Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Investigating the Effect of Conocarpus Biochar on the Yield and Water Efficiency of Fodder Sorghum under Conditions of Quantitative and Qualitative Water Limitation

Mohammad Moridsadat[1], Amir Soltani Mohammadi[2]✉, Saeed Boroomand Nasab[3], Pieter Van Oel[4]

1. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: md_moridsadat@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: a.soltani@scu.ac.ir
3. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: boroomandsaeed@yahoo.com
4. Department of Water Resources Management at Wageningen University, Wageningen, Netherlands, Email: pieter.vanoel@wur.nl

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Aug. 1, 2022

Revised: Oct. 1, 2022

Accepted: Oct. 8, 2022

Published online: Nov. 22, 2022

Keywords:
Drainage Water,
Ahvaz,
Lack of Irrigation,
Management Approach.

ABSTRACT

Saline drainage water are known as a problem, but by creating management approaches, drainage water can be made in line with sustainable development by compensating for the limitation of water resources. Biochar is a soil additive and a management approach in agriculture. In this research, the effect of different levels of irrigation water salinity (2.5, 5 and 10 dSm-1, S1, S2 and S3), biochar (zero, 1 and 2%, B0, B1 and B2) and water supply (60, 80, 100 and 120%, M1, M2, M3 and M4) in the form of factorial split plot experiment in time in the form of randomized complete block, in three replications during the years 2018 and 2019 in the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz, on yield and water efficiency Fodder sorghum was investigated in three harvests. The results showed that the effect of different levels and their interaction effects on the yield and efficiency of fresh and dry sorghum water consumption is significant at the level of 1%. The highest and lowest fresh yields were obtained in B2S1M4 and B2S3M1 treatment (20.52, 135.52 t ha-1). The lowest fresh and dry water productivity of fresh and dry fodder was obtained in B2S3M3 treatment with values of 2.5 and 0.91 kgm-3. Treatments B2S1M3 and B2S1M2 had the highest productivity of fresh and dry fodder water, 10.54 and 4.4 kgm-3, respectively. In irrigation conditions with saline water, the yield and productivity of fresh fodder is sensitive to the amount of biochar, in such a way that in supplying 100% of the water requirement with saline water (10 dSm-1), adding 1 and 2% causes a change of +2.6% and -4.7% in performance and +1.9% and -2.5% in the efficiency of fresh fodder water consumption.

Cite this article: Moridsadat, M., Soltani Mohammadi, A., Boroomand Nasab, S., Van Oel, P. (2022) Investigating the effect of Conocarpus biochar on the yield and water efficiency of fodder sorghum under conditions of quantitative and qualitative water limitation., http//doi.org/ 10.22059/ijswr.2022.346641.669333, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (9), 2123-2140.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346641.669333

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی اثر بیوچار کنوکارپوس بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سورگوم علوفه‌ای در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب

محمد مریدسادات[۱]، امیر سلطانی محمدی[۲]✉، سعید برومند نسب[۳] و پیتر وان اوئل[۴]

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ایمیل: md_moridsadat@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ایمیل: a.soltani@scu.ac.ir
۳. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ایمیل: boroomandsaeed@yahoo.com
۴. گروه مدیریت منابع آب، دانشگاه واگنینگن، واگنینگن، هلند، ایمیل: pieter.vanoel@wur.nl

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
زهاب،
اهواز،
کم آبیاری،
رویکرد مدیریتی.

چکیده

زهاب‌های شور به‌عنوان یک معضل شناخته می‌شوند، ولی با ایجاد رویکردهای مدیریتی، زهاب می‌تواند با جبران محدودیت منابع آب، هم‌راستا با توسعه پایدار شود. بیوچار یک ماده افزودنی به خاک و رویکردی مدیریتی در کشاورزی است. در این تحقیق اثر سطوح مختلف هدایت الکتریکی آب آبیاری (۲/۵، ۵ و ۱۰ dSm^{-1}، S1، S2 و S3)، بیوچار (صفر، ۱ و ۲درصد، B0، B1 و B2) و تأمین نیاز آبی (۶۰،۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰درصد، M1، M2، M3 و M4) به صورت آزمایش فاکتوریل اسپیلت پلات در زمان در قالب بلوک کامل تصادفی، در سه تکرار طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز بر عملکرد و بهره‌وری آب سورگوم علوفه‌ای در سه چین بررسی گردید. نتایج نشان داد، اثر سطوح مختلف و اثرات متقابل آن‌ها، بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد معنی دار است. بیش‌ترین و کمترین عملکرد تازه در تیمار B2S1M4 و B2S3M1 (۱۳۵/۵۲، ۲۰/۵۲ تن در هکتار) حاصل گردید. کمترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک در تیمار B2S3M3 با مقادیر ۲/۵ و ۰/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. تیمار B2S1M3 و B2S1M2 بیشترین بهره‌وری آب تازه و خشک علوفه را به ترتیب ۱۰/۵۴ و ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب را داشتند. در شرایط آبیاری با آب شور عملکرد و بهره‌وری علوفه تازه به مقدار بیوچار حساس است، به شکلی که در تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبی با آب شور (۱۰ dSm^{-1})، افزودن ۱ و ۲ درصد موجب تغییر ۲/۶+ و ۴/۷- درصد در عملکرد و ۱/۹+ و ۵/۲- درصد در بهره‌وری مصرف آب علوفه تازه گردید.

استناد: مریدسادات؛ محمد، سلطانی محمدی؛ امیر، برومند نسب؛ سعید، وان اوئل؛ پیتر، (۱۴۰۱) بررسی اثر بیوچار کنوکارپوس بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سورگوم علوفه‌ای در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346641.669333، ۵۳ (۹)، ۲۱۴۰- ۲۰۲۳.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346641.669333

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان و نیاز بیشتر به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که امروزه بشر با آن روبرو می‌باشد. در حال حاضر شرایط محدودیت آب، از حالت منطقه‌ای فراتر رفته و به یک مسئله جهانی تبدیل شده است، بنابراین اهمیت آب در کشاورزی آنقدر زیاد شده است که در ارزیابی طرح‌های آبیاری کمتر به مقدار برداشت محصول از واحد سطح توجه می‌شود، بلکه به میزان محصول برداشت شده در ازای یک واحد آب مصرفی مورد توجه قرار گرفته می شود (Shahidi; *et al* 2020). استفاده از مواد اصلاح کننده خاک که همزمان توانایی تأمین نیازهای گیاه را داشته باشد، یکی از راه‌های افزایش عملکرد و بهره‌وری آب است (Alburquerque *et al*., 2014). De Sousa *et al*. (2018) بیان کردند، استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح کننده خاک‌های فقیر، می‌تواند فرصتی ارزشمند برای افزایش بازدهی، کاهش تلفات آب و استفاده بیشتر از مواد مغذی باشد. بیوچار[1] این ماده غنی از کربن که عمدتاً از سوختن توده‌های بقایای کشاورزی و جنگل‌داری در شرایط عدم حضور و یا حضور جزیی اکسیژن تولید می‌شود، دارای طیف وسیعی از خواص است، به‌عنوان مثال. سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و محتویات مواد مغذی قابل توجهی که می‌توانند اثرات مفیدی در هنگام افزودن به خاک داشته باشند (chen *et al*., 2019). هرچند تاثیر استفاده از بیوچار مثبت است ولی در برخی موارد بی تاثیر یا موجب ایجاد اثر منفی می‌گردد Fischer *et al*., 2019) (Rezaie *et al*. (2018) اعلام کردند به دلیل بالا بودن شوری بیوچار افزوده شده به خاک، غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم و همچنین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک افزایش یافت، هر چند که خود بیوچار به واسطه شور بودن سبب افزایش شوری خاک و تغییر در ویژگی‌های شیمیایی خاک گردیده است، ولی افزایش بیوچار به بیش از ۲۵ مگاگرم در هکتار تا حدودی شدت اثرات منفی ناشی از افزایش شوری را کاهش می‌دهد. Elshaikh *et al*. (2018) اعلام کردند افزایش سطح شوری خاک باعث کاهش قابل توجهی در عملکرد بامیه می‌گردد، ولی با افزودن بیوچار در سطوح ۵ و ۱۰ درصد، آستانه تحمل شوری به میزان ۱۹/۷درصد و ۸۱/۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. De Sousa *et al*. (2018) اعلام کردند بیوچار تولید شده از ضایعات قهوه موجب افزایش بهره وری آب درکشت ذرت می‌شود و افزایش میزان درصد اختلاط بیوچار با خاک موجب تشدید اثر می‌گردد. Cox *et al*. (2021) با استفاده از بیوچار به افزایش عملکرد میوه درخت گریپ فرود چینی[2] در حدود ۱/۵ برابر بیشتر از تیمار شاهد دست یافتند. Oladel *et al*. (2019) اعلام کردند بیوچار پوست برنج در خاک لومی رسی شنی موجب افزایش ۷۱ درصدی عملکرد برنج دیم، ۲۴ درصد افزایش خوشه‌های پر شده، ۷۸ درصد افزایش عملکرد محصول، ۱۶ درصد افزایش وزن هزار دانه به دلیل اثر متقابل با کود در مقایسه با شاهد می‌شود. Abbaspour et al. (2017) به بررسی اثر بیوچار تولید شده از ضایعات چوب درخت گردو (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) در شرایط کم آبیاری (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) بر صفات کمی سیاهدانه پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از بیوچار موجب افزایش ارتفاع بوته‌ها و عملکرد نسبت به حالت شاهد می‌شود ولی تاثیر معنی‌دار بر عملکرد ندارد. Govili *et al*. (2016) اعلام کردند کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار در شرایط تنش رطوبتی سبب کاهش اثر منفی تنش رطوبتی و بهبود بهره‌وری آب از طریق بهبود شاخص‌های رشد گیاه می‌شود. Azizi *et al*. (2022) اعلام کردند بکار گیری بیوچار به‌عنوان اصلاح کننده خاک بر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در کشت ذرت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. ایشان افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری آب را نسبت به حالت پایه بدون استفاده از بیوچار را به ترتیب ۱۴/۴ و ۱۴/۱ درصد بیان داشته اند. Alvarez-Campos *et al*. (2018) اظهار داشتند اثر بیوچار تولید شده ازضایعات چوب، ضایعات اصطبل اسب، پوسته برنج (۱، ۲ و ۶ درصد وزنی) در خاک‌های ماسه‌ای فلوریدا بر عملکرد نیشکر تاثیر معنی‌دار دارد. استفاده از بیوچار به‌عنوان یک منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مفید مانند کلسیم و پتاسیم در خاک شود، اما بایستی اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار بر ویژگی‌هایی مانند افزایش شوری خاک را نیز در نظر گرفت. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کیفیت بیوچار به نوع مواد اولیه، روش و شرایط تولید بیوچار (دمای و مدت زمان) بستگی دارد. بیوچار انتخابی باید ارزان، در دسترس و کارایی مناسب را داشته باشد(Fischer *et al*., 2019).. EL-Mahrouky *et al*. (2015) استفاده از بیوچارکنوکارپوس تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد را بجای اختلاط ضایعات کنوکارپوس در خاک پیشنهاد دادند. گیاه کنوکارپوس[3] با نام علمی Conocarpus erectus .L از خانواده Combretaceae گیاه گرمسیری پررشد، با قابلیت فرم دهی، متحمل به شوری است. کنوکارپوس

1Biochar
2 pomelo
3 Conocarpus

در نواحی گرمسیری آمریکای مرکزی، آمریکای شمالی (فلوریدا)، قسمت‌هایی از آمریکای جنوبی و آفریقا گسترش دارد (Ayoub, 2010; Enteshari et al,.2014). کنوکارپوس در استان خوزستان نیز بطور گسترده کشت شده است و بخش عمده‌ای از فضای سبزی شهرهای خوزستان را این گونه تشکیل داده است از ضایعات آن می‌توان بعنوان منبع تولید بیوچار استفاده کرد.(Darvishi Aghajani *et al*. (2021 بیان داشتند الگوی استفاده از بیوچار می‌تواند به‌عنوان راهبرد قابل قبول جهت افزایش کارایی مصرف آب مورد استفاده در کشت سورگوم قرار گیرد ولی Reyes-Cabrera *et al*. (2017) در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در مطالعه‌ای با هدف مقایسه عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، سورگوم تحت اثر دریافت سالانه بیوچار و ویناس نشان داد، استفاده از بیوچار در عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در کشت سورگوم بی معنی بوده است. سورگوم[1] گیاهی یکساله متعلق به خانواده غلات[2] و جنس سورگوم[3]است (Rafii M., 2018). سورگوم بعنوان منبع مهمی برای غذا، خوراک و مواد خام در ساخت نوشیدنی کارایی دارد و به علت توانایی بالا در تحمل تنش‌های زیستی و سازگاری مناسب با شرایط مختلف به‌عنوان یک محصول امید بخش معرفی می‌گردد (Haung, 2018; Noroozi *et al*., 2022). به نحوی که امکان کشت سورگوم با آبی با هدایت الکتریکی ۱۰/۷۹ دسی‌زیمنس بر متر میسر است (Joardar *et al*., 2018). Hancioglu *et al*., (2018) بیان کردند، در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر) میزان ماده خشک به میزان ۲۷، ۳۸، ۴۹ و ۷۷ درصد برای تیمارهای ۱/۸، ۲/۵، ۳/۵ و ۵ دسی زیمنس بر متر کاهش داشت. Norozi *et al*., (2022) نشان دادند با افزایش شوری، کلیه صفات مورفولوژیک سورگوم با کاهش می‌یابد، به نحوی که تا شوری ۳/۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش عملکرد خشک سورگوم تغییری نمی‌یابد، ولی بعد با افزایش شوری، عملکرد گیاه کاهش یافت و در شوری حدود ۱۵ دسی‌زیمنس عملکرد تا ۵۰ درصد کاهش یافت.

محدودیت در دسترسی به منابع آب با کیفیت و همچنین هدایت الکتریکی بالای زهاب‌های کشاورزی در استان خوزستان به‌عنوان یک تهدید و حجم عظیم زهاب تولیدی به‌عنوان یک فرصت شناخته می‌شود، که با توجه به نیاز بالای علوفه در کشور، امکان کشت سورگوم با استفاده از آب رودخانه کارون و زهاب‌های موجود در منطقه با اعمال سطوح مختلف تأمین نیاز آبی احساس گردید. علی رغم تحقیقات متعدد با محوریت کمیت و کیفیت آب آبیاری و استفاده بیوچارهای مختلف در کشاورزی، بررسی عملکرد و بهره‌وری آب تحت اثر استفاده از بیوچار کنوکارپوس در کشت سورگوم علوفه‌ای به ویژه تحت آبیاری با آب‌هایی با هدایت الکتریکی مختلف و سطوح مختلف آبیاری در استان خوزستان مشاهده نگردید. همچنین بر خلاف تحقیقات گذشته که عموما بیوچار تولیدی از باگاس نیشکر، سبوس برنج، کلش گندم و یا کودهای حیوانی تهیه می‌شد، بیوچار معرفی شده در این تحقیق، به‌عنوان یک بیوچار نوین در ایران مطرح بوده و در صورت تایید کارایی و صنعتی سازی آن می‌تواند گزینه مناسب جهت معرفی به بازار نهاده‌های کشاورزی باشد، لذا با توجه به تحقیقات پیشین و تاثیر قابل قبول بیوچار در کشاورزی، به منظور کاهش تنش‌های شوری و کم آبیاری، با هدف افزایش عملکرد و بهره‌وری آب، استفاده از بیوچار تولید شده از ضایعات درخت کنوکارپوس جهت اختلاط با خاک زراعی در کشت سورگوم علوفه‌ای از رقم اسپیدفید مد نظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به مدت ۱۸ ماه از اردیبهشت سال ۱۳۹۸ آغاز و تا آبان سال ۱۳۹۹ ماه (دو سال کشت متوالی) به منظور بررسی اثر سطوح مختلف هدایت الکتریکی آب، بیوچار و تأمین نیاز آبی به صورت آزمایش فاکتوریل اسپیلت پلات در زمان در قالب بلوک کامل تصادفی، در سه تکرار بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سورگوم انجام شد. محصول کشت شده، گیاه سورگوم از رقم اسپیدفید و محل انجام آزمایش‌ها، مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انتخاب گردید. شهر اهواز از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه اهواز در این دو سال در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است در دوره انجام کشت بارش رخ نداده است و بارش انجام شده در خرداد قبل و بعد از کشت بذر بوده است. آب آبیاری از رودخانه کارون و زهاب از زهکش‌های شبکه آبیاری و زهکشی زهره و جراحی تهیه گردید و اختلاط لازم جهت تأمین سطوح هدایت الکتریکی صورت گرفت. خصوصیات آب آبیاری و زهاب و اختلاط آنها در جدول ۲ ارایه می‌گردد.

---

1 Sorghum bicolor L
2 Poaceae
3 Sorghum

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی ایستگاه اهواز

ماه	ساعت آفتابی روزانه	رطوبت نسبی (٪)	دمای کمینه (c)	دمای بیشینه (c)	باد (ms^{-1})	بارش (mm)
خرداد	۱۰/۹۴	۲۶/۸۵	۲۴/۵۶	۴۱/۱۹	۲/۱۵	۶/۰۰
تیر	۱۱/۹۸	۲۰/۸۱	۲۹/۳۰	۴۷/۲۴	۲/۶۸	۰/۰۰
مرداد	۱۲/۳۵	۱۸/۸۶	۲۹/۷۳	۴۶/۹۹	۳/۱۸	۰/۰۰
شهریور	۱۱/۶۵	۲۶/۴۸	۳۰/۲۴	۴۶/۸۵	۲/۶۴	۰/۰۰
مهر	۱۰/۶۴	۲۵/۳۹	۲۶/۰۹	۴۴/۶۲	۲/۲۸	۰/۰۰
آبان	۷/۶۶	۴۱/۸۵	۲۲/۱۸	۳۷/۳۰	۱/۶۳	۰/۰۰

جدول ۲. خصوصیات آب آبیاری و زهاب

نام نمونه	هدایت الکتریکی دسی‌زیمنس بر متر	اسیدیته بدون واحد	TDS میلی گرم بر لیتر
آب رودخانه کارون	۲/۳	۷/۳	۱۴۷۰
آب زهکش	۲۱۶	۷/۲	–
اختلاط شماره ۱	۲/۵	۷/۳	۱۶۱۰
اختلاط شماره ۲	۵	۷/۳	۳۲۲۶
اختلاط شماره ۳	۱۰	۷/۳	۶۱۶۰

نام نمونه	آنیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)				کاتیون‌ها (میلی اکی والان بر لیتر)		
	Ca	Mg	Na	K	HCO3	CL	SO4
آب رودخانه کارون	۷/۰۰	۳/۹۹	۱۳/۴۱	۰/۱۰	۳/۶۲	۱۲/۳۹	۸/۶۱
آب زهکش	۱۰۵/۰۰	۴۹۶/۰۰	۳۳۶۸/۰۰	۱۶/۰۰	۱/۴۷	۳۷۰۸	۲۷۰/۰۸
اختلاط شماره ۱	۷/۱۰	۳/۶۹	۱۴/۲۰	۰/۰۱	۳/۲۲	۱۳/۱۱	۸/۸۲
اختلاط شماره ۲	۷/۴۴	۷/۳۶	۳۷/۰۸	۰/۲۱	۳/۲۱	۳۸/۱۰	۱۰/۷۲
اختلاط شماره ۳	۸/۳۶	۱۴/۳۶	۸۴/۲۰	۰/۳۰	۳/۲۰	۸۳/۵۵	۲۰/۱۲

بیوچار مورد استفاده در آزمایش‌ها، از ضایعات درخت کنوکارپوس و مطابق با تحقیقات Alipour Babadi *et al*. (2018)، Usman *et al*. (2016) و EL-Mahrouky *et al*. (2015) در دمای ۴۰۰ درجه سانتی با مدت زمان حرارت دهی ۱۵۰ دقیقه تهیه گردید. برخی از خصوصیات بیوچار تولید شده در جدول‌های ۳ و ۴ ارایه شده است. تیمارهای هدایت الکتریکی آب آبیاری، ۲/۵(S_1)، ۵(S_2) و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر(S_3)، تیمارهای افزودنی بیوچار به خاک معادل صفر (B_0)، ۱درصد وزنی (B_1) و ۲ درصد وزنی(B_2) و تیمارهای تأمین نیاز آبی معادل ۶۰درصد(M_1)، ۸۰درصد (M_2)، ۱۰۰درصد (M_3)و ۱۲۰درصد (M_4)درصد نیاز کامل آبی در نظر گرفته شد.

جدول ۳. خصوصیات بیوچار کنوکارپوس

نمونه	pH بدون واحد	EC دسی‌زیمنس بر متر	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)
بیوچار کنوکارپوس	۷/۰۴	۱/۰۵	۰/۳۱

جدول٤.خصوصیات شیمیایی بیوچار کنوکارپوس

نمونه	OM	P	N	C	K	Na	Mg	Ca
	(درصد)				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
بیوچار کنوکارپوس	۵۸/۶	۳۹/۳۴۵	۰/۱۸۲	۵۳/۲۶	۱۱۰	۵/۸	۱۳/۴	۱۴

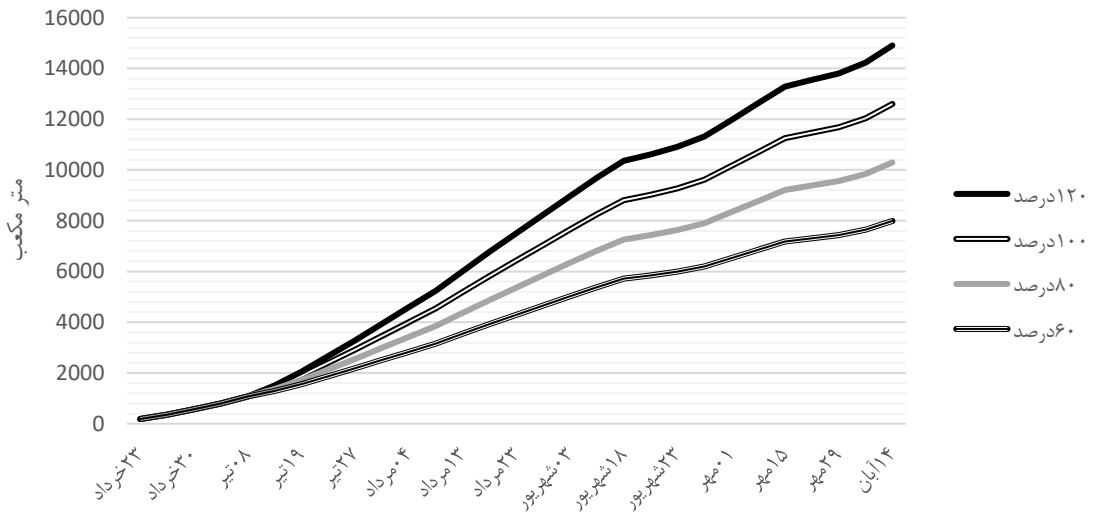
به منظور شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدای دوره کشت و پس از انجام عملیات شخم عمیق مزرعه، آبشویی

زمین انجام گردید و سپس به وسیله بیل و مته دستی تا عمق ۶۰ سانتی متری نمونه برداری انجام شد. جدول ۵ برخی خصوصیات خاک مزرعه را نشان می‌دهد.

جدول ۵. خصوصیات خاک مزرعه

بافت خاک			درصد رطوبت حجمی		جرم مخصوص ظاهری	تخلخل کل	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی
رس(٪)	سیلت(٪)	شن(٪)	لوم-رسی-شنی	FC	PWP	(گرم بر سانتی-مترمکعب)	درصد	دسی‌زیمنس بر متر	(بدون واحد)	درصد
۲۹	۲۳/۵	۴۷/۵		۲۵	۱۲	۱/۴	۴۳	۲/۴۸	۷/۷	۱/۳۷

با استفاده از نرم افزار کراپ وات عمق آبیاری تیمار شاهد به میزان ۱۲۶۰ میلی‌متر تعیین و در سطوح ۱۲۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی، عمق آبیاری به ترتیب ۱۴۹۱، ۱۰۳۰ و ۷۹۹ میلی‌متر محاسبه گردید. به منظور استقرار و رشد اولیه گیاه در تمام تیمارها، تعداد پنج آبیاری اول پس از کاشت بذرها با استفاده از آب آبیاری شاهد صورت پذیرفت. شکل ۱ روند تجمعی آبیاری کل را در چهار سطح آبیاری نشان می‌دهد. آبیاری به صورت دستی و با استفاده از کنتور نصب شده روی لوله انجام گرفت و حجم آب لازم به صورت مستقیم در هر کرت تخلیه گردید. با توجه به ارتفاع لبه کرت‌ها و تحویل دقیق آب در کرت، تقریبا کل حجم آب محاسبه شده به تیمار منتقل شده و اتلاف آب صفر در نظر گرفته شد.



شکل ۱. نمودار تجمعی آبیاری در دوره کشت

جهت آماده سازی زمین پس از دو مرحله شخم عمیق با استفاده از ماشین آلات کشاورزی، نهرهای با عمق تقریبی ۶۰ سانتی متر ایجاد و سپس خاک به صورت دستی به درون نهرها برگردانده شد. در تیمارهای ۱ و ۲ درصد بیوچار، ابتدا اختلاط انجام شد و پس از آن خاک بازگردانده شد. سطح خاک تیمارها تسطیح و مرزبندی کرت‌ها به صورت دستی با بیل و شن‌کش صورت پذیرفت(شکل ۲. الف). کاشت بذرها در مزرعه به صورت دستی در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری از سطح خاک و با فاصله کاشت طولی ۱۰ سانتی متر از یک دیگر به صورت نواری در کرت‌هایی به طول ۲ متر و عرض ۱ متر انجام گرفت(شکل۲.ب). در سال اول تاریخ کاشت بذرها ۱۳۹۸/۰۳/۲۳ و در تاریخ‌های ۱۳۹۸/۰۶/۱۹، ۱۳۹۸/۰۷/۲۵ و ۱۳۹۸/۰۹/۰۲ برداشت‌های مرحله اول تا سوم انجام شده است. به منظور کاهش خطای آزمایشی تاریخ‌های کاشت و برداشت سال اول و سال دوم همسان برنامه‌ریزی گردید. به نحوی که در سال دوم عملیات کاشت بذرها در تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۲۳ ، برداشت اول در تاریخ ۱۳۹۹/۰۶/۱۹ و برداشت‌های دوم و سوم در تاریخ‌های ۱۳۹۹/۰۷/۲۵ و ۱۳۹۹/۰۹/۲ انجام گردید. کل مدت استقرار گیاه بر روی زمین ۱۶۴ روز بود. عملیات تنک، وجین، آبیاری و برداشت سورگوم به صورت دستی انجام گردید(شکل۲.ج). در هر تیمار پس از انتخاب تصادفی بوته‌ها، سنجش وزن تر ساقه و برگ‌ها انجام گردید. سپس برای اندازه گیری وزن خشک، نمونه‌ها به

مدت زمان ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد(شکل ۲.د). مطابق با رابطه ۱ با ضرب کردن میانگین وزن تر (یا خشک) بوته سورگوم در تعداد بوته‌های یک هکتار، عملکرد تر (یا خشک) در هر تیمار به صورت تن در هکتار محاسبه گردید.

$$Y = W_p \times N_p$$ رابطه ۱)

در رابطه ۱، Wp : وزن یک بوته و Np: تعداد بوته کاشته شده در هکتار است. به منظور تعیین بهره وری مصرف آب نیز در هر تیمار، مجموع حجم آب داده شده به هر تیمار تعیین گردید و از رابطه 2 میزان بهره‌وری مصرف آب در دو حالت علوفه تر و خشک برای هر تیمار بدست آمد.

$$WP = \frac{Y}{WU}$$ رابطه ۲)

در رابطه ۲ منظور از WP : بهره وری مصرف آب، Y: عملکرد (تن در هکتار)، WU: آب کاربردی (مترمکعب) می باشد.

به منظور کاهش خطای آزمایش‌ها، نتایج حاصل از کشت در دو سال متوالی به صورت میانگین دوساله با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

شکل۲. آماده سازی زمین(الف)، کاشت بذر(ب)، برداشت (ج) و خشک کردن نمونه‌ها(د)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گیاه سورگوم علوفه‌ای تحت تیمارهای مختلف سه سطح از اختلاط بیوچار کنوکارپوس با خاک مزرعه، سه سطح از هدایت الکتریکی آب آبیاری و چهار سطح تأمین نیاز آبی (عمق آب آبیاری) در جدول۶ آورده شده است. اثر تکرار بر صفات اندازه گیری شده عملکرد علوفه تازه و خشک و بهره‌وری آب در کشت علوفه تازه و خشک، معنی‌دار نیست و نشان دهنده وجود شرایط مشابه و یکنواخت آزمایش‌ها بین تکرارهای هر تیمار است. اما اثر سطوح مختلف بیوچار، هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی، اثرات متقابل آن بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سورگوم تازه و خشک در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

عملکرد علوفه تازه و خشک سورگوم

عملکرد تازه گیاه سورگوم در مجموع سه چین و میانگین دو سال کشت اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین عملکرد علوفه تازه مربوط به تیمار$B_2S_1M_4$ و به میزان ۱۳۵/۵۲ تن در هکتار و کم‌ترین عملکرد سورگوم در این طرح آزمایشی به میزان ۲۰/۵۲ تن در هکتار مربوط به تیمار$B_2S_3M_1$ می‌باشد.

اختلاط بیوچار با خاک مزرعه با میزان صفر، یک و دو درصد وزنی بر عملکرد تازه و خشک سورگوم معنی‌دار می‌باشد. مطابق با جدول۷ بیشترین میزان عملکرد تازه سورگوم در سطح ۲درصد بیوچار (۶۵/۳۴ تن در هکتار) گزارش می‌گردد. این میزان نسبت به عملکرد ۴۷/۷۲ تن در هکتار شاهد (B_0) به میزان ۳۷ درصد بیشتر می‌باشد. افزایش یک درصد بیوچار به خاک زراعی موجب گردید، عملکرد تازه سورگوم

به میزان ۱۰ تن در هکتار (۲۱درصد) نسبت به تیمار شاهد، افزایش یابد. اثر اختلاط بیوچار و خاک زراعی بر عملکرد خشک گیاه نیز افزایشی بوده است. بیشترین و کمترین عملکرد خشک سورگوم در سطح دو درصد بیوچار (B_2) و شاهد (B_0) به ترتیب با میزان ۲۶/۷۴ و ۱۸/۹۶ تن در هکتار حاصل گردید. مقدار عملکرد خشک در سطح B_2 نسبت به B_1 و B_0 به میزان ۳/۷۴ و ۷/۷۸ تن در هکتار بیشتر است. Jeffery *et al*. (2011) و Hossain *et al*. (2010) بهبود عملکرد تحت تاثیر افزایش بیوچار به خاک زراعی را به دلیل تغییر مستقیم خصوصیات شیمیایی خاک، افزایش مقدار و بهره‌وری استفاده از مواد مغذی، بهبود نگهداشت خاک و افزایش رشد ریشه دانسته اند. نتایج تحقیقات Oladel *et al*. (2019) و Alvarez-Campos *et al*. (2018) نیز نشان از آن دارد که افزایش بیوچار موجب افزایش عملکرد خواهد شد، با نتایج این طرح همسو می‌باشد، ولی با یافته‌های Reyes-Cabrera *et al*. (2017) که بیان داشته‌اند افزودن بیوچار بر عملکرد سورگوم معنی‌دار نمی‌باشد، در تضاد می‌باشد.علی رغم اینکه سورگوم بعنوان گیاهی مقاوم به تنش شوری شناخته می‌شود، ولی با اعمال سطوح مختلف هدایت الکتریکی آب آبیاری، افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد تازه گیاه گردید، همانگونه که از جدول ۷ برداشت می‌شود، با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد تازه سورگوم از ۸۸/۱۳ به ۳۲ تن در هکتار کاهش یافت.

جدول ٦. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در سورگوم علوفه‌ای

سال	درجه آزادی	عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک(کیلوگرم به مترمکعب)	
تکرار	۲	۵۱/۰۸	ns	۶/۳۵	ns	۰/۰۲	ns	۰/۰۲	ns
بیوچار (B)	۲	۲۱۸۱۲/۰۴	**	۵۴۵/۰۴	**	۲۰/۵۸	**	۴/۰۰	**
هدایت الکتریکی (S)	۲	۲۹۳۹۶/۲۲	**	۴۸۹۰/۰۴	**	۲۲۲/۹۲	**	۳۸/۰۰	**
تأمین نیاز آبی (M)	۳	۷۵۰۶/۳۴	**	۱۰۶۷/۷۹	**	۳/۹۲	**	۰/۶۱	**
بیوچار و هدایت الکتریکی (B*S)	۴	۱۵۶۱/۸۰	**	۲۷۷/۰۹	**	۱۰/۳۶	**	۱/۸۸	**
بیوچار و تأمین نیاز آبی (B*M)	۶	۲۲۱/۳۲	**	۴۴/۵۴	**	۱/۰۸	**	۰/۲۵	**
هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی (S*M)	۶	۸۷۲/۷۳	**	۱۲۲/۰۲	**	۲/۲۰	**	۰/۴۸	**
بیوچار و هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی (B*S*M)	۱۲	۶۵/۹۷	**	۱۲/۴۰	**	۰/۲۳	**	۰/۰۶	**
خطا (B*S*M)	۷۰	۳/۶۳	**	۱/۰۵	**	۰/۰۴	**	۰/۰۱	**

ns: فاقد اثر معنی‌دار، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

عملکرد خشک گیاه نیز متاثر از سطوح هدایت الکتریکی آب آبیاری بوده و تاثیر هدایت الکتریکی آب آبیاری بر آن معنی‌دار می‌باشد. بیشترین عملکرد خشک سورگوم در اعمال سطوح مختلف هدایت الکتریکی آب آبیاری در سطح ۲/۵ دسی‌زیمنس (شاهد، S_1) به میزان ۳۵/۶ تن در هکتار و کمترین عملکرد خشک با میزان ۱۲/۸ تن در هکتار در تیمار S_3 مشاهده گردید. با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از ۲/۵ به ۵ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد خشک به میزان ۴۳/۳ درصد (۱۵/۴ تن در هکتار) و نسبت به سطح ۱۰ دسی‌زیمنس به میزان ۶۴ درصد (۲۲/۸ تن در هکتار) کاهش مشاهده می‌گردد. Joarder *et al*., (2018) نیز اعلام کرده‌اند که افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری موجب کاهش عملکرد سورگوم می‌گردد. همچنین باعث کاهش مقدار هدایت روزنه‌ای، تعرق و میزان آب نسبی می‌شود که بر کاهش وزن تر گیاه و به تناسب آن موجب کاهش عملکرد علوفه تازه خواهد. نتایج نشان داد با اعمال سطوح مختلف تأمین نیاز آبی، بیش‌ترین عملکرد تازه و خشک سورگوم در سطح تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی به میزان ۷۲/۲۲ و ۲۸/۲ تن در هکتار و کمترین آن در سطح تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی به میزان ۳۶/۸۰ و ۱۵ تن در هکتار حاصل گردید. کاهش ۴۰درصدی تأمین نیاز آبی (M_1) نسبت به نیاز آبی کامل گیاه (M_3) موجب کاهش ۳۲/۱ تن در هکتار عملکرد علوفه تازه گردید. در بین سطوح M_3 و M_4 در عملکرد خشک سورگوم تاثیر معنی‌دار مشاهده نگردید و نشان می‌دهد آبیاری مازاد بر نیاز آبی تاثیر در تولید ماده خشک علوفه ندارد، Govili *et al*. (2016) نیز تاکید داشته اند، اعمال سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار تولید محصول می‌گردد. Dehghani Ahmadabadi *et al*. (2021) نیز بیان داشتند که گیاه اسفناج در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی، کمترین تولید محصول را داشته است، لذا نتایج تحقیقات آنها با نتایج دست یافته مشابه بوده و تصدیق کننده یکدیگر هستند.

بررسی اثرات متقابل تیمارهای مختلف بیوچار و هدایت الکتریکی آب آبیاری بر عملکرد تازه سورگوم نشان داد، در تیمار B_2S_1

عملکرد تازه سورگوم بیشترین مقدار خود را داشته است و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار B_2S_3 می‌باشد و اثر متقابل سطوح بالای هدایت الکتریکی آب آبیاری و بیوچار موجب کاهش عملکرد تازه سورگوم می‌شود. بین تیمارهای B_2S_2 و B_2S_2 تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین میزان عملکرد خشک سورگوم در تیمار B_2S_3 (۱۲/۰۶ تن در هکتار) و بیشترین آن در تیمار B_2S_1 (۴۴/۴۸ تن در هکتار) مشاهده گردید. در بین تیمارهای B_2S_2 و B_1S_2، همچنین بین عملکرد خشک سورگوم تیمارهای B_0S_2 و B_0S_3 تفاوت معنی‌دار در مشاهده نمی‌گردد(جدول ۸). این نتایج با تحقیقات Abbaspour *et al*. (2017) که گزارش کردند، استفاده از ۱۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش عملکرد و استفاده از ۲۰ تن در هکتار بیوچار موجب کاهش عملکرد نسبت به تیمار شاهد می‌شود، همخوانی دارد و علت آن را افزودن بیوچار به خاک دانست، زیرا بیوچار با افزایش نگهداشت رطوبت و عناصر غذایی خاک می‌تواند سبب افزایش عملکرد محصول در خاک شود (Chan *et al*., 2007). نتایج بررسی اثر متقابل بیوچار و هدایت الکتریکی آب آبیاری بر عملکرد خشک سورگوم نشان داد، استفاده از درصدهای بالای بیوچار (B_2) در هنگام آبیاری با آبی با هدایت الکتریکی کم (S_1)، موجب بهبود عملکرد خشک و تازه می‌شود، ولی در سطوح بالاتر (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) موجب، تشدید اثر منفی می‌شود. افزایش عملکرد در تیمار B_2S_1 و کاهش عملکرد در تیمار B_2S_3 را می‌توان مطابق با نتایج Nikravesh *et al*. (2018) و Mukherjee *et al*. (2014) وابسته به نوع گیاه، خصوصیات خاک و نحوه مدیریت استفاده از بیوچار در خاک مرتبط دانست که امکان هر دو پاسخ مثبت یا منفی گیاه به بیوچار را میسر می‌کند و باید پذیرفت، کاربرد بیوچار به‌عنوان یک الگوی ثابت و کلی «یک اندازه متناسب با همه» مطرح نمی‌باشد، هرچند تاثیر استفاده از بیوچار مثبت است ولی در برخی موارد بی تاثیر یا موجب ایجاد اثر منفی می‌گردد(Fischer *et al*.,2019). برخی محققین این اثر منفی را به شرایط تنش‌های محیطی مرتبط دانسته اند که استفاده بیش از اندازه بیوچار می‌تواند ایجاد مسمویت نماید(Reyes-Cabrera *et al*., 2017). Rezaie *et al*. (2018) نیز اعلام کرده‌اند که افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری و همچنین کاربرد بیوچار سبب افزایش غلظت عناصر و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک می‌شود و بایستی اثرات منفی ناشی از کاربرد بیوچار بر ویژگی‌هایی مانند افزایش شوری خاک را نیز در نظر گرفت. لذا علیرغم افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از اختلاط بیوچار با خاک، افزایش بیوچار بیش از ۲۵ مگاگرم در هکتار تا حدودی شدت اثرات منفی ناشی از افزایش شوری را در کشت باقلا می‌کاهد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و تأمین نیاز آبی بر عملکرد تازه و خشک سورگوم در تمامی سطوح معنی‌دار بوده است (جدول۶) مطابق با جدول ۹ کمترین آن مربوط به تیمار B_0M_1 و حداکثر آن در تیمار B_2M_4 مشاهده گردید. بین تیمارهای B_2M_2 و B_0M_4 اثر معنی‌داری در عملکرد تازه سورگوم مشاهده نگردید(جدول ۹). معنی‌دار نبودن عملکرد تازه در بین این دو تیمار نشان از آن دارد که با اختلاط بیوچار در سطح دو درصد، با حجم آبیاری کمتر می‌توان به عملکرد همسان علوفه تازه دست یافت. میانگین عملکرد علوفه تازه در تیمار شاهد (B_0M_3) تحت اثر متقابل بیوچار و تأمین نیاز آبی به میزان ۵۶/۱۲ تن در هکتار می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد اختلاط ۱ و ۲ درصد بیوچار در آبیاری کامل(۱۰۰ درصد نیاز آبی) موجب می‌گردد، عملکرد تازه علوفه به ترتیب ۱۳/۶۶ و ۲۴/۷۷ تن در هکتار افزایش یابد، همچنین افزایش بیوچار به میزان ۱ و ۲ درصد در حالت اعمال تنش کم آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب موجب افزایش ۲/۶ و ۳/۹ تن در هکتار عملکرد تازه خواهد شد. Abbaspour *et al*. (2017) نیز بهبود عملکرد گیاه را در شرایط تنش خشکی پس از استفاده از بیوچار گزارش کرده‌اند. بیشترین عملکرد علوفه خشک در تیمار B_2M_3 به میزان ۳۳/۵ تن در هکتار حاصل شد که این مقدار در مقایسه با عملکرد تیمار B_2M_4 تاثیر معنی‌دار نداشته و افزایش حجم آب آبیاری در طول دوره رشد موجب کاهش جزیی عملکرد شده است. عملکرد تیمارB_2M_4، ۳۲/۹ تن در هکتار و ۱۱/۷ تن در هکتار (۵۳/۹درصد) نسبت به تیمار شاهد بیشتر است. کمترین عملکرد خشک در تیمار B_0M_1 به میزان ۱۴/۸ تن در هکتار می‌باشد، که ۳۳/۹ درصد از تیمار شاهد کمتر است. بین تیمارهای B_1M_3 و B_1M_4، B_2M_3 و B_2M_4 اثر معنی‌دار مشاهده نگردید، که بیانگر آن است افزایش حجم آب آبیاری بیش از نیاز آبی کامل گیاه (۱۲۰درصد) در حضور بیوچار تاثیر معنی‌دار نداشته است. همانگونه که در جدول ۹ مشخص است، افزایش درصد اختلاط بیوچار با خاک زراعی موجب افزایش عملکرد خشک علوفه می‌گردد. نتایج نشان داد اختلاط ۱ و ۲ درصد بیوچار (B_1وB_2) در حالت تأمین نیاز آبی ۸۰ درصد نیاز آبی (M_2) موجب افزایش ۲۲/۵ و ۴۷/۴ درصدی عملکرد خشک می‌گردد و به‌عنوان یک اصلاح کننده تلقی می‌گردد و می‌توان اثر بیوچار را در کاهش تنش آبی و افزایش عملکرد گیاه به داشتن منافذ ریز بسیارزیاد بیوچار، بهبود خاکدانه سازی و ایجاد فضای کافی درون منافذ خاکدانه‌ها، در نهایت افزایش نگهداشت رطوبت و ذخیره فیزیکی آب در سطح بیوچار مرتبط دانست (Novak *et al*., 2010). همچنین Darvishi Aghajani *et al*. (2021) استفاده از بیوچار را به‌عنوان یک اصلاح کننده و نگهدارنده آب در خاک بویژه در شرایط محدودیت آب، توصیه کرده اند، که یافته‌های ایشان تاییدی بر نتایج این طرح می‌باشد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی بر عملکرد تازه و خشک علوفه معنی‌دار بوده است. همانگونه که در جدول۱۰ مشاهده می‌گردد، بیشترین عملکرد علوفه تازه با مقدار ۱۰۹/۱ تن در هکتار در تیمار S_1M_4 گزارش می‌شود. عملکرد تازه علوفه در تیمار S_1M_3 و S_1M_4 اختلاف معنی‌دار ندارد. کمترین عملکرد تازه مربوط به تیمار S_3M_1 به میزان ۲۴/۳۶ تن در هکتار می‌باشد، این میزان نسبت به تیمار شاهد (S_1M_3) به میزان ۸۳/۳ تن در هکتار کمتر است. بین تیمارهای S_3M_3 و S_3M_4 و بین تیمارهای S_2M_2 و S_3M_4 اختلاف معنی‌دار در عملکرد تازه علوفه مشاهده نگردید. عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهای S_2M_2 و S_3M_4 نشان از آن دارد که، عملکرد تازه در هدایت الکتریکی ۵ دسی‌زیمنس بر متر و آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، مشابه عملکرد تازه سورگوم تحت آبیاری با آبی با هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و حجم ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی بر عملکرد خشک سورگوم علوفه‌ای با رقم اسپیدفید نشان داد، حداکثر و حداقل عملکرد در تیمار S_1M_3 (۴۲/۸۹ تن در هکتار) و S_3M_1 به میزان ۲۴/۳۶ تن حاصل گردیده است و در عملکرد خشک تیمار S_1M_3 و تیمار S_1M_4 اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، همچنین بین عملکرد خشک تیمارهای S_3M_3 و S_3M_4 اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول۱۰). Joardar *et al*. (2018) نشان دادند با افزایش هدایت الکتریکی، بیوماس سورگوم کاهش معنی‌دار می‌یابد، درحالیکه در سطوح پایین هدایت الکتریکی این کاهش معنی‌دار نخواهد بود. همچنین Yuan *et al*. (2018) در آبیاری با آب ۳ دسی‌زیمنس بر متر عملکرد ذرت بیش از ۲۵ درصد کاهش یافت و آبیاری با آب شور در سطح ۶ و ۹ گرم بر لیتر را نامناسب اعلام کردند. نتایج این تحقیقات با نتایج حاصل شده از آزمایش‌ها مشابه می‌باشد و تضاد بین در نتایج تحقیقات یافت نشد.

در بررسی اثرات متقابل بیوچار، هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی، تیمار $B_2S_1M_4$ بیشترین عملکرد تازه را دارد، ولی با تیمار $B_2S_1M_3$ تفاوت معنی‌داری ندارد و نشان دهنده آن است، اگر با خاک مزرعه ۲ درصد بیوچار مخلوط گردد، افزایش حجم آبیاری تاثیری در افزایش عملکرد تر علوفه نداشته است(جدول ۱۱). کمترین عملکرد در تیمار $B_2S_3M_1$ حاصل گردید(۲۰/۵تن در هکتار)، که این میزان نسبت به تیمار شاهد $B_0S_1M_3$ (۸۹/۵ تن در هکتار) به میزان ۶۶/۵ تن در هکتار و نسبت به حداکثر عملکرد (تیمار$B_2S_1M_4$) ۱۱۵ تن در هکتار کمتر است.

مطابق با جدول ۱۱ مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار، هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی بر عملکرد خشک سورگوم نشان داد بیشترین عملکرد خشک سورگوم در تیمار $B_2S_1M_3$ به میزان ۵۴/۴ تن در هکتار و کمترین آن با ۸/۲ تن در هکتار در تیمار $B_2S_3M_1$ مشاهده گردید، که به ترتیب ۱۹/۷ و ۲۶/۴- تن در هکتار با عملکرد خشک تیمار شاهد اختلاف دارند. در بین تیمارهای $B_0S_1M_3$ و $B_0S_1M_4$ اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید و نشان از آن دارد، آبیاری مازاد بر نیاز آبی گیاه بر عملکرد خشک گیاه نه تنها تاثیر معنی‌دار ندارد، بلکه موجب کاهش جزیی عملکرد می‌گردد(۲۵۰ کیلوگرم در هکتار). در مقایسه تیمارهای $B_0S_3M_3$ و $B_1S_3M_3$ و $B_2S_3M_3$ مشاهده می‌گردد تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. این امر نشان از آن دارد در آبیاری کامل گیاه و آبیاری با آبی با هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، اختلاط بیوچار کنوکارپوس در سطح ۱ و ۲ درصدی وزنی خاک، تاثیر معنی‌دار نداشته و در عمل اختلاط آن توصیه نمی‌گردد. نتایج تحقیقات Elshaikh *et al*. (2018) نیز تایید می‌نمایند که افزایش میزان هدایت الکتریکی باعث کاهش قابل توجهی در عملکرد گیاه و اجزای عملکرد بامیه شد، ولی این محققین اعلام کردند با افزودن بیوچار در سطوح ۵ و ۱۰ درصد آستانه تحمل شوری به میزان ۱۹/۷و ۸۱/۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت و نشان دادند که اثرات تنش شوری بهبود یافته و کاربرد ۱۰ درصد بیوچار منجر به بیشترین رشد گیاه بامیه و افزایش عملکرد می‌شود. این بخش از نتایج ایشان با نتایج بررسی‌های انجام شده در کشت سورگوم علوفه‌ای همسو نمی‌باشد، که با توجه به اعمال سطوح شوری آبیاری ۰/۷۵، ۱، ۲، ۴، ۵، ۶ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر در تحقیقات Elshaikh *et al*. (2018) و سطوح هدایت الکتریکی ۲/۵، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و عدم یکسان بوده گیاه، محل انجام آزمایش، نوع خاک در این دو تحقیق، تضاد حادث شده در نتایج را می‌توان توجیه کرد.

بهره‌وری مصرف آب علوفه تازه و خشک سورگوم

بهره‌وری مصرف آب نسبتی است که در مخرج آن حجم آب کاربردی(آب آبیاری و بارش) و در صورت آن عملکرد محصول قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در دوره آزمایش و کشت سورگوم، میزان بارش صفر بوده، در مخرج آن حجم آب آبیاری و در صورت آن عملکرد علوفه تازه یا خشک قرار گرفته است. در بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار، هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی تمامی سطوح معنی‌دار بوده است و تغییرات در آن موجب اختلاف در بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک شده است.

در بررسی مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف هدایت الکتریکی آب آبیاری، بیشترین بهره‌وری مصرف آب علوفه تازه در تیمار S_1

۷/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین آن در هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس (S_3) به میزان ۲/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده گردید(جدول ۷). این حالت در بهره‌وری مصرف آب علوفه خشک نیز وجود داشت، به نحوی که در تیمارهای S_1 و S_3 بهره‌وری آب علوفه خشک به ترتیب ۳/۱۱ و ۱/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید. با افزایش هدایت الکتریکی آب آبیاری از ۲/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بهره‌وری آب در علوفه تازه و خشک به ترتیب ۶۳/۸ و ۶۴/۳ درصد کاهش داشته است. در سطوح مختلف اختلاط بیوچار، بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک متاثر از درصد بیوچار مخلوط شده با خاک بوده و بیشترین بهره‌وری آب در تیمار B_2 به ترتیب ۵/۶۳ و ۲/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش می‌گردد، کمینه بهره‌وری آب نیز در دو حالت علوفه تازه و خشک به ترتیب ۴/۱۲ و ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید. اختلاط ۲درصد وزنی بیوچار با خاک موجب گردید بهره‌وری آب در علوفه تازه و خشک به ترتیب ۱/۵۱ و ۰/۶۶کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یابد. افزایش یک درصد بیوچار (B_1) نسبت به سطح بیوچار شاهد (B_0) موجب افزایش ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب در بهره‌وری آب علوفه تازه و ۰/۳۵ بهره‌وری آب علوفه خشک شده است. بیوچار به طور کلی باعث افزایش بهره‌وری آب می‌گردد(جدول ۷). این نتیجه گیری با تحقیقات Mannan *et al*. (2021); Liu *et al*. (2021) و Zhang *et al*. (2020) مطابقت دارد. همچنین Abbasalian *et al*. (2022) بیان داشتند که افزایش بهره‌وری آب در مقادیر کم بیوچار در کشت جو معنی‌دار نمی‌باشد، ولی درصدهای بالاتر بیوچار موجب تاثیر مثبت بر بهره‌وری آب می‌شود. یافته‌های Reyes-Cabrera et al. (2017) در کشت سورگوم نشان داد که بهره‌وری مصرف آب پس از افزودن بیوچار نسبت به حالت بدون بیوچار اختلاف معنی‌دار ندارد، لذا با نتایج این تحقیق در تضاد می‌باشند. علت تضاد در نتایج را می‌توان به تاثیر پذیری اثر بیوچار از نوع خاک، نوع بقایا و میزان کاربرد بیوچار و درصد اختلاط آن مرتبط دانست(Alburquerque *et al*., 2014).

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در سورگوم علوفه‌ای

تیمارهای آزمایشی		عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم به مترمکعب)	
سطوح هدایت الکتریکی	S1	a	۸۸/۱۳	a	۳۵/۶۷	a	۷/۶۴	a	۳/۱۱
	S2	b	۵۰/۶۲	b	۲۰/۲۳	b	۴/۳۶	b	۱/۷۴
	S3	c	۳۲/۰۴	c	۱۲/۸۲	c	۲/۷۶	c	۱/۱۱
سطوح بیوچار	B0	c	۴۷/۷۲	c	۱۸/۹۶	c	۴/۱۲	c	۱/۶۵
	B1	b	۵۷/۷۳	b	۲۳/۰۰	b	۵/۰۱	b	۲/۰۰
	B2	a	۶۵/۳۴	a	۲۶/۷۴	a	۵/۶۳	a	۲/۳۱
سطوح تأمین نیاز آبی	M1	d	۳۶/۸۰	c	۱۵/۰۶	c	۴/۶۰	c	۱/۸۹
	M2	c	۴۹/۷۸	b	۲۰/۵۸	b	۴/۷۵	b	۱/۹۶
	M3	b	۶۸/۹۲	a	۲۸/۷۷	a	۵/۴۷	a	۲/۲۰
	M4	a	۷۲/۲۲	a	۲۸/۲۰	b	۴/۸۵	c	۱/۸۹

در هر یک از سطوح، میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ندارند.

مطابق با جدول ۷ در بررسی بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک تحت اثر درصدهای مختلف آبیاری نسبت به نیاز آبی کامل گیاه، بیشترین بهره‌وری آب در علوفه تازه و خشک مربوط به تیمار M_3 به ترتیب ۵/۴۷ و ۲/۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در بین بهره‌وری علوفه تازه تیمارهای M_4 و M_2 اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، ولی اختلاف بهره‌وری آب علوفه خشک در بین این دو تیمار معنی‌دار است (۱/۸۹ و ۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب). Kikhani *et al*. (2018) بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب علوفه خشک را به ترتیب ۱/۷ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب در در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گزارش کردند که این نتایج با یافته این طرح مطابقت ندارد. علت این تفاوت در نتایج را می‌توان علاوه بر اختلاف در خاک مزرعه به کیفیت آب آبیاری و نیز افزودن بیوچار به خاک مرتبط دانست. در بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و هدایت الکتریکی آب آبیاری (جدول ۸) بیشترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک در تیمار B_2S_1 به میزان ۹/۳۴ و ۳/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید که به ترتیب ۴۴/۳ و ۴۷/۷ درصد (۲/۸ و ۱/۲کیلوگرم بر مترمکعب) از تیمار شاهد (B_0S_1) بیشتر است. کمترین مقدار بهره‌وری آب علوفه تازه در تیمار B_2S_3 به میزان

۲/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش می‌شود که ۶۰/۱ درصد کمتر از تیمار شاهد (۳/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و ۷۲/۳۷ درصد نسبت به تیمار B_2S_1 کمتر است. در بین تیمارهای B_0S_3 و B_1S_3 تفاوت معنی‌دار در بهره‌وری آب علوفه تازه مشاهده نشد. در بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و هدایت الکتریکی آب آبیاری، کمترین مقدار بهره‌وری آب علوفه خشک در تیمار B_2S_3 به میزان ۱/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. این مقدار ۵۹/۹ درصد کمتر از بهره‌وری آب علوفه خشک تیمار شاهد (۱/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بود و این تیمار با B_0S_3 تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین تیمار B_0S_3 با تیمار B_1S_3 اختلاف معنی‌دار ندارد، ولی اختلاف B_2S_3 با تیمار B_1S_3 معنی‌دار بود (جدول ۸) که با نتایج تحقیقات Miri *et al.* (2021) مطابقت دارد. ایشان در بررسی استفاده از بیوچار پسته در کشت گیاه ذرت بیان کردند، استفاده از درصدهای بالای بیوچار به دلیل تشدید اثر شوری خاک موجب کاهش عملکرد و به تبع آن بهره‌وری آب می‌گردد، به نحوی که در صورتی که ۳درصد اختلاط بیوچار انجام گیرد، بیش از ۹۰ درصد عملکرد کاهش می‌یابد و بهنگام اختلاط ۵ درصد بیوچار، رشد گیاه کاملا متوقف شده و به واسطه کاهش عملکرد، کاهش بهره‌وری آب صورت می‌پذیرد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و هدایت الکتریکی آب آبیاری بر صفات اندازه گیری شده سورگوم علوفه‌ای

بیوچار	هدایت الکتریکی آب آبیاری		عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم به مترمکعب)	
B0	S1	c	۷۳/۹۶	c	۲۹/۶۴	c	۶/۴۷	c	۲/۶۲	c
	S2	e	۳۵/۵۸	e	۱۳/۸۹	e	۳/۱۲	e	۱/۲۲	e
	S3	f	۳۳/۶۳	ef	۱۳/۳۶	f	۲/۷۸	fg	۱/۱۱	fg
B1	S1	b	۸۲/۱۹	b	۳۲/۸۸	b	۷/۱۱	b	۲/۸۶	b
	S2	d	۵۸/۲۲	d	۲۳/۱۱	d	۴/۹۹	d	۱/۹۷	d
	S3	f	۳۲/۷۹	f	۱۳/۰۴	f	۲/۹۲	f	۱/۱۶	ef
B2	S1	a	۱۰۸/۲۵	a	۴۴/۴۸	a	۹/۳۴	a	۳/۸۷	a
	S2	d	۵۸/۰۸	d	۲۳/۶۹	d	۴/۹۵	d	۲/۰۳	d
	S3	g	۲۹/۶۹	g	۱۲/۰۶	g	۲/۵۸	g	۱/۰۵	g

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ندارند.

مطابق با جدول ۹ مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار و تأمین نیاز آبی نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک در تیمار B_2M_3 به میزان ۶/۴۲ و ۲/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید. کمترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک در تیمار B_0M_2 به میزان ۳/۷۳ و ۱/۵۲کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید. بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک تیمار شاهد (B_0M_3) به ترتیب ۴/۴۵ و ۱/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد که به میزان ۰/۷۲ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب از بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک تیمار B_0M_2 بیشتر است. بین تیمارهای B_0M_1 و B_0M_3، B_1M_2 و B_1M_4، B_2M_2 و B_2M_4 در بهره‌وری آب علوفه تازه اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. در بهره‌وری آب علوفه خشک بین تیمارهای B_0M_2 و B_0M_4، B_1M_2و B_1M_4، B_0M_1و B_1M_2،B_1M_1 و B_1M_4، B_1M_1 و B_1M_4 تفاوت معنی‌دار وجود ندارد، ولی بین B_1M_2 و B_1M_1 تفاوت معنی‌دار است (جدول۹). Eshraqinejad *et al.* (2021) بیان کردند اعمال سطوح آبیاری ۹۰ و ۱۳۰ میلیمتر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A بر بهره‌وری سورگوم تاثیر معنی دار ندارد ولی در مقادیر آبیاری ۱۸۰و ۲۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A تاثیر معنی دار است.(2021) Mannan *et al.* افزایش ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار به خاک را موجب بهبود بهره‌وری کشت سویا در شرایط وجود تنش نسبت به تیمار شاهد دانسته‌اند. Liu *et al.* (2021) نیز با کاربرد ۲درصد بیوچارهای تولید شده از کاه گندم و تراشه‌های چوب، بیان کردند، استفاده از بیوچار موجب افزایش بهره‌وری آب گیاه تنباکو تحت اعمال تنش‌های کم آبیاری می‌گردد. نتایج هر سه تحقیق اخیر با نتایج بدست آمده مطابقت دارد. مقایسه میانگین اثرات متقابل هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی بر بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک مطابق با جدول ۱۰ نشان داد، بیشترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک به ترتیب در تیمارهای S_1M_3 و S_1M_2 به میزان ۸/۵۴ و ۳/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب وکمترین بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک در تیمار S_3M_2 به میزان ۲/۳۶ و ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. تیمارهای S_2M_1 و S_2M_2، S_3M_1 و S_3M_3 در بهره‌وری آب

علوفه تازه تحت اثر متقابل هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی اختلاف معنی‌دار ندارد. تیمار شاهدS_1M_3 در بهره‌وری آب علوفه تازه حداکثر بهره‌وری را داشته است. بهره‌وری آب علوفه خشک تیمار شاهدS_1M_3 با تیمار S_1M_2 (حداکثر بهره‌وری آب) تفاوت معنی‌دار نداشته است. Piri & Ansari. (2016) نشان داد با افزایش شوری و کاهش عمق آب آبیاری، کارآیی مصرف علوفه تر و خشک کاهش می‌یابد که موید نتایج می‌باشد. بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار، هدایت الکتریکی آب آبیاری و تأمین نیاز آبی بر بهره‌وری آب علوفه تازه و خشک مورد انجام شد(جدول ۱۱). بیشترین مقدار بهره‌وری آب علوفه تازه در تیمار $B_2S_1M_3$ به میزان ۱۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن ۲/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار $B_2S_3M_2$ می‌باشد، ولی با تیمارهای $B_2S_3M_1$ و $B_2S_3M_4$ اختلاف معنی‌دار ندارد. در بین تیمارهای $B_2S_3M_4$ و $B_2S_3M_1$ اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. بهره‌وری آب علوفه تازه تیمار شاهد($B_0S_1M_3$) ۷/۱ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد و با تیمارهای $B_1S_1M_2$ (۷/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و $B_1S_1M_4$ (۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) تفاوت معنی‌دار ندارد، ولی بین دو تیمار اخیر تفاوت معنی‌دار است. در بین تیمارهای $B_1S_2M_1$ و $B_1S_2M_2$، $B_1S_2M_3$ و $B_1S_2M_4$ تفاوت معنی‌دار وجود ندارد و بیانگر آن است، در حالتی که بیوچار به میزان ۱درصد وزنی با خاک مخلوط شده است و هدایت الکتریکی آب آبیاری به میزان ۵ دسی‌زیمنس بر متر است، اگر گیاه به میزان ۶۰ یا ۸۰ درصد نیاز آبی خود آبیاری گردد، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در بهره‌وری آب وجود نخواهد داشت. این موضوع برای آبیاری به میزان ۱۰۰ یا ۱۲۰ درصد نیاز آبی نیز برقرار بوده و به دلیل آن است که با افزایش حجم آب آبیاری، عملکرد محصول افزایش یافته است، ولی این افزایش به حدی نبوده است که موجب افزایش بهره‌وری آب گردد. در بین تیمارهای $B_0S_1M_1$ و $B_0S_1M_4$ تفاوت معنی‌دار وجود ندارد و نسبت به بهره‌وری آب علوفه تازه در تیمارهای $B_0S_1M_2$ و $B_0S_1M_3$، بهره‌وری کمتر دارند، پس بیان می‌گردد در شرایط محدودیت منابع آب آبیاری مازاد موجب کاهش بهره‌وری آب و اتلاف منابع آب با کیفیت می‌گردد. بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب علوفه خشک با ۴/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار $B_2S_1M_2$حاصل گردید که با تیمار $B_2S_1M_3$ (۴/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب) تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۱۱)، ولی نسبت به تیمار شاهد $B_0S_1M_3$ (۲/۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب) ۶۱ درصد بهره‌وری آب بیشتر و اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

کمترین میزان بهره‌وری آب علوفه خشک در تیمار $B_0S_3M_3$ با ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب ایجاد شده است که ۷۱/۶ درصد کمتر از بهره‌وری آب تیمار شاهد و ۸۲/۴ درصد کمتر از حداکثر بهره‌وری آب علوفه خشک می‌باشد. در مقایسه بهره‌وری آب علوفه خشک تیمار $B_0S_3M_3$ با تیمار $B_2S_3M_2$ اختلاف معنی‌دار وجود ندارد، همچنین بین تیمارهای $B_1S_2M_1$ و $B_1S_2M_2$ و $B_2S_2M_1$ و $B_2S_2M_2$ تفاوت معنی‌دار دیده نشد. Najafinejad *et al*. (2018) میزان بهره وری مصرف آب را در کشت سورگوم تحت اثر سه تیمار آبیاری بهینه، تنش آبی ملایم و تنش شدید به ترتیب با مقادیر ۳/۱۷، ۲/۹۷ و ۲/۸ کیلوگرم علوفه خشک بر متر مکعب آب گزارش کرده است و Kazemizadeh et al. (2020) در نتایج تحقیق خود اعلام کردند، بیوچار تولید شده از باگاس نیشکر که در کشت ذرت استفاده گردید، موجب گردید در هر دو سطح آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری (۳۰ درصد)) افزایش عملکرد ذرت و نیز بهره‌وری مصرف آب نسبت به تیمار شاهد(بدون بیوچار) حادث گردد. لذا بیان می‌گرددکه، نتایج تحقیقات ایشان با یافته‌های این تحقیق همسو است. Mir *et al*. (2021) اعلام کردند افزایش کارآیی مصرف آب با بالا بودن عملکرد و همچنین کاهش میزان آب مصرفی در تیمارها مرتبط است و اثرات متقابل حجم آب آبیاری و بیوچار نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۷۵ درصد و افزایش بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث افزایش کارآیی مصرف آب آبیاری شد ولی افزایش بیوچار به پنج درصد وزنی به دلیل افزایش شدت تنش‌های وارده سبب کاهش کارآیی مصرف آب شد که با نتایج این تحقیق که نشان داد، افزایش کارایی مصرف آب در کشت سورگوم با افزایش ۱ و ۲ درصد بیوچار افزایش می‌یابد ولی در شرایط آبیاری با آب ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر استفاده از ۲ درصد بیوچار موجب افزایش تنش به گیاه شده و کارایی مصرف آب و عملکرد را کاهش می‌دهد، مطابقت دارد، پس می‌توان نتیجه‌گیری Mir *et al*. (2021) را که بیان داشتند استفاده از بیوچار و کار بردن آب آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و درنتیجه رشد بهینه گیاه گردیده است را تایید کرد.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و تأمین نیاز آبی بر صفات اندازه گیری شده سورگوم علوفه‌ای

	تأمین نیاز آبی	عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم به مترمکعب)	
B0	M1	۳۴/۶۲	j	۱۴/۳۸	h	۴/۳۳	e	۱/۸۰	fg
	M2	۴۱/۰۴	h	۱۶/۶۹	g	۳/۷۳	g	۱/۵۲	h
	M3	۵۶/۱۲	f	۲۱/۷۶	e	۴/۴۵	e	۱/۷۳	g
	M4	۵۹/۱۱	e	۲۳/۰۳	d	۳/۹۷	f	۱/۵۴	h
B1	M1	۳۷/۲۵	i	۱۴/۸۴	h	۴/۶۶	d	۱/۸۶	ef
	M2	۵۰/۴۱	g	۲۰/۴۶	f	۴/۹۰	c	۱/۹۹	d
	M3	۶۹/۷۸	d	۲۸/۰۸	b	۵/۵۴	b	۲/۲۳	c
	M4	۷۳/۴۸	c	۲۸/۶۵	b	۴/۹۳	c	۱/۹۲	de
B2	M1	۳۸/۵۲	i	۱۵/۹۷	g	۴/۸۲	cd	۲/۰۰	d
	M2	۵۷/۸۹	ef	۲۴/۶۱	c	۵/۶۲	b	۲/۳۹	b
	M3	۸۰/۸۹	b	۲۳/۵۰	a	۶/۴۲	a	۲/۶۶	a
	M4	۸۴/۰۷	a	۲۳/۹۰	a	۵/۶۴	b	۲/۲۱	c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثرات متقابل هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی بر صفات اندازه گیری شده سورگوم علوفه‌ای

هدایت الکتریکی	تأمین نیاز آبی	عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم به مترمکعب)	
S1	M1	۵۳/۷۸	e	۲۲/۵۲	e	۶/۷۳	d	۲/۸۲	b
	M2	۸۱/۹۹	b	۳۵/۰۹	b	۷/۹۶	b	۳/۴۱	a
	M3	۱۰۷/۶۵	a	۴۲/۸۹	a	۸/۵۴	a	۳/۴۰	a
	M4	۱۰۹/۱۱	a	۴۲/۱۶	a	۷/۳۲	c	۲/۸۳	b
S2	M1	۲۳/۲۶	h	۱۲/۹۰	g	۴/۰۴	g	۱/۶۱	e
	M2	۴۰/۴۹	f	۱۵/۹۱	f	۳/۹۳	g	۱/۵۵	e
	M3	۶۱/۰۰	d	۲۴/۹۱	d	۴/۸۴	e	۱/۹۸	c
	M4	۶۸/۷۶	c	۲۷/۲۱	c	۴/۶۱	f	۱/۸۳	d
S3	M1	۲۴/۳۶	j	۹/۷۶	i	۳/۰۵	h	۱/۲۲	f
	M2	۲۶/۸۷	i	۱۰/۷۶	h	۲/۳۶	j	۰/۹۴	g
	M3	۳۸/۱۳	g	۱۵/۵۴	f	۳/۰۳	h	۱/۲۳	f
	M4	۳۸/۷۸	fg	۱۵/۲۱	f	۲/۶۰	i	۱/۰۲	g

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ندارند.

جدول ۱۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل بیوچار و هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی بر صفات اندازه گیری شده سورگوم علوفه‌ای

بیوچار	هدایت الکتریکی	تأمین نیاز آبی	عملکرد علوفه تازه (تن در هکتار)		عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)		بهره وری مصرف آب علوفه تازه (کیلوگرم به مترمکعب)		بهره وری مصرف آب علوفه خشک (کیلوگرم به مترمکعب)	
B۰	S1	M1	۴۹/۸۴	h	۲۱/۳۶	j	۶/۲۴	h	۲/۶۷	de
		M2	۶۷/۵۸	f	۲۸/۰۶	h	۶/۵۶	g	۲/۷۳	de
		M3	۸۹/۵۳	c	۳۴/۶۹	e	۷/۱۰	ef	۲/۷۵	d
		M4	۸۸/۸۹	c	۳۴/۴۴	e	۵/۹۶	hi	۲/۳۱	g
	S2	M1	۲۷/۵۴	o	۱۰/۹۲	pq	۳/۴۵	m	۱/۳۷	k
		M2	۲۸/۰۹	o	۱۰/۸۱	pq	۲/۷۳	qrs	۱/۰۵	nop
		M3	۴۰/۲۴	jk	۱۵/۳۹	lmno	۳/۱۹	mno	۱/۲۲	klm
		M4	۴۶/۴۵	i	۱۸/۴۶	k	۳/۱۲	nop	۱/۲۴	klm
	S3	M1	۲۶/۴۹	op	۱۰/۸۶	pq	۳/۳۱	mn	۱/۳۶	k
		M2	۲۷/۴۵	o	۱۱/۱۹	p	۱/۹۱	u	۰/۷۸	q
		M3	۳۸/۵۸	klm	۱۵/۲۱	lmno	۳/۰۶	nop	۱/۲۱	klmn
		M4	۴۱/۹۸	j	۱۶/۱۹	l	۲/۸۲	pqr	۱/۰۹	mno
B۱	S1	M1	۴۹/۷۶	h	۲۰/۵۸	j	۶/۲۳	h	۲/۵۸	ef
		M2	۷۵/۴۷	e	۳۱/۶۰	f	۷/۳۳	e	۳/۰۷	c
		M3	۱۰۰/۵۹	b	۳۹/۵۸	d	۷/۹۸	d	۳/۱۴	c
		M4	۱۰۲/۹۳	b	۳۹/۷۵	d	۶/۹۱	f	۲/۶۷	de
	S2	M1	۳۵/۹۳	mn	۱۳/۷۷	o	۴/۵۰	k	۱/۷۲	j
		M2	۴۶/۸۵	hi	۱۸/۱۰	k	۴/۵۵	k	۱/۷۶	j
		M3	۶۹/۴۳	f	۲۸/۸۳	gh	۵/۵۱	j	۲/۲۹	gh
		M4	۸۰/۶۸	d	۳۱/۷۳	f	۵/۴۱	j	۲/۱۳	hi
	S3	M1	۲۶/۰۷	op	۱۰/۱۷	pq	۳/۲۶	mn	۱/۲۷	kl
		M2	۲۸/۹۳	o	۱۱/۶۸	p	۲/۸۱	pqr	۱/۱۳	lmno
		M3	۳۹/۳۱	jkl	۱۵/۸۲	lm	۳/۱۲	nop	۱/۲۶	klm
		M4	۳۶/۸۴	lm	۱۴/۴۸	mno	۲/۴۷	st	۰/۹۷	op
B۲	S1	M1	۶۱/۷۴	g	۲۵/۶۲	i	۷/۷۳	d	۳/۲۱	c
		M2	۱۰۲/۹۱	b	۴۵/۶۰	c	۱۰/۰۰	b	۴/۴۳	a
		M3	۱۳۲/۸۴	a	۵۴/۴۰	a	۱۰/۵۴	a	۴/۳۲	a
		M4	۱۳۵/۵۲	a	۵۲/۳۰	b	۹/۰۹	c	۳/۵۱	b
	S2	M1	۳۳/۳۱	n	۱۴/۰۱	mno	۴/۱۷	l	۱/۷۵	j
		M2	۴۶/۵۳	i	۱۸/۸۱	k	۴/۵۲	k	۱/۸۳	j
		M3	۷۳/۳۴	e	۳۰/۵۰	fg	۵/۸۲	i	۲/۴۲	fg
		M4	۷۹/۱۶	d	۳۱/۴۴	f	۵/۳۱	j	۲/۱۱	i
	S3	M1	۲۰/۵۲	q	۸/۲۶	qr	۲/۵۷	rst	۱/۰۳	op
		M2	۲۴/۲۴	p	۹/۴۱	qr	۲/۳۵	t	۰/۹۱	pq
		M3	۳۶/۴۹	lm	۱۵/۵۹	lmn	۲/۹۰	opq	۱/۲۴	klm
		M4	۳۷/۵۳	klm	۱۴/۹۷	lmno	۲/۵۲	rst	۱/۰۰	op

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند از لحاظ آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی دار ندارند.

نتیجه‌گیری

از نتایج آزمایش‌ها اینگونه مشخص شد که اعمال سطوح بیوچار، هدایت الکتریکی و تأمین نیاز آبی در کشت سورگوم علوفه‌ای بر عملکرد و بهره‌وری علوفه تازه و خشک تاثیر معنی‌دار دارد . در شرایط محدودیت کمی منابع آب، با اعمال یک درصد بیوچار با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی فقط ۱۵ درصد کاهش عملکرد سورگوم تازه مورد انتظار است، این در حالی است که در حالت بدون افزودن بیوچار میزان کاهش عملکرد سورگوم تازه ۲۴/۵ درصد می‌باشد و در شرایط آبیاری کامل با آب ۵ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش ۱ و ۲ درصد بیوچار عملکرد خشک ۸۷ و ۹۸ درصد افزایش می‌یابد. عملکرد و بهره‌وری علوفه تازه در شرایطی که آبیاری با آب‌های شور انجام می‌شود به درصد بیوچار حساس بوده به شکلی که آبیاری کامل با آبی با هدایت الکتریکی ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و بیوچار به میزان ۱ و ۲ درصد وزنی موجب تغییر به میزان ۲/۶+درصد و ۴/۷–درصد در عملکرد علوفه تازه و ۱/۹+درصد و ۵/۲–درصد در بهره‌وری مصرف آب علوفه تازه گردید. همچنین نتایج نشان داد، آبیاری با آب شور و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه موجب تشدید اثر یکدیگر وکاهش معنی‌داری عملکرد و بهره‌وری علوفه می‌شود. به نحوی که در تیمار $B_0S_2M_1$ عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سورگوم خشک به ترتیب ۶۸/۵ و ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در نهایت در کشت سورگوم علوفه‌ای، استفاده مدیریت شده از بیوچار کنوکارپوس به‌عنوان یک ماده افزودنی تاثیر گذار حتی در شرایط محدودیت کمی و کیفی آب توصیه می‌گردد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN:SCU.WI1400.273) برای تأمین هزینه‌های پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از سازمان آب و برق خوزستان بابت حمایت مالی تشکر می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbasalian, J., Soltani, J., Bahrami Samani, A., Hashemi Garm Dere, S. A., Barzoui, A., & Ahmadvand, M. (2022). Investigating the effect of using biochar and wheat straw on the productivity of irrigation water in barley plants. *Water and Irrigation Management*, 11(4), 699-711. (In Farsi)

Abbaspour, F., Asghri, H., Rezvani Moghaddam, P., Abbasdokht, H., Shabahang, J., & Baig Babaei, A. (2017). Effects of biochar application on yield and yield components of black seed (Nigella sativa L.) under low irrigation conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33*(5), 837-852. (In Farsi)

Alburquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of plant nutrition and soil science, 177*(1), 16-25.

Alipour Babadi, M., Moezi, A., Nowrozi Masir, M., & Khadim Al-Rosoul, A. (2018). The effect of biomass type and pyrolysis temperature on some chemical and physical characteristics of biochar. *Iran Water and Soil Research*, 49(3), 537-547. (In Farsi)

Alvarez-Campos, O., Lang, T. A., Bhadha, J. H., McCray, J. M., Glaz, B., & Daroub, S. H. (2018). Biochar and mill ash improve yields of sugarcane on a sand soil in Florida. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 253*, 122-130.

Ayoub, N. A. (2010). A trimethoxyellagic acid glucuronide from Conocarpus erectus leaves: Isolation, characterization and assay of antioxidant capacity. *Pharmaceutical biology, 48*(3), 328-332.

Azizi, A., Soltani Mohammadi, A., Naseri, A., & Aghli, H. (2022). Investigating the effect of frankincense fertilizer, bagasse and sugarcane biochar on yield, water use efficiency and nitrogen leaching in summer corn cultivation in Ahvaz. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 16(1), 109-118.(In Farsi)

Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research, 45*(8), 629-634.

Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y., & Zhang, W. (2019). Past, present, and future of biochar. *Biochar*, *1*(1), 75-87.

Cox, J., Hue, N. V., Ahmad, A., & Kobayashi, K. D. (2021). Surface-applied or incorporated biochar and compost combination improves soil fertility, Chinese cabbage and papaya biomass. *Biochar*, *3*(2), 213-227.

Darvishi Aghajani, S. Noormohammadi, Gh. Alavi Fazel,M. Ardakani,M,R. & Sarajooqi ,M. (2021). Investigating the role of biochar and changing the cultivation pattern under irrigation conditions on morphological traits, dry fodder yield and water consumption efficiency of fodder sorghum. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 13(51), 135-157. (In Farsi)

De Sousa Lima, J. R., de Moraes Silva, W., de Medeiros, E. V., Duda, G. P., Corrêa, M. M., Martins Filho, A. P., Hammecker, C. (2018). Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma, 319*, 14-23.

Dehghani Ahmadabadi, M., Shahnazari, A., Firouzabadi, G., & Ardakani, M. (2021). The effect of irrigation management on growth and water use efficiency of maize plant under different levels of biochar. *Water Management in Agriculture, 8*(1), 67-76.

EL-MAHROUKY, M., El-Naggar, A. H., Usman, A. R., & Al-Wabel, M. (2015). Dynamics of CO2 emission and biochemical properties of a sandy calcareous soil amended with Conocarpus waste and biochar. *Pedosphere, 25*(1), 46-56.

Elshaikh, N. A., Zhipeng, L., Dongli, S., & Timm, L. C. (2018). Increasing the okra salt threshold value with biochar amendments. *Journal of plant interactions, 13*(1), 51-63.

Enteshari, Sh., Aras Khalji, M., Seyed Nejad, S. M., Mansour, S., Vaezi, & Jamil. (2014). A comparative study of leaf surface changes and some biochemical factors of two tree plants Conocarpus (Conocarpus erectus L.) and Jumbo (Syzygium cumini (L.) Skeels.) around the contaminated area of Ahvaz steel industry. *Plant Environmental Physiology*, 9(34), 22-33. (In Farsi)

Eshraqinejad, M., Alavi Sini, S., Ayin, A., & Meshaikhi Akbarabad, H. (2021). Introducing the most suitable fodder sorghum variety in the southern region of Kerman. *Fodder and animal feed*, 2(2), 105-110. (in Farsi)

Fischer, B. M., Manzoni, S., Morillas, L., Garcia, M., Johnson, M. S., & Lyon, S. W. (2019). Improving agricultural water use efficiency with biochar–A synthesis of biochar effects on water storage and fluxes across scales. *Science of the Total Environment, 657*, 853-862.

Govili, A., Mousavi, A., & Kamgar Haqiqi, A. (2016). Effect of cow manure biochar and moisture stress on growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. *Water Research in Agriculture*, 30(2), 243-259. (In Farsi)

Hancioglu, N. E., Kurunc, A., Tontul, I., & Topuz, A. (2019). Irrigation water salinity effects on oregano (Origanum onites L.) water use, yield and quality parameters. *Scientia Horticulturae, 247*, 327-334.

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., & Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (Lycopersicon esculentum). *Chemosphere, 78*(9), 1167-1171.

Huang, R.-d. (2018). Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. *Journal of Integrative Agriculture, 17*(4), 739-746.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 144*(1), 175-187.

Joardar, J., Razir, S., Islam, M., & Kobir, M. (2018). Salinity impacts on experimental fodder sorghum production. *SAARC Journal of Agriculture, 16*(1), 145-155.

Kazemizadeh, M., Naseri, A., Houshmand, A., Gulabi, M., & Maskerbashi, M. (2020). Investigating the effect of biochar and hydrochar (sugarcane bagasse) on yield, water efficiency and nitrogen leaching in corn cultivation. *Iran Water and Soil Research*, 51(3), 753-7.(In Farsi)

Kikhani, F., Ganji Khorramdel, N., Farzan Jo, M., Kikha, G., Thaghafi, K., & Kikha, M. (2018). Investigating the effect of low irrigation on the quantitative yield and water consumption efficiency of fodder sorghum in Sistan region. *Journal of Water Research in Agriculture*, 24(1), 41-49. (In Farsi)

Liu, X., Wei, Z., Ma, Y., Liu, J., & Liu, F. (2021). Effects of biochar amendment and reduced irrigation on growth, physiology, water-use efficiency and nutrients uptake of tobacco (Nicotiana tabacum L.) on two different soil types. *Science of the Total Environment, 770*, 144769, 1-11.

Mannan, M., Mia, S., Halder, E., & Dijkstra, F. A. (2021). Biochar application rate does not improve plant water availability in soybean under drought stress. *Agricultural Water Management, 253*, 106940, 1-8.

Mir, E., Piri, H., & Naserin, A. (2021). Effects of Different Levels of Wheat Biochar and Water Stress on Quantitative and Qualitative Characteristics of Carla (Bitter Melon) in Potted Conditions. *Journal of Water Research in Agriculture, 35*(2), 169-185.

Miri, F., Zamani, J., & Zarebanadkouki, M. (2021). The Effect of Different Levels of Pistachio Harvesting Wastes Biochar on Growth and Water Productivity of Maize (Zea mays L.). *Iranian Journal of Soil and*

Water Research, 52(1), 227-236.

Mukherjee, A., Zimmerman, A., Hamdan, R., & Cooper, W. (2014). Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging. *Solid Earth, 5*(2), 693-704.

Najafinejad, H., Javaheri, M. A., Kohi, N., & Shakri, P.(2018). Yield and quality of fodder and water consumption efficiency of kosher, millet, sorghum and corn under water stress conditions. *Seedling and Seed Agronomy Journal*, (35) 2: 261-283. (In Farsi)

Nikravesh, I., Boroomandnasab, S., Naseri, A., & Mohamadi, A. (2018). Investigating the effect of wheat straw Biochar and Hydrochar on physical properties of a Sandy Loam soil. *Journal of Water and Soil, 32*(2),387-397. (In Farsi)

Noroozi, M., Chavoshie, E., & Ghajar Sepanlou, M. (2022). Effect of irrigation water salinity on relative yield and some morphological and physiological characteristics of Sorghum. *Journal of Water Research in Agriculture, 36*(1), 55-73. (In Farsi)

Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Laird, D. A., Ahmedna, M. A., & Niandou, M. A. (2010). Short-term CO2 mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandiudult. *Geoderma, 154*(3-4), 281-288.

Oladele, S., Adeyemo, A., & Awodun, M. (2019). Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma, 336*, 1-11.

Piri, H., Ansari,P. (2016). Investigating the quantitative and qualitative performance of fodder sorghum at different levels of salinity and irrigation water in the subsurface drip irrigation system. *Water Research in Agriculture*, 30(4), 467-482. (In Farsi)

Rafii M. (2018). The effect of planting time on the growth and yield of fodder sorghum cultivars (Sorghum bicolor L.) in the second crop in the temperate zone of Lorestan province. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 20(3), 180-192. (In Farsi)

Reyes-Cabrera, J., Leon, R. G., Erickson, J. E., Rowland, D. L., Silveira, M. L., & Morgan, K. T. (2017). Differences in biomass and water dynamics between a cotton-peanut rotation and a sweet sorghum bioenergy crop with and without biochar and vinasse as soil amendments. *Field Crops Research, 214*, 123-130.

Rezaie, N., Razzaghi, F., Sepaskhah, A., & Moosavi, S. (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.

Shahidi, A., F. Bahrami, Mod, M. H. N., & Siuki, A. Kh. (2020). Determining the best function of water production-performance and evaluation of cotton production indicators of Varamin and Khordad cultivars in Sarayan region of South Khorasan. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 301-. (In Farsi)

Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Abdulaziz, A.-H., Mahmoud, W.-A., EL-Naggar, A. H., Ahmad, M., Abdulrasoul, A.-O. (2016). Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. *Pedosphere, 26*(1), 27-38.

Yuan, C., Feng, S., Wang, J., Huo, Z., & Ji, Q. (2018). Effects of irrigation water salinity on soil salt content distribution, soil physical properties and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11*(3), 137-145.

Zhang, X., Qu, J., Li, H., La, S., Tian, Y., & Gao, L. (2020). Biochar addition combined with daily fertigation improves overall soil quality and enhances water-fertilizer productivity of cucumber in alkaline soils of a semi-arid region. *Geoderma, 363, 114170*,1-10.