به نمونه شاهد شد که کمترین نیترات مربوط به بیوپار چوب پسته در ماه اول بود که نسبت به تیمار شاهد، کاهش ۷۹/۸۸ درصدی را نشان داد (جلگه نژاد و همکاران، ۱۳۹۸).

رطوبت یکی از تنظیم کننده های اصلی فعالیت های ریزجانداران است. هم زمان با کاهش محتوای آب خاک، بخشی از منافذ خاک که با هوا پر شده اند، افزایش یافته و تحرک عناصر غذایی و دسترسی جانداران به سوبسترا کاهش می یابد. گیرلوز و همکارانش (۲۰۰۸) گزارش دادند که معدنی شدن و نیتریفیکاسیون خالص نیتروژن در مقیاس مزرعه، در فصولی که رطوبت بیش تر باشد، افزون تر است. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تفاوت در سرعت معدنی شدن خالص نیتروژن را می توان به کربن آلی، نیتروژن کل و رطوبت خاک نسبت داد. گوتیناس و همکاران (۲۰۱۲) درصد رطوبت بهینه برای معدنی شدن نیتروژن را بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد گنجایش زراعی گزارش کردند.

خراسانی و همکارانش (۱۳۹۷) با بررسی اثر نوع بقایای گیاهی بر معدنی شدن نیتروژن در شرایط تنش خشکی در یک خاک آهکی نشان دادند که بیش ترین میزان شاخص های نیتریفیکاسیون خالص، معدنی شدن خالص نیتروژن و تغییرات خالص نیتروژن آلی محلول در سطح رطوبتی ۵۵ درصد گنجایش نگهداشت آب و کم ترین مقدار این شاخص ها در سطح رطوبتی ۲۵ درصد گنجایش نگهداشت آب خاک دیده شد که اختلاف آنها معنی دار بود.

نتیجه‌گیری کلی:

با نگاهی به موقعیت ایران از نظر اقلیمی و وجود بحران آب و با توجه به اثرات منفی خشکی بر خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه که در نهایت به کاهش عملکرد منتهی می‌گردد، کاربرد عواملی که موجب تقلیل این اثرات منفی شود می‌تواند در افزایش عملکرد نقش به سزایی داشته باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی کاربرد بیوچار در بهبود برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی گیاه گاوزبان اروپایی در شرایط تنش کم‌آبی موثر بوده و می‌توان به عنوان یک راهکار پایدار برای افزایش مقاومت به خشکی به آن توجه بیشتری نمود. گرچه اثرات عمده بیوچار بیشتر بر خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک مانند افزایش پی‌اچ خاک، میزان کربن، تنفس خاک و کاهش نیتрат خاک تاثیر گذار بود؛ اما علاوه بر آن موجب افزایش برخی از صفات مرتبط با گیاه مانند افزایش میزان فلاونوئید برگ و پایداری غشای پلاسمایی آن و نیز افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه شد، که در مجموع در بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط خشکی تاثیر مثبتی داشت. قابل توجه است که بین مقادیر مختلف بیوچار از لحاظ اثرات مثبت در تقلیل اثرات تنش ناشی از دورآبیاری در برخی صفات تفاوت معنی داری وجود نداشت و در برخی از موارد مانند شاخص‌های کلروفیلی افزایش میزان بیوچار به ۱۰ تن در هکتار اثرات کاهشی داشت. کاربرد سالسیلیک اسید در تنش کم‌آبی روی خصوصیات خاک مزرعه موثر نبود، اما اکثر مولفه‌های رشد گیاهی را افزایش داد. به طوری که موجب افزایش کلروفیل، آنتوسیانین و فلاونوئید، ارتفاع و وزن خشک گیاه و نیز اسیدهای چرب و عملکرد بذر شد و همچنین آنزیم‌های آنتی اکسیدانت را افزایش داد و در اکثر صفات مورد بررسی، کاربرد همزمان بیوچار و سالسیلیک اسید موجب افزایش کارایی آن‌ها در تقلیل اثرات خشکی شد.

پیشنهادهات

بر اساس نتایج بدست آمده برخی از پیشنهادات مرتبط با این آزمایش ارائه می گردد:

۱- به منظور بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ها، استفاده از مواد اولیه با عناصر غذایی بالا در تهیه بیوچار توصیه می گردد.

۲- از آن جایی که در بررسی منابع به نقش طولانی مدت بیوچار اشاره شده است؛ بررسی طولانی مدت اثرات این عنصر ضروری به نظر می رسد.

۳- به منظور کاهش هزینه های تولید و مقرون به صرفه بودن بیوچار، استفاده از ضایعاتی که بیشترین حجم را در کشاورزی هر منطقه دارند برای تولید بیوچار، در ترویج استفاده از آن موثر است.

۴- از آن جایی که اثر بیوچار با توجه به نوع خاک (بافت، عمق و پی اچ) متغیر است، بهتر است اثر بیوچار بر انواع خاک نیز بررسی شود.

۵- در این آزمایش بیوچار بر تنفس خاک تاثیر گذار بود و از آن جایی که تنفس خاک می تواند یکی از معیارهای فعالیت های میکروبی خاک باشد، مقایسه اثر مستقیم بیوچار بر باکتری های تثبیت کننده نیتروژن و نیز کربن خاک به چگونگی مکانسیم عمل بیوچار در چرخه نیتروژن و کربن کمک شایانی خواهد کرد.

۶- از آن جایی که کاربرد هورمون سالیسیلیک اسید به شکل بذرمال نیز در بهبود اثرات تنش خشکی رایج است، انتخاب مناسبترین روش از میان روش های بذرمال و محلول پاشی و نیز کاربرد توام آن ها و مقدار مناسب آن توصیه می گردد.

منابع:

- اسفینی فراهانی، م. پاک نژاد، ف. بختیاری مقدم، م. علوی، ص و حسینی، ع، (۱۳۹۱) "اثر مقادیر و روش‌های مختلف کاربرد اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزاء عملکرد زیره سبز" **مجله زارعت و اصلاح نباتات**، شماره ۳، دوره ۸، ص ۶۹-۷۷.
- اکبریان، ا و ارزانی، ا، (۱۳۹۴) "تأثیر تنش خشکی روی فعالیت آنزیمی آنتی اکسیدان در لاین های تریتیکاله" **پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی**، شماره ۷، دوره ۱۶، ص ۱۵۸-۱۶۷.
- امیری، ا. سیروس مهر، ع و اسماعیل زاده بهابادی، ص، (۱۳۹۴) "اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و کیتوزان بر عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی" **مجله پژوهش‌های گیاهی مجله زیست شناسی ایران**، شماره ۲۴، دوره ۲۸، ص ۷۱۲-۷۲۵.
- امینی، ز. حداد، ر، (۱۳۹۲). "نقش رنگیزه های فتوسنتزی و آنزیم های آنتی اکسیدان در مقابل تنش اکسیداتیو." **مجله پژوهش های سلولی مولکولی (زیست شناسی ایران)**، شماره ۳، دوره ۲۲، ص ۲۵۱-۲۶۵.
- بروجردنیا، م. بی همتا، م. ر. عالمی سعید، خ و عبدوسی، و، (۱۳۹۵) "اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات های محلول، نشت الکترولیت ها و محتوای آب نسبی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L)" **فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز**، شماره ۲۹، دوره ۸، ص ۲۳-۴۱.
- بیات، ح. مردانی، ح. آرویی، ح. سلاح ورزی، ی، (۱۳۹۱). "تأثیر سالیسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دانهال های خیار تحت شرایط تنش خشکی." **فصلنامه پژوهش های تولید گیاهی**، شماره ۳، دوره ۸، ص ۶۳-۷۶.
- پورحیدرغفاری، س. رحیمیان مشهدی، ر. علیزاده، ح و حسن نژاد، س، (۱۳۹۶) "مطالعه اثر ترکیب سالیسیلیک اسید با برخی علفکش ها بر فلورسانس کلروفیل a و برخی صفات مورفولوژیکی علف هرز سلمه تره (*Chenopodium album*)" **مجله دانش علف های هرز**، شماره ۲، دوره ۱۳، ص ۱۷۵-۱۹۱.
- جلگه نژاد، ا. فکری، ا، و محمودآبادی، ف، (۱۳۹۸) "اثر کاربرد بیوچار ضایعات مختلف پسته بر برخی ویژگی های حاصلخیزی یک خاک لومی"، **تحقیقات آب و خاک ایران**، شماره ۱، دوره ۵۰، ص ۲۳۲-۲۴۶.
- چمنی، ف. توحیدی نژاد، ع. ا. ومهیجی، م، (۱۳۹۷) "اثر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیک و زراعی گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) تحت تنش خشکی" **نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی**، شماره ۴، دوره ۱۲، ص ۵۶۹-۵۸۰.
- حسینی مقدم، ا. غیاثوند، ع. برزویی، م. البرزی، م. دلفان، ب و عزت پور، ب، (۱۳۸۸) "بررسی ترکیبات فرار در گلبرگ و پیکره رویشی و ترکیبات شیمیایی روغن دانه گاوزبان اروپایی استحصال شده توسط روش Cold Press". **فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی لرستان ویژه نامه گیاهان دارویی**، شماره ۵، دوره ۱۱، ص ۶۵-۷۳.
- حیدری، م و مینایی، الف، (۱۳۹۳) "تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر عملکرد گل و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در گیاه دارویی گاوزبان" **نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی**، شماره ۱، دوره ۲۱، ص ۱۶۷-۱۸۲.
- خراسانی، م. نوربخش، ف و مصدقی، م، (۱۳۹۷) "اثر نوع بقایای گیاهی بر معدنی شدن نیتروژن در شرایط تنش خشکی در یک خاک آهکی" **نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار**، شماره ۲، دوره ۸، ص ۸۳-۹۹.

دارابی، ف. ناصری، ر. میرزایی، ا و مرادی، م، (۱۳۹۶) "پاسخ دو رقم گندم نان به محلولپاشی سالیسیلیک اسید در شرایط رژیم های متفاوت رطوبتی " **علوم گیاهان زراعی ایران**، شماره ۴، دوره ۴۸، ص ۱۱۷۱-۱۱۸۵.

دانشیان، ج. نورمحمدی، ق و جنوبی، پ، (۱۳۸۱) "بررسی واکنش سویا به تنش خشکی و مقادیر مختلف فسفر" **چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران**. ۲-۴ شهریور کرج. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ص ۲۲۴-۲۳۵.

درویژه، ح. زاهدی، م. عباس زاده، ب. و رزمجو، ج، (۱۳۹۷). "تاثیر محلول پاشی گیاه مادری با اسید سالیسیلیک و اسپرمین تحت تنش خشکی بر شاخص های جوانه زنی بذر سرخارگل "*(Echinacea Purpurea)* **نشریه پژوهش های بذر ایران**، شماره ۱، دوره ۵، ص ۱-۱۹.

دست برهان، س، (۱۳۹۴) "برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیت های ثانوی گاوزبان (*Borago officinalis* L.) در واکنش به پیش تیمار بذر و محدودیت آب " **پایان نامه کشاورزی دانشگاه تبریز**.

دیوسالار، م. طهماسبی سروستانی، ز.ع، مدرس ثانوی، س.ع و حمیدی، ا، (۱۳۹۵) "بررسی اثر تنش خشکی به صورت قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی بر عملکرد کمی و کیفی ارقام سویا" شماره ۲، دوره ۱۸، ص ۴۸۱-۴۹۳.

رسولی، د. سلوکی، م. فاخری، ب و اسماعیل زاده بهابادی، ص، (۱۳۹۵) "بررسی فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، پرولین، قندهای محلول، رنگیزه های فتوسنتزی و اسانس دارویی گیاه نعنای فلفلی در واکنش به محلول پاشی سالیسیلیک اسید و تنش منگنز" **دو ماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران**، شماره ۱، دوره ۳۲، ص ۷۱-۸۲.

رضایی چپانه، ا و پیرزاد، ع، (۱۳۹۳) "اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس سیاهدانه در شرایط تنش کم آبی" **نشریه پژوهش های زراعی ایران دانشگاه فردوسی**، شماره ۳، دوره ۱۲، ص ۷۲۷-۷۳۴.

رضوی زاده، ر. آوازه، ف، سامانی، ا، (۱۳۹۷) "بررسی پاسخ های دفاعی گیاهچه های آویشن (*Thymus vulgaris* L.) تحت تنش خشکی در شرایط این ویترو. **مجله علمی - پژوهشی دانشگاه الزهرا**. زیست شناسی کاربردی، شماره ۲، دوره ۳۱، ص ۷۶-۱۰۰.

زارع مهرجردی، م، باقری، ع.ر، بهرامی، ا.ر، نباتی، ج و معصومی، ع، (۱۳۹۵) "تاثیر تنش خشکی بر تنظیم اسمزی، تغییرپذیری پرولین و قندهای محلول ریشه و برگ و رابطه آن با تحمل به خشکی در دوازده ژنوتیپ نخود (*Cicer Arietinum* L.) **مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران)**، شماره ۳، دوره ۲، ص ۴۶۲-۴۵۱.

سعادت مند، م و انتشاری، ش، (۱۳۹۱) "اثر طول زمان پیش تیمار با سیلیکون بر تحمل شوری در گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey)" **علوم و فنون کشت های گلخانه ای**، شماره ۱۲، دوره ۳، ص ۵۷-۴۵.

سیبی، م. میرزاخانی، م. گماریان، م و یعقوبی، س.ج.ا، (۱۳۹۳) "اثر تنش کمبود آب و مصرف اسید سالیسیلیک بر عملکرد روغن و برخی خصوصیات (*Helianthus annuus* L.) فیزیولوژیک ارقام آفتابگردان" **نشریه گیاهان زراعی ایران**. شماره ۱، دوره ۴۵، ص ۱-۱۴.

شکی، ف، ابراهیم زاده معبود، ح و نیکنام، و، (۱۳۹۷) "بررسی اثر برهمکنش سالیسیلیک اسید و پنکونازول بر پاسخ های فیزیولوژیکی و تحت تنش شوری (*Carthamus tinctorius* L.) بیوشیمیائی گلرنگ" **مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)**، شماره ۲، دوره ۳۱، ص ۴۶۹-۴۸۱.

شکاری، ف. خوشه کار، ه. عظیمی، م. ر. و زنگنه، الف، (۱۳۸۹) "تأثیر سالیسیلیک اسید بر فعالیت های فتوسنتزی و عملکرد گل در گیاه گاوزبان (*Borago officinalis* L.)" همایش ملی گیاهان دارویی، ساری جهاد دانشگاهی واحد مازندران.

صالحی، پ. ش. ایزد پناه، م. فلاح، ل. رضانی، م. رسول زاده، ل. کاوندی، ا. سردابی، ف. پهلوانی، م. امیرخانی، م. سیدیان، ا. (۱۳۹۴). "مقایسه اثر تنش خشکی بر تنظیم اسمزی، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و پیگمان ها در نمونه های بذری مختلف بابونه کاذب و بابونه زرد *Tripleurospermum Servans* و *Anthemis Tinctoria* و منابع طبیعی ایران." **مجله پژوهش های گیاهی (زیست شناسی ایران)**. شماره ۱، دوره ۲۸، ص ۱۲۶-۱۳۹.

طریق الاسلامی، م. کافی، م. نظامی، ا. و ضرغامی، ر. (۱۳۹۶) "بررسی برهمکنش تنش سرما و خشکی بر تغییرات شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت و عملکرد دانه در سه رقم هیبرید ذرت دانه ای" **پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی**، شماره ۲۳، دوره ۹، ص ۱۴۶-۱۵۶.

عباسپور، ف. اصغری، ح. ر. رضوانی مقدم، پ. عباس دخت، ح. شباهنگ، ج. و بیگ بابایی، ع. (۱۳۹۷) "اثر بیوچار و کود شیمیایی بر برخی ویژگی های خاک و عملکرد و صفات کیفی سیاه، دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط کمبود آب" **نشریه پژوهش آب در کشاورزی**، دوره ۲۳، شماره ۲، ص ۴۴۱-۴۵۷.

عبدالهی مایوان، م. ضا قربانی، ر. کوچکی، ع. ر. و خرم دل، س. (۱۳۹۷) "ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان اروپایی (*Borago Officinalis* L.) تحت تأثیر مقادیر آبیاری و تراکم بوته" **نشریه بوم شناسی کشاورزی**، شماره ۲، دوره ۱۰، ص ۳۲۷-۳۳۹.

عزیزیان شرمه، ا. طاهری زاده، م. ولی زاده، م. و قاسمی، ع. (۱۳۹۶) "بررسی فعالیت های ضد میکروبی، آنتیاکسیدانی و تعیین محتوای فنلی و فلاونوئیدی کل عصاره های پنج گونه از تیره های مختلف گیاهان دارویی رشد یافته در استان سیستان و بلوچستان" **مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا**، شماره ۴، دوره ۷، ص ۴۶۵-۴۷۹.

عظیم زاده، ی. و نجفی، ن. (۱۳۹۶) "بیوچار، ماده ای با ویژگی های منحصر به فرد برای ترسیب کربن اتمسفر و کاهش گرمایش جهانی" **نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی**، جلد ۵، شماره ۱، ص ۵۱-۶۳.

قربانی، م. اسدی، ح. و ابریشمکش، س. (۱۳۹۴) "تأثیر بیوچار (زغال زیستی) پوسته شلتوک برنج بر آبشویی نیترات در یک خاک رسی" **نشریه پژوهش های خاک علوم خاک و آب**، شماره ۲۹، دوره ۴، ص ۴۲۷-۴۳۴.

قلی نژاد، ر. فاخری، ب. سیروس مهر، ع. (۱۳۹۵) "ارزیابی رژیم آبیاری و کودهای آلی بر عملکرد کمی و کیفی گاوزبان (*Borago officinalis* L.)" **نشریه علمی - پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی**، شماره ۳۹(۳)، دوره ۱۰، ص ۶۹۶-۶۸۳.

کاشی ساز، م. معزی، ع. ا. صیاد، غ. ع. و لطفعلی آینه، غ. ع. (۱۳۹۴) "بررسی روند تغییرات غلظت آمونیم و نیترات در نیمرخ خاک، در سه نوع تناوب زراعی" **نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار**، شماره ۲، دوره ۵، ص ۱۴۹-۱۶۳.

کافی، م. برزویی، ا. صالحی، م. کمندی، ع. معصومی، ع. و نباتی، ح. (۱۳۸۸) "فیزیولوژی تنش های محیطی در گیاهان" **انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد**، چاپ اول، ص ۵۰۲.

کهن مو، م. ا. مدرسی، م. و باقری کاهکش، ز. (۱۳۹۵) "تأثیر محلولپاشی سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) در شرایط آب و هوایی استان بوشهر" **دوماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران**، شماره ۳، دوره ۳۲، ص ۴۲۸-۴۳۵.

- مختاری، ف. اصغری، ح. عباسدخت، ح و برادران، ح، (۱۳۹۵) "تأثیر خاک ورزی بر ترسیب کربن در شرایط استفاده از کودهای شیمیایی در زراعت ذرت " پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.
- محمدپور، ر. ا. قنبری، و ب، فاخری. ۱۳۹۶. اثر نظام‌های مختلف کودده (شیمیایی، زیستی و تلفیقی) بر غلظت عناصر، ویژگیهای بیوشیمیایی و عملکرد چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.). "نشریه بوم شناسی کشاورزی"، شماره ۳، دوره ۹، ص ۶۷۴-۶۵۲.
- نجفی، ن. پارسا زاده، م، (۱۳۸۹) "تأثیر شکل نیتروژن و pH محلول غذایی بر غلظت فسفر، نیترات و نیتروژن بخش هوایی اسفناج در کشت هیدروپونیک" **علوم و فنون کشتهای گلخانه ای**، شماره ۱، دوره ۱، ص ۴۱-۵۵.
- نصرالهی، ف. کشاورزی، م و شیدایی، م، (۱۳۹۱). "بررسی تنوع ریختی گونه های مختلف جنس *Anchusa* L از تیره Boraginaceae در ایران ". **نشریه تاکسونومی و بیوسیستماتیک**، سال ۴، شماره ۱۲، ص ۳۹-۶۰.
- Aamer M. Shaaban M. Hassan M.U. Guoqin H. Ying L. Hai Ying T. Rasul F. Qiaoying M. Zhuanling L. Rasheed A. and Peng Z. (2020). "Biochar Mitigates the N₂O Emissions from Acidic Soil by Increasing the Nos_z and Nirk Gene Abundance and Soil Ph." **J Environ Manage.** 255, pp 109891.
- Abaas E. Hill P. Roberts P. Murphy D. and Jones D. (2012). "Microbial Activity Differentially Regulates the Vertical Mobility of Nitrogen Compounds in Soil." **Soil Biol Biochem.** 53, pp 120-123.
- Abbas T. Rizwan M. Ali S. Adrees M. Mahmood A. Zia-ur-Rehman M. Ibrahim M. Arshad M. and Qayyum M.F. (2018). "Biochar Application Increased the Growth and Yield and Reduced Cadmium in Drought Stressed Wheat Grown in an Aged Contaminated Soil." **Ecotoxicol Environ Saf.** 148, pp 825-833.
- Abdelli M. Assia A. Houria M. and Rachida M. (2016). "Algerian *Mentha Pulegium* L. Leaves Essential Oil: Chemical Composition, Antimicrobial, Insecticidal and Antioxidant Activities." **Ind Crops Prod.** 94, pp 197-205.
- Aebi H. (1984). [13] Catalase in Vitro, 121-126. **Methods in Enzymology.** 105. Academic Press.
- Afshari M. Shekari F. Azimkhani R. HABIBI H. and FOTOKIAN M.H. (2013). "Effects of Foliar Application of Salicylic Acid on Growth and Physiological Attributes of Cowpea under Water Stress Conditions." **Iran Agric Res: IAR.** 32,1, pp 55-70.
- Akbari G.A. Heshmati S. Soltani E. and Amini Dehaghi M. (2020). "Influence of Seed Priming on Seed Yield, Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Grown under Water Deficit." **Intl J Agron Plant Prod.** 14,2, pp 245-258.
- Akbari G.A. Heshmati S. Soltani E. and Dehaghi M.A. (2019). "Influence of Seed Priming on Seed Yield, Oil Content and Fatty Acid Composition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Grown under Water Deficit." **Intl J Agron Plant Prod**, pp 1-14.
- Akhtar S. Li G. Andersen M. and Liu F. (2014). "Biochar Enhances Yield and Quality of

Tomato under Reduced Irrigation." **Agric Water Manag.** **138**, pp 37-44.

Akhtar S.S. Li G. Andersen M.N. and Liu F. (2014). "Biochar Enhances Yield and Quality of Tomato under Reduced Irrigation." **Agric Water Manag.** **138**, pp 37-44.

Ali M. Hahn E.-J. and Paek K. (2007). "Methyl Jasmonate and Salicylic Acid Induced Oxidative Stress and Accumulation of Phenolics in *Panax Ginseng* Bioreactor Root Suspension Cultures." **Molecules.** **12**, pp 607-621.

Ali Q. and Ashraf M. (2011). "Exogenously Applied Glycine Betaine Enhances Seed and Seed Oil Quality of Maize (*Zea Mays* L.) under Water Deficit Conditions." **Environ Exp Bot.** **71**, pp 249-259.

Ameloot N. Maenhout P. De Neve S. and Sleutel S. (2016). "Biochar-Induced N₂o Emission Reductions after Field Incorporation in a Loam Soil." **Geoderma.** **267**, pp 10-16.

Amini S. Ghobadi C. and Yamchi A. (2015). "Proline Accumulation and Osmotic Stress: An Overview of P5cs Gene in Plants." **J. Plant Mol. Breed.**, **32**, pp 44-55.

Anderson C.R. Condon L.M. Clough T. Fiers M. Stewart A. Hill R. and Sherlock R. (2011). "Biochar Induced Soil Microbial Community Change: Implications for Biogeochemical Cycling of Carbon, Nitrogen and Phosphorus." **Pedobiologia.** **54**, pp 309-320.

Anderson C.R. Hamonts K. Clough T.J. and Condon L.M. (2014). "Biochar Does Not Affect Soil N-Transformations or Microbial Community Structure under Ruminant Urine Patches but Does Alter Relative Proportions of Nitrogen Cycling Bacteria." **Agric Ecosyst Environ.** **191**, pp 63-72.

André C.M. Schafleitner R. Legay S. Lefèvre I. Aliaga C.A.A. Nomberto G. Hoffmann L. Hausman J.-F. Larondelle Y. and Evers D. (2009). "Gene Expression Changes Related to the Production of Phenolic Compounds in Potato Tubers Grown under Drought Stress." **Phytochemistry.** **70**, **9**, pp 1107-1116.

Asadi-Samani M. Bahmani M. and Rafieian-Kopaei M. (2014). "The Chemical Composition, Botanical Characteristic and Biological Activities of *Borago officinalis* L.: A Review." **Asian Pac J Trop Biomed.** **7**, pp S22-S28.

Asai H. Samson B.K. Stephan H.M. Songyikhangsuthor K. Homma K. Kiyono Y. Inoue Y. Shiraiwa T. and Horie T. (2009). "Biochar Amendment Techniques for Upland Rice Production in Northern Laos: 1. Soil Physical Properties, Leaf Spad and Grain Yield." **Field Crops Res.** **111**, **1-2**, pp 81-84.

Ashrafi E. and Razmjoo K. (2010). "Effect of Irrigation Regimes on Oil Content and Composition of Safflower (*Carthamus Tinctorius* L.) Cultivars." **J Am Oil Chem Soc.** **87**, **5**, pp 499-506.

Azhar N. Hussain B. Abbasi K.Y. and Ashraf M.Y. (2011). "Water Stress Mediated

Changes in Growth, Physiology and Secondary Metabolites of Desi Ajwain (*Trachyspermum ammi* L)." **Pak J Bot.** **43**, pp 15-19.

Bala S. Asthir B. and Bains N. (2018). "Heat and Drought Stress Responses Alter Grain Characteristics by Impeding Starch Precursors of Wheat." **Indian J Exp Biol.** **56**, pp 565-572.

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**, pp 38–44.

Bates L.S. Waldren R.P. and Teare I.D. (1973). "Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies." **Plant Soil.** **39,1**, pp 205-207.

Batool A. Taj S. Rashid A. Khalid A. Qadeer S. Saleem A.R. and Ghufuran M.A. (2015). "Potential of Soil Amendments (Biochar and Gypsum) in Increasing Water Use Efficiency of *Abelmoschus Esculentus* L. Moench." **Front Plant Sci.** **6**, pp 733.

BAYAT S. and SEPEHRI A. (2012). "Paclobutrazol and Salicylic Acid Application Ameliorates the Negative Effect of Water Stress on Growth and Yield of Maize Plants." pp.

Beauchamp C. and Fridovich I. (1971). "Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels." **Analyt Bio.,** **44,1**, pp 276-287.

Beesley L. Moreno-Jiménez E. Gomez-Eyles J.L. Harris E. Robinson B. and Sizmur T. (2011). "A Review of Biochars' Potential Role in the Remediation, Revegetation and Restoration of Contaminated Soils." **Environ Pollut.** **159,12**, pp 3269-3282.

Bettaieb I. Zakhama N. Wannes W.A. Kchouk M.E. and Marzouk B. (2009). "Water Deficit Effects on *Salvia officinalis* Fatty Acids and Essential Oils Composition." **Sci. Hort.,** **120,2**, pp 271-275.

Bitarafan Z. Liu F. and Andreasen C. (2020). "The Effect of Different Biochars on the Growth and Water Use Efficiency of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.)." **J Agron Crop Sci.** **206,2**, pp 169-175.

Borchard N. Schirrmann M. Cayuela M.L. Kammann C. Wrage-Mönnig N. Estavillo J.M. Fuertes-Mendizábal T. Fuertes-Mendizábal T. Sigua G. Spokas K. Ippolito J.A. and Novak J. (2019). "Biochar, Soil and Land-Use Interactions That Reduce Nitrate Leaching and N₂O Emissions: A Meta-Analysis." **Sci Total Environ.** **651,Pt 2**, pp 2354-2364.

Bridgwater A.V. (2012). "Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading." **Biomass Bioenergy.** **38**, pp 68-94.

Butnan S. Deenik J.L. Toomsan B. Antal M.J. and Vityakon P. (2015). "Biochar Characteristics and Application Rates Affecting Corn Growth and Properties of Soils Contrasting in Texture and Mineralogy." **Geoderma.** **237**, pp 105-116.

Cao X. Zhong C. Zhu C. Zhu L. Zhang J. Wu L. and Jin Q. (2018). "Ammonium Uptake and Metabolism Alleviate Peg-Induced Water Stress in Rice Seedlings." **Plant Physiol Biochem.** **132**, pp.

Cao Y. Luo Q. Tian Y. and Meng F. (2017). "Physiological and Proteomic Analyses of the Drought Stress Response in *Amygdalus Mira* (Koehne) Yü Et Lu Roots." **BMC Plant Biol.** **17**,1, pp 53.

Cayuela M.L. Zwieten L.v. Singh B.P. Jeffery S.L. Roig A. and Sánchez-Monedero M.A. (2014). "Biochar's Role in Mitigating Soil Nitrous Oxide Emissions: A Review and Meta-Analysis." **Agric Ecosyst Environ.** **191**, pp 5-16.

Chalker-Scott L. (2002). "Do Anthocyanins Function as Osmoregulators in Leaf Tissues?" **Adv Bot Res.** **37**, pp 103-127.

Chance B. and Maehly A.C. (1955). Assay of Catalases and Peroxidases,. **Methods in Enzymology.** **2**,pp 764-775 ,Academic Press.

Chavoushi M. Najafi F. Salimi A. and Angaji S. (2020). "Effect of Salicylic Acid and Sodium Nitroprusside on Growth Parameters, Photosynthetic Pigments and Secondary Metabolites of Safflower under Drought Stress." **Sci. Hortic.**, **259**, pp 108823.

Chen H. Ma J. Wei J. Xin G. Yu X. Guo H. and Zhao Y. (2018). "Biochar Increases Plant Growth and Alters Microbial Communities Via Regulating the Moisture and Temperature of Green Roof Substrates." **Sci Total Environ.** **635**, pp 333-342.

Chen H.-X. Du Z.-L. Guo W. and Zhang Q.-Z. (2011). "[Effects of Biochar Amendment on Cropland Soil Bulk Density, Cation Exchange Capacity, and Particulate Organic Matter Content in the North China Plain]." **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.** **22**,11, pp 2930-2934.

Chen Z. Zheng Z. Huang J. Lai Z. and Fan B. (2009). "Biosynthesis of Salicylic Acid in Plants." **Plant Signal Behav.** **4**,6, pp 493-496.

Chintala R. Mollinedo J. Schumacher T.E. Malo D.D. and Julson J.L. (2014). "Effect of Biochar on Chemical Properties of Acidic Soil." **Arch Agron Soil Sci.** **60**,3, pp 393-404.

Crombie K. and Mašek O. (2015). "Pyrolysis Biochar Systems, Balance between Bioenergy and Carbon Sequestration." **GCB Bioenergy.** **7**,2, pp 349-361.

Cui G. Zhang Y. Zhang W. Lang D. Zhang X. Li Z. and Zhang X. (2019). "Response of Carbon and Nitrogen Metabolism and Secondary Metabolites to Drought Stress and Salt Stress in Plants." **J. Plant Biol.**, **62**,6, pp 387-399.

Cunniff P. (1995). "Aoac International." **Official methods of analysis of AOAC International.** **16th ed.** Arlington, VA, USA: AOAC International, pp. 350-361.

Dai Z. Barberan A. Li Y. Brookes P.C. and Xu J. (2017). "Bacterial Community Composition Associated with Pyrogenic Organic Matter (Biochar) Varies with Pyrolysis

Temperature and Colonization Environment." **Msphere**. **2,2**, pp.345-356.

Demirevska K. Simova L. Vassileva V. Vaseva I. Grigorova B. and Feller U. (2007). "Drought-Induced Leaf Protein Alterations in Sensitive and Tolerant Wheat Varieties." **gen appli plant phsiol.**, **34**, pp.370-382.

Díaz-López L. Gimeno V. Simón I. Martínez V. Rodríguez-Ortega W.M. and García-Sánchez F. (2012). "*Jatropha curcas* Seedlings Show a Water Conservation Strategy under Drought Conditions Based on Decreasing Leaf Growth and Stomatal Conductance." **Agric Water Manag.** **105**, pp 48-56.

Dong X. Ma L.Q. and Li Y. (2011). "Characteristics and Mechanisms of Hexavalent Chromium Removal by Biochar from Sugar Beet Tailing." **J Hazard Mater.** **190,1-3**, pp 909-915.

Ebrahimian E. Seyyedi S. Bybordi A. and Damalas C. (2019). "Seed Yield and Oil Quality of Sunflower, Safflower, and Sesame under Different Levels of Irrigation Water Availability." **Agric Water Manag.** **218**, pp 149–157.

Estaji A. and Niknam F. (2020). "Foliar Salicylic Acid Spraying Effect' on Growth, Seed Oil Content, and Physiology of Drought-Stressed *Silybum marianum* L. Plant." **Agric Water Manag.** **234**, pp 106116.

Falchi R. Petrusa E. Zancani M. Casolo V. Beraldo P. Nardini A. Sivilotti P. Calderan A. Herrera J. Peterlunger E. and Braidot E. (2019). **Summer Drought Stress: Differential Effects on Cane Anatomy and Non-Structural Carbohydrate Content in Overwintering Cabernet Sauvignon and Syrah Vines.**13,pp 146-157.

Farooq M. Gogoi N. Barthakur S. Baroowa B. Bharadwaj N. Alghamdi S.S. and Siddique K.H.M. (2017). "Drought Stress in Grain Legumes During Reproduction and Grain Filling." **J Agron Crop Sci.** **203,2**, pp 81-102.

Farhadi N. and Ghassemi-Golezani K. (2020). Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. **Scientia Horticulturae.** **267**, pp109325-109333.

Feng Y. Xu Y. Yu Y. Xie Z. and Lin X. (2012). "Mechanisms of Biochar Decreasing Methane Emission from Chinese Paddy Soils." **Soil Biol Biochem.** **46**, pp 80-88.

Fernandes L. Pereira J.A. Saraiva J.A. Ramalhosa E. and Casal S. (2019). "Phytochemical Characterization of *Borago officinalis* L. And *Centaurea cyanus* L. During Flower Development." **Food Res. Int.**, **123**, pp 771-778.

Folch J, Lees M, Stanley GHS. (1957) "A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues". **J Biol Chem.** **226, 1**, pp 497–50.

Fischer B.M.C. Manzoni S. 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**, pp 853-

Fuchslueger L. Kastl E.-M. Bauer F. Kienzl S. Hasibeder R. Ladreiter-Knauss T. Schmitt M. Bahn M. Schlöter M. and Richter A. (2014). "Effects of Drought on Nitrogen Turnover and Abundances of Ammonia-Oxidizers in Mountain Grassland." **Biogeosciences**. **11**,21, pp 6003-6015.

Gao S. Wang Y. Yu S. Huang Y. Liu H. Chen W. and He X. (2020). "Effects of Drought Stress on Growth, Physiology and Secondary Metabolites of Two Adonis Species in Northeast China." **Sci. Hortic.**, **259**, pp 108795.

Ghaffari H. Tadayon M.R. Nadeem M. Cheema M. and Razmjoo J. (2019). "Proline-Mediated Changes in Antioxidant Enzymatic Activities and the Physiology of Sugar Beet under Drought Stress." **Acta Physiol Plant**. **41**,2, pp 23.

Gharechaei N. Paknejad F. Rad A. Tohidloo G. and Jabbari H. (2019). "Change in Oil Fatty Acids Composition of Winter Oilseed Rape Genotypes under Drought Stress and Different Temperature Regimes." **Plant Soil Environ.**, pp.746-758.

Gharib F.A. (2006). "Effect of Salicylic Acid on the Growth, Metabolic Activities and Oil Content of Basil and Marjoram." **Int. J. Agr. Biol.** **4**, pp 485-492.

Ghassemi S. Ghassemi-Golezani K. and Zehtab-Salmasi S. (2019). "Changes in Antioxidant Enzymes Activities and Physiological Traits of Ajowan in Response to Water Stress and Hormonal Application." **Sci. Hortic.**, **246**, pp 957-964.

Ghassemi-Golezani K. and Farhangi-Abriz S. (2019). "Biochar Alleviates Fluoride Toxicity and Oxidative Stress in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Seedlings." **Chemosphere**. **223**, pp 406-415.

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 Physiol.**, **62**,5, pp 611-616.

Ghobadi M. Sadra S. Ghobadi M. Mohammadi G.R. and Jalali-Honarmand S. (2013). "Antioxidant Capacity, Photosynthetic Characteristics and Water Relations of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars in Response to Drought Stress." **Ind Crops Prod.** **50**, pp 29-38.

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 Manag.** **117**, pp 106-114.

Ghorbani M. and Amirahmadi E. (2018). "Effect of Rice Husk Biochar (RhB) on Some of Chemical Properties of an Acidic Soil and the Absorption of Some Nutrients." **JASEM**. **22**,3, pp 313-317.

Ghorbani M. Asadi H. and Abrishamkesh S. (2019). "Effects of Rice Husk Biochar on

Selected Soil Properties and Nitrate Leaching in Loamy Sand and Clay Soil." **Int. Soil Water Conserv. Res.**, 7,3, pp 258-265.

Ghotbzadeh Kermani S. Saeidi G. Sabzalian M.R. and Gianinetti A. (2019). "Drought Stress Influenced Sesamin and Sesamolin Content and Polyphenolic Components in Sesame (*Sesamum indicum* L.) Populations with Contrasting Seed Coat Colors." **Food Chem.** 289, pp 360-368.

Githinji L. (2014). "Effect of Biochar Application Rate on Soil Physical and Hydraulic Properties of a Sandy Loam." **Arch Agron Soil Sci.** 60,4, pp 457-470.

Gong Z. Li P. Guo S. Jing X. Wang X. and Zhang H. (2001). "[Bioslurry Remediation of Soil Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons." **Huan Jing Ke Xue.** 22,5, pp 112-116.

Graber E.R. Frenkel O. Jaiswal A.K. and Elad Y. (2014). "How May Biochar Influence Severity of Diseases Caused by Soilborne Pathogens?" **Carbon Manag.** 5,2, pp 169-183.

Graber E.R. Tsechansky L. Khanukov J. and Oka Y. (2011). "Sorption, Volatilization, and Efficacy of the Fumigant 1,3-Dichloropropene in a Biochar-Amended Soil." **Soil Sci Soc Am J.** 75,4, pp 1365-1373.

Güteryüz G. Titrek E. and Arslan H. (2008). "Nitrogen Mineralization in the Ruderal Sub-Alpine Communities in Mount Uludağ, Turkey." **Eur J Soil Biol.** 44,4, pp 408-418.

Gutiññas M.E. Leirós M. Trasar-Cepeda C. and Gil-Sotres F. (2012). "Effects of Moisture and Temperature on Net Soil Nitrogen Mineralization: A Laboratory Study." **Eur J Soil Biol.** 48, pp 73-80.

Habibi D. Boojar M. Mahmoudi A. Ardakani M. and Taleghani D. (2004). **Antioxidative Enzymes in Sunflower Subjected to Drought Stress.** 4th International Crop Science Congress, Australia.

Haider G. Koyro H.-W. Azam F. Steffens D. xfc ller 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, pp 141-157.

Hardie M. Clothier B. Bound S. Oliver G. and Close D. (2014). "Does Biochar Influence Soil Physical Properties and Soil Water Availability?" **Plant Soil.** 376, pp 347-361.

Harter J. Krause H.-M. Schuettler S. Ruser R. Fromme M. Scholten T. Kappler A. and Behrens S. (2014). "Linking N₂O Emissions from Biochar-Amended Soil to the Structure and Function of the N-Cycling Microbial Community." **ISME J.** 8,3, pp 660-674.

Hashem A. Kumar A. Al-Dbass A.M. Alqarawi A.A. Al-Arjani A.-B.F. Singh G. Farooq M. and Abd_Allah E.F. (2019). "*Arbuscular mycorrhizal* Fungi and Biochar Improves Drought Tolerance in Chickpea." **Saudi J. Biol. Sci.**, 26,3, pp 614-624.

Hashem I. and Mohamed M.H. (2018). "Aerodynamic Performance Enhancements of H-

Rotor Darrieus Wind Turbine." **Energy**. **142**, pp 531-545.

Hashemi A. (2019). "Effects of Salt Stress on the Morphological Characteristics, Total Phenol and Total Anthocyanin Contents of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.)." **Indian J. Plant Physiol.**, v. **24**, 2, pp 210-214-2019 v.2024 no.2012.

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.)." **Indian J. Plant Physiol.**, **24**,2, pp 210-214.

Hayat Q. Hayat S. Irfan M. and Ahmad A. (2010). "Effect of Exogenous Salicylic Acid under Changing Environment: A Review." **Environ Exp Bot.** **68**,1, pp 14-25.

Herath S. Camps Arbestain M. and Hedley M. (2013). "Effect of Biochar on Soil Physical Properties in Two Contrasting Soils: An Alfisol and an Andisol." **Geoderma**. **209-210**, pp 188-197.

Hiscox J. and Israelstam G. (1979). "A Method for the Extraction of Chlorophyll from Leaf Tissue without Maceration." **Can J Bot.** **57**,12, pp 1332-1334.

Holliday V.T. (1990). "Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods (2nd Edition), A. Klute, Ed., 1986, American Society of Agronomy, Agronomy Monographs 9(1), Madison, Wisconsin, 1188 Pp., \$60.00." **Geoarchaeology**. **5**,1, pp 87-89.

Homyak P.M. Allison S.D. Huxman T.E. Goulden M.L. and Treseder K.K. (2017). "Effects of Drought Manipulation on Soil Nitrogen Cycling: A Meta-Analysis." **J Geophys Res Biogeosci.** **122**,12, pp 3260-3272.

Hoseinlou S. Ebadi A. Ghaffari M. and Mostafaei E. (2013). "Nitrogen Use Efficiency under Water Deficit Condition in Spring Barley." **Aust J Crop Sci.** **4**, pp 3681-3687.

Huang L. Li M. Zhou K. Sun T. Hu L. Li C. and Ma F. (2018). "Uptake and Metabolism of Ammonium and Nitrate in Response to Drought Stress in *Malus prunifolia*." **Plant Physiol Biochem.** **127**, pp 185-193.

Hui D. Yu C.-L. Deng Q. Saini P. Collins K. and Koff J.D. (2018). "Weak Effects of Biochar and Nitrogen Fertilization on Switchgrass Photosynthesis, Biomass, and Soil Respiration." **Agriculture**. **8**,9, pp 143.

Idrees M. Khan M.M.A. Aftab T. Naeem M. and Hashmi N. (2010). "Salicylic Acid-Induced Physiological and Biochemical Changes in Lemongrass Varieties under Water Stress." **J Plant Interact.** **5**,4, pp 293-303.

Jahan M.S. Wang Y. Shu S. Zhong M. Chen Z. Wu J. Sun J. and Guo S. (2019). "Exogenous Salicylic Acid Increases the Heat Tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by Enhancing Photosynthesis Efficiency and Improving Antioxidant Defense System through Scavenging of Reactive Oxygen Species." **Sci. Hortic.**, **247**, pp 421-429.

Jaleel C.A. Manivannan P. Wahid A. Farooq M. Al-Juburi H.J. Somasundaram R. and Panneerselvam R. (2009). "Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition." **Int. J. Agr. Biol.** **11,1**, pp 100-105.

Jeffery S. Meinders M.B.J. Stoof C.R. Bezemer T.M. Voorde T.F.J.v.d. Mommer L. and Groenigen J.W.v. (2015). "Biochar Application Does Not Improve the Soil Hydrological Function of a Sandy Soil." **Geoderma**. **251-252**, pp 47-54.

Jeffery S. Verheijen F.G.A. van der Velde M. and Bastos A.C. (2011). "A Quantitative Review of the Effects of Biochar Application to Soils on Crop Productivity Using Meta-Analysis." **Agric Ecosyst Environ.** **144,1**, pp 175-187.

Jindo K. Mizumoto H. Sawada Y. Sánchez-Monedero M. and Sonoki T. (2014). "Physical and Chemical Characterization of Biochars Derived from Different Agricultural Residues." **Biogeosciences**. **11**, pp 6613-6621.

Jindo K. Sánchez-Monedero M.A. Hernández T. García C. Furukawa T. Matsumoto K. Sonoki T. and Bastida F. (2012). "Biochar Influences the Microbial Community Structure During Manure Composting with Agricultural Wastes." **Sci. Total Environ.**, **416**, pp 476-481.

Jindo K. Suto K. Matsumoto K. Garcia C. Sonoki T. and Sánchez-Monedero M. (2012). "Chemical and Biochemical Characterisation of Biochar-Blended Composts Prepared from Poultry Manure." **Bioresour Technol.** **110**, pp 396-404.

Kammann C.I. Linsel S. Gößling J.W. and Koyro H.-W. (2011). "Influence of Biochar on Drought Tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on Soil–Plant Relations." **Plant Soil**. **345,1-2**, pp 195-210.

Karhu K. Mattila T. Bergström I. and Regina K. (2011). "Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity – Results from a Short-Term Pilot Field Study." **Agric Ecosyst Environ.** **140,1**, pp 309-313.

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.**, **12,2**, pp 826-838.

Keshavarz Afshar R. Hashemi M. DaCosta M. Spargo J. and Sadeghpour A. (2016). "Biochar Application and Drought Stress Effects on Physiological Characteristics of *Silybum marianum*." **Commun Soil Sci Plant Anal.** **47,6**, pp 743-752.

Khan M.I. Asgher M. and Khan N.A. (2014). "Alleviation of Salt-Induced Photosynthesis and Growth Inhibition by Salicylic Acid Involves Glycine betaine and Ethylene in Mungbean (*Vigna radiata* L.)." **Plant Physiol Biochem.** **80**, pp 67-74.

Khan M.I.R. Fatma M. Per T.S. Anjum N.A. and Khan N.A. (2015). "Salicylic Acid-Induced Abiotic Stress Tolerance and Underlying Mechanisms in Plants." **Front Plant Sci.** **6,462**, pp.

Khorramdel S. Koochaki A. and ghorbani R. (2018). "Evaluation of Yield and Yield Component of Borage (*Borago officinalis* L.) Affected as Irrigation Level and Plant Density." pp.

112.Kinney T.J. Masiello C.A. Dugan B. Hockaday W.C. Dean M.R. Zygourakis K. and Barnes R.T. (2012). "Hydrologic Properties of Biochars Produced at Different Temperatures." **Biomass Bioenergy**. **41**, pp 34-43.

Kizito S. Wu S. Kipkemoi Kirui W. Lei M. Lu Q. Bah H. and Dong R. (2015). "Evaluation of Slow Pyrolyzed Wood and Rice Husks Biochar for Adsorption of Ammonium Nitrogen from Piggery Manure Anaerobic Digestate Slurry." **Sci Total Environ**. **505**, pp 102-112.

Kordi S. Saidi M. and Ghanbari F. (2013). "Induction of Drought Tolerance in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) by Salicylic Acid." **IRISH J AGR FOOD RES**. **2,2**, pp 18-26.

Kramer P. (1983). "Water Relations of Plants. Academic Pres." **Inc New York**, pp.110-116.

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**, pp 1-7.

Kumari K. Moldrup P. Paradelo M. Elsgaard L. Hauggaard-Nielsen H. and de Jonge L.W. (2014). "Effects of Biochar on Air and Water Permeability and Colloid and Phosphorus Leaching in Soils from a Natural Calcium Carbonate Gradient." **J. Environ. Qual.**, **43,2**, pp 647-657.

Kusano T. Berberich T. Tateda C. and Takahashi Y. (2008). "Polyamines: Essential Factors for Growth and Survival." **Planta**. **228,3**, pp 367-381.

Laird D.A. (2008). "The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, While Improving Soil and Water Quality." **Agronomy journal**. **100,1**, pp 178-181.

Laird D.A. Chappell M.A. Martens D.A. Wershaw R.L. and Thompson M. (2008). "Distinguishing Black Carbon from Biogenic Humic Substances in Soil Clay Fractions." **Geoderma**. **143,1-2**, pp 115-122.

Laird D.A. Fleming P. Davis D.D. Horton R. Wang B. and Karlen D.L. (2010). "Impact of Biochar Amendments on the Quality of a Typical Midwestern Agricultural Soil." **Geoderma**. **158,3-4**, pp 443-449.

Langeroodi A.R.S. Campiglia E. Mancinelli R. and Radicetti E. (2019). "Can Biochar Improve Pumpkin Productivity and Its Physiological Characteristics under Reduced Irrigation Regimes?" **Sci. Hortic.**, **247**, pp 195-204.

Lanna A.C. Mitsuzono S.T. Terra T.G.R. Pereira Vianello R. and Carvalho M.A.d.F. (2016). "Physiological Characterization of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes, Water-Stress Induced with Contrasting Response Towards Drought." **Aust J Crop Sci.** **10,1**, pp 120-131.

Lashari M.S. Liu Y. Li L. Pan W. Fu J. Pan G. Zheng J. Zheng J. Zhang X. and Yu X. (2013). "Effects of Amendment of Biochar-Manure Compost in Conjunction with Pyro ligneous Solution on Soil Quality and Wheat Yield of a Salt-Stressed Cropland from Central China Great Plain." **Field Crops Res.** **144**, pp 113-118.

Lee B.-R. Zhang Q. Park S.-H. Islam M.T. and Kim T.-H. (2019). "Salicylic Acid Improves Drought-Stress Tolerance by Regulating the Redox Status and Proline Metabolism in Brassica Rapa." **Hortic Environ Biotechnol.** **60,1**, pp 31-40.

Lehmann J. (2007). "Bio-Energy in the Black." **Front Ecol Environ.** **5,7**, pp 381-387.

Lehmann J. da Silva J.P. Steiner C. Nehls T. Zech W. and Glaser B. (2003). "Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments." **Plant Soil.** **249,2**, pp 343-357.

Lehmann J. and Joseph S. (2009). "Biochar for Environmental Management: An Introduction." **Bioch for env manag: Sci. and tec.**, **1**, pp 1-12.

Lehmann J. and Joseph S. (2015). **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**, Routledge. pp 540-551.

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 Biol Biochem.** **43,9**, pp 1812-1836.

Li Z. Song Z. Singh B.P. and Wang H. (2019). "The Impact of Crop Residue Biochars on Silicon and Nutrient Cycles in Croplands." **Sci. Total Environ.**, **659**, pp 673-680.

Liang B. Lehmann J. Solomon D. Kinyangi J. Grossman J. O'Neill B. Skjemstad J.O. Thies J. Luizão F.J. and Petersen J. (2006). "Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils." **Soil Sci Soc Am J.** **70,5**, pp 1719-1730.

Lin X. Xie Z. Zheng J. Liu Q. Bei Q. and Zhu J. (2015). "Effects of Biochar Application on Greenhouse Gas Emissions, Carbon Sequestration and Crop Growth in Coastal Saline Soil." **Eur. J. Soil Sci.**, **66,2**, pp 329-338.

Liu J. Ding Y. Ji Y. Gao G. and Wang Y. (2020). "Effect of Maize Straw Biochar on Bacterial Communities in Agricultural Soil." **Bull Environ Contam Toxicol.** **104,3**, pp 333-338.

Liu Q. Zhang Y. Liu B. Amonette J.E. Lin Z. Liu G. Ambus P. and Xie Z. (2018). "How Does Biochar Influence Soil N Cycle? A Meta-Analysis." **Plant Soil.** **426,1-2**, pp 211-225.

Liu X. Zhang A. Ji C. Joseph S. Bian R. Li L. Pan G. and Paz-Ferreiro J. (2013). "Biochar's Effect on Crop Productivity and the Dependence on Experimental Conditions—a Meta-Analysis of Literature Data." **Plant Soil**. **373**,1-2, pp 583-594.

Lopes-Lutz D. Alviano D.S. Alviano C.S. and Kolodziejczyk P.P. (2008). "Screening of Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Artemisia Essential Oils." **Phytochemistry**. **69**,8, pp 1732-1738.

Lu H. Zhang W. Yang Y. Huang X. Wang S. and Qiu R. (2012). "Relative Distribution of Pb²⁺ Sorption Mechanisms by Sludge-Derived Biochar." **Water Res.**, **46**,3, pp 854-862.

Lyu S. Du G. Liu Z. Zhao L. and Lyu D. (2016). "Effects of Biochar on Photosystem Function and Activities of Protective Enzymes in *Pyrus ussuriensis maxim.* Under Drought Stress." **Acta Physiol Plant**. **38**,9, pp 220.

Maatallah S. Nasri N. Hajlaoui H. Albouchi A. and Elaissi A. (2016). "Evaluation Changing of Essential Oil of Laurel (*Laurus nobilis* L.) under Water Deficit Stress Conditions." **Ind Crops Prod**. **91**, pp 170-178.

Major J. Rondon M. Molina D. Riha S.J. and Lehmann J. (2010). "Maize Yield and Nutrition During 4 Years after Biochar Application to a Colombian Savanna Oxisol." **Plant Soil**. **333**,1-2, pp 117-128.

Manolikaki I. and Diamadopoulos E. (2020). "Agronomic Potential of Biochar Prepared from Brewery Byproducts." **J Environ Manage**. **255**, pp 109856.

Martos S. Mattana S. Ribas A. Albanell E. and Domene X. (2020). "Biochar Application as a Win-Win Strategy to Mitigate Soil Nitrate Pollution without Compromising Crop Yields: A Case Study in a Mediterranean Calcareous Soil." **J. Soils Sediments**. **20**,1, pp 220-233.

Masarovičová E. and Kráľová K. (2006). Medicinal Plants-Past, Nowadays, Future. **I International Symposium on Chamomile Research, Development and Production** 749. 19-27.

Masulili A. Utomo W.H. and Syechfani M. (2010). "Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The Characteristics of Rice Husk Biochar and Its Influence on the Properties of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia." **J. Agric. Sci. Technol.**, **2**,1, pp 39.

Medrano H. Parry M. Socias X. and Lawlor D. (1997). "Long Term Water Stress Inactivates Rubisco in Subterranean Clover." **Ann Appl Biol**. **131**,3, pp 491-501.

Meng S. Zhang C. Su L. Li Y. and Zhao Z. (2016). "Nitrogen Uptake and Metabolism of *Populus Simonii* in Response to Peg-Induced Drought Stress." **Environ Exp Bot**. **123**, pp 78-87.

Metcalfe L. D. Schmitz A and Pelka J. R (1966). "Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis." **Analytical chem.** **38,3**, pp 514-515.

Mia S. Van Groenigen J. Van de Voorde T. Oram N. Bezemer T. Mommer L. and Jeffery S. (2014). "Biochar Application Rate Affects Biological Nitrogen Fixation in Red Clover Conditional on Potassium Availability." **Agric Ecosyst Environ.** **191**, pp 83-91.

Miceli C. Moncada A. Vetrano F. D'Anna F. and Miceli A. (2019). "Suitability of *Borago Officinalis* for Minimal Processing as Fresh-Cut Produce." **Horticulturae.** **5,4**, pp 66.

Mittler R. (2002). "Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance." **Trends Plant Sci.**, **7,9**, pp 405-410.

Mohammadi M. Modarres-Sanavy S.A.M. Pirdashti H. Zand B. and Tahmasebi-Sarvestani Z. (2018). "How to Change the Ratio of Unsaturated (Omega 3, 6, 7 and 9) to Saturated Fatty Acids in *Oenothera biennis* L. Oil under Water Deficit Stress, Fertilizers and Geographical Zones." **Plant Physiol Biochem.** **133**, pp 71-80.

Mohanty N. (2003). "Photosynthetic Characteristics and Enzymatic Antioxidant Capacity of Flag Leaf and the Grain Yield in Two Cultivars *Oftriticum aestivum* (L.) Exposed to Warmer Growth Conditions." **J. Plant Physiol.**, **160,1**, pp 71-74.

Morshedloo M.R. Craker L.E. Salami A. Nazeri V. Sang H. and Maggi F. (2017). "Effect of Prolonged Water Stress on Essential Oil Content, Compositions and Gene Expression Patterns of Mono-and Sesquiterpene Synthesis in Two Oregano (*Origanum vulgare* L.) Subspecies." **Plant Physiol Biochem.** **111**, pp 119-128.

Mukherjee A. and Lal R. (2013). "Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions." **Agronomy.** **3,2**, pp 313-339.

Nautiyal P. Rachaputi N.R. and Joshi Y. (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**, pp 67-79.

Nazar R. Umar S. Khan N. 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**, pp 84-94.

Nederal S. Petrović M. Vincek D. Pukec D. Škevin D. Kraljić K. and Obranović M. (2014). "Variance of Quality Parameters and Fatty Acid Composition in Pumpkin Seed Oil During Three Crop Seasons." **Ind Crops Prod.** **60**, pp 15-21.

Nelissen V. Ruyschaert G. Manka'Abusi D. D'Hose T. De Beuf K. Al-Barri B. Cornelis W. and Boeckx P. (2015). "Impact of a Woody Biochar on Properties of a Sandy Loam Soil and Spring Barley During a Two-Year Field Experiment." **Eur J Agron.** **62**, pp 65-78.

Nguyen T.T.N. Xu C.-Y. Tahmasbian I. Che R. Xu Z. Zhou X. Wallace H.M. and Bai S.H. (2017). "Effects of Biochar on Soil Available Inorganic Nitrogen: A Review and Meta-Analysis." **Geoderma**. **288**, pp 79-96.

Nogués I. Medori M. and Calfapietra C. (2015). "Limitations of Monoterpene Emissions and Their Antioxidant Role in *Cistus* Sp. Under Mild and Severe Treatments of Drought and Warming." **Environ Exp Bot**. **119**, pp 76-86.

Nosetto M. Jobbágy E. and Paruelo J. (2006). "Carbon Sequestration in Semi-Arid Rangelands: Comparison of *Pinus Ponderosa* Plantations and Grazing Exclusion in Nw Patagonia." **J. Arid Environ.**, **67**,1, pp 142-156.

Nouraei S. Rahimmalek M. Saeidi G. and Bahreininejad B. (2016). "Variation in Seed Oil Content and Fatty Acid Composition of *Globe artichoke* under Different Irrigation Regimes." **J Am Oil Chem Soc**. **93**,7, pp 953-962.

Novak J. Moore E. Spokas K. Hall K. and Williams A. (2019). Future Biochar Research Directions, pp 423-435. **Biochar from Biomass and Waste**. Elsevier.

Novotny E.H. Maia C.M.B.d.F. Carvalho M.T.d.M. and Madari B.E. (2015). "Biochar: Pyrogenic Carbon for Agricultural Use-a Critical Review." **REV BRAS CIENC SOLO**. **39**,2, pp 321-344.

Nowak M. Kleinwaechter M. Manderscheid R. Weigel H.-J. and Selmar D. (2010). "Drought Stress Increases the Accumulation of Monoterpenes in Sage (*Salvia officinalis*), an Effect That Is Compensated by Elevated Carbon Dioxide Concentration." **J. Appl. Bot. Food Qual.**, **83**,2, pp 133-136.

Ogawa M. and Okimori Y. (2010). "Pioneering Works in Biochar Research, Japan." **Soil Res**. **48**,7, pp 489-500.

Olmo M. Albuquerque J.A. Barrón V. Del Campillo M.C. Gallardo A. Fuentes M. and Villar R. (2014). "Wheat Growth and Yield Responses to Biochar Addition under Mediterranean Climate Conditions." **Biol Fertil Soils**. **50**,8, pp 1177-1187.

Olmo M. Villar R. Salazar P. and Albuquerque J.A. (2016). "Changes in Soil Nutrient Availability Explain Biochar's Impact on Wheat Root Development." **Plant Soil**. **399**,1-2, pp 333-343.

Omondi M.O. Xia X. Nahayo A. Liu X. Korai P.K. and Pan G. (2016). "Quantification of Biochar Effects on Soil Hydrological Properties Using Meta-Analysis of Literature Data." **Geoderma**. **274**, pp 28-34.

Ortaş İ. (2016). The Role of Mycorrhizae and Biochar in Plant Growth and Soil Quality, 336-350. **Biochar: A Regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation**. B. B. Uzun, E. Apaydın Varol, J. Liu and V. J. Bruckman. Cambridge University Press, Cambridge.

Ozkur O. Ozdemir F. Bor M. and Turkan I. (2009). "Physiochemical and Antioxidant

Responses of the Perennial Xerophyte *Capparis Ovata* Desf. To Drought." **Environ Exp Bot.** **66,3**, pp 487-492.

Pál M. Tajti J. Szalai G. Peeva V. Végh B. and Janda T. (2018). "Interaction of Polyamines, Absciscic Acid and Proline under Osmotic Stress in the Leaves of Wheat Plants." **Sci. Rep.**, **8,1**, pp 1-12.

Palese A.M. Nuzzo V. Favati F. Pietrafesa A. Celano G. and Xiloyannis C. (2010). "Effects of Water Deficit on the Vegetative Response, Yield and Oil Quality of Olive Trees (*Olea europaea* L., Cv Coratina) Grown under Intensive Cultivation." **Sci. Hortic.**, **125,3**, pp 222-229.

Pang J. Turner N.C. Khan T. Du Y.-L. Xiong J.-L. Colmer T.D. Devilla R. Stefanova K. and Siddique K.H. (2017). "Response of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) to Terminal Drought: Leaf Stomatal Conductance, Pod Absciscic Acid Concentration, and Seed Set." **J. Exp. Bot.**, **68,8**, pp 1973-1985.

Papakosta D.K. and Gagianas A. (1991). "Nitrogen and Dry Matter Accumulation, Remobilization, and Losses for Mediterranean Wheat During Grain Filling." **Agronomy Journal.** **83,5**, pp 864-870.

Parkin T.B. Doran J.W. and Franco-Vizcaíno E. (1997). "Field and Laboratory Tests of Soil Respiration." **Meth asses soi qual.**, **49**, pp 231-245.

Pourghasemian N. Moradi R. Naghizadeh M. and Landberg T. (2020). "Mitigating Drought Stress in Sesame by Foliar Application of Salicylic Acid, Beeswax Waste and Licorice Extract." **Agric Water Manag.** **231**, pp 105997.

Prendergast-Miller M.T. Duvall M. and Sohi S.P. (2011). "Localisation of Nitrate in the Rhizosphere of Biochar-Amended Soils." **Soil Biol Biochem.** **43,11**, pp 2243-2246.

Qayyum A. Razzaq A. Bibi Y. Khan S.U. Abbasi K.S. Sher A. Mehmood A. Ahmed W. Mahmood I. and Manaf A. (2018). "Water Stress Effects on Biochemical Traits and Antioxidant Activities of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under in Vitro Conditions." **Acta Agric Scand B Soil Plant Sci.** **68,4**, pp 283-290.

Qian L. and Chen B. (2014). "Interactions of Aluminum with Biochars and Oxidized Biochars: Implications for the Biochar Aging Process." **J. Agric. Food Chem.** **62,2**, pp 373-380.

Ramadan M.M. and Abd-Elsalam K.A. (2020). Micro/Nano Biochar for Sustainable Plant Health: Present Status and Future Prospects, 323-357. **Carbon Nanomaterials for Agri-Food and Environmental Applications**. Elsevier.

Razavizadeh R. and Adabavazeh F. (2017). "Effects of Sorbitol on Essential Oil of *Carum Copticum* L. Under in Vitro Culture." **Rom Biotechnol Lett.** **22,1**, pp 12281-12289.

Roberts K.G. Gloy B.A. Joseph S. Scott N.R. and Lehmann J. (2010). "Life Cycle Assessment of Biochar Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential." **Environ. Sci.** **44**,2, pp 827-833.

Rondon M.A. Lehmann J. Ramírez J. and Hurtado M. (2007). "Biological Nitrogen Fixation by Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) Increases with Bio-Char Additions." **Biol Fertil Soils.** **43**,6, pp 699-708.

Rutigliano F.A. Romano M. Marzaioli R. Baglivo I. Baronti S. Miglietta F. and Castaldi S. (2014). "Effect of Biochar Addition on Soil Microbial Community in a Wheat Crop." **Eur J Soil Biol.** **60**, pp 9-15.

Saglam A. Terzi R. and Demiralay M. (2014). "Effect of Polyethylene Glycol Induced Drought Stress on Photosynthesis in Two Chickpea Genotypes with Different Drought Tolerance." **Acta Biol Hung.** **65**,2, pp 178-188.

Saheri F. Barzin G. Pishkar L. Boojar M.M.A. and Babaeekhou L. (2020). "Foliar Spray of Salicylic Acid Induces Physiological and Biochemical Changes in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under Drought Stress." **Biologia**, pp 1-12.

Sairam R. and Saxena D. (2000). "Oxidative Stress and Antioxidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stress Tolerance." **J Agron Crop Sci.** **184**,1, pp 55-61.

Sairam R. and Srivastava G. (2001). "Water Stress Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.): Variations in Hydrogen Peroxide Accumulation and Antioxidant Activity in Tolerant and Susceptible Genotypes." **J Agron Crop Sci.** **186**,1, pp 63-70.

Sairam R. and Srivastava G. (2002). "Changes in Antioxidant Activity in Sub-Cellular Fractions of Tolerant and Susceptible Wheat Genotypes in Response to Long Term Salt Stress." **Trends Plant Sci.**, **162**,6, pp 897-904.

Saneoka H. Moghaieb R.E. 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, pp 131-138.

Sarker U. and Oba S. (2018). "Drought Stress Enhances Nutritional and Bioactive Compounds, Phenolic Acids and Antioxidant Capacity of Amaranthus Leafy Vegetable." **BMC Plant Biol.** **18**,1, pp 258.

Schulz H. and Glaser B. (2012). "Effects of Biochar Compared to Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Quality and Plant Growth in a Greenhouse Experiment." **J. Plant. Nutr. Soil Sci.**, **175**,3, pp 410-422.

Seehausen M.L. Gale N.V. Dranga 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?" **Agronomy**. **7**,1, pp 13.

Shaaban M. Van Zwieten L. Bashir S. Younas A. Núñez-Delgado A. Chhajro M.A. Kubar K.A. Ali U. Rana M.S. and Mehmood M.A. (2018). "A Concise Review of Biochar Application to Agricultural Soils to Improve Soil Conditions and Fight Pollution." **J Environ Manage**. **228**, pp 429-440.

Shahbazi Z. Salehi A. and Hazrati S. (2019). "Enhancing the Quality and Yield of European Borage (*Borago officinalis*) by Simultaneous Application of Granulated Compost, Vermicompost and Mycorrhiza." **Int J Hort Sci Tech**. **6**,2, pp 283-298.

Sharma P. and Dubey R.S. (2005). "Drought Induces Oxidative Stress and Enhances the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Seedlings." **Plant Growth Regul.** **46**,3, pp 209-221.

Silva L.G. de Andrade C.A. and Bettiol W. (2020). "Biochar Amendment Increases Soil Microbial Biomass and Plant Growth and Suppresses Fusarium Wilt in Tomato." **Trop Plant Pathol**. **45**,1, pp 73-83.

Singh J. (1988). "A Rapid Method for Determination of Nitrate in Soil and Plant Extracts." **Plant Soil**. **110**,1, pp 137-139.

Steiner C. Melear N. Harris K. and Das K. (2011). "Biochar as Bulking Agent for Poultry Litter Composting." **Carbon Manag**. **2**,3, pp 227-230.

Sun H. Shi W. Zhou M. Ma X. and Zhang H. (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, pp 83-89.

Syed S. Anjum N.A. Nazar R. Iqbal N. Masood A. and Khan N.A. (2011). "Salicylic Acid-Mediated Changes in Photosynthesis, Nutrients Content and Antioxidant Metabolism in Two Mustard (*Brassica Juncea* L.) Cultivars Differing in Salt Tolerance." **Acta Physiol Plant**. **33**,3, pp 877-886.

Tatarkova V. Hiller E. and Vaculík M. (2013). "Impact of Wheat Straw Biochar Addition to Soil on the Sorption, Leaching, Dissipation of the Herbicide (4-Chloro-2-Methylphenoxy) Acetic Acid and the Growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)." **Ecotoxicol Environ Saf**. **92**, pp 215-221.

Taylor A. De-Felice J. and Havill D. (1982). "Nitrogen Metabolism in *Poterium Sanguisorba* During Water Stress." **NEW PHYTOL**. **90**,1, pp 19-25.

Uzoma K. Inoue M. Andry H. Fujimaki H. Zahoor A. and Nishihara E. (2011). "Effect of Cow Manure Biochar on Maize Productivity under Sandy Soil Condition." **SOIL USE MANAGE**. **27**,2, pp 205-212.

Uzoma K. Inoue M. Andry H. Zahoor A. and Nishihara E. (2011). "Influence of Biochar Application on Sandy Soil Hydraulic Properties and Nutrient Retention." **J FOOD**

AGRIC ENVIRON. 9,3/4 part 2, pp 1137-1143.

Vaccari F. Baronti S. Lugato E. Genesio L. Castaldi S. Fornasier F. and Miglietta F. (2011). "Biochar as a Strategy to Sequester Carbon and Increase Yield in Durum Wheat." **Eur J Agron. 34,4**, pp 231-238.

Verheijen F. Jeffery S. Bastos A. Van der Velde M. and Dias I. (2010). "Biochar Application to Soils." **A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR. 24099**, pp 162.

Walkley A. and Black I.A. (1934). "An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method." **Soil Sci., 37,1**, pp 29-38.

Wang H. Yang Z. Yu Y. Chen S. He Z. Wang Y. Jiang L. Wang G. Yang C. and Liu B. (2017). "Drought Enhances Nitrogen Uptake and Assimilation in Maize Roots." **Agronomy Journal. 109,1**, pp 39-46.

Wang X. Li W. Li M. and Welti R. (2006). "Profiling Lipid Changes in Plant Response to Low Temperatures." **Physiol Plant. 126,1**, pp 90-96.

Wang Y. Gao S. He X. Li Y. Li P. Zhang Y. and Chen W. (2019). "Growth, Secondary Metabolites and Enzyme Activity Responses of Two Edible Fern Species to Drought Stress and Rehydration in Northeast China." **Agronomy. 9,3**, pp 137.

Wang Y. Pan F. Wang G. Zhang G. Wang Y. Chen X. and Mao Z. (2014). "Effects of Biochar on Photosynthesis and Antioxidative System of *Malus Hupehensis* Rehd. Seedlings under Replant Conditions." **Sci. Hortic., 175**, pp 9-15.

Wang Y. Zhong B. Shafi M. Ma J. Guo J. Wu J. Ye Z. Liu D. and Jin H. (2019). "Effects of Biochar on Growth, and Heavy Metals Accumulation of Moso Bamboo (*Phyllostachy pubescens*), Soil Physical Properties, and Heavy Metals Solubility in Soil." **Chemosphere. 219**, pp 510-516.

Wang Z. Zong H. Zheng H. Liu G. Chen L. and Xing B. (2015). "Reduced Nitrification and Abundance of Ammonia-Oxidizing Bacteria in Acidic Soil Amended with Biochar." **Chemosphere. 138**, pp 576-583.

Wegener C.B. Jansen G. and Jürgens H.-U. (2015). "Bioactive Compounds in Potatoes: Accumulation under Drought Stress Conditions." **FFHD. 5,3**, pp 108-116.

Wei L. Shutao W. Jin Z. and Tong X. (2014). "Biochar Influences the Microbial Community Structure During Tomato Stalk Composting with Chicken Manure." **Bioresour Technol. 154**, pp 148-154.

Wettasinghe M. Shahidi F. Amarowicz R. and Abou-Zaid M.M. (2001). "Phenolic Acids in Defatted Seeds of Borage (*Borago officinalis* L.)." **Food Chem. 75,1**, pp 49-56.

Woolf D. (2008). "Biochar as a Soil Amendment: A Review of the Environmental

Implications." pp.68-79.

Wu H. Lai C. Zeng G. Liang J. Chen J. Xu J. Dai J. Li X. Liu J. and Chen M. (2017). "The Interactions of Composting and Biochar and Their Implications for Soil Amendment and Pollution Remediation: A Review." **Crit Rev Biotechnol.** **37**,6, pp 754-764.

Wu J. Huang D. Liu X. Meng J. Tang C. and Xu J. (2018). "Remediation of as (Iii) and Cd (Ii) Co-Contamination and Its Mechanism in Aqueous Systems by a Novel Calcium-Based Magnetic Biochar." **J Hazard Mater.** **348**, pp 10-19.

Wu X. Yuan J. Luo A. Chen Y. and Fan Y. (2016). "Drought Stress and Re-Watering Increase Secondary Metabolites and Enzyme Activity in *Dendrobium Moniliforme*." **Ind Crops Prod.** **94**, pp 385-393.

Xu C.-Y. Hosseini-Bai S. Hao Y. Rachaputi R.C. Wang H. Xu Z. and Wallace H. (2015). "Effect of Biochar Amendment on Yield and Photosynthesis of Peanut on Two Types of Soils." **Environ. Sci. Pollut. Res.**, **22**,8, pp 6112-6125.

Xu N. Tan G. Wang H. and Gai X. (2016). "Effect of Biochar Additions to Soil on Nitrogen Leaching, Microbial Biomass and Bacterial Community Structure." **Eur J Soil Biol.** **74**, pp 1-8.

Xu R.-k. Zhao A.-z. Yuan J.-h. and Jiang J. (2012). "Ph Buffering Capacity of Acid Soils from Tropical and Subtropical Regions of China as Influenced by Incorporation of Crop Straw Biochars." **J. Soils Sediments.** **12**,4, pp 494-502.

Yadav V. Karak T. Singh S. Singh A.K. 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**, pp 96-105.

Yahyazadeh M. Meinen R. Hänsch R. Abouzeid S. and Selmar D. (2018). "Impact of Drought and Salt Stress on the Biosynthesis of Alkaloids in *Chelidonium majus* L." **Phytochemistry.** **152**, pp 204-212.

Yao Y. Gao B. Zhang M. Inyang M. and Zimmerman A.R. (2012). "Effect of Biochar Amendment on Sorption and Leaching of Nitrate, Ammonium, and Phosphate in a Sandy Soil." **Chemosphere.** **89**,11, pp 1467-1471.

Yu H. Zou W. Chen J. Chen H. Yu Z. Huang J. Tang H. Wei X. and Gao B. (2019). "Biochar Amendment Improves Crop Production in Problem Soils: A Review." **J Environ Manage.** **232**, pp 8-21.

Yu Z. He P. Zhang C. Du D. Liu H. and Xie Y. (2012). "Effects of Drought Stress on Seed Germination and Physiological Characteristics of *Cassia obtusifolia* L. Seedlings." **J. Southwest Agric. Univ.: Nat. Sci. Ed.**, **34**,2, pp 39-44.

Yuan J.-H. Xu R.-K. and Zhang H. (2011). "The Forms of Alkalies in the Biochar Produced from Crop Residues at Different Temperatures." **Bioresour Technol.** **102**,3, pp 3488-3497.

Zahoor R. Dong H. Abid M. Zhao W. Wang Y. and Zhou Z. (2017). "Potassium Fertilizer Improves Drought Stress Alleviation Potential in Cotton by Enhancing Photosynthesis and Carbohydrate Metabolism." **Environ Exp Bot.** **137**, pp 73-83.

Zamani S. Naderi M.R. Soleymani A. and Nasiri B.M. (2020). "Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Biochemical Properties and Seed Components Affected by Potassium Fertilization under Drought Conditions." **Ecotoxicol Environ Saf.** **190**, pp 110017.

Zhang A. Liu R. Gao J. Zhang Q. Xiao J. Chen Z. Yang S. Hui J. and Yang L. (2014). "Effects of Biochar on Nitrogen Losses and Rice Yield in Anthropogenic-Alluvial Soil Irrigated with Yellow River Water." **Nong Ye Huan Jing Ke Xue Xue Bao.** **33,12**, pp 2395-2403.

Zhang K.-M. Yu H.-J. Shi K. Zhou Y.-H. Yu J.-Q. and Xia X.-J. (2010). "Photoprotective Roles of Anthocyanins in *Begonia Semperflorens*." **Trends Plant Sci.**, **179,3**, pp 202-208.

Zhang L. Wang Q. Guo Q. Chang Q. Zhu Z. Liu L. and Xu H. (2012). "Growth, Physiological Characteristics and Total Flavonoid Content of *Glechoma longituba* in Response to Water Stress." **J Med Plant Res.** **6,6**, pp 1015-1024.

Zheng H. Wang Z. Deng X. Herbert S. and Xing B. (2013). "Impacts of Adding Biochar on Nitrogen Retention and Bioavailability in Agricultural Soil." **Geoderma.** **206**, pp 32-39.

Zhou R. Kong L. Wu Z. Rosenqvist E. Wang Y. Zhao L. Zhao T. and Ottosen C.O. (2019). "Physiological Response of Tomatoes at Drought, Heat and Their Combination Followed by Recovery." **Physiol Plant.** **165,2**, pp 144-154.

Zhu Y. Li H. Wu Y. Yin X.-A. and Zhang G. (2019). "Effects of Surface-Modified Biochars and Activated Carbon on the Transformation of Soil Inorganic Nitrogen and Growth of Maize under Chromium Stress." **Chemosphere.** **227**, pp 124-132.

Zhu Y. Taylor C. Sommer K. Wilkinson K. and Wirthensohn M. (2015). "Influence of Deficit Irrigation Strategies on Fatty Acid and Tocopherol Concentration of Almond (*Prunus dulcis*)." **Food Chem.** **173**, pp 821-826.

پیوست

جدول پیوست ۱. ضرایب همبستگی ساده صفات گیاه در سال اول زراعی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-کلروفیل a	1													
2-کلروفیل b	0.36**	1												
3-کلروفیل کل	0.94**	0.64**	1											
4-کارتونوئید	0.30**	0.95**	0.58**	1										
5-رطوبت نسبی	0.72**	0.69**	0.83**	0.66**	1									
6-شاخص پایداری غشای سلولی	0.47**	0.81**	0.67**	0.83**	0.77**	1								
7-آنتوسیانین برگ	0.54**	-0.01 ^{ns}	0.44**	-0.05 ^{ns}	0.35**	0.03 ^{ns}	1							
8-فلاونوئید برگ	0.63**	0.78**	0.79**	0.79**	0.89**	0.91**	0.21 ^{ns}	1						
9-فندهای محلول	0.52**	0.21 ^{ns}	0.50**	0.13 ^{ns}	0.44**	0.24 ^{ns}	0.51**	0.34**	1					
10-نیتروژن گیاه	0.31**	0.43**	0.40**	0.47**	0.57**	0.52**	0.05 ^{ns}	0.55**	0.35**	1				
۱۱- پرولین برگ	0.69**	0.13 ^{ns}	0.61**	0.14 ^{ns}	0.63**	0.25**	0.76**	0.43**	0.51**	0.37**	1	-0.22 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.23*
۱۲- آنزیم CAT	0.14 ^{ns}	0.67**	0.32**	0.58**	0.32**	0.71**	-0.17 ^{ns}	0.55**	0.14 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	1	0.67**	0.93**
۱۳- آنزیم PER	-0.084 ^{ns}	0.30*	0.03 ^{ns}	0.37**	0.08 ^{ns}	0.42**	-0.3 ^{ns}	0.32**	-0.07 ^{ns}	0.19 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.60**	1	0.70**
۱۴- آنزیم SOD	0.04 ^{ns}	0.51**	0.21 ^{ns}	0.49**	0.18 ^{ns}	0.62**	-0.12 ^{ns}	0.44**	0.08 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.2**	0.93**	0.70**	1

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

جدول پیوست ۲. ضرایب همبستگی ساده صفات گیاه در سال دوم زراعی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1-کروفیل a	1													
2-کروفیل b	0.71**	1												
3-کروفیل کل	0.99**	0.75**	1											
4-کارتونوئید	0.47**	0.65**	0.49**	1										
5-رطوبت نسبی	0.70**	0.72**	0.72**	0.44**	1									
6-شاخص پایداری غشای سلولی	0.37**	0.33**	0.37**	0.23**	0.71**	1								
7-آنتوسیانین برگ	0.56**	0.69**	0.58**	0.51**	0.36**	0.01 ^{ns}	1							
8-فلاونوئید برگ	0.65**	0.64**	0.66**	0.41**	0.91**	0.85**	0.35**	1						
9-قندهای محلول	0.44**	0.41**	0.44**	0.09 ^{ns}	0.61**	0.52**	0.11 ^{ns}	0.58**	1					
10-نیتروژن گیاه	0.47**	0.65**	0.49**	0.99**	0.43**	0.22 ^{ns}	0.51**	0.41**	0.09 ^{ns}	1				
۱۱- پرولین برگ	0.65**	0.076**	0.67**	0.53**	0.63**	0.20 ^{ns}	0.77**	0.57**	0.42**	0.54**	1	-0.23*	-0.24*	-0.2 ^{ns}
۱۲- آنزیم CAT	-0.006 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.009 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.68**	-0.13 ^{ns}	0.40**	0.13 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.23*	1	0.98**	0.96**
۱۳- آنزیم PER	-0.04 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.64**	-0.14 ^{ns}	0.36**	0.12 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.24*	0.98**	1	0.91**
۱۴-آنزیم SOD	0.071 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.26*	0.72**	-0.08 ^{ns}	0.46**	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	-0.2 ^{ns}	0.96**	0.91**	1

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

جدول پیوست ۳. ضرایب همبستگی ساده صفات کمی گیاه در سال اول زراعی									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-وزن خشک برگ	1								
2-وزن خشک ساقه	0.67**	1							
3-وزن خشک ساقه گل دهنده	0.48**	0.44**	1						
4-وزن خشک کل	0.79**	0.65**	0.51**	1					
5-وزن خشک گل	0.20 ^{ns}	0.23*	0.07 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1				
6- وزن تر گل	0.32**	0.25*	0.18 ^{ns}	0.25*	0.85**	1			
7-ارتفاع بوته	0.58**	0.45**	0.46**	0.46**	0.42**	0.46**	1		
8-تعداد ساقه	0.52**	0.40**	0.43**	0.43**	0.38**	0.40**	0.97**	1	
تعداد ساقه گل	0.51**	0.39**	0.43**	0.43**	0.36**	0.39**	0.97**	0.98**	1
9-دهنده									

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

^{ns} و * به ترتیب عدم معنی دار ی، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۴. ضرایب همبستگی ساده خصوصیات کمی گیاه و عملکرد دانه در سال دوم زراعی												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-وزن خشک برگ	1											
2-وزن خشک ساقه	0.86**	1										
3-وزن خشک ساقه گل دهنده	0.70**	0.72**	1									
4-وزن خشک کل	0.87**	0.90**	0.73**	1								
5-وزن خشک گل	0.67**	0.62**	0.56**	0.65**	1							
6- وزن تر گل	0.62**	0.56**	0.50**	0.59**	0.98**	1						
7-ارتفاع بوته	0.72**	0.75**	0.63**	0.82**	0.60**	0.55**	1					
8-تعداد ساقه	0.78**	0.78**	0.74**	0.83**	0.70**	0.63**	0.78**	1				
9-تعداد ساقه گل دهنده	0.77**	0.77**	0.73**	0.82**	0.69**	0.62**	0.77**	0.99**	1			
10-روغن دانه	0.69**	0.63**	0.44**	0.71**	0.60**	0.55**	0.80**	0.63**	0.61**	1		
11-وزن هزار دانه	0.60**	0.67**	0.59**	0.74**	0.64**	0.58**	0.76**	0.76**	0.75**	0.71**	1	
12-تعداد دانه در بوته	0.73**	0.69**	0.62**	0.76**	0.72**	0.63**	0.77**	0.85**	0.84**	0.72**	0.82**	1

ns و * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns} و * به ترتیب عدم معنی دار ی، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۵. ضرایب همبستگی ساده صفات بیوشیمیایی گیاه و خصوصیات کمی گیاه در سال اول زراعی									
تعداد ساقه گل دهنده	تعداد ساقه اصلی	ارتفاع بوته	وزن تر گل	وزن خشک گل	وزن خشک کل	وزن خشک ساقه گل دهنده	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	
0.63**	0.64**	0.70**	0.54**	0.47**	0.36**	0.24*	0.35**	0.53**	کلروفیل a
0.79**	0.78**	0.75**	0.16 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.43**	0.48**	0.32**	0.44**	کلروفیل b
0.79**	0.80**	0.83**	0.50**	0.42**	0.45**	0.37**	0.40**	0.59**	کلروفیل کل
0.79**	0.78**	0.74**	0.16 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.41**	0.47 ^{ns}	0.33**	0.38**	کارتنوئید
0.91**	0.92**	0.94**	0.45**	0.44**	0.49**	0.47**	0.50**	0.62**	رطوبت نسبی برگ
0.87**	0.88**	0.85**	0.32**	0.32**	0.38**	0.44**	0.28*	0.40**	پایداری غشای سلولی برگ
0.26*	0.27*	0.36**	0.43**	0.36**	0.34 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.38**	0.47**	آنتوسیانین برگ
0.93**	0.94**	0.94**	0.41**	0.38**	0.45**	0.49**	0.42**	0.55**	فلاونوئید برگ
0.36**	0.37**	0.45**	0.46**	0.29*	0.37**	0.17 ^{ns}	0.40**	0.56**	کربوهیدرات برگ
0.57**	0.54**	0.58**	0.47**	0.44**	0.25*	0.26*	0.31**	0.24*	نیتروژن گیاه
^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار ی، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد									

جدول پیوست ۶. ضرایب همبستگی ساده صفات بیوشیمیایی گیاه و خصوصیات کمی گیاه در سال دوم زراعی										
قندهای محلول برگ	نیتروژن گیاه	فلاونوئید برگ	آنتوسیانین برگ	پایداری غشای سلولی برگ	رطوبت نسبی برگ	کارتنوئید کل	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
0.29*	0.46**	0.80**	0.31**	0.65**	0.76**	0.28*	0.50**	0.52**	0.49**	۱-وزن خشک برگ
0.36**	0.46**	0.79**	0.31**	0.61**	0.75**	0.36**	0.55**	0.60**	0.53**	۲-وزن خشک ساقه
0.20 ^{ns}	0.49**	0.67**	0.07 ^{ns}	0.61**	0.61**	0.19 ^{ns}	0.37**	0.42**	0.36**	۳-وزن خشک ساقه گل دهنده
0.35**	0.52**	0.85**	0.31**	0.71**	0.80**	0.35**	0.53**	0.55**	0.51**	۴-وزن خشک کل
0.13 ^{ns}	0.53**	0.68**	0.06 ^{ns}	0.64**	0.62**	0.13 ^{ns}	0.31**	0.26*	0.31**	۵-وزن خشک گل
0.11 ^{ns}	0.49**	0.62**	0.09 ^{ns}	0.58**	0.55**	0.11 ^{ns}	0.27*	0.23*	0.26*	۶-وزن تر گل
0.43**	0.61**	0.90**	0.35**	0.70**	0.94**	0.43**	0.70**	0.69**	0.68**	۷-ارتفاع بوته
0.23*	0.56**	0.90**	0.09 ^{ns}	0.91**	0.80**	0.23*	0.44**	0.42**	0.43**	۸-تعداد ساقه
0.23 ^{ns}	0.56**	0.89**	0.08 ^{ns}	0.91**	0.79**	0.23*	0.44**	0.41**	0.43**	۹-تعداد ساقه گل دهنده
^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار ی، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد										

جدول پیوست ۷. ضرایب همبستگی ساده صفات مرتبط با خاک و نیتروژن گیاه در سال اول زراعی								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1-کربن خاک	1							
2-تنفس خاک	0.70**	1						
3- EC خاک	0.45**	0.49**	1					
4-Ph خاک	0.62**	0.84**	0.39**	1				
5-نیترات خاک	-0.48**	-0.47**	-0.61**	-0.33**	1			
6-آمونیم خاک	0.23*	0.55**	-0.01 ^{ns}	0.56**	0.07 ^{ns}	1		
7-نیتروژن خاک	0.82**	0.58**	0.39**	0.50**	-0.47**	0.13 ^{ns}	1	
8-نیتروژن گیاه	0.16 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار ی، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول پیوست ۸. ضرایب همبستگی ساده صفات مرتبط با خاک و نیتروژن گیاه در سال دوم زراعی								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1-کربن خاک	1							
2-تنفس خاک	0.62**	1						
3- EC خاک	0.44**	0.45**	1					
4-pH خاک	0.03 ^{ns}	0.23*	0.41**	1				
5-نیترات خاک	-0.52**	-0.50**	-0.49**	-0.26*	1			
6-آمونیم خاک	0.32**	0.55**	-0.0 ^{ns}	0.27**	-0.05 ^{ns}	1		
7-نیتروژن خاک	0.83**	0.55**	0.44**	0.13 ^{ns}	-0.56**	0.40**	1	
8-نیتروژن گیاه	0.51**	0.408**	0.19 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.33**	0.33**	0.49**	1

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار ی، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Abstract

According to previous studies on the positive effect of salicylic acid and biochar on mitigation of adverse effects of drought as well as improving water relations in the plant, therefore this study aimed to investigate the effects of biochar and salicylic acid (SA) on some characteristics of *Borage officinalis* L under different irrigation intervals. These experiments were performed in a four replicated-split plot factorial arranged in CRBD with three factors irrigation intervals (5, 10, and 15 days) in the main plots and biochar application (0, 5 and 10 tons per hectare) and foliar application of salicylic acid (0, 0.5 Mm) in subplots. This study was carried out in the research field of Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran during 2017-2018. The analysis of variance indicates that irrigation intervals $\times$ biochar had significant effects on leaf relative water content (RWC), the content of leaf flavonoid (FLV), chlorophyll b (Chlb), the number of flower shoots, the number of main shoots, the content of plant nitrogen (in the first year) and also ammonium (NH_4), nitrate (NO_3), nitrogen of soil (in the second year) and soil respiration (RESP) (in the second year). Irrigation intervals $\times$ salicylic acid was significantly influenced RWC and FLV (in first and second year) and carotenoid (CAR), the weight of flower shots and total dry weight (DWT) (in the first year) and the content of fatty acid in seeds, the number of flower shoots, and the number of main shoots (in the second year). Biochar and SA interactions (Biochar $\times$ SA) was significant effects on the number of flower shoots, the number of main shoots and plant height (in the second year), DWT (in the first year), organic carbon soil (C), membrane stability index (MSI), the content of leaf anthocyanin (ANTO), proline content (PRO) and different enzymes such as superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) and shoot (SW) and leaf weight (LW) (in the first and the second year) and Chlb and DWT, oilseeds (in the second year), and the number of flower shoots, plant height (in the first year). The results indicate that increasing irrigation intervals to 15 days declined significantly Chlb, Chl total, CAR, MSI, RWC, and total leaf carbohydrate. Also observed the positive effect of salicylic acid and biochar on some studied traits under water deficit. Biochar application increased CAR in the first year so that its amount increased by 43% and 73% at 5 and 10 tons per hectare respectively. The application of biochar had a significant effect on increasing the dry weight of flowers, but no difference was observed between the values of biochar (5 and 10 tons per hectare) in this regard. The addition of biochar in both years caused a significant reduction of soil NO_3 in all irrigation intervals compared to normal irrigation. The amount of antioxidant enzymes CAT, POD, SOD as well as the amount of proline amino acid in both cropping years increased at 10 day irrigation compared to the control which decreased sharply with reaching 15 days irrigation. Concomitant application biochar and SA improved the levels of the above enzymes compared to no application conditions. Increasing the above enzymes in turn were effective in reducing the adverse effects of water deficit condition by reactive oxygen free radicals. Also, by increasing the irrigation intervals, the percentage of seed oil decreased. Concomitant application of SA and biochar (10 tons per hectare) in 15day irrigation intervals caused a significant increase in oilseeds. The results of this study indicate the beneficial effect of biochar and salicylic acid (alone or in combination with biochar) on some plant traits and soil under borage cultivation in conditions of water deficit.

Keywords: nitrogen, chlorophyll, Biochar, fatty acid, irrigation intervals



Faculty of Agriculture
Ph.D. Thesis in Agronomy

Investigation of biochar and salicylic acid effects in ecological,
physiological and biochemical characteristics of *Borago*
officinalis L. under water deficit condition

BY: Zahra Taghizadeh Tabari

Supervisor:

Dr. Hamid Reza Asghari

Advisors:

Dr. Hamid Abbasdokht

Dr. Esmaeil Babakhanzadeh Sejirani

September 2020