

The Effects of Biochar and Salicylic Acid on Reducing Pb-induced Stress in Basil Crop (*Ocimum basilicum* L.)

KHADIJEH FEIZI¹, ALIASHRAF AMIRINEJAD^{*1}, AND MOKHTAR GHOBADI²

1. Department of Soil Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Razi University, Kermanshah, Iran.

(Received: Nov. 16, 2020- Revised: Dec. 11, 2020- Accepted: Dec. 27, 2020)

ABSTRACT

In this research, the interaction of Pb stress, salicylic acid (SA) and biochar (BC) on growth parameters of basil crop (*Ocimum basilicum* L.) were investigated. This experiment was conducted as a factorial, based on a complete randomized design with three replications in greenhouse of Razi University. Treatments included canola biochar at three levels (0, 1 and 3% by weight), SA at three levels (0, 100 and 200 μ M) and Pb at three levels (0, 100 and 200 mg/kg Pb(NO₃)₂). Results showed that the highest plant height, stem diameter, fresh and dry plant weight, leaf area, fresh and dry root weight, and root volume were observed in the treatment of 200 μ M SA, 3% BC and Pb control. Also, the simultaneous application of SA and BC reduced Pb concentration in basil, so that the lowest one (0.67 mg/kg) was found in the treatment of 200 μ M SA, 3% BC and Pb control. In contrast, the highest proline content (44.4 mmol/g) was obtained in 200 mg/kg of Pb and control of SA and BC. In general, the application of SA and BC could significantly reduce Pb-induced stress on growth characteristics in basil.

Keywords: Growth Characteristics, Heavy Metals, Medicinal Plant, Proline.

* Corresponding Author's Email: a.amirinejad@razi.ac.ir

بررسی اثرات بیوچار و اسید سالیسیلیک بر کاهش تنش سرب در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L)

خدیجه فیضی^۱، علی اشرف امیری نژاد^{۱*}، مختار قبادی^۲

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
 ۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۷)

چکیده

در این تحقیق، اثرات متقابل تنش سرب، اسید سالیسیلیک و بیوچار بر ویژگی‌های رشدی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در گلخانه دانشگاه رازی انجام گرفت. تیمارها شامل بیوچار کلزا در سه سطح (۰، ۱ و ۳ درصد وزنی)، اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و سرب در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از نمک نیترات سرب) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و حجم ریشه در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب دیده شد. همچنین، کاربرد همزمان اسید سالیسیلیک و بیوچار، غلظت سرب اندام هوایی در گیاه ریحان را کاهش داد، بطوری‌که کمترین غلظت سرب اندام هوایی (۰/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب مشاهده شد. در مقابل، بیشترین مقدار پرولین بخش هوایی (۴۴/۴ میلی‌مول بر گرم) در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب به دست آمد. بطور کلی، کاربرد اسید سالیسیلیک و بیوچار توانست بطور قابل ملاحظه‌ای اثرات تنش سرب بر ویژگی‌های رشدی ریحان را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: گیاه دارویی، پرولین، عناصر سنگین، ویژگی‌های رشدی.

مقدمه

آلودگی محیط زیست یک مانع بزرگ در مقابل توسعه پایدار محسوب می‌شود و در دهه اخیر آلودگی خاک با عناصر سنگین به یک مشکل جهانی تبدیل شده است (Ferronato and Torretta, 2019). اصطلاح تنش به هر عاملی گفته می‌شود که توانایی صدمه وارد کردن به موجودات زنده را داشته باشد و تنش عناصر سنگین به دلیل غلظت بالای این عناصر در محیط خاک، با صدمه یا مرگ گیاه همراه است (Emamverdian et al., 2015). بر طبق گزارش آژانس حفاظت محیط‌زیست، مهمترین عنصر آلاینده در ایران سرب است (Mahmoudi et al., 2018). بنابراین ارائه روش‌های مطمئن، کم‌هزینه و نسبتاً سریع در جهت کاهش اثرات این عنصر بر رشد گیاهان ضروری است.

به‌طور کلی، فلزات سنگین بعد از جذب توسط گیاهان و تجمع در بافت‌های گیاهی، اغلب به دو صورت باعث سمیت می‌شوند: (الف) بطور مستقیم و با تخریب ساختار سلول باعث ایجاد تنش اکسیداتیو شده که به نوبه خود باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد، کاهش محتویات کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیت‌های آنزیمی و آسیب به مولکول‌های

زیستی نظیر DNA می‌گردند. (ب) به صورت غیرمستقیم و از طریق رقابت با سایر عناصر غذایی ضروری، موجب قرارگیری به جای آنها در ساختمان رنگدانه‌ها یا آنزیم‌ها و تخریب عملکرد آنها می‌شوند (Nagajyoti et al., 2010).

یکی از مکانیسم‌های افزایش مقاومت در گیاهان تحت تنش عناصر سنگین، تولید و تجمع اسید آمینه پرولین در سیتوپلاسم سلولی است (Sharma and Dubey, 2005). به عبارت دیگر، تولید پرولین در شرایط تنش، موجب محافظت غشاءهای سلولی در برابر غلظت بالای این عناصر می‌شود (Ahmad and Sharma, 2010).

اسید سالیسیلیک که توسط سلول‌های ریشه نیز تولید می‌شود، علاوه بر نقش محوری در فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، در جلوگیری از تنش‌های محیطی و کاهش آثار ناشی از آنها تاثیر گذار است. این ماده با تاثیر بر متابولیت‌هایی مانند اسید آسکوربیک، گلوتاتیون و نیز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپر اکسید دیسموتاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز آثار ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Khan et al., 2015).

یکی دیگر از اصلاح‌کننده‌های مهم که در دهه‌های اخیر پیشنهاد شده بیوچار است. بیوچار یک ماده آلی غنی از کربن

ساختار سلولها تخریب و موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Sharma and Dubey, 2005). همینطور، سرب با کاهش فعالیت-های گیاهی شامل فتوسنتز، تنفس و تغذیه، موجب اختلال در رشد و عملکرد گیاهان شده (Zhou et al., 2018) و اگر وارد چرخه‌ی غذایی شود، به علت اثر سرطان‌زایی، سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد (Mousavi et al., 2014).

با توجه به مطالب مذکور، تاثیر سطوح مختلف بیوچار و اسید سالیسیلیک در بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه دارویی ریحان در شرایط تنش سرب مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه رازی انجام گرفت. نمونه‌های خاک از لایه سطحی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) زمین-های کشاورزی منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۹ دقیقه و ۴۲ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه شرقی) برداشت شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

CEC (Cmol/kg)	pH	EC dS/m	سرب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	ازت کل (%)	OC (%)	بافت رسی سیلنی	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	ویژگی خاک
۱۱/۵۸	۷/۷	۰/۵	۰/۱۷	۱۸۳	۸/۳	۰/۰۶	۰/۶۳	رسی سیلنی	۴۲	۴۱	۱۷	مقدار

نگهداری شدند. برای سهولت زهکشی، مقداری پرلیت و پوکه معدنی در کف هر گلدان اضافه شد. بعد از این مرحله، بیوچار مورد نیاز (با نسبت ۰، ۱ و ۳ درصد وزنی) به خاک گلدانها اضافه شده و به طور کامل با خاک مخلوط شد.

برای تهیه بیوچار از بقایای محصول کلزا استفاده شد. در این راستا، بقایای جمع‌آوری شده را پس از هوا خشک کردن، به قطعات ریز خرد کرده و سپس در شرایط بی‌هوازی و تحت دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد پیرولیز گردید. جدول (۲) ویژگی‌های مهم بیوچار تولیدی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولیدی

Mg mg/kg	Ca mg/kg	K mg/kg	Na mg/kg	EC dS/m	pH	سطح ویژه m ² /gr	راندمان %	ویژگی بیوچار
۲۲۶/۸	۸۸/۴	۷۸۷	۱۰۶/۵۱	۵/۴۵	۸/۸۹	۲۳۴	۴۰	مقدار

(۰، ۱ و ۳ درصد وزنی)، اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و سرب در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی

است که در اثر پیرولیز حرارتی زیست توده‌ها مانند ضایعات کشاورزی در شرایط بی‌هوازی تولید گردیده و قابلیت ماندگاری زیادی در خاک دارد (Beesley et al., 2015). بیوچار به دلیل داشتن ساختار متخلخل و سطح ویژه بالا، در بهبود کیفیت حاصلخیزی و سلامت خاک نقش دارد (Carter et al., 2013). کاربرد بیوچار در خاک، با توجه به افزایش حضور گروه‌های عاملی کربوکسیل، فنولیک، و هیدروکسیل، که دارای اکسیژن‌های سطحی‌اند، قادر است آلاینده‌ی حاصل از عنصر سنگین را کاهش و موجب بهبود وضعیت رشدی گیاه شود (Enaime et al., 2020).

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* گیاهی علفی و یک ساله از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است که به لحاظ دارا بودن مقدار زیادی اسانس در اندام‌های رویشی، کاربرد دارویی دارد (Balakrishnan et al., 2018). ادویه‌ای پرخاصیت و یک سبزی پرطرفدار است که چون به صورت سبزیجات در حاشیه بسیاری از شهرها کشت می‌شود، پس احتمال تجمع سرب در آن وجود دارد (Gheysari et al., 2015).

سمیت سرب برای گیاهان بین ۲ تا ۲۰ برابر سایر عناصر سنگین است که با جذب و تجمع سرب در بافت‌های گیاهی،

پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور از الک ۸ میلی‌لیتری، به میزان ۸ کیلوگرم در داخل گلدان‌هایی با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم (با ابعاد ۳۰ سانتی‌متر ارتفاع، ۲۳ سانتی‌متر قطر دهانه و ۱۸ سانتی‌متر قطر کف) ریخته شد. برای اعمال تنش سرب و آلوده‌سازی نمونه‌های خاک، مقدار لازم نیترات سرب بر مبنای سطح آلودگی سرب (سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای هر گلدان محاسبه و به صورت اسپری در سطح نمونه خاک به طور یکنواخت پخش و سپس کاملاً با خاک مخلوط شد. به منظور تثبیت سرب، نمونه‌های خاک به مدت دو هفته در شرایط نزدیک به رطوبت ظرفیت زراعی در گلخانه

آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل بیوچار کلزا در سه سطح

برای تعیین غلظت سرب ۰/۵ گرم پودر خشک اندام هوایی را (با یک بوته چینی) در کوره الکتریکی قرار داده و دمای کوره به تدریج و در عرض ۲ ساعت به ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد رسانیده شد. بعد از حدود ۶ ساعت، خاکستر حاصل را با کمی آب خیس کرده و سپس به آرامی ۲/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار افزوده شد. بعد از انجام فعل و انفعالات و خروج بخارات، محتویات بوته را در یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری صاف کرده و سپس با آب مقطر ولرم به حجم رسانیده شد (Klute, 1986). در نهایت، غلظت سرب عصاره توسط دستگاه جذب اتمی (مدل AA220 شرکت Varian استرالیا) تعیین گردید.

استخراج و اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش Bates *et al.* (1973) استفاده شد. مطابق این روش ۰/۵ گرم پودر برگ خشک را در یک فالكون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید سه درصد اضافه‌شد. محتوای لوله‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای پایین نگاه‌داری و بعد با کاغذ واتمن صاف گردید. با قرائت مقدار جذب محلول رنگی حاصل توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد مربوطه، مقدار پرولین تعیین شد.

آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SPSS-16 و مقایسه اثرات ساده و متقابل با استفاده از آزمون دانکن (در سطح پنج درصد) انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل تنش سرب، اسید سالیسیلیک و بیوجار بر ویژگی‌های

های ریحان

مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل تنش سرب × اسید سالیسیلیک × بیوجار بر ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی، سطح برگ و غلظت سرب اندام هوایی و نیز وزن و حجم ریشه ریحان در سطح یک درصد و بر میزان پرولین در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده‌است (جدول ۳).

گرم بر کیلوگرم از نمک نیترات سرب) بودند. بنابراین در مجموع ۸۱ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. در داخل هر گلدان محتوی خاک آلوده با نیترات سرب و بیوجار (متناسب با سطوح آلودگی سرب و بیوجار)، ۱۵ عدد بذر ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) به صورت دایره‌ای کاشته شد. عملیات آبیاری در هفته اول به منظور حفظ رطوبت و جلوگیری از خشک شدن بستر بذرها به صورت روزانه انجام گرفت، اما بعد مطابق با نیاز آبی گیاه به صورت دو یا سه بار در هفته انجام شد. پس از جوانه‌زنی و ظهور برگ‌های حقیقی، در هر گلدان پنج گیاه را باقی گذاشته و بقیه تنک شدند. پس از استقرار کامل گیاهان و در مرحله ۸-۶ برگی، تیمار اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی اجراء گردید. برای جلوگیری از تبخیر، اعمال این تیمار در هنگام غروب آفتاب و تا خیس شدن کامل سطح برگ‌های هر بوته انجام گرفت. این عملیات در سه مرحله با فاصله هر ده روز یک بار تا شروع گلدهی گیاه تکرار شد. در هر مرحله، چند قطره مایع توین به عنوان سورفاکتانت استفاده گردید تا جذب سطحی برگ‌ها افزایش پیدا کند. تیمار شاهد با آب مقطر آب‌پاشی شد.

در پایان فصل رویشی (قبل از گلدهی)، پارامترهای رشدی گیاه شامل ارتفاع بوته (با استفاده از خط‌کش)، قطر ساقه (با استفاده از کولیس)، سطح برگ (با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل AM350 شرکت ADC انگلستان)، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه (خشک شده در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی آزمایشگاهی AND مدل EK610I با میزان دقت در خطا ۰/۰۱ گرم) و حجم ریشه هر بوته ریحان (از طریق تعیین حجم آب جابجا شدن در یک استوانه مدرج) اندازه‌گیری و به صورت میانگین هر گلدان برای آنالیزهای آماری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین غلظت سرب و مقدار پرولین اندام هوایی با استفاده از روش‌های زیر تعیین شدند:

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش سرب، اسید سالیسیلیک و بیوجار بر ویژگی‌های ریحان

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	سطح برگ	غلظت سرب گیاه	پرولین کل	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	حجم ریشه
اسید سالیسیلیک (a)	۲	۲۷/۳*	۰/۴۹*	۶۰۰/۳**	۸/۱**	۱۲۱۵۴/۳**	۳/۴**	۲۴۰/۶۷**	۷۴/۱**	۰/۰۴**	۱۴۶**
تنش سرب (b)	۲	۵۰/۴**	۰/۲۷ ^{ns}	۱۲۳۶/۱**	۵۹/۷**	۱۴۷۷۳/۳**	۳۳/۷**	۹۶۲/۱**	۳۵/۱*	۰/۰۳**	۱۸۷۱**
بیوجار (c)	۲	۳۰/۱*	۰/۵۵*	۸۰۴/۴**	۵/۹*	۱۰۵۰۲/۱**	۲/۸**	۱۰۶۲/۸**	۲۰۳**	۰/۰۲۹**	۴۰۹**
a×b	۴	۲۶/۴*	۰/۳۱ ^{ns}	۲۸۰/۵*	۱۱/۶**	۷۵۲۲/۸**	۲/۸**	۱۲۸/۱*	۲۲۰**	۰/۳۱۱**	۲۹۱**
a×c	۴	۴۳/۷*	۰/۳۹*	۴۶۳/۴**	۱۰/۴**	۸۴۶۱/۲**	۲/۶**	۱۳۳/۴*	۲۳۵**	۰/۰۹۱**	۱۰۳**
b×c	۴	۶۲/۵**	۰/۴۶*	۹۱۵/۶**	۲۲/۲**	۱۸۲۹۶/۷**	۶/۸**	۲۲/۶**	۲۳۹**	۰/۰۴۴**	۲۵۹**
a×b×c	۸	۲۳/۳*	۰/۴۴*	۴۲۳/۹**	۱۴/۹**	۹۰۹۵/۴**	۱/۰۱**	۲۳۰/۱*	۱۶۸**	۰/۰۴۹**	۲۸۶**
خطا	۵۴	۷/۹	۰/۱۴	۱۰۳/۱	۱/۶۱	۲۰۲۲/۲	۰/۱۵	۴۶/۳	۱۰/۷	۰/۰۰۴	۲/۳۴
ضریب تغییرات (/)	-	۱۲/۳	۱۱/۵	۱۵/۸	۲۱/۳	۱۳/۷	۱۸/۶	۱۰/۳	۱۱/۲	۱۷/۴	۱۰/۲

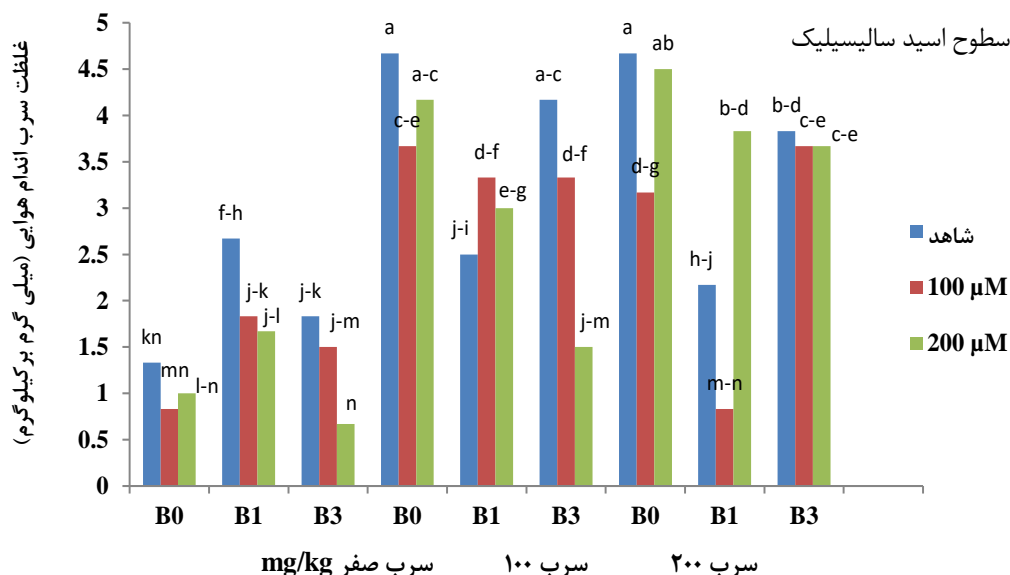
ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار بودن و معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد را نشان می‌دهند.

سبب کاهش اثرات ناشی از تنش می‌گردد (Shakirova *et al.*, 2013). کاهش نشت یونی از سلول‌های گیاهی با حضور اسید سالیسیلیک در شرایط تنش نیز اعلام شده است (Ahmed *et al.*, 2020). بطور کلی، کاربرد سالیسیلیک اسید در ریحان می‌تواند علاوه بر افزایش جذب عناصر گیاهی ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاه برای ادامه رشد، باعث کاهش قابل ملاحظه آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تاثیرات منفی تنش سرب گردد (Padash *et al.*, 2016). همینطور، استفاده از بیوچار در کاهش غلظت عناصر سنگین (از جمله سرب) اندام هوایی ذرت، در نتیجه تشکیل کلات فلزی، توسط Namgay *et al.* (2017) گزارش شده است. به عقیده Khare *et al.* (2017)، به علت وجود گروه‌های عاملی، استفاده از بیوچار در خاک موجب کاهش تحرک و تثبیت کادمیوم و سرب در گیاه ذرت گردیده است. به عبارتی، بیوچار با تثبیت فلزات در خاک و کاهش تحرک و زیست‌فراهمی آنها می‌تواند سبب کاهش جذب فلز بوسیله گیاه شود. البته با توجه به اینکه غلظت آستانه (بحرانی) عناصر سنگین در گیاهان متفاوت است، میزان تاثیر تیمار بیوچار بر گیاهان کاشته شده در خاک‌های آلوده با عناصر سنگین یکسان نبوده و تابع نوع عنصر، غلظت عنصر در خاک، نوع ماده اولیه بیوچار تولیدی و درصد کاربرد آن در خاک است (Beesley *et al.*, 2015).

غلظت سرب اندام هوایی گیاه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک و بیوچار موجب کاهش غلظت سرب اندام هوایی ریحان گردید (شکل ۱). بیشترین غلظت سرب اندام هوایی (۴/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب دیده شد که با تیمار شاهد اسیدسالیسیلیک و تنش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب اختلاف معنی داری نداشت. کمترین آن (۰/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب مشاهده شد.

با توجه به اینکه تنش فلزات سنگین از طریق یک سری واکنش‌های بیوشیمیایی سبب اختلال در چرخه حیات گیاهان می‌گردند، کاربرد اسید سالیسیلیک در جهت کاهش اثرات منفی این فلزات در گیاهان، به ویژه در مرحله اولیه رشد گیاه، دارای اهمیت است. به عبارت دیگر، اسید سالیسیلیک به عنوان یک مولکول القایی در سیستم دفاعی گیاهان نقش داشته و این موضوع احتمالاً از طریق اثر اسید سالیسیلیک بر بیوسنتز اتیلن بوده که موجب مقاومت گیاه در برابر تنش محیطی می‌گردد (Khan *et al.*, 2015). همچنین، اسید سالیسیلیک با تاثیر بر افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین،



شکل ۱- اثر متقابل تنش سرب، اسید سالیسیلیک و بیوچار بر غلظت سرب اندام هوایی ریحان B0، B1 و B3 به ترتیب سطوح بیوچار ۱۰۰ و ۳ درصد وزنی

کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۴). کمترین آن (۲۱/۸ میلی‌مول بر گرم) نیز در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب مشاهده شد. به عبارتی، کاربرد اسید سالیسیلیک و بیوچار در خاک موجب کاهش مقدار پرولین اندام هوایی ریحان گردیدند.

مقدار پرولین بخش هوایی گیاه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار پرولین (۴۴/۴ میلی‌مول بر گرم) در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب دیده شد که البته با تیمار شاهد اسیدسالیسیلیک و مقدار کم سرب (۱۰۰ میلی‌گرم بر

می‌یابد (Asai et al., 2009). همینطور، به عقیده Chan et al., (2018) بیوجار می‌تواند به علت دارا بودن عناصر غذایی و ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالا، جذب مواد مغذی و در دسترس بودن آن‌ها برای گیاه را در خاک بهبود بخشد. از سوی دیگر، گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک در ریحان می‌تواند از طریق افزایش رشد و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در کاهش اثرات منفی تنش سرب مؤثر باشد (Padash et al., 2016). به عبارتی، اسید سالیسیلیک می‌تواند مقاومت گیاهان را در تنش فلزات سنگین افزایش دهد. به عقیده Kazemi et al., (2010)، کاربرد اسید سالیسیلیک با بهبود تغذیه عناصر معدنی، به طور قابل توجهی موجب برطرف شدن اثرات سمی عناصر سنگین در گیاه کلزا شده است. البته میزان تاثیر اسید سالیسیلیک در کاهش اثر تنش عنصر سنگین در گیاه بستگی به نحوه اعمال تیمار، غلظت کاربردی و مرحله رشد گیاه دارد (Hayat et al., 2009).

تولید و تجمع اسید آمینه پرولین در سیتوپلاسم سلولی، پاسخ و عکس العمل گیاه در شرایط بروز تنش عناصر سنگین مانند سرب بوده و مقاومت گیاه را در برابر تنش زیاد می‌کند (Sharma and Dubey, 2005). به عبارت دیگر، تولید مواد محلول سازگار مثل قندهای محلول و پرولین در شرایط تنش، موجب محافظت غشاءهای سلولی در برابر غلظت بالای یون‌های معدنی و از جمله عناصر سنگین می‌شود (Ahmad and Sharma, 2010). یعنی، گیاه در شرایط تنش، با تولید پرولین بیشتر، موجب افزایش رشد و عملکرد و حفظ فعالیت‌های آنزیمی خود می‌گردد (Serraj and Sinclair, 2012). از طرف دیگر، Akhtar et al., (2014) گزارش کرده‌اند که کاربرد بیوجار در خاک، اثرات جانبی تنش را از طریق بعضی واکنش‌های فیزیولوژیک در گیاهان کاهش می‌دهد. طبیعتاً با کاهش اثرات تنش، تولید پرولین در گیاه کم خواهد شد. همچنین، کاربرد بیوجار موجب بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک شده و بطور غیرمستقیم، کارایی گیاه در برابر تنش افزایش

جدول ۴- اثرات بیوجار، اسید سالیسیلیک و تنش سرب بر ویژگی‌های گیاه ریحان

حجم ریشه (cm ³)	وزن خشک ریشه (g)	وزن تر ریشه (g)	مقدار پرولین (mmol/g)	سطح برگ (cm ²)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر اندام هوایی (g)	قطر ساقه (cm)	ارتفاع گیاه (cm)	سطوح سرب (mg/kg)	سطوح اسید سالیسیلیک (μmol/l)	سطوح بیوجار (/.)
۳۹/۵fjk	۶/۴۱	۲۵/۳g-k	۲۹/۹bcd	۲۵۷/۶ghi	۶/۲ef	۴۴/۷fg	۳/۹bcd	۳۳/۷c-h	۰		
۳۸/۳g-i	۴/۴۱s	۲۲/۴ijk	۳۴/۷a-d	۲۴۸/۳hij	۳/۳g	۳۶/۱gh	۳/۷bcd	۲۹/۷۳ghi	۱۰۰		
۲۱/۵n	۳/۴u	۱۲/۲ym	۴۴/۴a	۱۷۵/۲j	۲/۵۳g	۲۷/۱h	۳/۴d	۲۶/۲i	۲۰۰		
۳۹/۳۴-i	۷/۲۹j	۳۳/۳b-e	۲۷/۶bcd	۳۵۲/۹a-e	۹/۸abc	۵۲/۸c-g	۴/۱bcd	۳۶/۵a-f	۰		
۳۶/۷h-k	۶/۴۰l	۳۰/۳d-i	۲۹/۷bcd	۳۴۷/۴a-f	۷/۸c-f	۴۸/۵d-g	۳/۸bcd	۳۲/۳c-h	۱۰۰	۱۰۰	۰
۳۰m	۴/۳۱s	۱۸/۱۱	۳۶/۲۱abc	۲۷۰/۸e-i	۵/۴۳f	۴۵/۶efg	۳/۶cd	۳۰/۲ghi	۲۰۰		
۴۲ef	۶/۲no q	۳۷/۸ab	۲۵/۲bcd	۳۸۷/۷ab	۸/۷bcd	۵۸/۹b-f	۴/۰bcd	۳۷/۳a-e	۰		
۳۶/۵ijk	۵/۲۸g	۳۰/۶d-i	۳۴/۶a-d	۲۷۵/۵e-i	۶/۵۲def	۵۷/۱c-f	۳/۹bcd	۳۶/۷a-f	۱۰۰	۲۰۰	
۳۳/۶l	۴/۰۵t	۲۲/۱jkl	۳۵/۹abc	۲۶۰/۸f-i	۶/۱۳ef	۴۶/۱efg	۳/۶cd	۳۱/۲f-i	۲۰۰		
۴۰/۳efg	۵/۶۶p	۳۱/۸b-f	۲۶/۵bcd	۳۰۵/۴b-i	۹/۴abc	۵۸/۸b-f	۴bcd	۳۲d-h	۰		
۲۴/۳kl	۵/۱۱r	۲۵/۱h-k	۳۰/۱bcd	۲۹۵/۹c-i	۷/۸۷b-f	۵۵c-g	۳/۷bcd	۳۴/۵b-h	۱۰۰		
۳۷/۷g-k	۴/۳۹s	۲۰/۳kl	۳۱/۸a-d	۲۷۹/۶e-i	۶/۴۲def	۴۷/۶efg	۴bcd	۳۲/۹c-h	۲۰۰		
۴۲ef	۸/۰۵g	۳۲/۶b-c	۲۴/۷bcd	۲۲۷/۳ij	۹/۷abc	۵۶/۷c-f	۳/۸bcd	۳۳/۱c-h	۰		
۳۷/۱h-k	۶/۲۳mn	۳۱/۲e-h	۳۶/۱abc	۳۳۷/۹a-g	۷/۷۱c-f	۵۵/۱c-g	۳/۸bcd	۳۱/۸f-h	۱۰۰	۱۰۰	۱
۳۵/۸jkl	۵/۳q	۲۴/۴ijk	۳۷/۷ab	۲۹۴/۵d-i	۶/۶۳def	۵۲/۳c-g	۳/۵cd	۳۰/۷ghi	۲۰۰		
۴۵/۵cd	۹/۲۱d	۳۵/۳a-d	۲۹/۳bcd	۲۷۹/۵e-i	۹/۷۲abc	۶۵/۳a-e	۴/۲abc	۳۰/۲ghi	۰		
۴۲de	۸/۴f	۳۴/۳bcd	۳۱/۸a-d	۳۱۳/۷b-i	۷/۳c-f	۶۲/۳a-f	۴/۱bcd	۲۹/۵hi	۱۰۰	۲۰۰	
۳۹/۶fgh	۶/۳۳lm	۳۰/۴d-i	۳۶/۰۷abc	۲۹۴/۵d-i	۶/۶def	۶۰/۴a-f	۳/۷bcd	۲۹/۷ghi	۲۰۰		
۴۹b	۷/۷۱h	۳۶/۷a-d	۲۳/۸c-d	۳۸۲/۵abc	۹/۶abc	۷۰/۹abc	۴/۰bcd	۳۷/۷abc	۰		
۳۶/۵ijk	۶/۱o	۳۵/۳a-d	۲۶/۹bcd	۳۳۱/۶a-h	۷/۸۷b-f	۶۹/۱abc	۳/۸bcd	۳۰/۸ghi	۱۰۰		
۳۵/۷jkl	۴/۳۸s	۲۷/۱۷e-j	۳۲/۹a-d	۲۷۸/۸e-i	۶/۷def	۶۲/۹a-f	۳/۷bcd	۳۰/۴ghi	۲۰۰		
۴۶c	۹/۸۳b	۳۳/۷bcd	۲۳/۵cd	۳۵۷/۵a-g	۱۰/۳ab	۷۷/۳ab	۴/۱bcd	۳۷/۵a-d	۰		
۴۱/۳ef	۸/۶e	۳۱/۵b-g	۲۹/۲bcd	۳۴۶/۱a-g	۹/۲bc	۶۵/۷a-e	۳/۹bcd	۳۵/۲a-g	۱۰۰	۱۰۰	۳
۳۸/۲g-i	۶/۵۳k	۲۶/۰۳۴-k	۳۵/۹abc	۳۲۵/۳a-h	۸/۸۳bcd	۶۴/۳a-f	۳/۶cd	۳۳/۹b-h	۲۰۰		
۵۵/۰a	۱۰/۷a	۴۰/۵a	۲۱/۸d	۴۰۷/۹a	۱۱/۷a	۷۸/۹a	۴/۸a	۴۰/۳a	۰		
۴۵/۶cd	۹/۵۲c	۳۷/۴abc	۲۹/۳bcd	۳۷۸/۴a-d	۹/۳۳abc	۷۱/۸abc	۴/۴ab	۳۹/۳ab	۱۰۰	۲۰۰	
۳۹/۶fgh	۷/۵۷i	۳۰/۷d-h	۳۴/۴a-d	۳۱۰/۷b-i	۸/۳۱b-e	۶۸/۳a-d	۴/۲abc	۳۴/۷b-h	۲۰۰		

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

ارتفاع بوته و قطر ساقه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و قطر ساقه (به ترتیب ۴۰/۳ سانتی‌متر و ۴/۸ میلی‌متر) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب و کمترین آن (به ترتیب ۲۶/۲ سانتی‌متر و ۳/۴ میلی‌متر) در تیمارهای شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و سطح ۲۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم سرب مشاهده شد (جدول ۴). این نتیجه نشان دهنده آن است که اسید سالیسیلیک و بیوچار، حتی در شرایط تنش شدید سرب، اثر مطلوب بر پارامترهای رشدی گیاه گذاشته و باعث افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه ریحان شده‌اند. مشابه این نتیجه، گزارش شده است که محلول پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش کلیه ویژگی‌های مورد بررسی از قبیل تعداد برگ، قطر ساقه، وزن خشک اندام‌های هوایی سطح برگ، و ارتفاع گیاه ریحان گردید (Ramroudi and Khomar, 2013).

مطابق نتایج فوق، Padash *et al.*, (2016) نیز گزارش کرده‌اند که محلول پاشی گیاه با اسید سالیسیلیک موجب افزایش ارتفاع و قطر ساقه گیاه ریحان شده است. Abbasi *et al.*, (2020) نیز گزارش کرده‌اند که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری رشد اندام هوایی شامل ساقه و ارتفاع خیار را افزایش داده‌است. به عبارتی، اسید سالیسیلیک به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد، در شرایط تنش نیز می‌تواند موجب بهبود شرایط رشدی گیاه شود (Hayat *et al.*, 2009).

همینطور، بیوچار نیز می‌تواند با تثبیت عناصر سنگین خاک و غیرمتحرک کردن آنها، رشد گیاهان را از لحاظ ارتفاع و قطر ساقه بهتر نماید (Enaime *et al.*, 2020). به عبارت دیگر، بیوچار ماده‌ای با گروه‌های عاملی گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل است که با عناصر سنگین تعامل الکترواستاتیک، تبادل یونی و کمپلکس سطحی قوی برقرار می‌کنند.

وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه

بیشترین وزن تر و خشک گیاه (به ترتیب ۷۸/۹ و ۱۱/۷ گرم) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، ۳ درصد بیوچار و شاهد سرب و کمترین مقادیر نیز (به ترتیب ۲۷/۱ و ۲/۵۳ گرم) در تیمارهای شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و سطح ۲۰۰ میلی-گرم بر کیلوگرم سرب مشاهده شد (جدول ۴). به عبارتی، با افزایش میزان سرب خاک، به دلیل اثر بازدارندگی آن بر فعالیت‌های متابولیکی گیاه، زیست توده گیاهی کاهش پیدا کرد. مطابق این نتایج، Carter *et al.*, (2013) نیز اعلام کرده‌اند که کاربرد بیوچار بر وزن تر و خشک اندام هوایی کاهو اثر مثبت معنی‌دار

داشته است. آنها علت را به نقش بیوچار در افزایش ظرفیت نگه‌داشت آب در خاک و بهبود شرایط جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت داده‌اند. Park *et al.*, (2015) نیز در بررسی تاثیر دو نوع بیوچار بر رشد گیاه خردل هندی نتیجه گرفتند که به علت عرضه مواد غذایی توسط بیوچار و نیز کاهش سمیت عناصر - سنگین با تثبیت آنها در خاک، زیست توده تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه به طور معنی‌داری افزایش یافت. Biria *et al.*, (2016) نیز نقش بیوچار (باگاس نیشکر) در افزایش پارامترهای رشدی ذرت تحت تنش سرب را به دلیل کاهش جذب سرب و انتقال آن به اندام هوایی گیاه دانسته و بنابراین، با کاهش سمیت سرب، وزن تر و خشک گیاه افزایش یافته است.

از طرف دیگر، اسید سالیسیلیک با بهبود شرایط رشد سبب افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه ریحان شد (Padash *et al.*, 2016). Senaratna *et al.*, (2012) نیز بیان کرده‌اند که اسید سالیسیلیک یک مولکول علامتی (Signal molecule) مهم برای میانجی‌گری پاسخ‌های گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است که باعث افزایش فعالیت‌های رشدی گیاه می‌شود.

سطح برگ گیاه

مطابق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین سطح برگ (۴۰۷/۹ سانتی‌مترمربع) مربوط به تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، ۳ درصد بیوچار و شاهد سرب و کمترین مقدار (۱۷۵/۲ سانتی‌مترمربع) در تیمار شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب مشاهده شد (جدول ۴). مشابه این نتایج، Padash *et al.*, (2016) گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی ریحان با اسیدسالیسیلیک باعث افزایش سطح برگ در شرایط تنش سرب می‌شود. به عبارتی، اسید سالیسیلیک با تنظیم درجه بازشدگی روزنه، موجب بهبود فتوسنتز، سرعت رشد گیاه و افزایش سطح برگ می‌شود (Abbasi *et al.*, 2020). از طرف دیگر، بیوچار با ایجاد زمینه کاهش غلظت عناصر سنگین در بخش هوایی، موجب افزایش پارامترهای رشدی و از جمله سطح برگ گیاه شد. به عقیده Carter *et al.*, (2013)، افزایش سطح برگ در اثر کاربرد بیوچار در نتیجه افزایش میزان کلروفیل بوده و با بهبود فتوسنتز، میزان تولید مواد هیدروکربنی و زیست توده گیاه بیشتر گردید.

وزن تر و خشک ریشه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب ۴۰/۵ و ۱۰/۷ گرم) مربوط به سطح سوم اسید - سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومولار)، سه درصد بیوچار و شاهد سرب و کمترین آنها (به ترتیب ۱۲/۲۷ و ۳/۴ گرم) مربوط به تیمارهای

(Nagajyoti *et al.*, 2010). از طرف دیگر، بیوچار با اثر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک، تهویه و ظرفیت نگهداشت آب در خاک، منجر به بهبود رشد اندام هوایی و ریشه می‌شود (Chan *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری

بررسی کلی نتایج بیانگر تاثیر منفی تنش سرب بر ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان و اثرات مثبت و معنی‌دار اسید سالیسیلیک و بیوچار بر بهبود و افزایش پارامترهای هوایی و ریشه و نیز کاهش غلظت سرب و مقدار پرولین اندام‌های هوایی گیاه بود. بیشترین ارتفاع بوته، وزن خشک بخش هوایی گیاه و حجم ریشه و نیز کمترین غلظت سرب اندام هوایی گیاه در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، ۳ درصد وزنی بیوچار و شاهد سرب مشاهده شد. به عبارت دیگر، کاربرد اسید سالیسیلیک اسید به عنوان محرک و تنظیم کننده رشد گیاه و یا کاربرد بیوچار به عنوان ماده آلی با قابلیت ماندگاری بالا در خاک، می‌تواند با کاهش اثرات منفی سرب بر ویژگی‌های رشدی گیاه ریحان تحت تنش، غلظت سرب بخش‌های هوایی گیاه را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. به عبارتی، استفاده از این مواد ارزان و قابل دسترس در خاک می‌تواند یک روش مناسب و مقرون به صرفه برای حذف یا کاهش آلودگی خاک بوده تا ضمن افزایش فعالیت‌های متابولیک گیاه دارویی ریحان، مقاومت گیاه را در برابر تنش سرب بهبود بخشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abbasi F., Khaleghi A. and Khadivi A. (2020). The Effect of salicylic acid on physiological and morphological traits of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Gesunde Pflanzen*, 72, 155-162.
- Ahmad P. and Sharma S. (2010). Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO₃ stress. *International Journal of Plant Production*, 4 (2), 1735-6814.
- Ahmed W., Imran M. Yaseen M. Haq Tu. Jamshaid M.U. Rukh S. Ikram R.M. Ali M. Ali A. Maqbool M. Arif M. and Khan MA. (2020). Role of salicylic acid in regulating ethylene and physiological characteristics for alleviating stress on germination, growth and yield of sweet pepper. *Peer J.*, 8, 8475.
- Akhtar S.S., Li G. Andersen M.N. and Liu F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44.
- Asai H., Samson B.K. Stephan H.M. Songyikhan K. Homma K. Kiyono Y. and Horie T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2), 81-84.
- Balakrishnan P., Ramalingam P. and Nagarasan S. (2018). A Comprehensive Review on *Ocimum basilicum*. *Journal of Natural Remedies*, 8(3), 71-85.
- Bates L.S., Waldren R.P. and Teare I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 29, 205-207.
- Beesley L., Moreno-Jiménez E. Gomez-Eyles J.L. Harris E. Robinson B. and Sizmur T. (2015). A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental pollution*, 159(12), 3269-3282.
- Biria M., Moezzi A. and Ameri Khah H. (2016). Effect of Sugarcane bagasse biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soils. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 609-626.
- Carter S., Shackley S. Sohi S. Suy T. and Haefele S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica*

شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده است (جدول ۴).

بر طبق گزارش (Abbasi *et al.*, 2020) محلول پاشی خیار با اسید سالیسیلیک باعث افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه مانند تعداد برگ و وزن تر و خشک ریشه شد. (Padash *et al.*, 2016) نیز گزارش کرده‌اند که وجود عناصر سنگین (سرب) در محیط ریشه سبب کاهش جذب و انتقال آب و مواد غذایی، کاهش فعالیت آنزیم‌ها، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد و پارامترهای آن می‌گردد. بر اساس گزارش (Biria *et al.*, 2016)، استفاده از بیوچار با کاهش قابلیت و مقدار جذب عناصر سنگین (سرب و کادمیوم)، موجب افزایش رشد ریشه در گیاه ذرت شده است.

حجم ریشه

بر طبق نتایج، بیشترین حجم ریشه (۵۵ سانتی‌متر مکعب) در تیمار ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک، سه درصد بیوچار و شاهد سرب حاصل شده است. کمترین حجم ریشه (۲۱/۵ سانتی-متر مکعب) نیز مربوط به سطوح شاهد اسید سالیسیلیک و بیوچار و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده است (جدول ۴). مشابه این نتایج، گزارش شده که محلول پاشی گیاه ریحان با اسید سالیسیلیک باعث افزایش حجم و طول ریشه گردید (Padash *et al.*, 2016). همچنین، تنش عناصر سنگین با تاثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس و فتوسنتز، موجب کاهش پارامترهای رشدی و از جمله کاهش وزن تر و خشک و حجم ریشه می‌شود

- chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404-418.
- Chan K.Y., Van Zwieten L. Meszaros I. Downie A. and Joseph S. (2018). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Emamverdian A., Ding Y. Mokhberdoran F. and Xie Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2015/756120>
- Enaime G., Baçaoui A. Yaacoubi A. and Lübken M. (2020). Biochar for wastewater treatment conversion technologies and applications. *Appl. Sci.*, 10(10), 3492-3501.
- Ferronato N., and Torretta V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: a review of global issues. *Int J Environ Res Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.10.3390/ijerph16061060>
- Gheysari S., Nematpour F. and Safipour Afshar A. (2015). The effects of salicylic acid and ascorbic acid on photosynthetic pigments and some antioxidant enzyme activities in basil (*Ocimum basilicum* L.) under lead stress. *Journal of Plant Research*, 28(4), 814-825.
- Hayat S., Masood A. Yusef M. Fariduddin Q. and Ahmad A. (2009) Growth of *Brassica juncea* L. in response to salicylic acid under high temperature stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 21(3), 187-195.
- Kazemi N., Khavarinezhad R. Fahimi H. Saadatmand S. and Nezhadsattari T. (2010) Effects of exogenous salicylic acid on lipid peroxidation and enzyme activity in leaves of canola under nickel stress. *Journal of Biological Sciences*, 3(3), 71-80. (In Farsi)
- Khan M.I. 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, 462-770.
- Khare P., Dilshad U. Rout P.K. Yadav V. and Jain S. (2017). Plant refuses driven biochar: application as metal adsorbent from acidic solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 3054-3063.
- Ramroudi M., and Khomar A. (2013). Effect of different methods of the integrated weed management on radiation use efficiency of sugar beet (*Beta vulgaris*) and different species of weeds in Mashhad condition. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 1 (1), 51-70
- Klute, A. (1986). *Methods of Soil Analysis: Part 1 and 2, Physical and Chemical Methods*, Second Edition, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc.
- Mahmoudi N., Latific A.M. Amanic M.A. Masoumbeigi H. and Ghanizadeh G. (2018). Data on the environmental exposure to lead in Iran. *Data in Brief*, 20, 1133-1141
- Mousavi Z., Ziarati P. Esmaeli Dehaghi M. and Qomi, M. (2014). Heavy metals (lead and cadmium) in some medicinal herbal products in Iranian market. *Iranian Journal of Toxicology*, 8(24): 1004-1010. (In Farsi)
- Nagajyoti P.C., Lee K.D. and Sreekanth, T.V.M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Namgay T., Singh B. and Singh B.P. (2017). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*, 48(7), 638-647.
- Padash A., Ghanbari A. and Asgharipour M.R. (2016). Effect of salicylic acid on Concentration of nutrients, protein and antioxidant enzymes of basil under lead stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8(27), 17-32. (In Farsi)
- Park J.H., Choppala G.K. Bolan N.S. Chung J.W. and Chuasavathi T. (2015). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*, 348(1-2), 439.
- Senaratna T., Touchell D. Bunn E. and Dixon K. (2012). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157-161.
- Serraj R., and Sinclair T.R. (2012). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, cell and environment*, 25(2), 333-341.
- Shakirova F.M. Sakhabutdinova A.R. Bezrukova M.V. Fatkhutdinova R.A. and Fatkhutdinova D.R. (2013). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant science*, 164(3), 317-322.
- Sharma P., and Dubey R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian journal of plant physiology*, 17(1), 35-52.
- Zhou J., Zhang Z. Zhang Y. Wei Y. and Jiang Z. (2018). Effects of lead stress on the growth, physiology, and cellular structure of privet seedlings. *PLoS ONE*, 13(3), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191139>