

## Research Paper

# Assessing the Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays*) under Different Levels of Partial Root-Zone Drying Irrigation and Biochar

Maryam Dehghani Amadabadi<sup>1</sup>, ,

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Agriculture and Drainage, Faculty of technical and engineering, University of Payam Noor Tehran, Iran, Email: Dehghani.m55@pnu.ac.ir



10.22125/IWE.2024.437154.1789

Received:  
**February 1, 2024**  
Accepted:  
**May 27, 2024**  
Available online:  
**June 29, 2024**

**Keywords:**  
**deficit irrigation, harvest index, leaf area index, organic fertilizer, Weight of 1000 grains**

## Abstract

Among grains, maize is one of the most productive grains following wheat and rice. And Maize plays a significant role in feeding people across the world in this regard, managing water consumption and improving the soil conditions are two agricultural priorities. The so-called deficit-irrigation is considered as a method to save and manage water consumption. One of the deficits -irrigation practices is an irrigation method under which only a part of the root is irrigated. One way to improve the soil condition is the use of organic fertilizers, including biochar. This research was aimed to investigate the effect of different partial root irrigation treatments at two levels of 65 and 55 percent and to compare them with full irrigation. It was also aimed to use and compare different levels of biochar applications (0, 6 and 12 tons per hectare) on yield and yield components of maize in two cropping seasons. The yield components, grain yield and biomass of maize plants were measured after harvesting. The harvest index as well as the leaf area index was also calculated. The obtained results indicated that the treatment of 65 percent water demand was not significantly different from the full irrigation treatment in terms of grain yield. The increased quantity of applied biochar was led to increasing the maize seeds, so that, the treatment using 12 tons of biochar per hectare has the highest seed yield of 11,559 kg/ha. The treatment without biochar has the lowest seed yield of 8,253 kg/ha. The weight of 1,000 seeds in the treatment using 12 tons per hectare of biochar was 40 percent and 10 percent higher than the treatments without biochar and the one with 6 tons per hectare of biochar, respectively. The harvest index in the treatments of complete irrigation and partial root irrigation of 65 percent was significantly higher than that of partial root irrigation of 55 percent. The effect of irrigation treatments and the interaction of year in irrigation on leaf area index were significant. Also, the effect of biochar on leaf area index was obtained to be significant.

## 1. Introduction

Among grains, maize is one of the most productive grains following wheat and rice. And. Maize plays a significant role in feeding people across the world. Among the agricultural inputs, water and soil as the most important production factors are of special importance. In this regard, managing water consumption and improving the soil conditions are two agricultural priorities. The so-called deficit-irrigation is considered as a method to save and manage water consumption. One of the deficit-irrigation practices is an irrigation method under which only a part of the root is irrigated. One way to improve the soil condition is the use of organic fertilizers, including biochar.

## 2. Materials and Methods

This research was aimed to investigate the effect of different partial root irrigation treatments at two levels of 65 and 55 percent and to compare them with full irrigation. It was also aimed to use and compare different levels of biochar applications (0, 6 and 12 tons per hectare) on yield and yield components of maize in two cropping seasons. The experiments were carried out in the experimental farm of Shahed Foundation in Tehran, Iran. The yield components, grain yield and biomass of maize plants were measured after harvesting. The harvest index as well as the leaf area index was also calculated.

## 3. Results

The obtained results indicated that the treatment of 65 percent water demand was not significantly different from the full irrigation treatment in terms of grain yield. The increased quantity of applied biochar was led to increasing the maize seeds, so that, the treatment using 12 tons of biochar per hectare has the highest seed yield of 11,559 kg/ha. The treatment without biochar has the lowest seed yield of 8,253 kg/ha. The weight of 1,000 seeds in the treatment using 12 tons per hectare of biochar was 40 percent and 10 percent higher than the treatments without biochar and the one with 6 tons per hectare of biochar, respectively. The harvest index in the treatments of complete irrigation and partial root irrigation of 65 percent was significantly higher than that of partial root irrigation of 55 percent. The effect of irrigation treatments and the interaction of year in irrigation on leaf area index were significant. Also, the effect of biochar on leaf area index was obtained to be significant.

## 4. Discussion and Conclusion

Considering that the amount of yield in the partial root irrigation treatment was 65 percent, there was no significant difference with its values in the full irrigation treatment and it had the highest amount of harvest index, as well as the low irrigation treatment of 65 percent at the level of 12 tons in A hectare of biochar resulted in the highest amount of 1000 seed weight, which had a significant difference with the 55 percent low irrigation treatment in all three levels of biochar. Therefore, it is recommended to apply 65 percent irrigation water together with 12 tons per hectare biochar for maize production.

## 5. Six important references

- 1) Ashoori, N. Teixido, M. and Spahr, S. 2019. Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban stormwater runoff. *Water Research*. 154 (1): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.040>.
- 2) Guo, RU. Yang, L. Khaliq, A. and Ren, X. 2022. Interactive Effects of Maize Straw-Derived Biochar and N Fertilization on Soil Bulk Density and Porosity, Maize Productivity and Nitrogen Use Efficiency in Arid Areas. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 22: 4566-4586.
- 3) Leng, I. Huang, H. Li, H. Li, J. and Zhou, W. 2019. Biochar stability assessment methods; review. *Science of the Total Environment*. 647: 210-222. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402)
- 4) Liu, X. Manevski, K. Liu, F. and Andersen, M. N. 2022. Biomass accumulation and water use efficiency of faba bean-ryegrass intercropping system on sandy soil amended with biochar under reduced irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 273: 107905. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107905>.
- 5) Razzaghi, F. Obour, P. and Arthur, E. 2020. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*. 361: 114055. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055>.
- 6) Sarker, K.k. Hussain, A. Timsina, J. Biswas, S.K. Malone, S.L. Alam, M.K. and Bazzaz, M. 2020. Alternate furrow irrigation grain yield and nutrient content and increase crop water productivity in dry season maize in sub- tropical climate of South Asia. *Agricultural Water managed*. 238: 106229. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106229>.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای (*Zea mays*) تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری بخشی ریشه و بیوچار

مریم دهقانی احمدآبادی<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

مقاله پژوهشی

### چکیده

گیاه ذرت یکی از پرمحصول‌ترین غلات بعد از گندم و برنج، به حساب می‌آید. کم آبیاری یکی از راه‌های صرفه‌جویی و مدیریت مصرف آب می‌باشد. یکی از روش‌های کم آبیاری، آبیاری به روش آبیاری بخشی ریشه می‌باشد. همچنین برای بهبود وضعیت خاک می‌توان از کودهای آلی از جمله بیوچار استفاده نمود. این تحقیق به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کم آبیاری بخشی ریشه در دو سطح ۶۵ و ۵۵ درصد و مقایسه با آبیاری کامل و سطوح مختلف مصرف بیوچار (صفر، ۶ و ۱۲ تن در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای در دو فصل زراعی در تهران انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار ۶۵ درصد نیاز آبی از نظر عملکرد دانه با تیمار آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری نداشت. افزایش مصرف بیوچار منجر به افزایش میزان عملکرد دانه ذرت شده، به طوری که تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار دارای بیشترین عملکرد دانه برابر ۱۱۵۵۹ کیلوگرم در هکتار بوده و تیمار عدم مصرف بیوچار دارای کمترین مقدار عملکرد دانه به میزان ۸۲۵۳ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار وزن هزاردانه در تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمارهای بدون مصرف بیوچار و مصرف ۶ تن در هکتار بیوچار به ترتیب ۴۰ و ۱۰ درصد بیشتر بود. مقدار شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در تیمار آبیاری بخشی ریشه ۵۵ درصد بود. اثر تیمارهای آبیاری و برهمکنش سال در آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، کم آبیاری، کود آلی، وزن هزار دانه

<sup>۱</sup> استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران Dehghani.m55@pnu.ac.ir (\* نویسنده مسئول)

## مقدمه

با توجه به مشکلات کم آبی در کشور، به جای تلاش جهت افزایش تولید در واحد سطح بهتر است، افزایش میزان تولید به ازای واحد آب مصرفی یعنی افزایش بهره‌وری مدنظر قرار گیرد. در این راستا، کم آبیاری یکی از راه‌های صرفه‌جویی و استفاده بهینه از منابع محدود آب می‌باشد. یکی از روش‌های کم آبیاری، آبیاری به روش آبیاری بخشی ریشه<sup>۲</sup> است. در این روش، با دادن آب به بخشی از ریشه و خشک نگه داشتن بخش دیگری از آن، در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد (Kang et al., 2004). در روش آبیاری بخشی ریشه، در هر آبیاری فقط یک طرف ریشه آبیاری می‌شود. در واقع، ردیف‌ها به صورت یک در میان آبیاری شده و جای ردیف‌های خشک و تر با هم عوض می‌شود. در این روش، نیمی از ریشه‌ها که خشکی خاک را حس می‌کنند باعث می‌شود اسید آبسسیک (ABA) ترشحی، توسعه برگ و هدایت روزنه‌ها را کاهش دهد و به‌طور همزمان در قسمت خیس خاک، ریشه‌ها آب کافی جذب می‌کنند تا مقدار آب اندام هوایی گیاه را تأمین کنند (Wang et al., 2019). کاهش آب مصرفی توأم با افزایش کارایی مصرف آب در روش آبیاری بخشی ریشه در گیاهان ذرت (Yazar et al., 2020, Sarker et al., 2009)، گوجه فرنگی (Zegbe et al., 2019, Wang et al., 2004، پنبه (Kirda et al., 2007) و سیب‌زمینی (Jovanovic et al., 2010) گزارش شده است. نتایج تحقیق (Wu et al., 2015) بر روی گیاه ذرت نشان داد که میزان جذب آب توسط ریشه در شرایط آبیاری یک در میان از سمتی که ریشه آبیاری شده بیشتر از آبیاری بهینه بود.

ماده آلی ماده‌ای از ترکیبات آلی است که از بقایای ارگانیک‌های مُرده از دسته گیاهان و جانوران و مواد زائد و دورریختنی‌های آن‌ها در محیط به وجود آمده است. که باعث حاصل‌خیزی زمین‌های زراعی است. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب کاهش روزافزون مقدار مواد آلی در خاک‌های کشاورزی شده که به دنبال آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد. بنابراین برای حفظ حاصل‌خیزی

خاک، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست‌محیطی، مصرف کودهای آلی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (Zhang et al., 2014). یکی از کودهای آلی، بیوپچار است که در سال‌های اخیر استفاده از آن در کشاورزی رواج پیدا کرده است (Leng et al., 2019).

بیوپچار، زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (Ashoori et al., 2019). هنگامی که بیوپچار به خاک اضافه می‌شود، می‌تواند با بهبود اندازه خلل و فرج خاک، باعث افزایش ذخیره آب در خاک شود. افزودن بیوپچار باعث تولید انرژی، تثبیت کربن، افزایش مواد غذایی خاک و نگهداشت آب در خاک می‌شود که به افزایش عملکرد محصول کمک می‌کند (Leng et al., 2019). بیوپچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، می‌تواند ذخیره آب خاک و عملکرد محصول را افزایش دهد (Liu et al., 2022). کاربرد بیوپچار در خاک با توجه به اینکه ریشه‌ها در تماس مستقیم با بیوپچار و خاک هستند، به‌عنوان روشی جهت بهبود کیفیت خاک و در نتیجه افزایش عملکرد محصول می‌باشد. به عبارت دیگر ریشه‌ها موجب در دسترس بودن مواد غذایی و افزایش ذخیره آب در خاک می‌گردد (Razzaghi et al., 2020). از اثرات مثبت افزودن بیوپچار در خاک به افزایش آب قابل دسترس گیاه (Martinsen et al., 2014; Buss et al., 2012) (Brennan et al., 2016) (افزایش نگهداری رطوبت خاک (Buss et al., 2012)، اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک (Andrenelli et al., 2016)، افزایش پایداری خاکدانه (Herath et al., 2013) و بهبود خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل افزایش کربن آلی خاک، نیتروژن خاک و فراهمی عناصر غذایی خاک (Ma et al., 2016) اشاره نمود. نتایج آزمایشات نشان داد که با کاربرد بیوپچار در خاک صفات ریشه از جمله تراکم و طول ریشه افزایش پیدا کرد (Bruun et al., 2014). کاربرد بیوپچار باعث افزایش ارتفاع گیاه ذرت، قطر ساقه، بهبود مقدار کلروفیل و میزان فتوسنتز خالص و افزایش عملکرد دانه و تحریک و ضخیم



ظرفیت نگهداشت آب بود. لذا بیوچار باگاس نیشکر در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ادامه تحقیق انتخاب گردید. در مورد مقدار بیوچار مورد استفاده، با توجه به تحقیقات سایر محققین، مقدار ۶ و ۱۲ تن در هکتار در نظر گرفته شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی بنیاد شهید واقع در احمدآباد مستوفی تهران روی گیاه ذرت (رقم ۲۶۰) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی است. در سال اول در طول فصل زراعی، ۳۸/۷ میلی‌متر بارندگی و در سال دوم در طول فصل زراعی ۱/۲ میلی‌متر بارندگی رخ داد.

در این تحقیق عامل مدیریت آبیاری شامل سه سطح ((آبیاری کامل (FI)، آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>65</sub>) و آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵ درصد آبیاری کامل (PRD<sub>55</sub>)) و مصرف بیوچار نیز شامل سه سطح ((بدون مصرف بیوچار (B<sub>0</sub>))، کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار (B<sub>6</sub>) و کاربرد ۱۲ تن در هکتار بیوچار (B<sub>12</sub>)) بود. مقادیر ۱۰/۵ و ۲۱ کیلوگرم بیوچار به ترتیب در تیمارهای ۶ تن در هکتار و ۱۲ تن در هکتار روی سطح خاک پخش شد. کاربرد بیوچار یکبار در هر سال و قبل از کاشت ذرت بود. بیوچار استفاده شده ترکیبی از ۸۰ درصد بیوچار باگاس نیشکر و ۲۰ درصد بیوچار چوب درخت لیمو بود. قبل از کاشت آزمون خاک به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه خاک‌شناسی و مکانیک خاک شرکت مهندسی آب و خاک پارس تعیین شد (جدول ۱). در هر کرت آزمایشی ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و فاصله بین کاشت گیاهان ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر وجود داشت. طول دوره رشد تا زمان برداشت حدود ۱۱۰ روز بود

شدن ریشه و زنده ماندن سلول‌های ریشه شد (Sun *et al.*, 2017)

ذرت بخشی از رژیم غذایی اصلی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه است. و از مهمترین منابع غذایی محسوب می‌شود (Ranum *et al.*, 2014). با افزایش روز افزون جمعیت جهان، تولید ذرت باید تا سال ۲۰۵۰ تا ۶۶ درصد افزایش یابد تا تقاضای جهانی برآورده شود (Alexandratos and Bruinsma, 2012). با توجه به اهمیت گیاه ذرت و نظر به اینکه کشور ما جز مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا بوده و در طی سالیان اخیر نیز خشکسالی‌های بی‌سابقه‌ای را تجربه می‌نماید و روز به روز از میزان منابع آبی کشور کاسته می‌شود، نقش استفاده از روش‌های کم آبیاری و همچنین افزایش ماده آلی خاک با استفاده از اصلاح کننده‌های آلی نظیر بیوچار برای افزایش رشد گیاه ذرت پررنگ‌تر به نظر می‌رسد.

بدین منظور در این تحقیق با تلفیق کم آبیاری بخشی ریشه و بیوچار، تاثیر این دو پارامتر را همزمان روی وزن هزار دانه گیاه ذرت، کل دانه بلال، عملکرد دانه، شاخص برداشت و شاخص سطح برگ بررسی گردید. در مورد انتخاب درصد آبیاری بخشی ریشه با توجه به اینکه برخی پژوهشگران با اعمال PRD<sub>70</sub> روی گیاه ذرت به نتیجه‌ی عدم کاهش معنی‌دار محصول دست یافته‌اند، لیکن در این تحقیق، یکی از تیمارهای مورد بررسی، PRD<sub>65</sub> در نظر گرفته شد تا امکان صرفه‌جویی آب به اندازه ۵ درصد بیشتر، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پژوهشگران در PRD<sub>50</sub> به دلیل شدید بودن تنش آبی در گیاه ذرت، به نتیجه مطلوب نرسیده‌اند. بنابراین PRD<sub>55</sub> برای این منظور انتخاب شد. در مورد نوع بیوچار مورد استفاده، بیوچارهای کاه گندم، باگاس نیشکر، پوسته برنج، چوب درخت لیمو و نراد که در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شده‌اند، انتخاب شدند و در آزمایشگاه ظرفیت نگهداشت آب بیوچارهای انتخاب شده اندازه‌گیری گردید و باگاس نیشکر در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین

جدول (۱): خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق (m)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک	کربن آلی (%)	ظرفیت وزنی زراعی (%)	شوری (dS/m)	pH	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
۳۰-۰	۴۵	۲۲/۵	۳۲/۵	لومی	۱/۳۷۳	۱۵/۷۵	۰/۱۸	۶/۹۵	۱/۶۷	۰/۱۵۶	۳۵/۹	۲۱۸۰

کمک کنتور با دقت یک لیتر ثبت شد. در جدول (۲) مقدار آب مصرفی برای تیمارهای مختلف ارایه شد. مقادیر آب داده شده در دو سال تحقیق در آبیاری بخشیه در سطح ۵۵ درصد آبیاری بخشی ریشه و در سطح ۶۵ درصد آبیاری بخشی ریشه به ترتیب، ۶۸ و ۷۵ درصد از مقدار آب مصرفی تیمار آبیاری کامل بودند. از آنجایی که تا ۴۰ روز اول رشد ذرت، همه تیمارها یکسان آبیاری شدند و اعمال تیمار کم-آبیاری از روز ۴۱ م شروع شد، لذا درصد آب مصرفی در کل دوره رشد بیشتر از درصد اعمال تیمارهای مختلف کم-آبیاری بود. در مجموع، تیمارهای کم آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد آبیاری کامل، باعث کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب و در سطح ۵۵ درصد آبیاری کامل، باعث کاهش ۳۲ درصدی مقدار آب مصرفی شدند

سیستم آبیاری مورد استفاده در این پژوهش آبیاری قطره‌ای نواری (Tape) با فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی-متر بود. که دو عدد نوار تپ در دو طرف هر ردیف کاشت با توجه به فاصله ردیف کاشت که ۲۰ سانتی متر بود، به فاصله ۱۰ سانتی متر از گیاه روی زمین نصب شدند. تیمارهای آبیاری، ۴۰ روز بعد از شروع کاشت اعمال شد. در آبیاری بخشی ریشه، به صورت تناوبی در هر آبیاری، تنها در یکی از نوارها آب جریان داشت تا از خشک بودن نیمی دیگر از سیستم ریشه اطمینان حاصل شود. اما در آبیاری کامل، به طور همزمان در هر دو نوار، آب جریان داشت. برای آبیاری بخشی ریشه، ۶۵ و ۵۵ درصد از حجم آب تیمار آبیاری کامل داده شد. عملیات آبیاری تا ۱۴ روز قبل از برداشت ادامه داشت. در هر آبیاری حجم آب مصرفی هر تیمار به

جدول (۲): میانگین حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف آبیاری (مترمکعب در هکتار)

تیمار آبیاری	مجموع آب مصرفی	آب مصرفی/آبیاری کامل
آبیاری بخشی ریشه (۵۵٪)	۴۸۴۸	۳۲
آبیاری بخشی ریشه (۶۵٪)	۵۳۵۱	۲۵
آبیاری کامل	۷۱۳۳	-

است، لذا در زمان آبیاری، براساس داده‌های قرائت شده توسط TDR و کمبود آب موجود، عمق مورد نیاز آبیاری تعیین و به خاک داده شد. نیاز آبیاری بر پایه رابطه (۱) تعیین شد:

$$D_n = \sum_{i=1}^m \left[ \frac{(\theta_{Fci} - \theta_{li}) \times D_i}{100} \right]$$

(۱)

برای بررسی رطوبت در خاک، در هر تیمار دو رطوبت-سنج الکترومغناطیس (TDR) تا عمق ۶۰ سانتی متری، از سطح زمین به فاصله ۱۰ سانتی متر از ردیف کاشت در دو طرف گیاه، نصب شدند. در رطوبت‌سنج‌های نصب شده، رطوبت هر سه روز یکبار در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی متر اندازه‌گیری شد. دور آبیاری سه روز لحاظ شده بود و اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک قبل از هر آبیاری انجام شد. نظر به این که در آبیاری کامل، هدف رساندن رطوبت در محدوده ریشه به حد ظرفیت زراعی

اندازه‌گیری شدند. میانگین مقادیر صفت اندازه‌گیری شده در سه گیاه، به‌عنوان مقدار آن صفت در تکرار مورد نظر لحاظ شد.

تعداد کل دانه در بلال از شمارش دانه‌های هر بلال محاسبه شد. با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم، ساقه، برگ‌های بلال، بقیه برگ‌ها، هزار دانه بلال، چوب بلال، ریشه و زیست‌توده کل ذرت، وزن شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاه، بوته‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند.

شاخص برداشت بر حسب درصد با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Donald and Hamblin., 1976).

$$HI = \frac{Yield}{Biomass} * 100 \quad (2)$$

Yield: میزان عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

Biomass: عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)

فرعی: آبیاری، عامل فرعی: بیوچار) مورد آنالیز قرار گرفت و پس از انجام تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین توسط آزمون توکی در سطح ۵ درصد انجام شد.

مقادیر جرم مخصوص ظاهری، مقدار آب قابل جذب، رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و آب در دسترس نیز توسط نرم‌افزار آماری SAS در قالب کرت‌های یک‌بار خرد شده مورد آنالیز قرار گرفت.

### نتایج و بحث

عریض‌ترین قسمت برگ × طول برگ = مساحت سطح برگ × ۷۵/۰ نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه، کل دانه بلال و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر تیمارهای آبیاری بر اجزای عملکرد ذرت معنی‌دار شد. همچنین اثر سال بر کل دانه بلال و عملکرد دانه معنی‌دار شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سال کشت در آبیاری روی وزن هزار دانه در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری داشت

که در این رابطه  $D_n$  نیاز آبی (میلی‌متر)،  $\theta_{Fci}$  مقدار رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی (درصد)،  $\theta_{Ii}$  میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد)،  $D_i$  عمق خاک آبیاری شده (میلی‌متر) و  $i$  عمق‌های خاک مورد نظر می‌باشند.

برای تعیین اجزا عملکرد گیاه ذرت، در پایان فصل رشد با حذف ردیف‌های کناری و ابتدا و انتهای هر کرت از ردیف‌های میانی، ۳ عدد گیاه ذرت به‌صورت کاملا تصادفی برداشت شد. در زمان برداشت، ارتفاع گیاه با استفاده از متر و ارتفاع تاسل، قطر وسط گره دوم و سوم، ارتفاع بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال با استفاده از کولیس

به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، در ۸۹مین روز از کاشت در هر فصل، از هر سه تکرار مربوط به هر تیمار، یک گیاه کف‌بر شده و برای اندازه‌گیری سطح برگ استفاده شد. مساحت سطح برگ از رابطه (۳) محاسبه شد.

(۳)

### آزمون تجزیه واریانس

داده‌های اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار آماری SAS در قالب کرت‌های دو بار خرد شده (عامل اصلی: سال، عامل

جدول (۳): نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار بر عملکرد دانه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزار دانه	کل دانه بلال	عملکرد دانه
آبیاری	۲	**۲۹۷۰/۰	*۲۶۱۸۲۷	**۵۰۹۶۰۵۰۶
سال	۱	ns۳۲۷/۶	*۳۴۲۸۸۵	**۵۴۸۳۵۸۵۰
تکرار	۲	ns۵۱۴/۵	ns۱۲۱۲۲	ns۱۷۵۳۲۰۶
سال × آبیاری	۲	*۸۰۱/۷	ns۲۸۰۵۵	ns۷۴۹۷۹۶۵
خطای الف	۴	ns۱۰۴۹/۴	ns۸۰۴۳۳	ns۸۵۱۹۳۸۲
بیوچار	۲	ns۵۲۵/۹	ns۱۵۰۷۸۱	ns۲۵۳۸۷۷۱
آبیاری × بیوچار	۴	ns۳۹۵/۲	ns۱۱۳۸۰۲	ns۴۲۲۹۹۳۹
سال × بیوچار	۲	ns۲۴۰/۱	ns۴۰۹۸۸	ns۳۴۱۶۲۸۳
سال × آبیاری × بیوچار	۴	ns۷۸/۹	ns۳۸۹۵۵	ns۱۷۱۴۷۴۶
خطا	۲۴	۱۷۷/۱	۷۳۲۸۶	ns۳۳۵۵۶۳۳
ضریب تغییرات		۸/۲	۱۷/۵	۱۹/۷

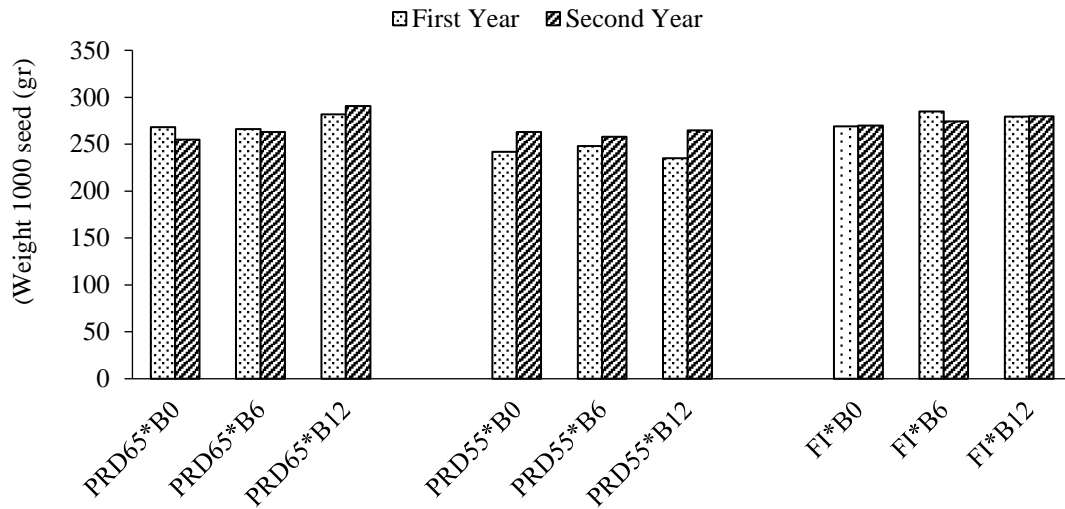
\*, \*\* و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار می باشند.

### وزن هزار دانه

نتایج مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای آبیاری و بیوچار بر وزن هزار دانه ذرت در شکل (۱) ارایه شده است. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری کامل در سطح مصرف ۱۲ تن بیوچار، منجر به بالاترین وزن هزار دانه به مقدار ۲۷۶/۲ گرم شد. اما، تیمار PRD<sub>55</sub> در همه سطوح مصرف بیوچار دارای کمترین میزان وزن هزار دانه (۲۵۱/۷ گرم) بود که اختلاف معنی داری با تیمار آبیاری کامل داشت. از طرف دیگر، بیشترین وزن هزار دانه ذرت به میزان ۲۸۶/۲ گرم در تیمار PRD<sub>65</sub> و مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار به دست آمد.

کمترین مقدار وزن هزار دانه به مقدار ۲۴۹/۸ گرم در تیمار PRD<sub>55</sub> و مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار به دست آمد که ۱۳/۷ درصد نسبت به بیشترین مقدار وزن هزار دانه کمتر بوده است. سپهری و همکاران و مجیدیان و همکاران

کاهش میزان وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه ذرت را در نتیجه اعمال کم آبیاری معمولی گزارش کرده- اند (Sepehri, et al., 2002; Majidian et al., 2008). براساس نتایج، در همه سطوح مصرف بیوچار، اختلاف معنی داری بین وزن هزاردانه در دو سال متوالی کشت ذرت وجود ندارد. اما با افزایش مصرف بیوچار، مقدار وزن هزار دانه ذرت در هر دو سال متوالی روندی افزایشی داشته و تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار در سال دوم، بیشترین مقدار وزن هزاردانه یعنی ۲۷۸/۳ گرم را نتیجه داده است. نتایج این تحقیق با نتایج ژانگ و همکاران مطابقت دارد (Zhang et al., 2014). به طور کلی، مقدار وزن هزاردانه در تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار نسبت به تیمارهای بدون مصرف بیوچار و مصرف ۶ تن در هکتار بیوچار به ترتیب ۴۰ درصد و ۱۰ درصد بیشتر بود.

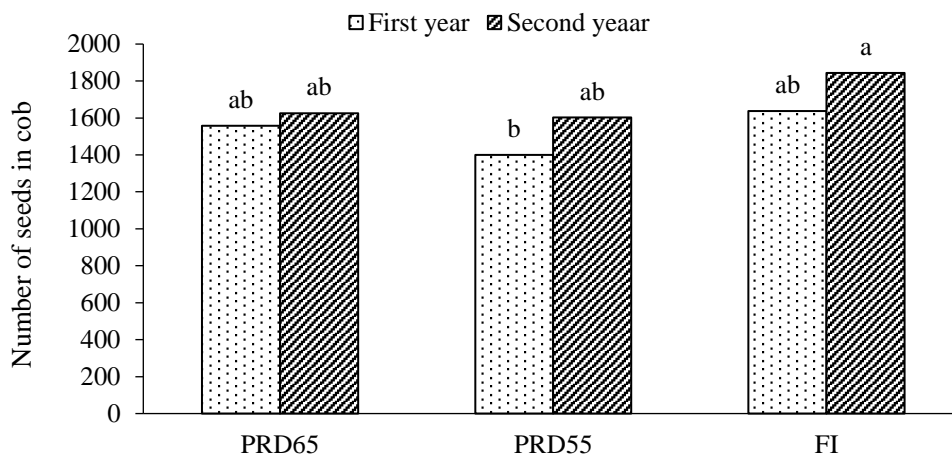


شکل (۱): اثر آبیاری، بیوچار و سال کشت روی وزن هزاردانه گیاه ذرت

در همه سطوح آبیاری و مصرف بیوچار، تعداد کل دانه در بلال در سال دوم به صورت معنی داری بیشتر از سال اول بود. از طرف دیگر، بیشترین مقدار دانه در بلال ذرت در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار به میزان ۲۰۷۴ عدد به دست آمد. کمترین میزان دانه در بلال نیز در تیمار PRD<sub>55</sub> و مصرف ۶ تن در هکتار بیوچار در سال اول به تعداد ۱۳۰۴ عدد مشاهده شد. بنابراین، افزایش مصرف بیوچار در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری، تعداد کل دانه در بلال ذرت را افزایش داد. نتایج این تحقیق با نتایج واکاری و همکاران و یازار و همکاران همخوانی دارد (Yazar *et al.*, 2009; Vaccaria *et al.*, 2011)

#### تعداد کل دانه در بلال

در شکل (۲)، نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل آبیاری در سال کشت روی تعداد کل دانه در بلال ذرت نشان داده شد. اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد کل دانه در بلال معنی دار شد، به طوری که تیمار آبیاری کامل با ۱۷۴۰ دانه در بلال، اختلاف معنی داری نسبت به تیمار کم آبیاری ۵۵ درصد با ۱۵۰۱ دانه در بلال داشت. اما در تیمار کم آبیاری ۶۵ درصد، تعداد دانه در بلال در هر دو سال اختلاف معنی داری با مقدار آن در تیمار آبیاری کامل نداشت. نتایج نشان داد که به طور کلی عملکرد ذرت دانه ای با تنش خشکی کاهش می یابد اما اعمال روش PRD<sub>65</sub> می تواند اثرات محدود کننده کم آبیاری را کاهش دهد.



شکل (۲): تاثیر سطوح مختلف آبیاری در سال کشت روی تعداد کل دانه در بلال گیاه ذرت

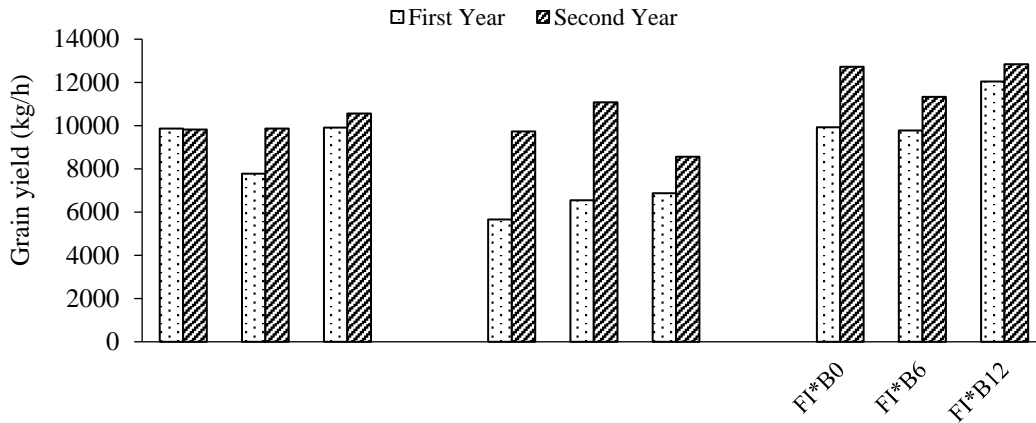
ستون‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عملکرد ذرت علوفه‌ای نشان دادند که به‌طور کلی، عملکرد ذرت علوفه‌ای با تنش خشکی کاهش می‌یابد اما اعمال روش PRD متغیر می‌تواند اثرات محدود کننده کم‌آبیاری را کاهش دهد. به‌طوری که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد علوفه در تیمار آبیاری کامل با تیمار تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و روش PRD متغیر مشاهده نشد.

هر چند مقدار عملکرد در تیمارهای مختلف بیوچار معنی‌دار نشد اما عملکرد در تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیشتر از بقیه تیمارها بود. از طرف دیگر، عملکرد دانه ذرت در سال دوم بیشتر از سال اول بود، که می‌توان آن را متأثر از بهبود وضعیت خاک با افزودن بیوچار مرتبط دانست. واکاری و همکاران (۲۰۱۱) نیز افزایش عملکرد دانه را در تیمارهای استفاده از بیوچار مشاهده نمودند و افزایش در عملکرد دانه را به بهبود خصوصیات خاکی از قبیل کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش دسترسی عناصر غذایی برای گیاه نسبت داد (Vaccaria *et al.*, 2011)

### عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار برای دو سال متوالی در شکل (۳) نشان داده شد. عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری از عملکرد دانه در تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر بود و عملکرد در تیمار کم‌آبیاری ۶۵ درصد نیز با اختلاف معنی‌داری بیشتر از تیمار کم‌آبیاری ۵۵ درصد بود. بیشترین عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۱۲۸۳۶ کیلوگرم در هکتار، مربوط به تیمار آبیاری کامل در سال دوم با مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. کمترین مقدار عملکرد نیز مربوط به تیمار کم‌آبیاری ۵۵ درصد در سال اول و بدون مصرف بیوچار بود. در شرایط تنش خشکی، تنش‌های اکسایشی به‌عنوان تنش ثانویه عمل کرده و ضمن کاهش پایداری غشاء سلولی، سرعت فتوسنتز و نهایتاً عملکرد را کاهش می‌دهند (Guo *et al.*, 2022). نادری و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر



شکل (۳): تاثیر سطوح آبیاری، بیوچار و سال کشت روی عملکرد دانه گیاه ذرت

همچنین اثر متقابل آبیاری و بیوچار نیز بر شاخص برداشت معنی دار شد.

اثر تیمارهای آبیاری و اثر متقابل سال در آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی دار شد. همچنین اثر بیوچار بر شاخص سطح برگ بسیار معنی دار شد، که تاثیر بالای بیوچار و شرایط تغذیه‌ای گیاه بر سطح برگ را بیان می‌کند

### شاخص های عملکرد

در جدول ۴، میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار بر شاخص‌های عملکرد ذرت آورده شد. نتایج نشان داد اثر تیمارهای آبیاری و سال کشت بر شاخص برداشت بسیار معنی دار شد.

جدول (۳) تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار بر شاخص عملکرد ذرت

شاخص سطح برگ	شاخص برداشت	درجه آزادی	منابع تغییرات
*.۰/۲۲۸۵۶	**./۰/۰۱۷	۲	آبیاری
ns./۰/۱۲۰۵۱	**./۰/۰۲۱	۱	سال
ns./۰/۰۹۰۱۳	ns./۰/۰۰۶	۲	تکرار
*.۰/۲۳۶۰۶	ns./۰/۰۰۴	۲	سال × آبیاری
.۰/۳۲۹۴۲	.۰/۰۰۴	۴	خطای الف
**./۰/۴۹۸۴۰	ns./۰/۰۰۶	۲	بیوچار
ns./۰/۱۴۵۸۴	*./۰/۰۰۷	۴	آبیاری × بیوچار
ns./۰/۰۱۲۷۴	ns./۰/۰۰۱	۲	سال × بیوچار
ns./۰/۰۷۷۱۴	ns./۰/۰۰۲	۴	سال × آبیاری × بیوچار
.۰/۰۶۹۱۲	.۰/۰۰۳	۲۴	خطا
۹/۱	۱۱/۷		ضریب تغییرات

\*, \*\* و ns به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند

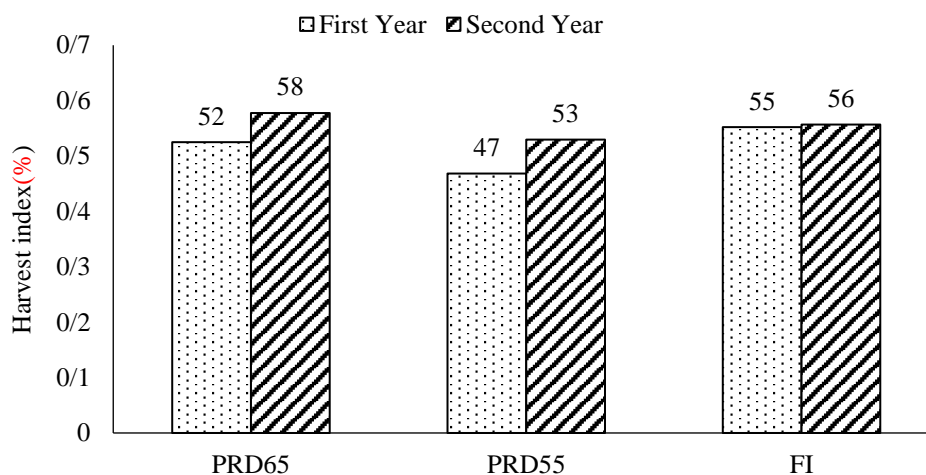
بیشتر بود که رابطه مستقیمی با عملکرد دانه ذرت دارد. مقدار شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در تیمار آبیاری بخشی ریشه ۵۵ درصد بود. همچنین

### شاخص برداشت

در شکل (۴)، شاخص برداشت در بین تیمارهای آبیاری و سال کشت ارائه شد. براساس نتایج، مقدار شاخص برداشت در سال دوم نسبت به سال اول به‌طور معنی‌داری

بیشتر از مقدار آن در تیمار آبیاری بخشی ریشه ۵۵ درصد در سال اول بود

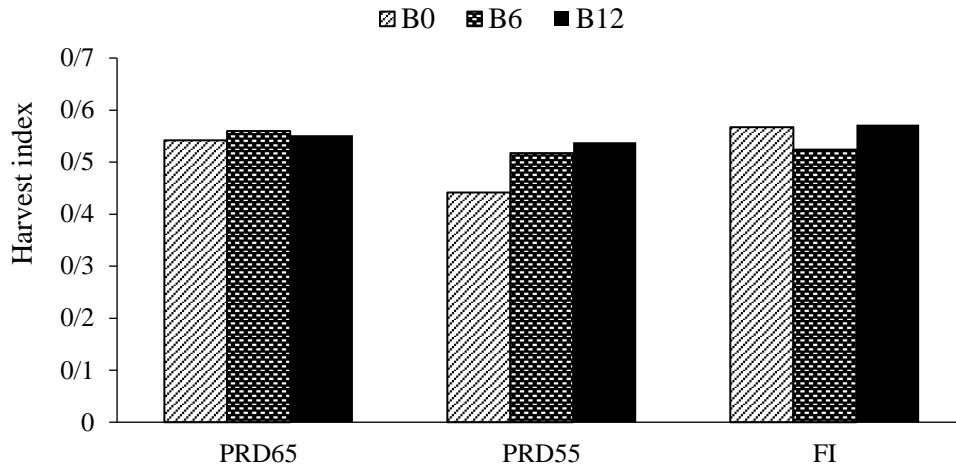
نتایج نشان داد که مقدار شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد و آبیاری کامل در سال دوم



شکل (۴): شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری و سال کشت

و کم آبیاری معمولی، متفاوت بودن شرایط محیطی در سطح مزرعه، همچون شرایط آب و هوایی، خاک، نوع گیاه، نوع و میزان کود و زمان اعمال آن، می‌تواند بر نتایج حاصل از تیمار آبیاری بخشی ریشه تأثیر بگذارد (Kang and Zhang, 2004). توانایی بیوپار در بهبود خواص هیدروفیزیکی خاک و در دسترس بودن مواد مغذی ممکن است مستقیماً بر بهره‌وری مصرف آب گیاه تأثیر بگذارد و باعث افزایش شاخص برداشت شود (Guo et al., 2022)

تأثیر تیمارهای آبیاری در بیوپار بر شاخص برداشت گیاه ذرت در شکل (۵) نشان داده شد. افزایش مصرف بیوپار در خاک منجر به افزایش مقدار شاخص برداشت در همه سطوح آبیاری و آبیاری بخشی ریشه گردید که تیمار PRD55 و بدون مصرف بیوپار دارای کمترین مقدار شاخص برداشت بود. تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوپار دارای بیشترین مقدار شاخص برداشت در همه تیمارهای آبیاری بود. کانگ و ژانگ بر این باورند که به‌رغم برتری‌های روش آبیاری بخشی ریشه نسبت به روش‌های آبیاری کامل



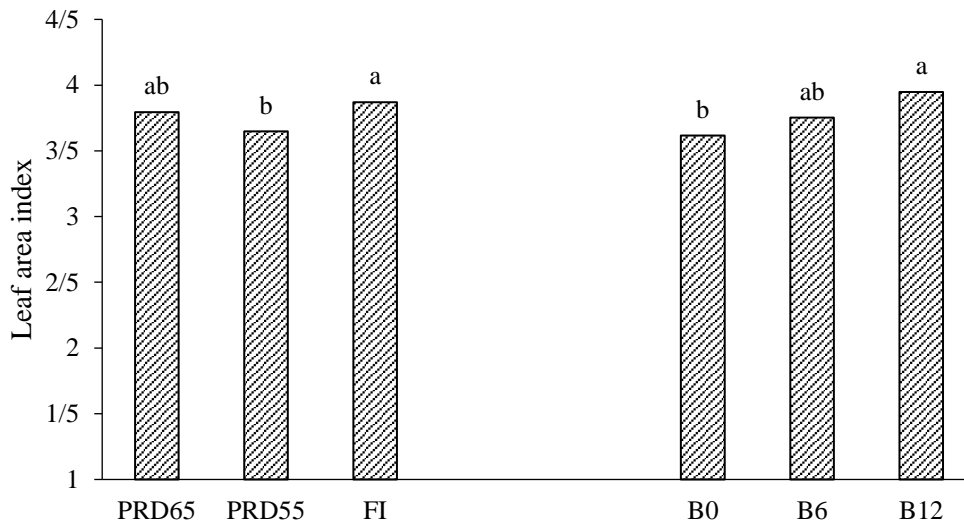
شکل (۵): شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری و بیوچار

آن با تکنیک‌های دیگر آبیاری نظیر آبیاری کامل و کم-آبیاری سنتی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سیب‌زمینی، گزارش کردند که هر دو شیوه آبیاری بخشی ریشه و کم‌آبیاری سنتی باعث کاهش معنی‌دار در مساحت سطح برگ و بیوماس تولید شده در مقایسه با آبیاری کامل شدند (Liu et al., 2006).

بین مقادیر شاخص سطح برگ در تیمارهای مصرف بیوچار اختلاف معنی‌دار وجود داشت، به طوری که شاخص سطح برگ در تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار با اختلاف معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در تیمار بدون مصرف بیوچار بود. با افزایش مصرف بیوچار، مقدار شاخص سطح برگ افزایش یافت که آن را می‌توان متأثر از تغذیه مناسب گیاه از خاک دانست. واکاری و همکاران (۲۰۱۵) مقدار ۱۴ تن در هکتار بیوچار را برای کشت محصول گوجه‌فرنگی، استفاده کردند. نتایج نشان داد کاربرد بیوچار باعث افزایش رشد گیاه در موقع برداشت محصول و کاهش پتانسیل آب برگ در دوره گرم‌تر (Vaccaria et al., 2015)

#### شاخص سطح برگ

در شکل (۶) نتایج مقایسه میانگین تاثیر سطوح مختلف آبیاری و تیمارهای مصرف بیوچار بر شاخص سطح برگ ذرت نشان داده شد. نتایج بیان می‌کند که شاخص سطح برگ در تیمار کم‌آبیاری ۶۵ درصد اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نداشت که نشان می‌دهد مقدار آب مصرف شده در این تیمار برای رشد برگ‌ها مناسب بوده است. از طرف دیگر، شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار کم‌آبیاری ۵۵ درصد بود. مهمترین عامل فیزیولوژیکی که مقاومت به خشکی در محصولات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، کاهش سطح برگ و دوره رویشی کوتاه‌تر، قابلیت ریشه‌دهی برای بهره‌برداری از رطوبت عمقی خاک و توانایی تنظیم اسمزی و کنترل هدرروی آب غیر روزنه‌ای از برگ‌ها می‌باشد (Dong et al., 2020). لیو و همکاران با بررسی تاثیر PRD و مقایسه



شکل (۶): نتایج مقایسه میانگین تاثیر آبیاری و بیوچار روی شاخص سطح برگ

ستون‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

و تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار دارای عملکرد دانه برابر ۱۱۵۵۹ کیلوگرم در هکتار بوده است و نسبت به تیمارهای بدون مصرف بیوچار و مصرف ۶ تن در هکتار بیوچار دارای افزایش به ترتیب ۴۰ درصد و ۱۰ درصدی بود.

### پیشنهادات

با توجه به اینکه میزان عملکرد در تیمار آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد، اختلاف معنی داری با مقادیر آن در تیمار آبیاری کامل نداشتند و دارای بیشترین مقدار شاخص برداشت بود و همچنین تیمار کم آبیاری ۶۵ درصد در سطح ۱۲ تن در هکتار بیوچار منجر به بالاترین مقدار وزن هزار دانه شد که اختلاف معنی دار با تیمار کم آبیاری ۵۵ درصد در هر سه سطح بیوچار داشت. بنابراین اعمال تیمار ۶۵ درصد آبیاری بخشی ریشه با کاهش ۲۵ درصدی در آب مصرفی و کاربرد ۱۲ تن در هکتار بیوچار در تولید ذرت پیشنهاد می شود

### نتیجه گیری

اثر تیمارهای آبیاری بر وزن هزار دانه، کل دانه در بلال، عملکرد دانه، شاخص برداشت و شاخص سطح برگ معنی دار شد. بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. هر چند، مقادیر عملکرد در تیمار آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد اختلاف معنی داری با مقادیر آن در تیمار آبیاری کامل نداشتند. بنابراین با کاهش مصرف آب به میزان ۲۵ درصد در کم آبیاری بخشی ریشه، می توان عملکرد مناسبی از ذرت داشت. همچنین نتایج نشان داد که تیمار کم آبیاری ۶۵ درصد در سطح ۱۲ تن در هکتار بیوچار منجر به بالاترین مقدار وزن هزار دانه شد که اختلاف معنی دار با تیمار کم آبیاری ۵۵ درصد در هر سه سطح بیوچار داشت.

تیمار کم آبیاری ۶۵ درصد دارای بیشترین مقدار شاخص برداشت بود که اختلاف معنی داری با تیمار کم آبیاری ۵۵ درصد داشت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش مصرف بیوچار منجر به افزایش میزان عملکرد دانه ذرت شده و تیمار بدون مصرف بیوچار دارای کمترین مقدار عملکرد دانه به میزان ۸۲۵۳ کیلوگرم در هکتار بوده است

## منابع

- نادری ن.، فضل‌اولی ر.، ضیاتبار احمدی م.خ.، شاهنظری ع. و خاوری‌خراسانی س. (۱۳۹۴). بررسی اثر روش‌های مختلف کم-آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌های. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۶): ۵۳۱-۵۲۳.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. World Agriculture Towards 2030/ 2050: the 2012 Revision. doi: 10.22004/ag.econ.288998.
- Andrenelli, M.C. Maienza, A. Genesio, L. Miglietta, F. and Vignozzi, N. 2016. Field application of pelletized biochar: Short-term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*. 163: 190-196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.017>.
- Ashoori, N. Teixido, M. and Spahr, S. 2019. Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban stormwater runoff. *Water Research*. 154 (1): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.040> .
- Brennan, A. Jiménez, E.M. Puschenreiter, M. Alburquerque, J.A. and Switzer, C. 2014. Effects of biochar amendment on root traits and contaminant availability of maize plants in a copper and arsenic impacted soil. *Plant Soil*. 379:351–360. doi: 10.1016/j.soilbio.2010.10.014 .
- Bruun, E.W. Petersen, C.T. Hansen, E. Holm, J.K. and Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. *Soil Use Manag.* 30: 109–118. <https://doi.org/10.1111/sum.12102>.
- Buss, W. Kammann, C. and Koyro H.W. 2012. Biochar Reduces Copper Toxicity in *Chenopodium quinoa* Willd in a Sandy Soil. *Journal of Environmental Quality*. 40: 1157-1165.
- Donald, C.M. and Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereal. *Advances in Agronomy*. 28: 361-405. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0022>.
- Dong, QI. Tian-tian HU. Xue, S. 2020. Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial rootzone irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*. 19(11): 2792–2806. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63205-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63205-1).
- Guo, RU. Yang, L. Khaliq, A. and Ren, X. 2022. Interactive Effects of Maize Straw-Derived Biochar and N Fertilization on Soil Bulk Density and Porosity, Maize Productivity and Nitrogen Use Efficiency in Arid Areas. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 22: 4566-4586 .
- Herath, H. Camps-Arbestain, M. and Hedley, M. 2013. Effect of Biochar on Soil Physical Properties in Two Contrasting Soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*. 209-210: 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016>.
- Jovanovic, Z. Stikic, R. Vucelic-Radovic, B. Paukovic, M. Brocic, Z. Matovic, G.S. Rovcanin, S. and Mojevic, M. 2010. Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. *European Journal of Agronomy*. 33: 124-131. [dio.org/10.1016/j.eja.2010.04.003](https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.04.003)
- Kang, S. and Zhang, J. 2004. Controlled alternate root zone Irrigation. Its' Physiological Consequences Impact on Water use efficiency. *J. Experimental Botany*. 55(407): 2437-2446. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh249>.
- Kirda, C. Topcu, S. Cetin, M. Dasgan, H.Y. Kaman, H. Topaloglu, F. Dericci, M.R. and Ekici, B. 2007. Prospects of partial root zone drying for increasing water use efficiency of major crops in the Mediterranean region. *Annuals of Applied Biology*. 150:281-291. [doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00141.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00141.x).
- Leng, I. Huang, H. Li, H. Li, J. and Zhou, W. 2019. Biochar stability assessment methods; review. *Science of the Total Environment*. 647: 210-222. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402)
- Liu, F. Shahnazari, A. Andersen, M.N. Jacobsen S.E. and Jensen, C.R. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Sci Horti*. 109: 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004>.
- Liu, X. Manevski, K. Liu, F. and Andersen, M. N. 2022. Biomass accumulation and water use efficiency of faba bean-ryegrass intercropping system on sandy soil amended with biochar under reduced irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 273: 107905. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107905>.



Ma, N. Zhang, L. Zhang, Y. Yang, L. Yu, C. Tin, G. Diane, T.A. and Ma X. 2016. Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application. PLOS One. 11(5): 1-10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154091>.

Majidian, M. Ghalavand, A., Karimian, N.A. and Kamkar Haghghi, A.A. 2008. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. EJCP. 1 (2): 67-85 [In Persian.]

Martinsen, V. Mulder, J. Shitumbanuma, V. Sparrevik, M. Børresen, T. and Cornelissen G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Plant Soil effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. J Plant Nutr Soil Sci, 177: 681–695. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300590>.

Ranum, P. Rosas, J. and Garcia, M. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. J Ann. N.Y. Acad. Sci. ISSN 0077-8923. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>.

Razzaghi, F. Obour, P. and Arthur, E. 2020. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. Geoderma. 361: 114055. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055>.

Sarker, K.k. Hussain, A. Timsina, J. Biswas, S.K. Malone, S.L. Alam, M.K. and Bazzaz, M. 2020. Alternate furrow irrigation grain yield and nutrient content and increase crop water productivity in dry season maize in sub- tropical climate of South Asia. Agricultural Water managed. 238: 106229. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106229>.

Sepehri, A. Modarres sanavi, A. Ghareh Riazi, B. and Iamini, I. 2002. Effect of water deficit and different nitrogen rate on growth and development stages, yield and yield component of maize. J of Olume Zeraee Iran. 4 (3): 184-195 [In Persian.]

Sun, C.X. Chen, X. Cao, M.M. Li, M.Q. Zhang, Y.L. 2017. Growth and metabolic responses of maize roots to straw biochar application at different rates. Plant life and Environment Dynamics. DOI 10.1007/s11104-017-3229-6.

Vaccaria, F.P. Barontia, s. Lugato, E. Genesio, L. Gastaldi, S. Fornasier, F. Migliettaa, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy. 34. 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006>.

Vaccaria, F.P., Maienza, A., Barontia, S., Migliettaa, F., Lonardoa, S. Di, Giagnonic, L., Lagomarsinod, A., Pozzie, A., Pusceddua, E., Ranierif, R., Valboad G and Genesioa L. 2015. Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 207:163–170. [doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.015](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.015).

Wang, C. Shu, L. Zhou, S. Yu, H. and Zhu, P. 2019. Effect of alternative Partial root-zone irrigation on the utilization of and movement of nitrates in Soil by tomato plants. Sci Hortic. 243: 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.006>.

Wu, Y. Du, T. Li, F. Li, S. Ding, R. and Tong, L. 2015. Quantification of maize water uptake from different layers and root zones under alternate furrow irrigation using stable oxygen isotope. Agricultural Water Management. 168: 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.013>.

Yazar, A. Gokcel, F. Sezen, M.S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant, Soil Environment. 55(11): 494-503. <https://doi.org/10.17221/96/2009-PSE>

-۱) Zegbe-Domingue, J.A. Behboudian, M.H. and Clothier, B.E. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. Agric. Water Manage. 68:195-206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.002>.

-۲) Zhang, L. Sun, X. Tian, Y. and Gong, X. 2014. Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis. Scientia Horticulturae. 176: 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.021> .