Effect of Biochar on the Chemical Properties of Soil under Cultivation of Two Cultivar of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under Drought Stress

Mansoureh Hoseinollahi[1], Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi [2, 3*], Abolfazl Azizian[4]

(Received: February, 2024 Accepted: July, 2024)

Abstract

Drought is an abiotic stress that significantly reduces crop yield. Organic modifiers like biochar can help mitigate the negative effects of drought stress on plants. In order to cultivate low water demand and industrial medicinal plants in arid regions, the guar plant was selected for a study on the effect of drought stress and biochar on cultivated soil. The experiment was set up as split split plots in a randomized complete block design with three replications in a saline soil at field condition. The main factor consisted of three levels of drought stress 10, 14 and 17-day irrigation cycles and the first sub-factor included three levels of biochar 0-, 7.5- and 15-ton hr^{-1} and the second sub-factor was two levels of soil sampling at 0-20 and 20- 40 cm for local and commercial guar cultivar. Various soil chemical properties were measured, such as calcium, magnesium, sodium, pH and electrical conductivity. The results showed that drought stress significantly affected all traits except magnesium in the soil of the native variety. Biochar had a significant impact on all measured traits in the soil of both cultivars. Soil depth only had a significant effect on acidity and magnesium concentration in the native cultivar's soil and calcium concentration in the commercial cultivar's soil. As irrigation cycle increased, salinity, acidity and sodium concentration in the soil also increased, with grater changes in the commercial variety compared to native variety. The pH and EC were increased by 5% and 19 % in the native variety and 9% and 25 % in the commercial variety, respectively. Increasing biochar content in the soil led to acidity, salinity and sodium concentration while calcium concentration decreased. Thus, the acidity, salinity, sodium and calcium concentration in the soil of the native variety changed by 5, 19, 48 and 15%, respectively, and in the commercial variety it increased by 9, 25, 18 and 9%, respectively. Soil sampling at greater depths resulted in increased soil salinity and sodium concentration by 8% and 19% in native and 5% and 28% in commercial cultivars, respectively. Overall, the potential negative effects of using biochar, such as increased soil EC and pH, as well as producing costs on a large scale, should be taken into consideration.

Keywords: pH, EC, Soil amendment, Calcareous Soil, Depth

Hoseinollahi, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Azizian, A. 2025. Effect of Biochar on the Chemical Properties of Soil under Cultivation of two Cultivar of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under drought stress. *Applied Soil Research*, 12(4): 46-60.

1-Former MSc Student, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University
2-Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University
3-Water, Energy and Environment Research Institute, Ardakan University, P.O. Box 184, Ardakan, Iran
4-Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University
* Corresponding Author Email: ssoltani@ardakan.ac.ir

تأثیر کاربرد بیوچار بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت دو واریته گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در شرایط تنش خشکی

منصوره حسین اللهی[۱]، سمیه سلطانی گردفرامرزی*[۳و۲]، ابوالفضل عزیزیان[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶)

چکیده

تنش خشکی یکی از تنش‌های غیرزیستی است که سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار می‌توانند پیامدهای منفی ناشی از تنش خشکی را در گیاه کاهش دهند. با توجه به لزوم کشت گیاهان دارویی کم‌آبخواه و صنعتی در مناطق خشک، برای بررسی اثر تنش خشکی و بیوچار، گیاه داروئی-صنعتی گوار انتخاب شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای در یک خاک شور اجرا شد. عامل اصلی، تنش خشکی در سه سطح شامل دورهای آبیاری غرقابی ۱۰، ۱۴ و ۱۷ روز و عامل فرعی اول کاربرد بیوچار در سه سطح شامل صفر، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار و عامل فرعی دوم دو عمق نمونه‌برداری خاک لومی، صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتیمتری در نظر گرفته شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل غلظت محلول کلسیم، منیزیم، سدیم، pH و EC در خاک تحت کشت دو واریته تجاری و بومی گوار در شرایط مزرعه اندازه‌گیری شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تنش خشکی بر همه ویژگی‌های خاک به‌جز منیزیم در خاک تحت کشت واریته بومی، معنی‌دار بود. کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر همه ویژگی‌های خاک تحت کشت هر دو واریته مورد مطالعه داشت. در حالی که اثر عمق نمونه‌برداری تنها بر pH و غلظت منیزیم در خاک تحت کشت واریته بومی و بر غلظت کلسیم خاک تحت کشت واریته تجاری معنی‌دار شد. با افزایش دور آبیاری، EC، pH و غلظت سدیم محلول خاک نسبت به تیمار شاهد، در خاک تحت کشت هر دو واریته افزایش یافت؛ این افزایش در خاک تحت کشت واریته تجاری بیش‌تر بود به‌طوری‌که در واریته بومی pH و EC به‌ترتیب ۵ و ۱۹ درصد و در واریته تجاری ۹ و ۲۵ درصد افزایش نشان داد. با افزایش سطح کاربرد بیوچار pH، EC و غلظت سدیم در خاک تحت کشت هر دو واریته افزایش و غلظت کلسیم محلول خاک روند کاهش نشان داد. به‌طوری‌که pH، EC، غلظت سدیم و کلسیم محلول در خاک واریته بومی به‌ترتیب ۵، ۱۹، ۴۸ و ۱۵ درصد تغییر و در واریته تجاری به‌ترتیب ۹، ۲۵، ۱۸ و ۹ درصد افزایش یافت. با افزایش عمق نمونه‌برداری خاک نیز در هر در دو واریته بومی و تجاری EC خاک به‌ترتیب ۸ و ۵ درصد و غلظت سدیم خاک به‌ترتیب ۱۹ و ۲۸ درصد افزایش یافت. به طورکلی باید اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح کننده خاک بر ویژگی‌هایی مانند افزایش EC خاک یا افزایش pH خاک و همچنین هزینه تولید آن در سطح وسیع را نیز در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: pH، EC ، اصلاح کننده آلی، خاک آهکی، عمق نمونه‌برداری خاک

حسین اللهی، م.، سلطانی گردفرامرزی، س.، عزیزیان، ا. ۱۴۰۳. تأثیر کاربرد بیوچار بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت دو واریته گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در شرایط تنش خشکی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۴. صفحه: ۴۶-۶۰ .

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

۲-دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان (مکاتبه کننده)

۳- عضو پژوهشکده آب، انرژی و محیط زیست دانشگاه اردکان

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

* پست الکترونیک: ssoltani@ardakan.ac.ir

مقدمه

خشکی، یکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی در سراسر جهان است که باعث محدودیت تولید در بخش کشاورزی شده است. بخش عمدهٔ ایران را اقلیم خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. بروز خشک‌سالی‌های مختلف، کاهش بارش‌های جوی، استفادهٔ بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و افزایش مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی، مدیریت بهینهٔ آبیاری را در این بخش ضروری ساخته است. بنابراین، لازم است از روش‌های مناسب به‌منظور کاهش پیامدهای منفی تنش خشکی استفاده گردد (Soltani-Gerdefaramarzi *et al*., 2021). محدودیت دسترسی به آب آبیاری در سراسر جهان مستلزم تغییرات اساسی در مدیریت آبیاری و استفاده از روش‌های بهینه مصرف آب است. در کم‌آبیاری، مقداری تنش به گیاه وارد می‌شود که برای کاهش اثرات منفی آن، استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی مانند بیوچار پیشنهاد شده است (Tejerina, 2010). بیوچار، مادهٔ آلی غنی از کربن است که از گرماکافت ضایعات آلی حیوانی یا گیاهی در شرایط بدون حضور اکسیژن و یا با اکسیژن محدود تولید می‌شود (Beiranvandi *et al*., 2020). کاربرد بیوچار در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از روش‌های کارآمد برای کاهش اثرات مخرب تنش خشکی است. که آب را در خود جذب کرده و در زمانی مناسب در اختیار گیاه می‌گذارد (Zheng *et al*., 2013). به‌طور کلی، استفاده از بیوچار تولید شده از پسماندهای کشاورزی، ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک و افزایش رشد و عملکرد گیاه، از پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از رهاسازی، دفن و سوزاندن این ضایعات در طبیعت جلوگیری می‌کند (Das *et al*, 2020). در کشاورزی پایدار، توجه زیادی به بیوچار شده است (Glaser & Birk, 2012) که به‌دلیل پایداری بالا نسبت به سایر کودهای آلی که نرخ تجزیهٔ زیستی بالایی در شرایط اقلیمی یکسان دارند، این ماده را می‌توان به‌عنوان منبع مهم مواد آلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفت (Lehmann & Joseph, 2015). مطالعات همچنین تأثیرات مثبت بیوچار را بر ویژگی‌ها فیزیکی، شیمیایی، حذف آلودگی و حاصلخیزی خاک نشان داده است (Rezaie *et al*., 2018؛ Abbaspour *et al*., 2018؛ Baharvandi *et al*., 2023؛ Kim *et al*., 2021; Hussain & Ravi, 2022; Das *et al*., 2020; Bamdad *et al*., 2022; Zhu *et al*., 2023; Saleem *et al*., 2023). لازم به ذکر است که تاثیر بیوچار بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک با توجه به نوع خاک، نوع زیست توده بیوچار و شرایط گرماکافت آن متفاوت می‌باشد. برای مثال کریمی و همکاران (Karimi *et al*., 2020a) نشان دادند که بیوچار تهیه شده از باگاس نیشکر در دماهای گرماکافت پائین می‌تواند برای بهبود ماده آلی خاک، فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک باشد. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2017) نشان داد که افزودن بیوچار کاه و کلش گندم به یک خاک آهکی غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و منگنز را افزایش و غلظت قابل استفاده آهن را کاهش داد. تانور و همکاران (Tanure *et al*., 2019)، تأثیر تنش خشکی و بیوچار در اندازه‌های ۲، ۰/۵ و کم‌تر از ۰/۵ میلی‌متر در سطوح مختلف بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را بررسی کردند. مطابق با نتایج، با افزایش سطح کاربرد بیوچار در اندازه‌های مختلف، فسفر، کلسیم و منیزیم محلول خاک افزایش و pH خاک کاهش یافت. خان و همکاران (Khan *et al*., 2021) نشان دادند که کیفیت و خواص شیمیایی خاک برای تقویت مقاومت و رشد کلزا در طول تنش خشکی به طور قابل توجهی افزایش یافت و افزایش سطح بیوچار منجر به افزایش معنی‌داری در نیتروژن کل، فسفر کل، پتاسیم موجود، پ‌هاش خاک و کربن آلی خاک در گیاهان تیمار شده با بیوچار نسبت به تیمار شاهد گردید. در پژوهشی که توسط منان و همکاران (Mannan *et al*., 2021) با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و بیوچار بر گیاه سویا صورت گرفت، مشخص شد که در تمام تیمارهای خشکی، کاربرد بیوچار به‌طور قابل توجهی نرخ رشد محصول را افزایش داد. علاوه بر این، استفاده از بیوچار باعث افزایش پتاسیم موجود در خاک و افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه در شرایط تنش شد.

وضعیت بحرانی منابع آب کشور از یک طرف و مصرف بخش عمدهٔ آن در بخش کشاورزی از طرف دیگر باعث شده تا مدیریت مصرف آب و کاربرد اصلاح کننده‌های خاک خصوصاً در مناطق خشک که با کمبود شدید پوشش گیاهی و مواد آلی خاک روبرو هستند، لازم و ضروری به نظر برسد. از طرف دیگر استان یزد و شهرستان اردکان یکی از مناطق خشک و کم آب ایران است که اکثر زمین‌های زراعی به دلیل کیفیت نامناسب آب آبیاری در این منطقه شور شده

است. علاوه بر این، تقاضای جهانی گوار در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته که سبب معرفی این گیاه در چندین کشور شده است. گوآر یا لوبیای خوشه‌ای با نام علمی (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) از خانواده بقولات می‌باشد. این گیاه یک ساله (با دوره رشد ۲۱۱روزه) و مقاوم به خشکی می‌باشد و با شرایط زمین‌های شنی سازگار است. با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که تاکنون در خصوص گیاه گوار در شرایط مزرعه‌ای همراه با اصلاح کننده خاک (بیوچار) در خاک‌های مناطق خشک مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین این تحقیق به‌منظور بررسی مقدار تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت دو واریته بومی و تجاری گیاه داروئی-صنعتی گوار در سطوح مختلف تنش خشکی در شرایط مزرعه در یک خاک شور انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مشخصات طرح آزمایش

این پژوهش در اول مردادماه سال ۱۴۰۰ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه اردکان در استان یزد (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۲ درجه و ۲۰ دقیقهٔ شمالی با متوسط بارندگی سالانه ۶۲ میلی‌متر، متوسط رطوبت نسبی ۳۴ درصد و دمای متوسط سالانه ۱۹ درجهٔ سانتی‌گراد) به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، سطوح تنش خشکی در سه سطح شامل آبیاری غرقابی ۱۰، ۱۴ و ۱۷ روز، عامل فرعی اول، کاربرد بیوچار در سه سطح شامل صفر، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار و عامل فرعی دوم، عمق نمونه‌برداری خاک در دو سطح شامل صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری بود. بر اساس مطالعات انجام‌شده، به طور متوسط دور آبیاری گوار ۱۰ روز است که برای اعمال تنش خشکی دورهای ۱۰ (I_1)، ۱۴ (I_2) و ۱۷ (I_3) روز در نظر گرفته شد. بیوچار (مخلوط پوست سخت گردو و بادام تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) به‌دلیل فراوان بودن در منطقه استفاده شد. همچنین دو آزمایش جداگانه برای دو واریته از گیاه گوار بومی سراوان و تجاری RGC – 936 با توجه به تفاوت زیاد در خصوصیات مورفولوژیکی و میزان تولید بذر در نظر گرفته شد. برای تهیه بیوچار ابتدا زیست‌توده پوست سخت گردو بادام به خوبی با آب شسته شده و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق خشک شده و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا خشک شود. سپس زیست‌توده آسیاب شده و توسط الک‌های استاندارد، ذرات بین ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر جدا شدند. سپس بیوچار در کوره الکتریکی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲ ساعت تهیه شد. نرخ افزایش دما ۱۰ درجه سلسیوس در دقیقه بود و برای ایجاد شرایط بدون اکسیژن، از جریان گاز نیتروژن استفاده شد (Singh *et al*., 2017).

ویژگی‌ها فیزیکوشیمیایی آب و خاک

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مزرعه، نمونه‌های آب (جدول ۱) و خاک (جدول ۲) آنالیز شدند. در آزمایش نمونه آب، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش اسپکتومتری نشر شعله، کلسیم، منیزیم و و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، کلر به روش رنگ سنجی و سولفات به روش کدورت سنجی با استفاده از روش‌های استاندارد ملی ایران در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)،EC و pH در عصاره اشباع (Haluschak, 2006)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، کاتیون‌های محلول از قبیل Ca و Mg در عصاره اشباع (Richards, 1954) اندازه‌گیری شد. خاک مزرعه مورد مطالعه دارای بافت لومی (۴۵/۴٪ شن، ۳۶/۳٪ سیلت و ۱۸/۳٪ رس) چگالی ظاهری ۱/۴۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت وزنی ظرفیت زراعی مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب ۲۷/۳ و ۹ درصد بود. لازم به ذکر است که EC آب آبیاری برابر ۱/۵ دسی زیمنس بر متر است که بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (۱۹۵۴)، آب با خطر بالای ایجاد شوری طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس این طبقه‌بندی در صورتی‌که EC از ۰/۲۵ دسی زیمنس بر متر کمتر باشد، خطر شوری آن کم، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ متوسط، از ۰/۷۵ تا ۲/۲۵ زیاد و بیش از ۲/۲۵ خیلی زیاد خواهد بود.

عملیات کشت و اعمال تیمارها

کاشت بذرهای دو واریته گوار، در اول مردادماه پس از انجام عملیات شخم، دیسک و آماده‌سازی بستر و مخلوط کردن سطوح مختلف بیوچار با خاک سطحی (۰ تا ۱۰ سانتی‌متر) کرت‌ها، به‌صورت دستی در عمق ۱ تا ۳ سانتی‌متری صورت گرفت.

جدول ۱- تجزیهٔ شیمیایی آب آبیاری

Table 1. Chemical analysis of irrigation water

Traits	EC	pH	Cl	K	Na	Ca	Mg	SO_4	HCO_3	SAR
Unit	dS m^{-1}	-	meq l^{-1}							-
Value	1.5	8.13	11.5	0.23	10.98	1.0	2.8	0.9	2.6	7.96

جدول۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش و بیوچار

Table 2. Chemical properties of the soil where the project is implemented and biochar

Traits	Soil depth (cm)		Biochar
	0-20	20-40	
EC (dS m^{-1})	5.76	6.17	1.35
pH	7.7	7.79	8.5
Organic Carbon (%)	0.64	0.38	53.2
Ca (meq l^{-1})	25.6	18.1	4.1
Mg (meq l^{-1})	37.5	19.6	4.6
Na (meq l^{-1})	78.2	60.2	2.5
K (meq l^{-1})	29.5	14.1	5.6
Cl (meq l^{-1})	131.5	86.7	15.2
Total N (g kg^{-1})	0.085	0.032	-
Ash content (%)	-	-	43.5
Biochar yield (%)	-	-	32.4

EC و pH بیوچار در عصاره ۱ به ۱۰ آب مقطر اندازه‌گیری شد.

EC and pH of biochar were determined in 1:10 (biochar: distilled water) extract

سپس به عمق ۲ سانتی‌متر روی آن ماسه ریخته شده و آبیاری به‌صورت غرقابی انجام شد. در پایان هر دور آبیاری از خاک نمونه گرفته شده و رطوبت خاک تعیین گردید. اختلاف رطوبت خاک با رطوبت ظرفیت زراعی خاک که قبلاً اندازه‌گیری شده بود، عمق آبی است که باید به هر کرت داده شود. عمق آب در مساحت کرت ضرب شده و حجم آب آبیاری در هر دور تعیین گردید. در ابتدای هر کرت یک کنتور حجمی وجود داشت که بر اساس آن آبیاری کرت‌ها انجام می‌شد. کل حجم آب مصرفی برای تیمار دور آبیاری ۱۰ روز، ۲۵۶ لیتر، دور آبیاری ۱۴ روز ۲۰۳ لیتر و دور آبیاری ۱۷ روز ۱۶۴ لیتر با در نظر گرفتن ۳۰ درصد آبشوئی با توجه به شور بودن خاک منطقه، محاسبه گردید. طول و عرض کرت‌ها (۵۴ کرت) به‌ترتیب ۱/۵ و ۲ متر با ۲ خط کشت به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و فاصله بین کرت‌ها ۳۰ سانتی‌متر لحاظ گردید. فاصلهٔ بذرها ۲۰ سانتی‌متر بر روی ردیف بود. آبیاری دوم، یک هفته بعد از کاشت و آبیاری سوم در شهریورماه صورت گرفت. تیمارهای آبیاری در شهریورماه همزمان با آبیاری سوم و پس از استقرار کامل بوته‌ها، زمانی که گیاهان به مرحلهٔ چهار یا پنج برگی رسیدند و بوته‌های ضعیف حذف شدند، اعمال گردید. در پایان دوره رشد گیاه، حدود ۱۶ هفته (آبان‌ماه) برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک pH و EC و غلظت عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول در خاک، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک پس از برداشت گیاه

در پایان دوره، پس از جداسازی کامل گیاه از خاک، نمونه‌های خاک از دو عمق صفر تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتیمتری برداشته و پس از عبور از الک دو میلی‌متر، با آب مقطر مخلوط و گل اشباع تهیه شد. پس از ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه عصاره‌گیر (مدل Parzan Arad – B–55، ساخت ایران)، نمونه‌ها عصاره‌گیری شد. pH عصاره‌های خاک با استفاده از دستگاه pH متر (مدلMETROHM–827 ساخت ایران) و EC عصاره‌های خاک با استفاده از دستگاه EC متر (مدل METROHM 644) اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم محلول خاک به‌روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAY PFP1 ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد (Barzegar, 2008). برای اندازه‌گیری غلظت عناصر کلسیم و منیزیم محلول خاک، از روش تیتراسیون استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام شد و برای مقایسهٔ میانگین داده‌ها، از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۳، اثرات اصلی دور آبیاری بر ویژگی‌های EC و pH، غلظت عناصر سدیم و کلسیم برای واریته بومی گوار و همچنین بر همه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای واریته تجاری گوار معنی‌دار شد. هم‌چنین اثرات اصلی بیوچار بر همه ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری برای هر دو واریته بومی و تجاری گوار معنی‌دار بود. اثرات اصلی عمق اندازه‌گیری در خاک بر همه ویژگی‌های بجز برای pH و منیزیم خاک در واریته بومی گوار و بر کلسیم خاک برای واریته تجاری اثر معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل دور آبیاری و بیوچار بر EC خاک و غلظت منیزیم و کلسیم و سدیم در گونه بومی و بر مقدار کلیسیم و منیزیم و سدیم، شوری و pH در گونه تجاری گوار معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل دور آبیاری و عمق فقط بر شوری، غلظت سدیم و کلسیم واریته بومی و بر ویژگی‌های EC و غلظت سدیم در واریته تجاری گوار تأثیر معنی‌دار آماری نشان داد. اثر متقابل عمق و بیوچار تنها بر شوری و کلسیم واریته بومی و بر ویژگی‌هایEC، غلظت کلسیم و منیزیم در واریته تجاری تأثیر معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل سه گانه دور آبیاری، بیوچار و عمق نیز بر شوری و pH و غلظت منیزیم واریته بومی و بر شوری، کلسیم و منیزیم واریته تجاری از نظر آماری معنی‌دار شد. در ادامه اثرات اصلی و متقابل تیمارهای مورد بررسی بر پارامترهای اندازه‌گیری شده، ارائه شده است. لازم به ذکر است که نتایج اثرات اصلی پارامترهایی بررسی شده است که اثر متقابل تیمارها برای آن پارامتر معنی‌دار نبوده است.

بر اساس نتایج جدول ۴، با افزایش دور آبیاری، pH خاک نسبت به شاهد افزایش یافت. برای واریته بومی گوار، بیش‌ترین و کم‌ترین pH خاک به‌ترتیب در تیمارهای I_3 (۸/۶) و شاهد (۸/۲) به‌دست آمد. تیمارهای I_2 و I_3 به‌ترتیب باعث افزایش حدود ۴ و ۵ درصدی pH خاک نسبت به شاهد شدند. در واریته تجاری نیز نتایج مشابه بدست آمد و pH به‌ترتیب ۹ و ۶ درصد در دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز نسبت به شاهد افزایش یافت. افزایش pH خاک نتیجه تجمع بازهای تبادلی خاک می‌باشد که سبب کاهش اثربخشی آبشوئی خاک و اختلال در جذب عناصر غذایی گیاهان می‌شود. به عبارت دیگر افزایش pH موجب افزایش تراکم بار منفی رس‌ها و افزایش نیروی دافعه بین رس‌ها شده که با حضور کاتیونی مانند سدیم، لایه دوگانه پخشیده خاک افزایش، پایداری خاکدانه‌ها کاهش و جذب عناصر کم‌مصرف خاک محدود می‌شود (Ramezani *et al*., 2015). در این شرایط استفاده از کودهای دامی و کفایت آب آبیاری و بهبود شرایط بیولوژیکی خاک می‌تواند موثر باشد (Zare Abyaneh *et al*., 2021). در این تحقیق با توجه به اینکه آب آبیاری و تنش خشکی یکی از فاکتورهای اصلی آزمایش بود و در دورهای آبیاری بیش‌تر به صورت طبیعی آبشوئی کم‌تری انجام شد، در نتیجه افزایش pH خاک دور از انتظار نبود. با افزایش سطح کاربرد بیوچار، pH خاک در هر دو واریته افزایش یافت. در واریته بومی، کم‌ترین pH در تیمار صفر تن بر هکتار بیوچار (۸/۲) به‌دست آمد و با افزایش سطح کاربرد بیوچار به ۷/۵ تن بر هکتار، pH خاک حدود ۵ درصد در واریته بومی و حدود ۹ درصد در واریته تجاری افزایش یافت و به عدد ۸/۹ رسید (جدول ۵). بیوچار بسته به نوع زیست‌توده، شرایط پیرولیز از جمله دمای گرماکافت و تکامل مواد آلی افزوده شده به خاک و سطح تجزیهٔ آن می‌تواند سبب کاهش یا افزایش pH خاک شود. این مادهٔ آلی حاوی کربنات و کاتیون‌های محلول نظیر منیزیم و کلسیم می‌باشد (Ventura *et al*., 2014; Van Zwieten *et al*., 2010). ترکیب کاتیون‌ها و کربنات‌های خاک باعث تشکیل مقادیر کمی کربنات محلول شده که منجر به محدودیت هیدرولیز کربنات‌ها و کاهش یون هیدورکسیل در خاک و در نتیجه کاهش pH خاک می‌شود. افزایش pH خاک بر اثر کاربرد بیوچار می‌تواند به دلیل pH بالای بیوچار نیز باشد. هم چنین هیدروکسیدها و کربنات‌های موجود در بیوچار می تواند سبب افزایش pH خاک شود (Karimi *et al*., 2020b). نتایج محققین مختلف در خصوص تأثیر بیوچار بر pH خاک بسیار متفاوت است. سونگ و گو (Song & Guo, 2012) بیان داشتند که افزایش EC و pH خاک در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی احتمالاً در اثر افزایش غلظت اکسیدهای فلزی (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم)، افزایش مقدار خاکستر و هم چنین جدا شدن مواد معدنی از بخش آلی در اثر گرماکافت باشد. در پژوهش Najafi-Ghiri (2015) استفاده از بیوچار کنجد و پنبه، pH خاک را افزایش داد در حالی‌که بیوچار بقایای گندم، این پارامتر را کاهش داد. Forouhar *et al*., (2018) نتیجه گرفتند که بیوچار حاصل از کمپوست زباله شهری، لجن فاضلاب و کود گاوی باعث افزایش pH خاک گردید.

جدول۳- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارها بر ویژگی‌های اندازه¬گیری شده در دو واریته بومی و تجاری گوار

Table 3. The results of ANOVA of the effects of treatments on the measured characteristics in two local and commercial varieties of guar

S.O.V	df	Local cultivar					Commercial cultivar				
		pH	EC	Na	Ca	Mg	pH	EC	Na	Ca	Mg
Rep	2	0.08	0.89	16.5	0.15	0.78	0.007	1.83	13.4	0.73	16.1
Irrigation	2	1.92**	106.9**	604.3**	10.6**	18.5	5.4**	69.7*	117.9**	3.4*	27.4*
Ea	4	0.47	0.96	115.8	2.7	30.6	0.4	1.5	19.9	2.5	81.8
Biochar	1	0.97**	3.02*	97.4**	12.3**	202.2**	1.06**	15.6**	81.4*	3.3*	41.8**
Irrigation*Biochar	2	1.88	1.76*	56.8*	23*	242.1**	0.57*	2.8*	106.9**	27.8**	146.1**
Eb	6	0.11	9.61	326.9	7.5	265.3	1.16	6.6	93.8	4.3	117.5
Depth	2	0.106	1.19*	185.1**	7.04**	0.56	0.4	1.5**	312.9**	0.29	45.3**
Irrigation*depth	4	0.14	1.96*	14.7*	7.5**	19.1	0.09	5.05**	26.8*	1.4	14.8
Biochar*depth	2	0.38**	0.86	5.5	2.1*	11.9	0.08	9.06**	1.03	4.1**	54.3**
Irrigation*biochar *depth	4	0.53	10.2**	15.8	0.33	250.8**	0.08	10.9**	27.8	16.9**	61.8**
Ec	24	1.04	4.64	24.6	3.6	108.3	0.6	2.06	44.3	5.0	41.1
CV (%)	-	8	17	15	22	19	10	15	20	21	18

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

** and *: Significant at the probability level of 0.05 and 0.01 respectively.

جدول ۴- نتایج مقایسهٔ میانگین اثرات اصلی دور آبیاری بر pH خاک

Table 4. The results of the comparison of the mean main effects of the irrigation cycle on soil pH

	Unit	Irrigation cycle		
		I_1	I_2	I_3
Local cultivar	-	8.2^{c}	8.5^{b}	8.6^{a}
Commercial cultivar	-	7.9^{c}	8.4^{b}	8.6^{a}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's tes

جدول ۵- نتایج مقایسهٔ میانگین اثرات اصلی بیوچار بر pH خاک

Table 5. The results of the comparison of the mean main effects of the biochar on soil pH

	Unit	Biochar		
		B_1	B_2	B_3
Local cultivar	-	8.2^{c}	8.5^{b}	8.6^{a}
Commercial cultivar	-	7.9^{c}	8.4^{b}	8.6^{a}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's test

در پژوهش‌های Yu *et al*., (2014) و Lagari *et al*., (2015) کاربرد بیوچار باعث کاهش pH خاک شد در حالی‌که Saghafi (2017), Liang *et al*., (2006), Sousaraee *et al*., (2019)، Nigussie *et al*., (2012), Hey *et al*., (2017) و Tanure *et al*., (2019) بیان کردند که با افزودن بیوچار به خاک، pH خاک افزایش یافت. Moradi *et al*., (2017) نیز بیان کردند که بیوچار بقایای هرس سیب و کاه و کلش گندم به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش pH خاک شد. به طور کلی نتایج متفاوت در تحقیقات مختلف کاربرد بیوچار بدلیل نوع، روش تهیه، دمای پیرولیز، نرخ حرارت‌دهی مواد خام، دمای نهائی در فرایند پیرولیز، زمان نگهداری آن در این دما، فشار و مقدار هوا و بخار اضافه شده به کوره و شرایط آب و هوایی، خاک و نوع گیاه کشت شده، متفاوت می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۶، در واریته بومی، روند تغییرات EC خاک تقریباً منظم بود و با افزایش عمق و افزایش سطوح بیوچار به EC خاک اضافه گردید، بطوری‌که بیش‌ترین مقدار EC خاک در تیمار I_3B_3 (۶/۷ دسی زیمنس بر متر) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار I_1B_1 (۴/۵ دسی زیمنس بر متر) مشاهده گردید. در واریته تجاری نیز، بیش‌ترین EC خاک مربوط به تیمار I_3B_3 (۶/۹۴ دسی زیمنس بر متر) با بیش‌ترین دور آبیاری و بیش‌ترین سطح بیوچار اضافه شده به خاک و کم‌ترین مقدار EC مربوط به دورآبیاری ۱۰ روز

و بیوچار صفر تن بر هکتار (۵/۳۷ دسی زیمنس بر متر) تعیین گردید (جدول ۶). EC خاک ارتباط مستقیمی با مقدار آب مورد استفاده و فواصل آبیاری دارد به گونه‌ای که هرچقدر مقدار آب مورد استفاده بیش‌تر شود هدایت الکتریکی خاک به آب نزدیک‌تر می‌شود. شور بودن ذاتی خاک منطقهٔ کشت و افزایش فواصل آبیاری باعث افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک به‌دلیل کاهش آبشوئی املاح شده و در نتیجه موجب افزایش شوری خاک شده است. در پژوهش‌های زیادی همچون Eshghizadeh *et al*., (2008); Zhang *et al*., (2019) و Zaheer *et al*., (2021) با افزایش تنش خشکی، EC خاک افزایش یافت. افزایش EC خاک در اثر کاربرد بیوچار نیز می‌تواند به دلیل آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی موجود در ساختار بیوچار در محلول خاک باشد. کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2020b) و عثمان و همکاران (Usman *et al*., 2016) نیز نشان دادند که کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی‌دار EC یک خاک قلیایی شد. کیمو و همکاران (Cimo *et al*., 2014) گزارش کردند که در اثر کاربرد بیوچار در خاک، آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی که پیوند ضعیفی با ساختار بیوچار دارند، می‌تواند EC خاک را افزایش دهد. در پژوهش‌های Najafi-Ghiri (2015)، Khadem *et al*., (2018)، Forouhar *et al*., (2018) و Karimi *et al*., (2020a) نیز استفاده از بیوچار باعث افزایش EC خاک شد که این افزایش می‌تواند ناشی از تأثیر بیوچار بر ترکیبات خاک، اضافه شدن املاح بیوچار به خاک و آزادسازی عنصرهای محلول باشد. Saghafi (2017) بیان کرد که استفاده از بیوچار خرما، EC خاک را نسبت به شاهد افزایش داد هرچند بیوچار پسته تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان نداد. البته لازم به ذکر است که در برخی پژوهش‌ها بیوچار سبب کاهش هدایت الکتریکی خاک نیز شده است. به طوری‌که Taleb Shamsabadi *et al*., (2016) و Tanure *et al*., (2019) بیان کردند که افزودن بیوچار، هدایت الکتریکی خاک را کاهش داد. حسن پور و همکاران (Hasanpour *et al*., 2020) نشان دادند اضافه کردن حتی بیوچار اسیدی شلتوک برنج و مخروط کاج به خاک قلیایی نیز EC خاک را افزایش داد. مطابق با نتایج جدول (۶)، تیمار I_2B_1 (۱۱/۲ میلی‌گرم بر گرم) و I_3B_3 (۲۰/۵ میلی‌گرم بر گرم) به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت منیزیم خاک را نشان دادند و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. هم چنین غلظت سدیم خاک تحت تأثیر همزمان بیوچار و دور آبیاری متغیر بود و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن در تیمارهای I_3B_3 (۲۶/۷ میلی‌گرم بر گرم) و I_1B_3 (۱۵/۱ میلی‌گرم بر گرم) تعیین گردید. بیش‌ترین غلظت کلسیم خاک نیز در تیمار I_1B_3 (۷/۹۲ میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد در حالی که کم‌ترین مقدار این پارامتر در دور آبیاری ۱۷ روز با بیش‌ترین مقدار بیوچار (۴/۸۳ میلی‌گرم بر گرم) حاصل گردید. بیش‌ترین غلظت منیزیم خاک (۱۹/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) نیز در واریته تجاری در تیماری مشاهده گردید که دور آبیاری متوسط ۱۴ روز و بیوچار پنج تن بر هکتار را دریافت می‌کرد و کم‌ترین غلظت منیزم خاک نیز در تیمار I_2B_1 (۱۱ میلی‌گرم بر گرم) تعیین گردید. بیوچار به‌دلیل داشتن سطوح تبادلی بالا، نگهداری عناصر غذایی را در خاک افزایش می‌دهد (Major *et al*., 2010). بیوچار حاوی عناصری مانند کلسیم، پتاسیم و منیزیم است که هنگام اضافه شدن به خاک می‌تواند غلظت این یون‌ها را در محلول خاک افزایش دهد (Nelissen *et al*., 2012; Van Zwieten *et al*., 2010). همچنین تولید بیوچار در دمای کم باعث کاهش از بین رفتن عناصر غذایی و در دسترس بودن بیشتر آنها می‌شود (Hasanpour *et al*., 2020). راندولف و همکاران (Randolph *et al*., 2017) نشان دادند که کاربرد بیوچار باعث کاهش غلظت منیزیم خاک شد. Saghafi (2017) بیان کرد که استفاده از بیوچار خرما، منیزیم خاک را نسبت به شاهد افزایش داد ولی بیوچار پسته تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. Haefele *et al*., (2011) نشان دادند که اثر بیوچار حاصل از بقایای برنج بر عناصر قلیایی خاک سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم خاک شد، اما مقدار کلسیم، منیزیم و سدیم قابل تبادلی خاک کاهش یافت. نتایج Parichehre *et al*., (2017) نشان داد که کاربرد بیوچار کاه برنج موجب کاهش بیش‌تر pH خاک نسبت به بیوچار حاصل از نراد گردید. همچنین کاربرد بیوچار نراد در خاک موجب کاهش هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و مقدار سدیم، پتاسیم، کلسیم و کلرید در محلول خاک شد. راندولف و همکاران Randolph *et al*., (2017) نیز بیان کردند که با افزایش بیوچار، کلسیم خاک کاهش یافت. در پژوهش‌های کریمی و همکاران Karimi *et al*., (2020a)، لایرد و همکاران Laird *et al*., (2010)، ماجور و همکاران Major *et al*., (2010)، ونگ و همکاران Wang *et al*., (2014) و تانور و همکاران Tanure *et al*., (2019)، استفاده از بیوچار باعث افزایش غلظت کلسیم

خاک شد. ثقفی (2017) Saghafi بیان کرد که استفاده از بیوچار خرما، کلسیم خاک را نسبت به شاهد افزایش داد ولی بیوچار پسته باعث کاهش این پارامتر نسبت به شاهد شد. در پژوهش‌های Karimi *et al.*, (2020b)، Wang *et al.*, (2014) و Tanure *et al.*, (2019)، استفاده از بیوچار، غلظت این عنصر را در خاک افزایش داد.

جدول ۶- نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دور آبیاری و بیوچار بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار

Table 6. Mean comparisons of interaction effects of of irrigation cycle and biochar on the significant measured traits

		Local cultivar				Commercial cultivar			
		EC	Ca	Mg	Na	EC	Ca	Mg	Na
I_1	B_1	4.5^{c}	7.1^{a}	12.8^{cd}	16.3^{de}	5.37^{d}	7.0^{ab}	17.7^{ab}	16.8^{e}
	B_2	5.9^{bc}	5.3^{b}	18.9^{ab}	$19.8b^{cde}$	5.71^{cd}	5.67^{cd}	18.3^{ab}	17.3^{de}
	B_3	5.8^{bc}	7.2^{a}	15.6^{bc}	15.1^{e}	5.69^{cd}	7.92^{a}	10.7^{c}	17.8^{cde}
I_2	B_1	6.0^{b}	7.7^{a}	11.2^{d}	18.5^{cde}	6.3^{bc}	7.0^{ab}	11.0^{c}	19.2^{cde}
	B_2	6.3^{ab}	5.8^{b}	17.0^{abc}	22.7^{bc}	5.96^{c}	6.2^{bc}	18.5^{ab}	19.3^{bcd}
	B_3	6.3^{ab}	5.2^{b}	18.7^{ab}	20.7^{cd}	6.64^{b}	6.2^{bc}	19.2^{a}	19.8^{bcd}
I_3	B_1	6.6^{a}	5.4^{b}	16.7^{abc}	23.5^{ab}	6.65^{b}	6.58^{bc}	17.9^{ab}	20.3^{bc}
	B_2	6.7^{a}	5.7^{b}	13.5^{cd}	25.7^{a}	6.69^{b}	5.08^{d}	14.7^{bc}	22.0^{ab}
	B_3	6.7^{a}	5.4^{b}	20.5^{a}	26.7^{a}	6.94^{a}	4.83^{d}	17.6^{ab}	23.7^{a}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's test

در هر دو واریته بومی و تجاری روند تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بجز غلظت کلسیم در واریته بومی، مشابه بود و بیش‌ترین مقدار EC خاک و غلظت عناصر در تیمار بیش‌ترین دور آبیاری و عمق دوم (۲۰-۴۰ سانتیمتری) و کم‌ترین مقدار آنها در تیمار I_1D_1 مشاهده گردید (جدول ۷). به عبارت دیگر با افزایش فاصله آبیاری و عمق نمونه-برداری خاک و با توجه به آبشوئی در نظر گرفته شده در خاک شور منطقه، افزایش غلظت املاح و EC خاک در اعماق پایین‌تر قابل انتظار بود. هر چند EC خاک در واریته تجاری بیش‌تر از واریته بومی و غلظت سدیم در خاک تحت کشت واریته بومی بیش‌تر از خاک تحت کشت واریته تجاری بود. EC خاک ارتباط مستقیمی با مقدار آب مورد استفاده و فواصل آبیاری دارد به گونه‌ای که هرچقدر مقدار آب مورد استفاده بیش‌تر شود هدایت الکتریکی خاک به آب نزدیک‌تر می‌شود. شور بودن ذاتی خاک منطقهٔ کشت و افزایش فواصل آبیاری باعث افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک به‌دلیل کاهش آبشوئی املاح شده و در نتیجه موجب افزایش EC خاک و افزایش غلظت املاح محلول خاک در عمق بیشتر شده است. لازم به ذکر است که EC آب آبیاری برابر ۱/۵ دسی زیمنس بر متر است که بر اساس طبقه بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (۱۹۵۴)، آب با خطر بالای ایجاد شوری طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس این طبقه‌بندی در صورتی‌که EC از ۰/۲۵ دسی زیمنس بر متر کمتر باشد، خطر شوری آن کم، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ متوسط، از ۰/۷۵ تا ۲/۲۵ زیاد و بیش از ۲/۲۵ خیلی زیاد خواهد بود. در پژوهش‌های زیادی همچون Eshghizadeh *et al.*, (2008); Zhang *et al.*, (2019) و Zaheer *et al.*, (2021) با افزایش تنش خشکی، EC خاک افزایش یافت. در خصوص کلسیم در واریته بومی بیش‌ترین غلظت کلسیم خاک در تیمار I_2D_2 (۶/۸ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین مقدار آن در تیمار I_3D_2 (۵/۴۵ میلی‌گرم بر گرم) گزارش شد. با توجه به خاک شور منطقه و هم‌چنین شوری آب آبیاری و خطر شور شدن خاک و صعود موئینه املاح بدلیل تبخیر بالای منطقه، غلظت عناصر محلول در خاک در دورها و اعماق مختلف خاک روند افزایشی مشاهده می‌گردد.

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل عمق و بیوچار

مطابق با جدول ۸، با افزایش درصد بیوچار و افزایش عمق مقدار pH و مقدار غلظت کلسیم خاک تحت کشت واریته بومی افزایش یافت. در این شرایط خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین pH خاک به‌ترتیب مربوط به تیمار B_3D_2 (۸/۷) کم‌ترین B_3D_1 (۸/۱) تعیین گردید. غلظت کلسیم نیز در تیمار B_1D_2 (۷/۴ میلی گرم بر گرم) و تیمار B_2D_1 (۵/۸ میلی گرم بر گرم) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار مشخص شد. افزایش کلسیم در خاک در اثر کاربرد بیوچار به دلیل آزاد شدن کلسیم موجود در محتوای خاکستر بیوچار می¬باشد.

جدول ۷- نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل دور آبیاری و عمق بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار

Table 7. Mean comparisons of interaction effects of irrigation cycle and depth on the significant measured traits

		Local cultivar			Commercial cultivar	
		EC	Na	Ca	EC	Na
I_1	D_1	5.6^{d}	15.8^{c}	5.9^{b}	5.7^{c}	15.4^{e}
	D_2	5.7^{d}	18.3^{c}	7.2^{a}	5.8^{c}	17.3^{d}
I_2	D_1	6.14^{c}	18.8^{c}	5.7^{b}	6.3^{b}	19.1^{cd}
	D_2	6.42^{b}	22.4^{b}	6.8^{a}	6.3^{b}	20.5^{bc}
I_3	D_1	6.5^{b}	22.7^{b}	5.7^{b}	6.5^{a}	21.4^{b}
	D_2	6.7^{a}	27.8^{a}	5.4^{b}	6.9^{a}	24.5^{a}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's test

بیش‌ترین EC خاک در خاک تحت کشت واریته تجاری مربوط به تیمار B_3D_2 (۶/۹ دسی زیمنس بر متر) بود که در مقایسه با کم‌ترین مقدار آن در تیمار B_1D_1 (۵/۵ دسی زیمنس بر متر) حدود ۲۰ درصد افزایش مشاهده گردید. بیش‌ترین مقدار غلظت کلسیم خاک (۷/۳۹ میلی‌گرم بر گرم) نیز در این شرایط در تیمارهایی مشاهده گردید که بیوچار به خاک اضافه نشده بود و در عمق سطحی خاک نمونه‌برداری انجام شد در حالی که کم‌ترین مقدار آن در تیمار B_2D_2 با مقدار ۵/۵ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. بیش‌ترین مقدار منیزیم خاک نیز در تیمار B_2D_2 (۱۷/۹ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن در تیمارB_1D_1 (۱۴ میلی-گرم بر گرم) حاصل گردید. با اضافه کردن بیوچار به خاک و افزایش ظرفیت کاتیون تبادلی خاک، مکان‌های جذب بر سطوح خاک افزایش یافته و بنابراین املاح بیش‌تر در شکل قابل استفاده خاک قرار می‌گیرند (Karimi *et al*., 2020b). یکی دیگر از دلایل بیش‌تر بودن غلظت املاح قابل استفاده خاک در اثر کاربرد بیوچار تهیه شده در دمای پائین و دارای ظرفیت تبادلی کاتیونی بالا می‌تواند رقابت یونی در خاک و جذب سایر کاتیون‌ها توسط بیوچار باشد (Abbas *et al*., 2017). عناصر موجود در ساختار بیوچارهای تهیه شده در دماهای گرماکافت پائین سریع‌تر آزاد شده و عناصر موجود در ساختار بیوچارهای تهیه شده در ساختار بیوچارهای تهیه شده در دماهای بالاتر در خاک پایداری بسیار بالائی دارند (Leng *et al*., 2019). pH خاک نیز از فاکتور موثر در فراهمی عناصر خاک می‌باشد. با افزایش pH خاک حلالیت این عناصر کاهش یافته و رسوب آن در خاک‌های آهکی افزایش می‌یابد (Karimi *et al*., 2020a).

جدول ۸- نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل عمق و بیوچار بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار

Table 8. Mean comparisons of interaction effects of of depth and biochar on the significant measured traits

		Local cultivar		Commercial cultivar		
		pH	Ca	EC	Ca	Mg
B_1	D_1	8.6^{ab}	6.1^{b}	5.5^{c}	7.4^{a}	14.0^{b}
	D_2	8.3^{b}	7.4^{a}	5.8^{c}	6.3^{b}	17.1^{ab}
B_2	D_1	8.5^{ab}	5.4^{c}	6.2^{b}	5.8^{bc}	16.5^{ab}
	D_2	8.7^{a}	5.8^{bc}	6.5^{ab}	5.5^{c}	17.9^{a}
B_3	D_1	8.1^{c}	5.7^{bc}	6.5^{ab}	6.2^{bc}	17.6^{a}
	D_2	8.4^{b}	6.2^{b}	6.9^{a}	6.5^{b}	14.1^{b}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's test

اثرات متقابل دور آبیاری، بیوچار و عمق بر برخی ویژگی‌های خاک تحت کشت واریته‌های بومی و تجاری گوار در جدول (۹) ارائه شده است. مطابق با نتایج در دور آبیاری ۱۰ روز اختلاف معنی‌داری بین EC خاک در واریته بومی مشاهده نشد هرچند بیش‌ترین EC خاک در این دور آبیاری زمانی بدست آمد که بیش‌ترین مقدار بیوچار به خاک اضافه شد و نمونه برداری از خاک در عمق پایین‌تر انجام گردید. با توجه به دور آبیاری ۱۰ روز در این تیمار به نظر می‌رسد آبشویی نمک و املاح بیش‌تر اتفاق افتاده است. با افزایش دور آبیاری در بیش‌تر تیمارها بیش‌ترین EC در خاک سطحی مشاهده

گردید. در خاک تحت کشت این واریته تیمار $I_3B_2D_2$ بالاترین EC خاک را ثبت کرد. EC خاک ارتباط مستقیمی با مقدار آب مورد استفاده و فواصل آبیاری دارد به گونه‌ای که هرچقدر مقدار آب مورد استفاده بیش‌تر شود هدایت الکتریکی خاک به آب نزدیک‌تر می‌شود. شور بودن ذاتی خاک منطقهٔ کشت و افزایش فواصل آبیاری باعث افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک به‌دلیل کاهش آبشوئی املاح شده و در نتیجه موجب افزایش شوری خاک شده است. بیش‌ترین مقدار EC (۶/۸ دسی زیمنس بر متر) در خاک تحت کشت واریته تجاری از کاربرد دور آبیاری ۱۷ روز و کاربرد بیوچار ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار در عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتری خاک بدست آمد و کم‌ترین مقدار آن (۴/۱ دسی زیمنس بر متر) زمانی اتفاق افتاد که دور آبیاری ۱۰ روز بدون بیوچار و عمق نمونه‌برداری ۰ تا ۲۰ سانتیمتر بود. افزایش EC خاک در اثر کاربرد بیوچار نیز می‌تواند به دلیل آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی موجود در ساختار بیوچار که پیوند ضعیفی با ساختار بیوچار دارند باشد. تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که pH و EC خاک به مقدار زیادی به محتوا و ترکیب خاکستر بیوچار بستگی دارد. فلزات قلیایی مانند سدیم و پتاسیم تعیین کننده pH و فلزات قلیایی خاکی مانند کلسیم و منیزیم تعیین کننده EC خاک هستند. بیش‌ترین مقدار غلظت منیزیم خاک نیز تحت کشت واریته بومی در تیمار $I_3B_2D_1$ و کم‌ترین مقدار آن در تیمار $I_2B_1D_2$ حاصل شد. بیش‌ترین غلظت کلسیم خاک بر خلاف EC خاک در تیمار $I_1B_3D_2$ و به مقدار ۸/۲ میلی‌گرم بر گرم و کم‌ترین مقدار آن وقتی بدست آمد که کرت‌های آزمایشی ۱۷ روز یک بار آبیاری می‌شدند و بیوچار اضافه شده به خاک در سطح ۷/۵ تن در هکتار بود و در عمق پایین‌تر نمونه‌برداری خاک انجام شده بود. در خصوص غلظت منیزیم در خاک نتایج کاملا متفاوت بود و بیش‌ترین (۲۱/۲ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین (۹/۲ میلی‌گرم بر گرم) غلظت منیزیم خاک تحت کشت واریته تجاری به‌ترتیب در تیمارهای تیمار $I_2B_2D_2$ و تیمار $I_1B_3D_2$ و بدست آمد. بیوچار به‌دلیل داشتن سطوح تبادلی بالا، نگهداری عناصر غذایی را در خاک افزایش می‌دهد (Major *et al.*, 2010). بیوچار حاوی عناصری مانند کلسیم، پتاسیم و منیزیم است که هنگام اضافه شدن به خاک می‌تواند غلظت این یون‌ها را در محلول خاک افزایش دهد (Nelissen *et al.*, 2012; Van Zwieten *et al.*, 2010). همچنین تولید بیوچار در دمای کم باعث کاهش از بین رفتن عناصر غذایی و در دسترس بودن بیشتر آنها می‌شود (Hasanpour *et al.*, 2020). شور بودن ذاتی خاک منطقهٔ کشت و افزایش فواصل آبیاری باعث افزایش غلظت نمک‌ها در محلول خاک به‌دلیل کاهش آبشوئی املاح شده و در نتیجه موجب افزایش EC خاک و افزایش غلظت املاح محلول خاک در عمق بیشتر شده است. pH خاک نیز از فاکتور موثر در فراهمی عناصر خاک می‌باشد. با افزایش pH خاک حلالیت این عناصر کاهش یافته و رسوب آن در خاک‌های آهکی افزایش می‌یابد (Karimi *et al.*, 2020a).

جدول ۹- نتایج مقایسهٔ میانگین اثرات متقابل سه‌گانه دور آبیاری، بیوچار و عمق بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار

Table 9. Mean comparisons of interaction effects of irrigation cycle, depth and biochar on the significant measured traits

			Local cultivar		Commercial cultivar		
			EC	Mg	EC	Ca	Mg
I1	B1	D1	5.5^{de}	8.8^{e}	4.1^{e}	5.2^{efg}	16.3^{abc}
		D2	5.4^{e}	16.8^{abcd}	4.5^{de}	5.8^{def}	18.5^{abc}
	B2	D1	5.5^{de}	17.3^{abcd}	5.0^{cd}	6.8^{bcd}	18.7^{abc}
		D2	5.8^{cde}	20.5^{ab}	4.8^{cd}	5.5^{efg}	16.2^{abc}
	B3	D1	5.8^{cde}	19.0^{abc}	5.5^{c}	6.8^{bcd}	18.7^{abc}
		D2	5.9^{cd}	12.2^{de}	5.9^{bc}	8.2^{a}	9.2^{d}
I2	B1	D1	6.5^{ab}	13.8^{bcde}	5.5^{c}	7.2^{abc}	15.3^{bc}
		D2	6.2^{abc}	8.5^{e}	6.3^{b}	5.5^{efg}	13.5^{cd}
	B2	D1	6.0^{cd}	18.0^{abcd}	5.6^{c}	5.2^{efg}	20.7^{a}
		D2	6.3^{ab}	16.0^{abcd}	6.0^{bc}	6.2^{cde}	21.2^{a}
	B3	D1	6.4^{ab}	16.2^{abcd}	5.8^{bc}	4.7^{g}	18.6^{abc}
		D2	6.1^{bcd}	21.3^{a}	6.5^{ab}	6.8^{bcd}	17.2^{abc}
I3	B1	D1	6.2^{abc}	16.8^{abcd}	6.1^{bc}	6.7^{bcd}	18.8^{ab}
		D2	6.0^{cd}	16.7^{abcd}	6.5^{ab}	7.7^{ab}	19.2^{ab}

B2	D1	6.5^{ab}	14.2^{bcde}	6.8^{a}	5.8^{def}	17.8^{abc}
	D2	6.8^{a}	13.0^{cde}	6.65^{ab}	4.8^{fg}	16.3^{abc}
B3	D1	6.2^{abc}	21.8^{a}	6.8^{a}	5.3^{efg}	18.7^{abc}
	D2	6.4^{ab}	19.2^{abc}	6.85^{a}	4.5^{g}	16.0^{abc}

طبق آزمون دانکن، هر مقدار میانگین با دنبال حروف یکسان برای $P \leqslant 0.05$ تفاوت معناداری ندارد.

Each mean values followed by the same letters are not significantly different for $P \leqslant 0.05$ according to the Duncan's test

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تغییرات فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک به دور آبیاری، مقدار بیوچار بکار رفته و عمق نمونه‌برداری بستگی دارد. به طوری‌که با افزایش دور آبیاری و افزایش مقدار کاربرد بیوچار، EC و pH خاک نسبت به شاهد افزایش یافت. با افزایش مقدار سطوح بیوچار به خاک مقدار غلظت سدیم نیز در هر دو واریته بومی و تجاری گوار افزایش معنی‌دار نشان داد. همچنین افزایش عمق نمونه‌برداری با افزایش EC خاک همراه بود و افزایش عمق خاک باعث افزایش غلظت سدیم در هر دو واریته و افزایش کلسیم خاک در واریته بومی شد. با توجه به روش آبیاری غرقابی و آبشویی املاح به اعماق پایین‌تر، افزایش EC خاک در اعماق بیش‌تر دور از انتظار نمی‌باشد. روند تغییرات EC خاک با افزایش عمق و افزایش سطوح بیوچار تقریباً منظم بود و به EC خاک اضافه گردید. بیش‌ترین مقدار شوری خاک در واریته بومی در دور آبیاری ۱۷ روز با ۷/۵ تن در هکتار بیوچار به خاک و در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و در واریته تجاری در تیمار $I_3B_3D_2$ مشاهده گردید. به‌طور کلی نتایج متفاوت در تحقیقات مختلف کاربرد بیوچار، می‌تواند به‌دلیل نوع زیست‌توده، دمای پیرولیز، نرخ افزایش دما، زمان نگهداری دمای پیرولیز، نوع خاک و نوع گیاه کشت شده می‌باشد. به طور کلی بایستی اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار بر ویژگی‌هایی مانند افزایش شوری خاک یا افزایش pH خاک و همچنین هزینه تولید آن در سطح وسیع را نیز در نظر گرفت. از طرف دیگر با توجه به اینکه یکی از مشکلات عمده خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک ایران کمبود مواد آلی و پیامدهای نامطلوب ناشی از این کمبود است، بنابراین افزودن بیوچار مخصوصاً بیوچارهای اسیدی به خاک‌های قلیایی این مناطق به عنوان روشی مناسب برای بهبود کیفیت شیمیایی و حاصلخیزی خاک‌های آهکی توصیه می‌شود.

References

Abbas T., Rizwan M., Ali S., Zia-ur-Rehman M., Qayyum M.F., Abbas F., Hannan F., Rinklebe J., and Ok Y.S. 2017. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (Triticum aestivum L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140: 37-47.

Abbaspour F., Asghari H., Rezvani Moghaddam P., Abbasdokht H., Shabahang, J., and Bhaig babaei A. 2018. Effect of Biochar and Chemical Fertilizers on Some Soil Properties, Yield and Quality Characteristics of Black Seed (Nigella sativa) under Water Deficit. *Journal of Water Research in Agriculture* 32(3): 441-457. (In Persian)

Bamdad H., Papari S., Lazarovits G., and Berruti F. 2022. Soil amendments for sustainable agriculture: Microbial organic fertilizers. *Soil Use and Management.* 38(1): 94-120.

Baharvandi F., Feizian M., Abdi S., and Alinejadian Bidabadi A. 2023. Effect of Different Feedstock and Their Biochars on the Growth of Peppermint (Piperita L.) in Cadmium-Contaminated Soil. *Iranian Journal of Soil Research*. 37(1):33-50. (In Persian).

Barzegar A. 2008. Saline-Sodic Soils: Recognition and Productivity. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications (In Persian)

Beiranvandi M., Akbari N., Ahmadi A., Mumivand H., and Nazarian F. 2020. Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of Satureja rechingeri Jamzad essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research.* 36(5):780-793. (In Persian).

Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.

Cimo G., Kucerik J., Berns A.E., Schaumann G.E., Alonzo G., and Conte P. 2014. Effect of heating time and temperature on the chemical characteristics of biochar from poultry manure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 62: 1912-1918.

Das SK., Ghosh GK., and Avasthe R. 2020. Valorizing biomass to engineered biochar and its impact on soil, plant, water, and microbial dynamics: a review. *Biomass conversion and biorefinery*. pp.1-17.

Eshghizadeh HR., Kafi M., Nezami A., Khoshgoftarmanesh AH., and Karami M. 2015. Comparing rangeland soil-vegetation mineral content based on elevation classes and phenological stages in north-facing slopes, Sabalan Region, Ardabil Province. *Journal of Water and Soil Science* 19 (73):191-206. (In Persian)

Forouhar M., Khorassani R., Fotovat A., Shariatmadari H., and Khavazi K. 2018. The Influence of Different Biochars and Their Feedstock on Some Soil Chemical Properties and Nutrients over the Time in a Calcareous Soil. *Water and Soil*. 32(2): 299-312. (In Persian)

Haefele SM., Konboon Y., Wongboon W., Amarante S., Maarifat AA., Pfeiffer EM., and Knoblauch C.J.F.C.R., 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*. 121(3): 430-440.

Haluschak P. 2006. Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada-Manitoba soil survey, 133p.

Hasanpour M., Shirvani M., Hajabbasi MA., and Majidi MM. 2022. Effect of acidic biochars on some chemical properties and nutrient availabilities of calcareous soils. *Journal of Water and Soil Science*. 26(2): 39-59. (In Persian)

He LL., Zhong ZK., and Yang HM. 2017. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. *Journal of integrative agriculture*. 16(3): 704-712.

Hussain R., and Ravi K. 2022. Investigating soil properties and vegetation parameters in different biochar-amended vegetated soil at large suction for application in bioengineered structures. *Scientific Reports*. 12(1): 21261.

Glaser B., and Birk JJ. 2012. State of the scientific knoIledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica acta*. 82:39-51.

Khadem A., Raiesi F., and Besharati H. 2018. The effects of corn biochar on the chemical and microbiological characteristics of two calcareous clay and sandy soils. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 8(1): 25-47. (In Persian)

Karimi A., Moezzi A., Chorom M., and Enayatizamir N. 2020a. Influence of Sugarcane Bagasse Biochar on Nutrient Availability and Biological Properties of a Calcareous Soil. *Applied Soil Research*. 8(1): 1-17. (In Persian)

Karimi A., Moezzi A., Chorom M., and Enayatizamir N. 2020b. Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 20, 450-459.

Khan Z., Khan MN., Zhang K., Luo T., Zhu K., and Hu L. 2021. The application of biochar alleviated the adverse effects of drought on the growth, physiology, yield and quality of rapeseed through regulation of soil status and nutrients availability. *Industrial Crops and Products*. 171:113878.

Kim YJ., Hyun J., Yoo SY., and Yoo G. 2021. The role of biochar in alleviating soil drought stress in urban roadsid.e greenery. *Geoderma*. 404:115223.

Laird DA., Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B and Karlen DL, 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4): 443-449.

Lehmann, J., and Joseph S. 2015. Biochar for environmental management: an introduction. In Biochar for environmental management (pp. 1-13). Routledge.

Leng L., Huang H., Li H., Li J., and Zhou W. 2019. Biochar stability assessment methods: A review. *Science of the Total Environment*. 640: 210-222.

Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad JO., Thies J., Luizão FJ., Petersen J., and Neves EG. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America journal*. 70(5): 1719-1730.

Major J., Rondon M., Molina D., Riha SJ., and Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*. 333(1):117-128.

Mannan MA., Mia S., Halder E., and Dijkstra FA. 2021. Biochar application rate does not improve plant water availability in soybean under drought stress. *Agricultural Water Management*. 253:106940.

Moradi N., Rasouli-Sadaghiani M., and Sepehr E. 2017. Effect of Biochar Types and Rates on Some Soil properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. *Water and Soil*. 31(4): 1232-1246. (In Persian)

Najafi-Ghiri M. 2015. Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. *Iranian Journal of Soil Research*. 29(3): 352-358. (In Persian)

Nelissen V., Rütting T., Huygens D., Staelens .J, Ruysschaert G., and Boeckx P. 2012. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 55: 20-27.

Nigussie A., Kissi E., Misganaw M., and Ambaw G. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (Lactuca sativa) grown in chromium polluted soils. American-Eurasian *Journal of Agriculture and Environmental Science*. 12(3): 369-376.

Parichehre M., SadeghZadeh F., Bahmanyar MA., and Ghajar Sepanlu M. 2017. Effects of Rice Straw and Dicer Biochars on Chemical Characteristics of ClayLoam, Saline-Sodic Soil. *Water and soil science*. 27(4): 49-61. (In Persian)

Ramezani F., Jafari S., Salavati A., and Khalilimoghaddam B. 2015. Study the soil quality changes indicators using nemoro and integrated quality index models in some Khuzestan's soils. *Journal of Water Soil.* 29(6):1629-1639. (In Persian)

Randolph P., Bansode RR., Hassan OA., Rehrah DJ., Ravella R., Reddy MR., Watts DW., Novak JM., and Ahmedna M. 2017. Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *Journal of environmental management*. 192: 271-280.

Rezaie N., Razzaghi F., Sepaskhah AR., and Moosavi SAA. 2018. Effect of Biochar and Saline Irrigation Water on Chemical Properties of Soil under Fababean Cultivation. *Iranian Journal of Soil Research*. 32(1): 13-24. (In Persian)

Richards LA. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60, USDA, Washington DC. 154p.

Saleem K., Asghar MA., Raza A., Javed HH., Farooq TH., Ahmad MA., Rahman A., Ullah A., Song B., Du J., and Xu F. 2023. Biochar-Mediated Control of Metabolites and Other Physiological Responses in Water-Stressed Leptocohloa fusca. *Metabolites*. 13(4): 511.

Saghafi F. 2017. Investigating the effect of biochar on the physical and chemical properties of saline soil. Master's thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, 105 p. (In Persian)

Soltani-Gerdefaramarzi S., Beik-Khormizi V., Azizian A., and Yarami N. 2021. Effect of deficit irrigation with treated wastewater on water use efficiency, nutrient uptake, and growth of pistachio seedlings in an arid area. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 21(3): 2153-2163.

Sousaraee N., Baranimotlagh M., Khormali F., Dordipour E. 2019. The Effect of Biochars Prepared from Agricultural Residues at Different Temperatures on Some Chemical Properties of a Calcareous Soil and Na and K Concentration of Corn (Zea mays). *Applied Soil Research*. 7(3): 164-179. (In Persian)

Taleb Shamsabadi M., Research M., and Qarahi N. 2016. Investigating the effect of walnut shell biochar on some soil properties of Shahrekord plain. International Conference on Natural Resource Management in Developing Countries, 10-18. (In Persian)

Tanure MMC., da Costa LM., Huiz HA., Fernandes RBA., Cecon PR., Junior JDP., and da Luz JMR. 2019. Soil Iater retention, physiological characteristics, and groIth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*. 192:164-173.

Tejerina MR. 2010. Biochar as a strategy for sustainable land management, poverty reduction and climate change mitigation/adaptation: Thermolysis of lignin for value-added products. Institute of Environmental Studies (Instituut vor Milieustudies–IVM), Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands.

US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept Agric Hand book 60. 160p.

Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan KY., Downie A., Rust J., Joseph S., and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*. 327(1): 235-246.

Ventura M., Zhang C., Baldi E., Fornasier F., Sorrenti G., Panzacchi P., and Tonon G. 2014. Effect of biochar addition on soil respiration partitioning and root dynamics in an apple orchard. *European Journal of Soil Science*. 65(1):186-195.

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 Science*, 37: 29-38.

Wang Y., Yin R., and Liu R. 2014. Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 110:375-381.

Zaheer MS., Ali, HH., Soufan, W., Iqbal, R., Habib-ur-Rahman, M., Iqbal, J., Israr, M., and ElSabagh, A. 2021. Potential effects of biochar application for improving wheat (Triticum aestivum L.) growth and soil biochemical properties under drought stress conditions. *Land*. 10(11):1125.

Zare Abyaneh H., Yousefi R., Jovzi M., Abbasi A., and Shakarami M. 2021. Effect of pressurized irrigation systems on changing some chemical properties of soil. *Environmental Water Eng*ineeing. 7(4): 615–628. (In Persian)

Zhang, Q., Shao, M., Jia, X., and Wei, X. 2019. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests. *Geoderma*. 338, pp.170-177.

Zheng H., Wang Z., Deng X., Herbert S., Xing B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma.* 206:32–39.

Zhu J., Wang Q., Qi W., Zhao X., Xu Y., Sun Y., Zhang D., Zhou X., and Mak-Mensah E. 2023. Exploring the Potential of Biochar and Mulched Drip Irrigation with Plastic Film on Crop Yields in Water-Stressed Regions: a Global Meta-Analysis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1-11.