

The Influence of Biochar Application on Seed Germination Indices and Growth Parameters of *Satureja khuzistanica* Jamzad Seedlings

Ghasem Eghlima^{1*}, Meisam Mohammadi² and Mohsen Najafi Sisakht³

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3- Instructor, Academic Center for Education, Culture and Research, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Yasuj, Iran

*Corresponding author: gh_eghlima@sbu.ac.ir

(Received: 15 October 2023

Revise: 24 October 2023

Accepted: 01 November 2023)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** *Satureja khuzistanica* is native to Iran, which is used as a vegetable, spice, decoction, and painkiller and disinfectant in traditional medicine, food and pharmaceutical industries, and has antifungal, antimicrobial, and antibacterial properties. This plant has pain-relieving, anti-diabetic, antioxidant and anti-inflammatory characteristics, and reduces blood fat and triglycerides. Biochar, called black gold in agriculture, is a carbon-rich organic substance, which is obtained by pyrolyzing biomass or plant residues in the presence or absence of oxygen at 300-1000 °C. The material can affect soil physico-chemical characteristics, leading to a change in its biological characteristics and better fertility, and consequently, more plant yield. In addition, biochar results in absorbing and retaining nutrients, raising water holding capacity, increasing cation exchange capacity, improving soil structure, and subsequently providing mineral nutrients (P, Mg²⁺, Ca²⁺ and K⁺) for plants.
- 2. Materials and Methods:** To investigate the impact of pomegranate biochar on the germination, biochemical and growth indices of *S. khuzistanica*, an experiment was conducted in the Ecophysiology Laboratory of Medicinal Plants, Medicinal Plants and Drugs Research Institute of Shahid Beheshti University of Tehran during 2022. To prepare biochar, the required amount of pomegranate wood (*Punica granatum*) was collected from the pomegranate orchards located in Saveh region, and then dried, packed in aluminum sheets, and placed in a furnace at 450 °C for four h to perform the pyrolysis process. The experiment was conducted based on completely randomized design with three replications. In this study, the effects of biochar treatment at four different levels including 0 (control), 1, 2 and 3 % (w/w) on germination indices, growth indices, leaf relative water content, chlorophyll content and activity of superoxide dismutase and catalase enzymes were investigated.
- 3. Results and Discussion:** Results showed that the effect of pomegranate biochar on germination percentage, germination speed, mean germination time, seed vigour index, shoot and root length, fresh and dry weight of shoot and root, leaf relative water content and chlorophyll a and b content was significant at 1 % probability level, but the effect on activity of superoxide dismutase and catalase enzymes was not significant. Based on results, a significant improvement was observed in germination percentage, germination speed, and mean germination time and growth indices with the application of biochar 2 %. The mean comparing results showed that the levels of 1, 2, and 3 % of pomegranate biochar increased the germination percentage. In this study, the lowest (61 %) and highest (88 %) germination percentages were observed in control and biochar 2 %, respectively. Also, the highest germination speed was recorded under application of biochar 2 % (with an average rate of 11.66 seed d⁻¹). The lowest germination speed was observed in control (with an average rate of 6.66 seed d⁻¹). Increasing the level of pomegranate biochar to 2 % decreased the duration of germination, so that the longest germination duration (5.86 d) was for the control and the shortest duration (4.33 d) was for biochar 2 %. The highest germination index (2024.67) was observed in seeds sown in culture trays filled with soil mixed with 2 % pomegranate biochar, and the lowest value (777.13) was observed in the control. The highest length (23 cm), fresh weight (1.05 g) and dry weight (0.124 g) of the shoots were observed in the treatment of 2 % pomegranate biochar, and the lowest values were recorded in control. In the present study, increasing the level of pomegranate biochar up to 2 % increased the root length, but increasing the level of pomegranate biochar up to 3 % decreased root length. The maximum amount of length (7.6 cm), fresh weight (0.31 g) and dry weight (0.034 g) of the root was obtained under the application of 2 % pomegranate biochar, which had a significant increase compared to the control. By increasing the use of pomegranate biochar, the leaf relative water content increased, so that the highest relative water content (80.33 %) was observed

with the use of biochar 3 %. The highest levels of chlorophyll a (2.91 mg g⁻¹ FW) and b (0.95 mg g⁻¹ FW) were obtained with the application of biochar 2 %, and the lowest values were for the control.

- 4. Conclusion:** In conclusion, the use of biochar as an organic fertilizer in the production of *S. khuzistanica* medicinal plant, in addition to having a positive effect on the seed germination indices, can lead to improving growth rate and producing stronger seedlings.

Keywords: Biochar, Chlorophyll, Germination, Growth indices

Citation: Eghlima, Gh., Mohammadi, M. & Najafi Sisakht, M. (2024). The influence of biochar application on seed germination indices and growth parameters of *Satureja khuzistanica* Jamzad seedlings. *Journal of Vegetables Sciences*, 14(2), 93-106. doi: 10.22034/IUVS.2023.2013619.1323

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





اثر کاربرد بیوچار بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و پارامترهای رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad)

قاسم اقلیما^{۱*}، میثم محمدی^۲ و محسن نجفی سی سخت^۳

۱- استادیار، گروه کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- مربی، مرکز گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی واحد کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج، ایران

*نویسنده مسئول: gh_eghlima@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر بیوچار انار بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه اکوفیزیولوژی گیاهان دارویی پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران در سال ۱۴۰۱ طراحی و اجرا شد. تیمار بیوچار انار که از چوب درخت انار در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط کم‌اکسیژن تهیه شده بود، در چهار سطح صفر (شاهد)، ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های جوانه‌زنی، شاخص‌های رشدی، محتوای رطوبت نسبی برگ، محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز اندازه‌گیری شد. مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۸۸ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۱۱/۶۶ بذر در روز)، شاخص بنیه (۲۰۲۴/۶۷)، طول شاخساره (۲۳ سانتی‌متر) و وزن تر (۱/۰۵ گرم) و خشک (۰/۱۲۴ گرم) شاخساره در تیمار دو درصد بیوچار انار مشاهده شد. با افزایش درصد بیوچار انار محتوای رطوبت نسبی افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین محتوای رطوبت نسبی (۸۰/۳۳ درصد) با کاربرد سه درصد بیوچار انار مشاهده شد. بالاترین میزان کلروفیل (۲/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد ۲ درصد بیوچار انار و کمترین آن در شاهد حاصل شد. در نتیجه، کاربرد بیوچار انار به‌عنوان یک کود آرگانیک در تولید گیاهان دارویی علاوه بر اینکه بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر تأثیر مثبت دارد، به‌طبع آن می‌تواند با تولید گیاهچه‌های قوی‌تر منجر به بهبود رشد و در نتیجه حصول عملکرد مطلوب گیاه گردد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، جوانه‌زنی، کلروفیل، شاخص‌های رشدی

استناد: اقلیما، ق.، محمدی، م. و نجفی سی سخت، م. (۱۴۰۲). اثر کاربرد بیوچار بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و پارامترهای رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad). علوم سبزی‌ها، ۱۴(۲)، ۹۳-۱۰۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

کشت آبی جلبک یا سیانوباکتری قبل از کاشت بهبود بخشید (Karthikeyanb *et al.*, 2007). ویژگی‌های خاک نقش کلیدی در جوانه‌زنی و رشد بذر دارند، زیرا توده‌های اولیه محصول مستقیماً تحت تأثیر ویژگی‌های خاک مانند مواد آلی، چگالی ظاهری خاک، تخلخل خاک و میزان رطوبت خاک است (Oliet *et al.*, 2004). علاوه بر این، بهبود خواص خاک باعث افزایش مواد مغذی و رطوبت در دسترس گیاهان می‌شود و در نتیجه درصد جوانه‌زنی بالا و بهبود بنیه گیاهچه، میزان تولید محصول را افزایش می‌دهد. همراه با این، بهبود محتویات آلی خاک به‌طور مثبت پارامترهای فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نهایت منجر به رشد بهتر محصول و افزایش بهره‌وری می‌شود (Ali *et al.*, 2021).

بیوچار که در کشاورزی طلای سیاه نیز نامیده می‌شود، یک ماده آلی غنی از کربن است و از آبکافت (پیرولیز) زیست‌توده یا بقایای گیاهی در حضور یا عدم حضور اکسیژن در دماهای بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه می‌گردد (Akhtar *et al.*, 2014). بیوچار از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند عملکرد بیولوژیکی خاک را تغییر و موجب بهبود حاصلخیزی خاک شود و در نتیجه بهره‌وری گیاه را افزایش دهد (Farrell *et al.*, 2014). از سوی دیگر، بیوچار باعث جذب و نگهداری عناصر غذایی، افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی و ساختار خاک و بدین ترتیب، موجب تأمین مواد غذایی معدنی (مانند K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} و P) برای گیاهان می‌شود. سطح ویژه بالا و تعداد بالای خلل‌و فرج ریز در ساختار بیوچار موجب کند آزاد شدن مواد غذایی خواهد شد (Ghezzehei *et al.*, 2014). بنابراین، بیوچار قادر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان است (Kim *et al.*, 2016). همچنین میزان تأثیر

مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad) گیاهی چندساله، بومی ایران و متعلق به خانواده نعناعیان است که دارای خواص ضد قارچی، ضد میکروبی، ضد باکتریایی، ضد درد، ضد دیابت، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهاب بوده، و همچنین کاهنده چربی خون و تری‌گلیسیرید می‌باشد (Jamzad, 2011; Hadian *et al.*, 2011; Khani *et al.*, 2019; Eghlima & Mohammadi, 2023). این گیاه به‌عنوان سبزی دارای مصرف خوراکی بوده و در طب سنتی و صنایع دارویی به‌عنوان ادویه، دمنوش و داروهای ضد درد و ضد عفونی‌کننده استفاده می‌شود (Nooshkam *et al.*, 2017). داروهای متعددی از جمله داروهای دنتول (Dentol)، ساتورکس (Saturex)، ارتودنتول (Aortodntol) و زاگرو (Zagrol) از این گیاه تولید شده است. همچنین، از تفاله گیاه اسانس‌گیری شده به‌عنوان علوفه دام استفاده می‌گردد (Nooshkam *et al.*, 2017; Hadian *et al.*, 2011).

عملکرد بهتر محصول به مراحل اولیه رشد و نمو، یعنی جوانه‌زنی، قدرت گیاهچه و رشد گیاه بستگی دارد (Azarmi & Majnooni, 2023). این مراحل از رشد گیاه به‌شدت با ویژگی‌های خاک مانند تخلخل، رطوبت و میزان مواد مغذی مرتبط است. به این ترتیب جوانه‌زنی و کیفیت گیاهچه نقش حیاتی در رشد و عملکرد محصول در طول فصل زراعی دارد (Khajeh-Hosseini *et al.*, 2009). جوانه‌زنی ضعیف بذر را می‌توان از طریق خراشیدگی (روش مکانیکی برای کاهش خواب بذر) و تیمار دمایی بذرها، و ضد آلودگی یا غربال کردن بذرها با استفاده از تیمار مبتنی بر میدان‌های مغناطیسی و تابش نور با طول موج‌های مختلف بهبود بخشید (Ciupak *et al.*, 2007; Grzesik *et al.*, 2012; Cavallaro *et al.*, 2016). سرعت جوانه‌زنی را نیز می‌توان با خیساندن بذر در

طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه اکوفیزیولوژی گیاهان دارویی پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهران در طی سال ۱۴۰۱ طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح بیوچار انار (بدون بیوچار، ۱، ۲ و ۳ درصد (وزن/وزن خاک)) بودند.

تهیه و تولید بیوچار انار

برای تهیه بیوچار انار مقدار مورد نیاز چوب انار (*Punica granatum*) از باغات انار منطقه ساوه جمع‌آوری و خشک شد. برای تولید بیوچار انار، چوب‌های جمع‌آوری شده در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت چهار ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شد تا فرآیند پیرولیز انجام شود. سپس بیوچار انار از کوره خارج و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه شیمیایی بیوچار در جدول ۱ ارائه شده است. بذره‌های مرزه خوزستانی از شرکت پاکان بذر (اصفهان، ایران) تهیه شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

بیوچار بر رشد و نمو گیاهان به فاکتورهای متعددی از قبیل نوع بیوچار، در دسترس بودن مواد غذایی بعد از استفاده از بیوچار، گونه گیاهی و بافت خاک بستگی دارد (Xu et al., 2016). استفاده از بیوچار موجب حفظ و نگهداری مواد غذایی ماکرو (N, P, K⁺) و میکرو (Ca²⁺, Fe²⁺, Zn⁺) برای گیاهان می‌شود (Rehman et al., 2019).

تا به امروز، بیشتر مطالعات قبلی در مورد این موضوع بر روی تأثیر کاربرد بیوچار بر رشد و عملکرد محصول در خاک‌های کشاورزی متمرکز بوده و مطالعات بسیار کمی در مورد تأثیر بیوچار بر مراحل اولیه رشد از قبیل جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه وجود دارد. بنابراین هدف از این پژوهش کاربرد بیوچار انار به‌عنوان یک ترکیب اصلاح‌کننده آلی بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌های مرزه خوزستانی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کاربرد سطوح مختلف بیوچار انار بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و خصوصیات بیوشیمیایی و رویشی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی، آزمایشی در قالب

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بیوچار و خاک

Table 1- Chemical and physical properties of the biochar and soil

خاک Soil	بیوچار Biochar
اسیدیته pH	اسیدیته pH
8.2	7.6
بافت Texture	محتوای خاکستر (%) Ash content (%)
شنی لومی Sandy Loam	2.1
ش (٪) Sand (%)	محتوای رطوبت (%) Moisture content (%)
71.43	4.39
سیلت (%) Silt (%)	مواد فرار (%) Volatile matter (%)
20.81	71.5
رس (%) Clay (%)	کربن آلی (%) Organic carbon (%)
7.76	65.43
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر سانتیمتر) EC (dS cm ⁻¹)	نیتروژن (%) N (%)
3.92	0.21
کربن آلی (%) Organic carbon (%)	فسفر (%) P (%)
0.81	0.18
نیتروژن (%) N (%)	پتاسیم (%) K (%)
0.067	0.58
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg kg ⁻¹)	سدیم (%) Na (%)
21.86	0.32
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg kg ⁻¹)	منیزیم (میلی‌اکوالان بر لیتر) Mg (meq L ⁻¹)
235	0.28
کلسیم (میلی‌اکوالان بر لیتر) Ca (meq L ⁻¹)	
15.3	
منیزیم (میلی‌اکوالان بر لیتر) Mg (meq L ⁻¹)	
11	
کلر (میلی‌اکوالان بر لیتر) Cl (meq L ⁻¹)	
15	

سنجش شاخص‌های جوانه‌زنی

۱ میلی‌متر عبور داده شد و سپس با نسبت‌های دلخواه (۱، ۲ و ۳ درصد) با خاک مخلوط گردید. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی در هر سینی کشت تعداد ۲۵ عدد بذر مرزه خوزستانی کشت شد. درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان سبز شدن و بنیه بذر با استفاده از فرمول‌های جدول ۲ محاسبه شد.

جهت کشت بذرها از سینی‌های کشت (با ابعاد ۴۰×۶۱ میلی‌متر، عمق ۷۶ میلی‌متر و حجم ۲۰۰ سی‌سی) استفاده شد. قبل از پرکردن سینی‌های کشت با خاک شنی-لومی، بیوچار انار پودر گردید و از الکی با قطر ۲-

جدول ۲- روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

Table 2- Equations of germination indices

شاخص Index	معادله Equation	منابع References
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	$GP = \frac{n}{N}$	Panwar & Bhardwaj, 2005
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	$GR = \sum \frac{di}{ni}$	Kulkarni <i>et al.</i> , 2007
میانگین مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	$GR = \sum \frac{Dn}{n}$	Ellis & Roberts, 1981
شاخص بنیه Seed vigour	$SV = GP \times \text{Seedling length}$	Ellis & Roberts, 1981

$n =$ تعداد کل بذرهای جوانه‌زده در طی دوره، $N =$ تعداد بذرهای کاشته شده، $di =$ تعداد روز از آغاز آزمایش، $ni =$ تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز

$n =$ Total of number germinated seeds during period, $N =$ Number of seeds sown, $di =$ Number of days since the start of the experiment, $ni =$ Number of germinated seeds per day

ارزیابی صفات رشدی گیاهچه‌ها

پس از ۲۰ روز از رشد گیاهچه‌ها در اتاقک رشد (دمای ۳۰ درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی)، داده‌های مربوط به پارامترهای رشدی از قبیل طول، وزن تر و وزن خشک شاخساره و همچنین طول، وزن تر و خشک ریشه با در نظر گرفتن تعداد مساوی بذر جوانه‌زده برای تمامی تیمارها ثبت شد. اندازه‌گیری وزن تر و خشک گیاهچه‌ها به وسیله ترازو دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) انجام گردید. خشک کردن گیاهچه‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت صورت گرفت.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای کلروفیل a و b طبق روابط (۱) و (۲) محاسبه شد. در این روابط V حجم نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است (Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

$$(1) \text{ Chlorophyll a (mg g}^{-1} \text{ FW)} = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \times V/1000W$$

$$(2) \text{ Chlorophyll b (mg g}^{-1} \text{ FW)} = 22.9(A_{645}) - 2.69(A_{663}) \times V/1000W$$

محتوای رطوبت نسبی برگ از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$(3) \text{ درصد رطوبت نسبی} = \frac{(\text{وزن برگ خشک} - \text{وزن برگ تازه})}{(\text{وزن برگ خشک} - \text{وزن برگ آماس شده})} \times 100$$

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با استفاده از اسپکتروفتومتر (Bio-Tek Instruments, Inc., USA) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ تازه (۰/۱ گرم) جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با یک میلی‌لیتر بافر فسفات سرد ۵۰ میلی‌مولار (pH = 7.8) مخلوط شدند. مخلوط بدست آمده به مدت ۲۰ دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی گراد و با ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. به منظور محاسبه فعالیت آنزیم کاتالاز از روش Aebi (۱۹۸۴) استفاده شد و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز طبق روش Fridovich & Beachamp (۱۹۷۱) تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R صورت پذیرفت. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده گردید.

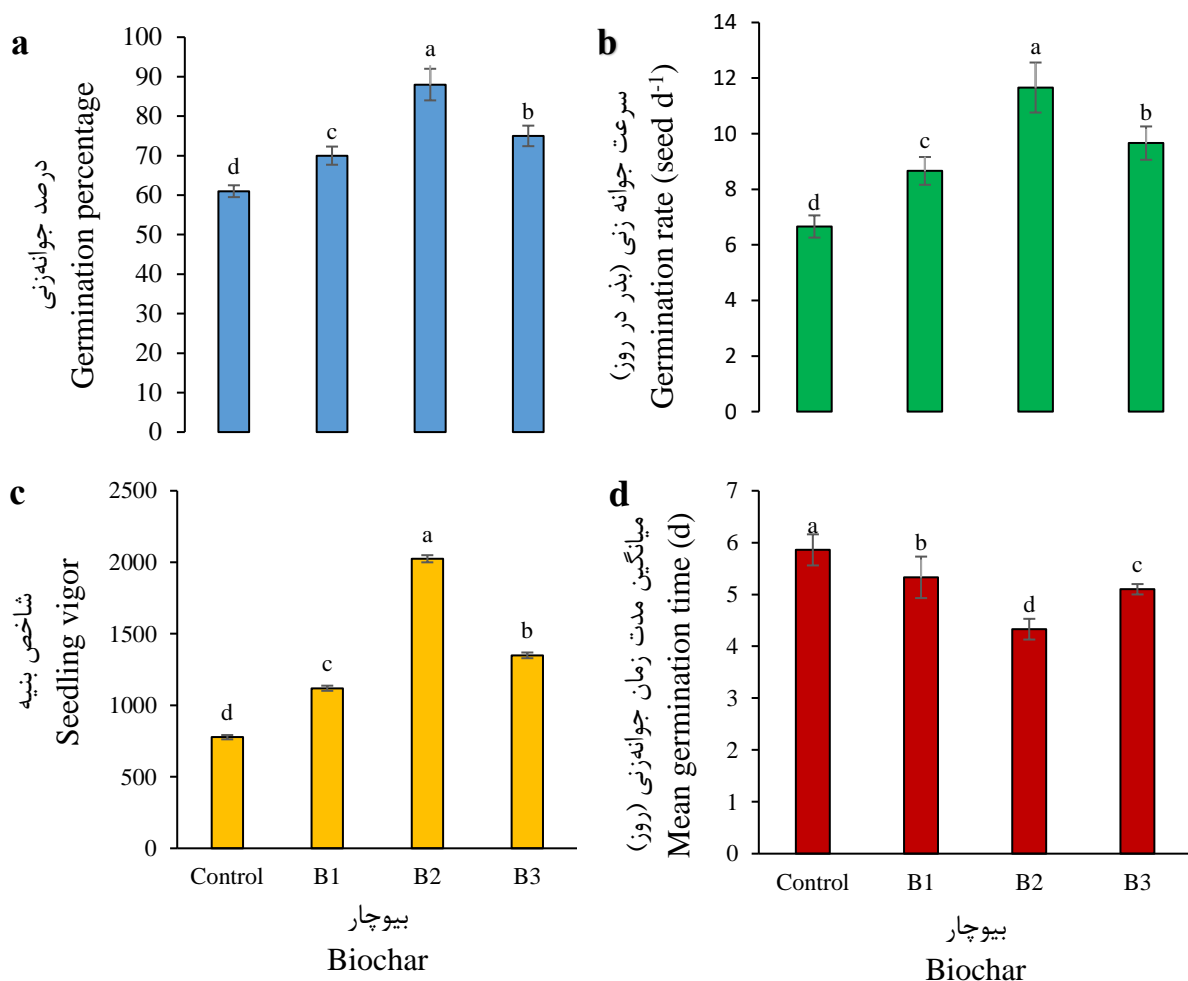
نتایج

تأثیر بیوجار انار بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر

بر اساس نتایج، بهبود قابل توجهی برای درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر با کاربرد ۲ درصد بیوجار

شاخص بنیه (۲۰۲۴/۶۷) در بذرهای کشت‌شده در سینی‌های کشت پرشده با خاک ترکیب‌شده با ۲ درصد بیوچار انار مشاهده شد و کمترین (۷۷۷/۱۳) آن در شاهد بود (شکل ۱c). بررسی مقایسه میانگین اثر بیوچار انار بر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی نشان داد که افزایش سطح بیوچار انار تا ۲ درصد موجب کاهش مدت زمان جوانه‌زنی شد، به‌طوری‌که بیشترین مدت زمان جوانه‌زنی (۵/۸۶ روز) در شاهد و کمترین (۴/۳۳) روز) آن در تیمار ۲ درصد بیوچار انار بود (شکل ۱d).

انار مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد بیوچار انار سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شد. در این بررسی کمترین (۶۱ درصد) و بیشترین (۸۸ درصد) درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب در شاهد و کاربرد ۲ درصد بیوچار انار مشاهده شد (شکل ۱a). همچنین، بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذر با کاربرد ۲ درصد بیوچار انار (با میانگین سرعت جوانه‌زنی ۱۱/۶۶ بذر در روز) و کمترین میزان این صفت در شرایط عدم کاربرد بیوچار انار (شاهد) (با میانگین ۶/۶۶ بذر در روز) حاصل گردید (شکل ۱b). بیشترین



شکل ۱- تأثیر بیوچار انار بر درصد جوانه‌زنی (a)، سرعت جوانه‌زنی (b)، شاخص بنیه (c) و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی (d) بذرهای مرزه خوزستانی. (B1: بیوچار ۱ درصد، B2: بیوچار ۲ درصد و B3: بیوچار ۳ درصد). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) می‌باشند. بارهای روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد

Figure 1- Effect of biochar on germination percentage (a), germination rate (b), vigour index (c) and mean germination time (d) of *S. khuzistanica* seeds (B1: biochar 1 %, B2: biochar 2 %, B3: biochar 3 %). Columns with at least one common letter are not significantly different at 5 % probability level based on least significant difference (LSD) method. The bars on each column indicate the standard error

تأثیر بیوچار انار بر صفات رشدی گیاهچه

براساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۳)، بیشترین طول (۲۳ سانتی‌متر)، وزن تر (۱/۰۵ گرم) و وزن خشک (۰/۱۲۴ گرم) شاخساره گیاهچه‌ها در تیمار ۲ درصد بیوچار انار مشاهده شده و کمترین این صفات در شرایط شاهد (عدم کاربرد بیوچار) بدست آمد. در

مطالعه حاضر، با افزایش سطح بیوچار انار تا ۲ درصد میزان طول ریشه افزایش یافت، اما با افزایش سطح بیوچار انار به ۳ درصد کاهش معناداری در طول ریشه مشاهده شد. بیشترین میزان طول (۷/۶ سانتی‌متر)، وزن تر (۰/۳۱ گرم) و وزن خشک (۰/۰۳۴ گرم) ریشه در کاربرد ۲ درصد بیوچار انار بدست آمد که افزایش قابل توجهی نسبت به شاهد داشت.

جدول ۳- تأثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی.

Table 3- Biochar effects on *S. khuzistanica* seedling growth parameters

سطوح بیوچار (درصد) Biochar Level (%)	شاخساره گیاهچه Seedlings shoot			ریشه گیاهچه Seedlings radicle		
	طول (سانتی‌متر) Length (cm)	وزن تر (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)	طول (سانتی‌متر) Length (cm)	وزن تر (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)
Control	12.73±1.21 ^d	0.65±0.04 ^d	0.062±0.002 ^d	4.33±1.04 ^d	0.17±0.05 ^d	0.022±0.001 ^d
1	16.00±1.72 ^c	0.76±0.02 ^c	0.071±0.004 ^c	6.12±1.23 ^c	0.22±0.03 ^c	0.025±0.003 ^c
2	23.00±1.32 ^a	1.05±0.05 ^a	0.124±0.006 ^a	7.60±1.47 ^a	0.31±0.04 ^a	0.034±0.005 ^a
3	18.00±1.52 ^b	0.85±0.04 ^b	0.090±0.003 ^b	6.8±1.29 ^b	0.26±0.03 ^b	0.028±0.002 ^b

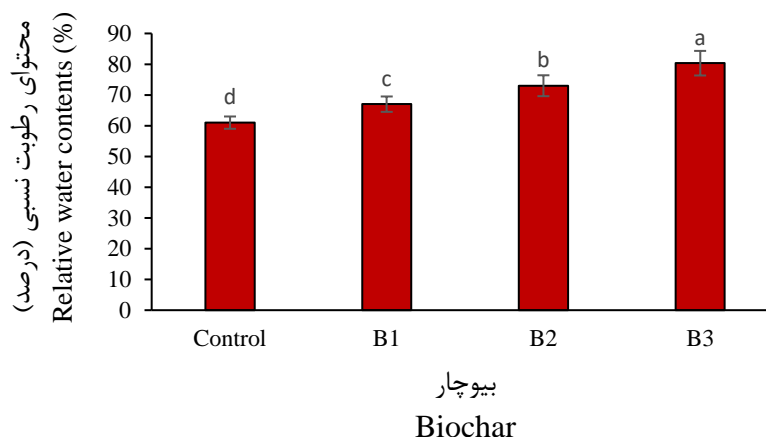
میانگین‌های (\pm خطای استاندارد) با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس

آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) می‌باشند

Means (\pm standard error) with at least one similar letter show insignificant difference according to LSD test, $p \leq 0.05$

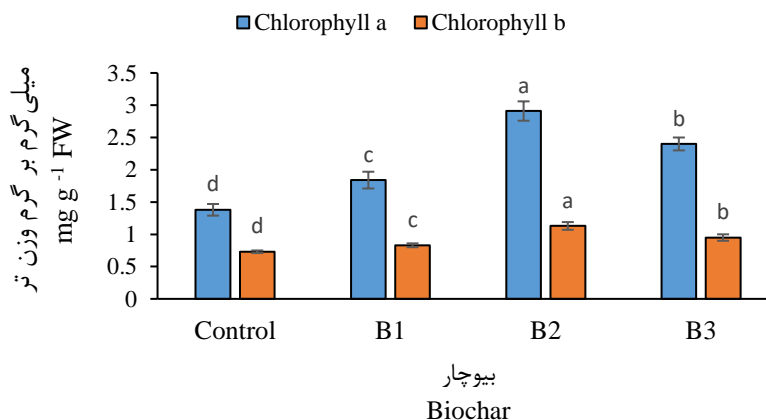
تأثیر بیوچار انار بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی براساس نتایج بدست آمده، با افزایش درصد کاربرد بیوچار انار محتوای رطوبت نسبی برگ افزایش یافت. به این ترتیب که بیشترین محتوای رطوبت نسبی (۸۰/۳۳ درصد) در بالاترین سطح بیوچار انار (۳ درصد) بدست آمد. این در حالی بود که کمترین میزان محتوای رطوبت نسبی (۶۱ درصد) در سطح شاهد مشاهده شد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین

میزان کلروفیل a (۲/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در کاربرد ۲ درصد بیوچار انار حاصل شد. این در حالی بود که کمترین میزان کلروفیل a (۱/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سطح شاهد بدست آمد (شکل ۳). فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز تحت تأثیر سطوح مختلف بیوچار انار قرار نگرفت.



شکل ۲- تأثیر بیوچار بر محتوای رطوبت نسبی برگ مرزه خوزستانی (B1: بیوچار ۱ درصد، B2: بیوچار ۲ درصد، B3: بیوچار ۳ درصد). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) می‌باشند. بارهای روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد

Figure 2- Effect of biochar on leaf relative water content of *S. khuzistanica* seedlings (B1: biochar 1 %, B2: biochar 2 %, B3: biochar 3 %). Columns with at least one common letter are not significantly different at 5 % probability level based on least significant difference (LSD) method. The bars on each column indicate the standard error



شکل ۳- تأثیر بیوچار انار بر مقادیر کلروفیل a و b گیاهچه‌های مرزه خوزستانی (B1: بیوچار ۱ درصد، B2: بیوچار ۲ درصد، B3: بیوچار ۳ درصد). ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) می‌باشند. بارهای روی هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد

Figure 3- Effect of biochar on chlorophyll a and b of *S. khuzistanica* seedlings (B1: biochar 1 %, B2: biochar 2 %, B3: biochar 3 %). Columns with at least one common letter are not significantly different at 5 % probability level based on least significant difference (LSD) method. The bars on each column indicate the standard error

بحث

رشد نهال‌های خرما می‌شود. بهبود شاخص‌های رشدی گیاه با بکارگیری انواع بیوپچار در مطالعات زیادی گزارش شده است. بیوپچار از طریق افزودن مستقیم عناصر غذایی به خاک، افزایش دسترسی و حفظ عناصر غذایی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک از جمله کاهش چگالی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأثیرات مثبت بر میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک باعث افزایش پارامترهای رشدی گیاه می‌شود (Albuquerque *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2021).

در این مطالعه افزایش قابل توجهی در محتوای کلروفیل a و b با کاربرد بیوپچار نسبت به شاهد مشاهده شد. در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی آفتابگردان (Goodarzian, 2017)، اسفناج (Rajabi *et al.*, 2015) و ذرت (Ali *et al.*, 2021) نیز به ترتیب کاربرد بیوپچار حاصل از پوسته بذر آفتابگردان، چوب پنبه و بلال ذرت باعث افزایش کلروفیل گیاه شد. کاربرد بیوپچار موجب اضافه شدن نیتروژن به خاک و همچنین بهبود شرایط جذب منیزیم و نیتروژن به عنوان عناصر ضروری برای سنتز کلروفیل می‌شود که از این طریق میزان کلروفیل نیز در گیاه افزایش می‌یابد (Wang *et al.*, 2014). کاربرد بیوپچار نقش بسیار مهمی در افزایش فعالیت آنزیمی گیاه ایفا می‌کند، اما در این مطالعه اثر بیوپچار بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز معنی‌دار نبود. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های گیاهچه *Malus hupehensis* پس از افزودن بیوپچار به خاک گلدان گزارش شده است (Wang *et al.*, 2014) که می‌تواند به دلیل جذب بهتر مواد معدنی ضروری یا فعالیت‌های محرک بیوپچار بر روی برخی از آنزیم‌های خاص باشد (Rondon *et al.*, 2007). همچنین، استفاده از کود و بیوپچار می‌تواند به طور مؤثر آسیب اکسیداتیو به لیبیدها را کاهش دهد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشد (Jia *et al.*, 2019).

نوع، میزان و روش کاربرد بیوپچار می‌تواند نقش مهمی در پاسخ گیاه به آن داشته باشد (Ali *et al.*, 2021). به دلیل ویژگی‌های خاص بیوپچار که برای سلامت خاک مفید است، می‌تواند خواص خاک را همراه با افزایش بهره‌وری محصول بهبود بخشد (Garnett *et al.*, 2004). محتوای مواد مغذی موجود در بیوپچار می‌تواند بر جوانه‌زنی بذر گیاهان تأثیرگذار باشد (Gaskin *et al.*, 2008). از طرفی دیگر بیوپچار با توجه به داشتن ظرفیت نگهداری مواد مغذی و ظرفیت نگهداری آب بالا، می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک نقش مهمی در جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه‌ها داشته باشد (Page-Dumroese *et al.*, 2015). در این مطالعه کاربرد ۲ درصد بیوپچار انار سبب افزایش قابل توجه درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر شد. Hilioti و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده کردند که کاربرد بیوپچار ساقه و تفاله‌های حاصل از روغنی‌گیری کرچک، موجب تسریع در جوانه‌زنی بذر کرچک در مقایسه با شاهد شد. مطالعه Kanwal و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که کاربرد ۱ و ۲ درصد بیوپچار خاک اره موجب افزایش و بهبود جوانه‌زنی گندم شد. فاکتورهای اصلی در جوانه‌زنی بذر شامل آب، دما، اکسیژن و pH می‌باشد (Alymanesh *et al.*, 2023). افزایش ظرفیت نگهداری آب و تخلخل پس از کاربرد بیوپچار، سبب بهبود رطوبت و هوادهی خاک خواهد شد که در نتیجه جوانه‌زنی بذر را بهبود می‌بخشد (XiaoLi *et al.*, 2020).

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که خصوصیات رشدی گیاهچه‌های مرزه خوزستانی با کاربرد بیوپچار افزایش یافت. افزایش رشد گیاهچه‌های نیشکر (Yang *et al.*, 2015) و برنج (Zhang *et al.*, 2020) نیز به ترتیب با کاربرد بیوپچار کاساوا و خاک اره گزارش شده است که با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. همچنین، Marzouk (۲۰۱۷) نشان داد که بیوپچار تولیدشده از ضایعات تفاله زیتون باعث بهبود

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج، مصرف بیوچار باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر از قبیل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر شد، بطوریکه بیشترین مقادیر برای این شاخص‌ها در کاربرد ۲ درصد بیوچار مشاهده شد. همچنین صفات رشدی گیاهچه تحت تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار قرار گرفت و بیشترین شاخص‌های رشدی نیز در کاربرد ۲ درصد بیوچار حاصل شد. علاوه بر این، میزان کلروفیل (a و b) و محتوای نسبی آب نیز در

برگ گیاهچه‌های مرزه خوزستانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی (سوپر اکسیددیس‌موتاز و کاتالاز) با کاربرد بیوچار تغییر معنی‌داری نداشت. افزودن بیوچار به خاک به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی می‌تواند گزینه‌ای بهتر، آسان‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر برای افزایش جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌های مرزه خوزستانی باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی تهران تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymol*, 105, 121-126.
- Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N. & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44.
- Alburquerque, J.A., Calero, J.M., Barron, V., Torrent, J., del Campillo, M.C., Gallardo, A. & Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feed stocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177, 16-25.
- Ali, L., Xiukang, W., Naveed, M., Ashraf, S., Nadeem, S.M., Haider, F.U. & Mustafa, A. (2021). Impact of Biochar application on germination behavior and early growth of maize seedlings: Insights from a growth room experiment. *Applied Sciences*, 11, 11666.
- Alymanesh, M.R., Ghanbari, F. & Seydi nezhad, A. (2023). Effect of endophyte *Rhizobium* sp. on disease control, seed germination and growth of basil microgreens. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 29-42.
- Azarmi, R. & Majnooni, Z. (2023). The interaction effect of chromium and fulvic acid on the morphological and physiological traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic condition. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 123-134.
- Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, 44, 276-287.
- Cavallaro, V., Barbera, A.C., Maucieri, C., Gimma, G., Scalisi, C. & Patanè, C. (2016). Evaluation of variability to drought and saline stress through the germination of different ecotypes of carob (*Ceratonia siliqua* L.) using a hydrotime model. *Ecological Engineering*, 95, 557-566.
- Ciupak, A., Szczurowska, I., Gładyszewska, B. & Pietruszewski, S. (2007). Impact of laser light and magnetic field stimulation on the process of buckwheat seed germination. *Tech Science*, 10, 1-10
- Eghlima, G., & Mohammadi, M. (2023). Improvement of seed germination and growth indices of *Satureja khuzistanica* Jamzad seedlings under the influence of different light spectrums. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 109-122.
- Ellis, R.A. and Roberts, E.H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373-409.
- Farrell, M., Lynne, M., Macdonald, Butler G., Chirino-Valle, I. & Leo, M.C. (2014). Biochar and fertilizer applications influence phosphorus

- fractionation and wheat yield. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 69-178.
- Garnett, E., Jonsson, L.M., Dighton, J. & Murnen, K. (2004). Control of pitch pine seed germination and initial growth exerted by leaf litters and polyphenolic compounds. *Biology and Fertility of Soils*, 40, 421-426.
 - Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C. & Bibens, B. (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 51, 2061-2069.
 - Ghezzehei, T.A., Sarkhot, D.V. & Berhe, A.A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5, 953-962.
 - Goodarzian, Sh. (2017). Effect of biochar and superabsorbent on safflower plant growth under drought stress. M.Sc. thesis. Shahroud University of Technology. (In Farsi)
 - Grzesik, M., Janas, R., Górnik, K. & Romanowska-Duda, Z. (2012). Biological and physical methods of seed production and processing. *Journal of Research and Applications in Agricultural*, 57, 147-152.
 - Hadian, J., Mirjalili, M.H., Kanani, M.R., Salehnia, A. & Ganjipoor, P. (2011). Phytochemical and morphological characterization of *Satureja khuzistanica* Jamzad populations from Iran. *Chemistry & Biodiversity*, 8, 902-915.
 - Hilioti, Z., Michailof, C.M., Valasiadis, D., Iliopoulou, E.F., Koidou, V. & Lappas, A.A. (2017). Characterization of castor plant-derived biochars and their effects as soil amendments on seedlings. *Biomass and Bioenergy*, 105, 96-106.
 - Jamzad, Z. (2011). Thyme and savory Iran. Publishing Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, 172p. (In Farsi)
 - Jia, W.L., Wang, C.P., Ma, C.X., Wang, J.C., Sun, H.W. & Xing, B.S. (2019). Mineral elements uptake and physiological response of *Amaranthus mangostanus* (L.) as affected by biochar. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 175, 58-65.
 - Kanwal, S., Ilyas, N., Shabir, S., Saeed, M., Gul, R., Zahoor, M., Batool, N. & Mazhar, R. (2018). Application of biochar in mitigation of negative effects of salinity stress in wheat (*Triticum.aestivum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 41(4), 526-38.
 - Karthikeyanb, N., Prasanna, R., Nainb, L. & Kaushik, B.D. (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting Cyanobacteria as inoculants for wheat. *European Journal of Soil Biology*, 43, 23-30.
 - Khajeh-Hosseini, M., Lomholt, A. & Matthews, S. (2009). Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Science and Technology*, 37, 446-456.
 - Khani, S., Seyedjavadi, S.S., Zare-Zardini, H., Mahmoodzadeh Hosseini, H., Goudarzi, M., Khatami, S., Amani, J., Imani Fooladi, A.A. & RazzaghiAbyaneh, M. (2019). Isolation and functional characterization of an antifungal hydrophilic peptide, Skh-AMP1, derived from *Satureja khuzistanica* leaves. *Phytochemistry*, 164, 136-143.
 - Kim, H.S., Kim, R.K., Yang, J.E., Ok, Y.S., Owens, G., Nehls, T., Wessolek, G. & Kim, K.H. (2016). Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays* L.) response. *Chemosphere*, 142, 153-159.
 - Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophyll saandbof leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-592.
 - Marzouk, E. (2017). Soil-less seed germination and root growth of date palm affected by biochar and metal nanoparticles. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8, 77-84.
 - Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A. & Morshedloo, M.R. (2017). Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of Applied*

- Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 126-130.
- Oliet, J.A., Planelles, R., Segura, M.L., Artero, F. & Jacobs, D.F. (2004). Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 103, 113-129.
 - Page-Dumroese, D., Robichaud, P.R., Brown, R.E. & Tirocke, J.M. (2015). Water repellency of two forest soils after biochar addition. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 58, 335-342.
 - Rajabi, H., Safarzadeh, S., Karimian, N.A. & Ronaghi, A.M. (2015). Effect of biochar and fertilizer on some physiological characteristics of spinach. International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges Focused on Natural Resources, Environment and Tourism. Tabriz, 25-26 February, 24-26.
 - Rehman, M., Liu, L., Bashir, S., Saleem, M. H., Chen, C., Peng, D. & Siddique, K.H. (2019). Influence of rice straw biochar on growth, antioxidant capacity and copper uptake in ramie (*Boehmeria nivea* L.) grown as forage in aged copper-contaminated soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 138, 121-129.
 - Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramirez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43, 699-708.
 - Wang, Y., Pan, F., Wang, G., Zhang, G., Wang, Y., Chen, X. & Mao, Z. (2014). Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Scientia Horticulturae*, 175, 9-15.
 - XiaoLi, B., JianHui, X., YongBo, W. & WenBao, M. (2020). Effect of biochar on seed germination and seedling growth of *Robinia pseudoacacia* L. in Karst Calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(3), 352-363.
 - Xu, G., Zhang, Y., Sun, J. & Shao, H. (2016). Negative interactive effects between biochar and phosphorus fertilization on phosphorus availability and plant yield in saline sodic soil. *Science of the Total Environment*, 568, 910-915.
 - Yang, L., Liao, F., Huang, M., Yang, L. & Li, Y. (2015). Biochar improves sugarcane seedling root and soil properties under a pot experiment. *Sugar Tech*, 17, 36-40.
 - Zhang, L., Wang, Y., Mao, J. & Chen, B. (2020). Effects of biochar nanoparticles on seed germination and seedling growth. *Environmental Pollution*, 256, 113409.