نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۲۸-۱۲۱۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1217-1228

تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار بر مشخصه‌های رطوبت خاک در کم‌آبیاری گیاه ذرت

مریم دهقانی احمدآبادی[۱]، علی شاه نظری[۲*]، میرخالق ضیاتبار احمدی[۳]، محمدرضا اردکانی[۴]، علی قدمی فیروزآبادی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۳

چکیده

هدف اصلی آبیاری جبران کمبود آب قابل استفاده برای گیاه و هدف کم‌آبیاری، صرفه‌جویی در مصرف آب است. وضعیت خاک که امکان رشد ریشه‌های گیاه را فراهم می‌کند نیز بر جذب آب تأثیر دارد. یکی از افزودنی‌های خاک با هدف بهبود حاصل‌خیزی آن، بیوچار است. این تحقیق، به منظور مقایسه تأثیر کم‌آبیاری بخشی ریشه گیاه ذرت در شرایط افزودن ۶ و ۱۲ تن در هکتار بیوچار باگاس نیشکر و بدون بیوچار بر مشخصه‌های رطوبتی خاک با بافت لوم انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطوح ۵۵ و ۶۵ درصد و تیمار آبیاری کامل بودند. این طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی بنیاد شهید و امور ایثارگران واقع در احمدآباد مستوفی تهران انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری کامل دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت اشباع خاک و آب در دسترس بود که اختلاف معنی‌داری با مقدار آن در تیمارهای کم‌آبیاری ۵۵ و ۶۵ درصد داشت. از طرف دیگر، در خاک مربوط به تیمارهای کم‌آبیاری، در مکش‌های کم و نزدیک نقطه اشباع، بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. هم‌چنین، تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار، دارای بیش‌ترین مقدار آب قابل جذب و آب در دسترس بود که به‌ترتیب ۲۴ و ۱۵ درصد و ۱۸/۶ و ۹/۸ درصد از مقادیر آن‌ها در تیمارهای بدون مصرف بیوچار و ۶ تن در هکتار بیوچار بیش‌تر بود. بنابراین، بیوچار می‌تواند به نحو موثری توانایی خاک در نگهداری آب را بهبود بخشد. این شرایط باعث بهبود ۱ تا ۱۳ درصدی در عملکرد دانه محصول ذرت و کاهش اثرات خشکی در تیمارهای کم‌آبیاری شد.

واژه‌های کلیدی: آب قابل جذب، رطوبت اشباع، کم‌آبیاری بخشی ریشه، محصول ذرت، منحنی رطوبت خاک

مقدمه

بخش کشاورزی همواره به‌عنوان تکیه‌گاه مهم امنیت و حیات اقتصادی کشورها مطرح بوده است. در این میان، نهاده آب، با توجه به کمبود حاکم بر بخش‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، به‌عنوان مهم‌ترین عامل تولید، حایز اهمیت اقتصادی ویژه‌ای است. از آن‌جایی که در ایران، بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب استحصالی، عمده‌ترین مصرف کننده آب به‌شمار می‌آید، هر گونه صرفه‌جویی در این بخش، کمک موثری به صرفه‌جویی در منابع آب موجود تلقی می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرف دیگر، تنش خشکی یک عامل نامطلوب برای رشد گیاهان در شرایط مزرعه‌ای است (گویلی و همکاران، ۱۳۹۵). این تنش تأثیر گسترده‌ای روی شرایط رشد، ساختار مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان دارد (Jill et al., 2012). فقدان آب، زیست توده گیاهان و عملکرد آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴) و مهم‌ترین عاملی است که باعث عدم قطعیت در تولید محصولات کشاورزی می‌شود.

با توجه به کاهش سرانه آب تجدید شونده به‌دلیل رشد جمعیت و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر و احتمال تداوم آن در آینده، لازم است تمهیداتی جهت مقابله با بحران آب اتخاذ نمود. انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی و کم‌آبیاری از جمله راهکارهای مقابله با مشکل کم‌آبی است. یکی از روش‌های کم‌آبیاری[۶]، کم‌آبیاری بخشی ریشه[۷] است. در این روش، با دادن آب به بخشی از ریشه و خشک نگه داشتن بخش‌های دیگر آن و با قبول ریسک کاهش محصول، در مصرف آب صرفه‌جویی می‌گردد (Sepaskhah and Ahmadi.,

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی کرج
۵- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: aliponh@yahoo.com

6- Deficit irrigation
7- Partial root zone irrigation

2010). کاهش آب مصرفی توام با افزایش کارآیی مصرف آب به روش آبیاری بخشی ریشه در گیاهان پنبه، ذرت، سیب‌زمینی و آفتاب‌گردان، نیز گزارش شده است (Kirda et al., 2007؛ Yazar et al., 2009؛ رضایی استخرویه و همکاران، ۱۳۹۱؛ Jovanovic et al., 2010؛ قدمی و همکاران، ۱۳۹۳، رضایی استخروییه و همکاران، ۱۳۹۳).

وضعیت خاک که امکان رشد ریشه گیاه را فراهم می‌کند نیز بر جذب آب تأثیر دارد. از مهم‌ترین نهاده‌ها در خاک، مواد آلی می‌باشند. کود آلی می‌تواند موجب افزایش مواد آلی خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (داوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۳)، افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب خاک شود و از تغییر اسیدیته خاک جلوگیری کرده و موجب رهاسازی عناصر غذایی موردنیاز گیاه شود. یکی از کودهای آلی، بیوچار[1] است که در سال‌های اخیر استفاده از آن در کشاورزی رواج پیدا کرده است (گویلی و همکاران، ۱۳۹۵). بیوچار، زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن با فرآیند موسوم به پیرولیز انجام می‌شود (Glaser and Birk., 2012). بیوچار، یک جامد متخلخل و غنی از کربن است که در واقع ساختار آروماتیک چندحلقه‌ای آن سبب پایداری در محیط و ذخیره و ترسیب کربن در خاک می‌شود (خان‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). بیوچار به علت سرعت تجزیه بسیارکند نسبت به سایر مواد آلی، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسید کربن و متان که از ضایعات آزاد می‌شود، دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره کند و باعث بهبود عملکرد خاک شود (Lehmann et al., 2006).

اخیرا استفاده از بیوچار در زمین‌های کشاورزی به عنوان منبع تامین کننده مواد آلی برای رشد گیاه و اصلاح کننده خصوصیات خاک رونق زیادی یافته است (Chen et al., 2010). استفاده از بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده خاک یک عمل ابتکاری و امیدوار کننده برای کشاورزی پایدار است (Zhang et al., 2010). از مزایای استفاده از بیوچار، کاهش پدیده‌ی گرمایش زمین از طریق ترسیب کربن گزارش شده است (Woolf et al., 2010). هم‌چنین، بیوچار به‌عنوان ماده‌ای برای افزایش حاصل‌خیزی خاک (Sohi et al., 2010)، افزایش pH در خاک‌های اسیدی (Van Zwieten et al., 2010) و افزایش فراوانی جمعیت بیولوژیک خاک (عظیم‌زاده و نجفی، ۱۳۹۵) به کار می‌رود. چنین تغییراتی، روی چرخه عناصر غذایی (Steiner et al., 2008) و ساختمان خاک (عظیم‌زاده و نجفی، ۱۳۹۵) تأثیر گذاشته و به صورت غیرمستقیم رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

گزارش‌هایی مبنی بر نقش مثبت بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها مانند بهبود سطح ویژه و افزایش تهویه (Laird et al., 2010)، افزایش تخلخل (عظیم‌زاده و نجفی، ۱۳۹۵) و افزایش نگهداشت آب و نفوذپذیری خاک (خادم و همکاران، ۱۳۹۶) ارایه شده است. از اثرات فیزیکی اصلاح‌کننده بودن بیوچار در خاک های زامبیا، افزایش آب قابل دسترس گیاه بود (Cornelissen et al., 2013). هرات و همکاران گزارش کردند که، افزودن بیوچار ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاک‌دانه و در نهایت افزایش نگهداشت آب در دو نوع خاک رده آلفی‌سول و اندی‌سول گردید (Herath et al., 2013). ما و همکاران با بررسی تأثیر بیوچار روی پایداری خاک‌دانه‌ها و موجودیت رطوبت خاک طی سه سال مصرف بیوچار، تأثیر مثبت بیوچار را بر بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش کربن آلی خاک، افزایش نیتروژن کل و آب در دسترس گیاه نشان دادند (Ma et al., 2016). اوزوما و همکاران گزارش کردند که بیوچار کود گاوی باعث افزایش آب قابل دسترس گیاه و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در یک خاک شنی می‌شود (Uzoma et al., 2011). اویانگ و همکاران بیان کردند که خصوصیات رطوبتی خاک لوم‌شنی نسبت به خاک لوم‌رسی تغییرات بیش‌تری تحت تأثیر بیوچار دارد (Ouyang et al., 2013). باس و همکاران با مصرف سطوح مختلف بیوچار حاصل از درخت بلوط، متوجه افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک به میزان ۳۳ درصد شدند (Buss et al., 2012). نتایج پژوهش گائولو و همکاران نشان داد که افزودن بیوچار خاکستر چوب به خاک رسی موجب بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، هدایت هیدرولیکی اشباع و تهویه خاک می‌شود (GaoLu et al., 2014). لو و همکاران بیوچار حاصل از شلتوک برنج را در سطوح مصرف صفر، ۲ و ۶ درصد وزنی به یک خاک رسی افزودند. نتایج نشان داد که در نمونه‌های حاوی بیوچار، در مقایسه با تیمار بدون بیوچار، ظرفیت نگهداری رطوبت به‌ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند (Lu et al., 2014). دملو کاروالیو و همکاران اثر بیوچار حاصل از چوب اکالیپتوس را بر حفظ رطوبت در یک خاک لوم‌شنی بررسی کردند. آن‌ها مقادیر مختلف بیوچار (صفر، ۸، ۱۶ و ۳۲ تن در هکتار) را تا عمق ۱۵ سانتی‌متر با خاک مخلوط کرده و گزارش کردند که آب قابل دسترس گیاه در لایه سطحی خاک، حدود ۰/۸ درصد به ازای هر تن مصرف بیوچار افزایش پیدا می‌کند (De Melo Carvalho et al., 2014). کتی و همکاران اثر منبع بیوچار و مقادیر مصرف آن روی نگهداری رطوبت خاک را با منحنی‌های خیس شدگی خاک مورد بررسی قرار دادند. بیوچار کود دامی مشخصه‌های نگهداری رطوبت خاک را به‌صورت متفاوتی در مقایسه با بیوچار تراشه چوب تحت تأثیر قرار داد. با استفاده از بیوچار کود دامی، آب بیش‌تری در یک پتانسیل آبی معین در خاک نسبت به بیوچار تراشه چوب نگهداری شد (Katy et al., 2015). هم‌چنین، نتایج نشان داد که همه بیوچارها ممکن

1- Biochar

است نگهداری رطوبت خاک را در طیف گسترده‌ای از شرایط رطوبتی خاک و در همه مقادیر بهبود نبخشند. بنابراین اثر اصلاحی بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک، علاوه بر شرایط پیرولیز (گرماکافت)، به نوع ماده اولیه، نوع خاک و میزان مصرف بیوچار نیز بستگی دارد (Andrenelli et al., 2016).

هنگامی که بیوچار به خاک اضافه می‌شود می‌تواند با بهبود اندازه خلل و فرج خاک، باعث افزایش ذخیره آب در خاک شود (Downie et al., 2009) و مقدار جذب آب در ناحیه رشد ریشه گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. از خصوصیات مهم خاک غیراشباع، منحنی رطوبتی خاک می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در تعیین آب قابل استفاده خاک و دوره آبیاری استفاده می‌شود.

هدف از پژوهش حاضر، مقایسه کم‌آبیاری بخشی ریشه در شرایط افزودن بیوچار و بدون بیوچار بر تغییرات رطوبت در ناحیه ریشه گیاه ذرت و نگهداشت آب خاک می‌باشد تا تأثیر بیوچار بر کاهش تنش در این روش کم‌آبیاری بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی بنیاد شهید و امور ایثارگران واقع در احمدآباد مستوفی تهران با کاشت گیاه ذرت به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ۵۱/۲۱ درجه شرقی و ۳۵/۶۳ درجه شمالی است. منطقه مطالعاتی در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه‌ای خشک محسوب می‌شود. حداقل، حداکثر و میانگین دمای هوا در منطقه به‌ترتیب ۸-، ۴۲/۶ و ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالانه ۱۵۹ میلی‌متر است. در مدت پژوهش (تیر تا مهر ۱۳۹۵)، ۱/۲ میلی‌متر بارندگی رخ داد.

تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد آبیاری کامل (PRD_{65}) و کم‌آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵ درصد آبیاری کامل (PRD_{55})) و مصرف بیوچار در سه سطح (بدون مصرف بیوچار (B_0)، کاربرد ۶ تن در هکتار بیوچار (B_6) و کاربرد ۱۲ تن در هکتار بیوچار (B_{12})).

بیوچار استفاده شده ترکیبی از ۸۰ درصد بیوچار باگاس نیشکر و ۲۰ درصد بیوچار چوب درخت لیمو بود. برای تهیه بیوچار به روش مستقیم، باگاس نیشکر در کوره دوار که از پیش تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده بود، به مدت ۴۵ تا ۶۰ دقیقه قرار داده شد، تا در یک مرحله از حالت سلولز به حالت بیوچار تبدیل گردد (گویلی و همکاران، ۱۳۹۵). در این روش، با توجه به دمای زیاد، رطوبت داخل باگاس سریعا به بخار تبدیل می‌شود. بنابراین، ترکیبات کربن داخل شبکه به صورت حفره‌هایی با قطرهای مختلف در می‌آید که می‌تواند باعث افزایش جذب مواد غذایی، آب و کود شود که برتری این روش، نسبت به روش غیرمستقیم می‌باشد. بیوچار چوب لیمو نیز به‌صورت آماده از کارخانه کربن‌اکتیو بشل قائم‌شهر خریداری شد.

ابتدا، آزمون خاک به‌منظور تعیین نیاز کودی گیاه در چند نقطه از سطح مزرعه انجام شد. داده‌های مربوط به بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت در حد ظرفیت زراعی و برخی پارامترهای شیمیایی در آزمایشگاه خاک‌شناسی و مکانیک خاک شرکت مهندسی آب و خاک پارس تعیین شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارایه شده است. قبل از کشت ذرت، مقادیر ۱۰/۵ و ۲۱ کیلوگرم بیوچار به‌ترتیب در تیمارهای ۶ تن در هکتار و ۱۲ تن در هکتار روی سطح خاک پخش شد. بذر ذرت زودرس (رقم ۲۶۰) در اواخر تیرماه با فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. در هر تیمار، ۵ ردیف کاشت به طول ۵ متر و فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر وجود داشت. طول دوره رشد تا زمان برداشت حدود ۱۱۰ روز بود. با توجه به آزمون خاک، میزان مصرف کود، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود. مقدار کود موردنیاز، در طول فصل کشت، همراه آب آبیاری، به گیاه داده شد. برای آبیاری، از روش آبیاری قطره‌ای نواری (Tape) با فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد که دو لاترال در دو سوی هر ردیف کشت و به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از گیاه، روی زمین نصب شدند. تیمارهای آبیاری، ۴۰ روز بعد از شروع کاشت اعمال شدند. در آبیاری بخشی ریشه، به‌صورت تناوبی در هر آبیاری، تنها در یکی از لاترال‌ها آب جریان داشت تا از خشک بودن نیمی دیگر از سامانه ریشه اطمینان حاصل شود. اما در آبیاری کامل، به‌طور هم‌زمان، هر دو لاترال آبیاری را انجام می‌دادند. در هر نوبت آبیاری، حجم آب مصرفی هر تیمار، به کمک کنتور با دقت یک لیتر بر ثانیه ثبت شد. برای آبیاری بخشی ریشه، ۶۵ و ۵۵ درصد از حجم آب تیمار آبیاری کامل داده شد.

برای بررسی رطوبت در خاک، در هر تیمار، دو رطوبت‌سنج الکترومغناطیس (TDR) تا عمق ۶۰ سانتی‌متری، از سطح زمین به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از ردیف کشت در دو طرف گیاه، نصب شدند. در تمام رطوبت‌سنج‌های نصب شده، رطوبت در عمق‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متر، هر سه روز یک‌بار، اندازه‌گیری شد. دور آبیاری، سه روز لحاظ شده بود و اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک قبل از هر آبیاری انجام شد. نظر به این‌که در آبیاری کامل، هدف رساندن رطوبت در محدوده ریشه به حد ظرفیت زراعی است، بنابراین در زمان آبیاری، براساس داده‌های خوانده شده توسط TDR و کمبود آب موجود، عمق موردنیاز آبیاری تعیین و به خاک داده شد. نیاز آبیاری بر پایه رابطه ۱ تعیین شد (قدمی و همکاران، ۱۳۹۴):

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق (cm)	شن (٪)	رس (٪)	سیلت (٪)	بافت خاک	کربن آلی (٪)	درصد اشباع (٪)	ظرفیت زراعی (٪)	شوری (dS/m)	pH	جرم مخصوص ظاهری ($gr\ cm^{-3}$)	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
۰-۳۰	۴۵	۲۲/۵	۳۲/۵	لومی	۱/۳۷۳	۳۷/۳	۱۵/۷۵	۰/۱۸	۶/۹۵	۱/۶۷	۰/۱۵۵	۳۵/۹۴	۲۱۸۰

$$D_n = \sum_{i=1}^{m}\left[\frac{(\theta_{FCi}-\theta_{1i})\times D_i}{100}\right] \quad (۱)$$

که در این رابطه، D_n نیاز آبی (میلی‌متر)، θ_{Fci} مقدار رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ_{1i} میزان رطوبت حجمی در خاک پیش از آبیاری (درصد)، D_i عمق خاک آبیاری شده (میلی‌متر) و i دفعات آبیاری می‌باشند.

برای محاسبه میزان آب قابل جذب در خاک، از آن‌جایی که همه تیمارها تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند، اختلاف میزان رطوبت که با TDR خوانده شده و رطوبت ظرفیت زراعی در هر تیمار، نشان دهنده میزان آب قابل جذب در خاک می‌باشد. بعد از پایان فصل زراعی، از هر تکرار در هر تیمار یک نمونه خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متری برداشته شد. مقدار رطوبت جرمی نمونه‌ها و نمونه شاهد (خاک برداشته شده قبل از اعمال تیمارها) در مکش‌های ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ بار در دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت در نقطه اشباع، تمام خلل و فرج خاک از آب پر شده، سپس به مدت دو ساعت نمونه در فضای آزاد قرار داده شد و بعد از آن، مقدار رطوبت به روش جرمی اندازه‌گیری شد. مقدار آب قابل دسترس از اختلاف مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (رطوبت در مکش ۰/۳ اتمسفر) و پژمردگی دایم (رطوبت در مکش ۱۵ اتمسفر) بدست آمد. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری، نمونه‌های دست نخورده از محل تهیه شده و نسبت وزن خشک خاک به حجم کل آن در آزمایشگاه تعیین شد. این نسبت همان جرم مخصوص ظاهری می‌باشد. رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف، از ضرب رطوبت جرمی در جرم مخصوص ظاهری خاک بدست آمد.

پس از اندازه‌گیری مقدار رطوبت در مکش‌های ذکر شده، با برازش داده‌ها و منحنی‌های نگهداشت آب با نتایج نرم‌افزار RETC، پارامترهای مدل ون‌گنوختن-معلم (Van Genuchten., 1980) بدست آمدند. رابطه اصلاح شده ون گنوختن به صورت روابط ۲ و ۳ است (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+|\alpha h|^n)^m} \qquad h<h_s \quad (۲)$$

$$\theta(h)=\theta_s \qquad h\geq h_s \quad (۳)$$

که، $\theta(h)$ رطوبت در مکش معین، α عکس مکش نقطه ورود هوا (cm^{-1})، n و m پارامترهای توزیع اندازه منافذ (بدون بعد)، θ_s رطوبت اشباع و θ_r رطوبت باقی‌مانده ($cm.cm^{-3}$) می‌باشند.

در انتهای فصل کشت نیز، مقدار عملکرد دانه در هر تکرار از هر تیمار اندازه‌گیری شد تا تأثیر تیمارها بر عملکرد محصول سنجیده شود. داده‌های مربوط به جرم مخصوص ظاهری، مقدار آب قابل جذب، آب در دسترس، رطوبت اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و عملکرد دانه ذرت در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده توسط نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس شدند و مقادیر میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی، مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

مقدار آب آبیاری

در جدول ۲، مقدار آب مصرفی برای تیمارهای مختلف آبیاری ارایه شده است. مقادیر آب داده شده در آبیاری بخشی ریشه در مدت مطالعه، 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 کم‌آبیاری از روز ۴۱ شروع شد، بنابراین درصد آب مصرفی در کل دوره رشد بیش‌تر از درصد اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بود. در مجموع، تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه باعث کاهش ۲۵ و ۳۲ درصدی مقدار آب مصرفی شدند. به‌طور کلی، در PRD به دلیل این‌که تنها یک قسمت از ریشه آب دریافت می‌کند، کاهش معنی‌دار در مقدار آب مصرفی رخ می‌دهد (رضایی استخرویه و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیقی روی گیاه آفتاب‌گردان، درصد کاهش مصرف آب در تیمارهای آبیاری بخشی ریشه ۷۵ و ۵۵ درصد را ۱۶/۸ و ۳۰/۲ درصد بدست آوردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (قدمی و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیق دیگر نیز، مقادیر ۲۸ و ۳۳ درصد کاهش آب مصرفی ذرت به‌ترتیب در تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه ثابت و جابجا شونده گزارش شد (Hu et al., 2009).

پارامترهای رطوبتی

پارامترهای مختلف مدل ون‌گنوختن – معلم حاصله از نرم‌افزار RETC به‌ترتیب در نمونه خاک شاهد و در سطوح مختلف کاربرد

بیوچار باگاس نیشکر در تیمارهای کم‌آبیاری ۶۵ درصد، کم‌آبیاری ۵۵ درصد و آبیاری کامل در جداول ۳ و ۴ ارایه شده است.

جدول ۲- مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف آبیاری در مدت مطالعه

تیمار آبیاری	مقدار آب مصرفی ($m^3\ ha^{-1}$)	درصد
آبیاری بخشی ریشه ۵۵ درصد	۴۶۵۷	۶۸
آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد	۵۱۴۵	۷۵
آبیاری کامل	۶۸۵۷	۱۰۰

نتایج نشان می‌دهد که مقدار رطوبت اشباع خاک در تیمار آبیاری کامل نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری و هم‌چنین نمونه خاک شاهد بالاتر بود. افزایش مقدار آب مصرف شده در این تیمار و اشباع بودن همیشگی می‌تواند دلیل بر بالا بودن رطوبت اشباع در تیمار آبیاری کامل باشد. سرائی‌تبریزی و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان دادند که تکنیک آبیاری بخشی ریشه در حد ۵۰ درصد برای گیاه سویا، صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری را به همراه داشت. از طرف دیگر، مصرف بیوچار باگاس نیشکر در برخی تیمارهای آبیاری، شرایط رطوبتی مناسبی را در خاک برای رشد گیاه فراهم کرد. پیک و همکاران بیان نمودند که کاربرد بیوچار حاصل از کاج می‌تواند موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری گردد (Peake et al., 2014). تیمارهای کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل دارای مقدار رطوبت باقی‌مانده (θ_r) بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها بودند. یاکتایو و همکاران نیز با مقایسه کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر کارایی مصرف آب نشان دادند که خشکی موضعی ریشه با ۵۰ درصد آب مورد استفاده در مقایسه با آبیاری کامل، دارای بیش‌ترین بهره‌وری آب بدون کاهش عملکرد بود (Yactayo et al., 2013).

جدول ۳- پارامترهای مختلف مدل ون‌گنوختن - معلم در تیمار خاک شاهد.

مقادیر	Θ_s	α	n	Θ_r
حداقل	۰/۴۴	-۰/۰۱	۰/۷۰	
حداکثر	۰/۵۳	۰/۰۳	۲/۷۸	۰/۰۸۵
میانگین	۰/۴۹	۰/۰۱۲	۱/۷۶	

جدول ٤- پارامترهای مختلف مدل ون‌گنوختن - معلم در تیمارهای کم‌آبیاری در سطوح مختلف بیوچار.

میانگین	Θ_s			A			N			Θ_r		
	PRD_{65}	PRD_{55}	FI	PRD_{65}	PRD_{55}	FI	PRD_{65}	PRD_{55}	FI	PRD_{65}	PRD_{55}	FI
بدون بیوچار	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۱/۲۱	۱/۳۶	۱/۲۰	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶۳
۶ تن در هکتار بیوچار	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۳۲	۱/۲۰	۱/۴۶	۱/۲۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۹	۰/۰۷۰
۱۲ تن در هکتار بیوچار	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۹	۱/۳۶	۱/۳۲	۱/۵۲	۰/۰۸۳	۰/۰۸۴	۰/۰۲۹

مشخصه‌های رطوبتی خاک

جداول ۵ و ۶ به‌ترتیب مجموع مربعات حاصل از تجزیه واریانس و نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های رطوبتی خاک مورد آزمایش در تیمارهای مختلف استفاده از بیوچار و آبیاری را نشان می‌دهد. اثر تیمارهای آبیاری بر رطوبت اشباع، ظرفیت زراعی و آب در دسترس معنی‌دار شد. براساس نتایج، تیمار آبیاری کامل دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت اشباع خاک بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای دیگر داشت. این نتایج در راستای نتایج مربوط به مدل ون‌گنوختن است (جدول ۴). اما، مقدار آب قابل جذب در تیمارهای کم‌آبیاری و آبیاری کامل مشابه بود. دو و همکاران گزارش کردند استفاده از روش کم-آبیاری کنترل شده و آبیاری بخشی ریشه در رشد محصولات زراعی باعث ایجاد پتانسیل بیش‌تر برای ذخیره و نگهداشت آب و بهره‌وری آب می‌گردد (Du et al., 2010).

اثر بیوچار بر مقادیر آب قابل جذب، رطوبت اشباع و میزان آب در دسترس معنی‌دار شد. تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار، دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت اشباع، آب در دسترس و آب قابل جذب بود. چون خلل و فرج‌های بیوچار فضای مناسبی برای نگهداشت رطوبت در خاک ایجاد می‌کنند (بهنام و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیقی، تأثیر کاربرد ۲۰ سطح (صفر تا ۱۰۰ درصد وزنی) بیوچار بر ظرفیت نگهداری آب یک خاک لوم‌شنی بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار در سطح ۹ درصد (۱۹۵ تن در هکتار) موجب دو برابر شدن ظرفیت نگهداری آب شد (Yu et al., 2013). نوروزی و

همکاران (۱۳۹۵) اثرات کوتاه‌مدت بیوچار حاصل از برگ خرما را بر حفظ رطوبت خاک در خاک لوم‌شنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوچار به نسبت وزنی ۳ درصد می‌تواند یک اصلاح کننده موثر برای بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش آب قابل جذب و آب قابل دسترس گیاه باشد. به‌طور کلی، تیمارهای ۶ و ۱۲ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ۷/۹۶ و ۱۸/۶ درصدی آب قابل دسترس نسبت به تیمار بدون مصرف بیوچار شد. دکاروالیو و همکاران در بررسی اثرات بیوچار حاصل از چوب اکالیپتوس در یک خاک گزارش کردند که آب قابل دسترس گیاه در لایه سطحی خاک حدود ۰/۸ درصد به ازای هر تن مصرف بیوچار افزایش پیدا می‌کند (De Melo Carvalho et al., 2014).

اثر تیمارهای بیوچار بر ظرفیت زراعی خاک معنی‌دار نشد. نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) عدم تأثیر معنی‌دار بیوچار بر نقطه پژمردگی دایم را گزارش کردند. در مقایسه مقادیر جرم مخصوص ظاهری، تیمار بدون مصرف بیوچار دارای بیش‌ترین مقدار بود. هم‌چنین، مقادیر جرم مخصوص ظاهری تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد از ۰/۳۲ تا ۰/۵۳ کم‌تر بودند. کاهش وزن مخصوص ظاهری با کاربرد بیوچار توسط خادم و همکاران (۱۳۹۶) گزارش شد. در مجموع، تغییرات کم و یا عدم تغییر معنی‌دار در برخی شاخص‌های رطوبتی را می‌توان به دلیل بافت لومی خاک دانست. در تحقیقی گزارش شد که خصوصیات رطوبتی خاک لوم‌شنی نسبت به خاک لوم‌رسی تغییرات بیش‌تری تحت تأثیر بیوچار دارد (Ouyang et al., 2013).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و بیوچار بر شاخص‌های رطوبتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات				
		جرم مخصوص ظاهری	آب قابل جذب	رطوبت اشباع	ظرفیت زراعی	آب در دسترس
آبیاری	۲	^{ns}۰/۲۱۳	^{ns}۰/۰۰۰۴۵	*۰/۰۱۴۸	*۰/۰۰۴۸	*۰/۰۰۱۶
تکرار	۲	^{ns}۰/۰۲۳	^{ns}۰/۰۰۱۲۷	^{ns}۰/۰۱۷۷	^{ns}۰/۰۰۰۲	^{ns}۰/۰۰۰۹
خطای الف	۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸۷۹	^{ns}۰/۰۱۷۱	^{ns}۰/۰۱۱۱	^{ns}۰/۰۰۸۴
بیوچار	۲	^{ns}۰/۰۱۲	*۰/۰۰۳۵۱	*۰/۰۱۹۵	^{ns}۰/۰۰۰۴	*۰/۰۰۲۰
آبیاری × بیوچار	۴	^{ns}۰/۰۱۰	^{ns}۰/۰۰۰۲۶	^{ns}۰/۰۱۰۹	^{ns}۰/۰۰۰۲	^{ns}۰/۰۰۰۲
خطا	۸	۰/۱۰۲	۰/۰۰۲۶۴	^{ns}۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات		۱۰/۱	۲۰/۵	۱۳/۰	۱۳/۱	۲۱/۱

معنی‌داری در سطح ۵ درصد

ns عدم معنی‌داری

جدول ٦- مقایسه میانگین شاخص‌های رطوبتی خاک در تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار

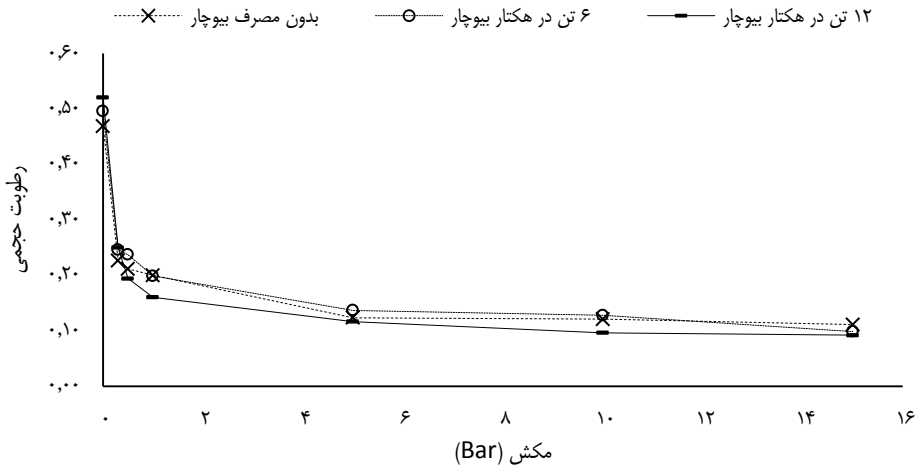
تیمار	جرم مخصوص ظاهری ($grcm^{-3}$)	آب قابل جذب (mm mm^{-1})	رطوبت اشباع	ظرفیت زراعی	آب در دسترس (mm mm^{-1})
آبیاری بخشی ریشه ۵۵ درصد	۱/۳۴۸^{a}	۰/۱۴۳ ^{a}	۰/۴۸۰ ^{ab}	۰/۲۴۳ ^{a}	۰/۱۲۴ ^{ab}
آبیاری بخشی ریشه ۶۵ درصد	۱/۱۴۳^{a}	۰/۱۳۳ ^{a}	۰/۴۳۷ ^{b}	۰/۲۱۱ ^{b}	۰/۱۱۳ ^{b}
آبیاری کامل	۱/۱۸۱ ^{a}	۰/۱۳۷ ^{a}	۰/۴۹۱ ^{a}	۰/۲۳۴ ^{a}	۰/۱۳۲ ^{a}
بدون مصرف بیوچار	۱/۲۵۲ ^{a}	۰/۱۲۵ ^{b}	۰/۴۳۱ ^{b}	۰/۲۲۵ ^{a}	۰/۱۱۳ ^{b}
۶ تن در هکتار بیوچار	۱/۲۱۹ ^{a}	۰/۱۳۵ ^{ab}	۰/۴۸۹ ^{a}	۰/۲۳۱ ^{a}	۰/۱۲۲ ^{ab}
۱۲ تن در هکتار بیوچار	۱/۲۰۱ ^{a}	۰/۱۵۵ ^{a}	۰/۴۸۷ ^{a}	۰/۲۳۳ ^{a}	۰/۱۳۴ ^{a}

ستون‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و یا ۱ درصد ندارند.

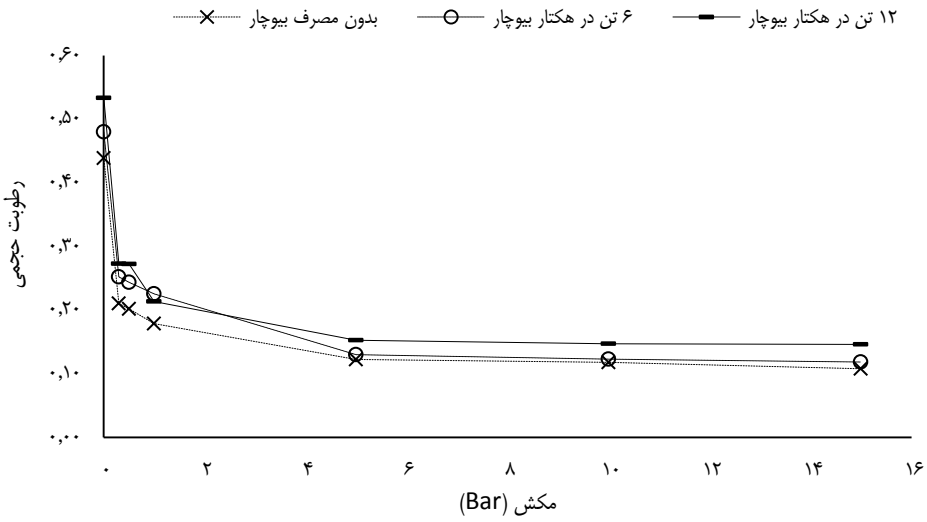
شکل‌های ۱ تا ۳ به بررسی و مقایسه تأثیر سطوح مختلف مصرف بیوچار در هر یک از تیمارهای آبیاری روی مقدار رطوبت حجمی خاک در مکش‌های مختلف با استفاده از دستگاه صفحه فشاری می‌پردازند. براساس نتایج، در تیمار کم‌آبیاری ۶۵ درصد، در مکش‌های پایین (ظرفیت زراعی) و نزدیک نقطه اشباع، بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. هنگامی که بیوچار به خاک اضافه می‌شود می‌تواند با بهبود اندازه خلل و فرج خاک، باعث افزایش ذخیره آب در خاک شود (Downie et al., 2009). اما با افزایش مکش خاک، مقدار رطوبت حجمی خاک در تیمار ۱۲ تن در هکتار بیوچار کاهش پیدا کرده و در مکش‌های نزدیک نقطه پژمردگی، این تیمار کم‌ترین مقدار رطوبت حجمی را به خود اختصاص داد. در مکش‌های بالا، بیش‌ترین مقدار رطوبت حجمی در تیمارهای بدون مصرف و مصرف ۶ تن در هکتار بیوچار مشاهده شد. کاربرد بیوچار بر نگهداری رطوبت در نقطه

پژمردگی دایم تأثیری ندارد که با نتایج تحقیقات نوروزی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. در واقع بیوچار قادر است منافذ ذخیره و انتقال خاک را با تشکیل منافذ ثانویه و نیز تغییر اندازه و تراکم خاک‌دانه‌های خاک افزایش دهد که به لحاظ ذخیره آب قابل دسترس گیاه و انتقال آب و عناصر غذایی حایز اهمیت است ولی بر منافذ باقی‌مانده تأثیر معنی‌داری ندارد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۵). از طرف دیگر، رفتار رطوبتی خاک در مکش‌های ماتریک زیاد، تحت کنترل بافت خاک و منافذ ریز آن قرار دارد، ولی در مکش‌های کم، تحت کنترل ساختمان خاک و تخلخل درشت آن می‌باشد (خادم و همکاران، ۱۳۹۶).

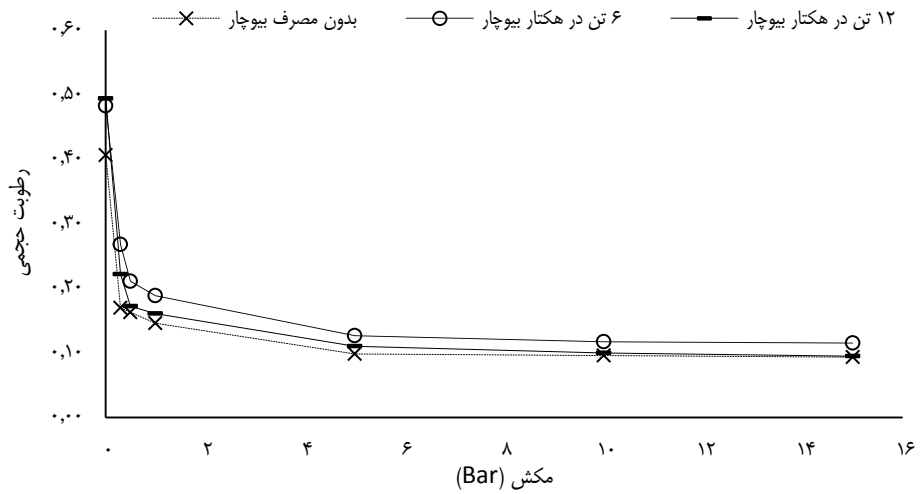
در شکل ۲ که به بررسی تیمارهای مصرف بیوچار در تیمار کم‌آبیاری ۵۵ درصد می‌پردازد، همه تیمارهای مصرف بیوچار روند نسبتا مشابهی را داشتند، اما رطوبت بیش‌تر در تمام مکش‌ها مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. در تیمار آبیاری کامل (شکل ۳)، مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار در مکش‌های کم دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت حجمی بود. در مکش‌های متوسط و زیاد، مقدار رطوبت حجمی در تیمار ۶ تن در هکتار بیوچار و تیمار بدون مصرف بیوچار بیش‌تر بود. گزارش‌هایی مبنی بر نقش مثبت بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها مانند افزایش نگهداشت آب، نفوذپذیری و زهکشی خاک (خادم و همکاران، ۱۳۹۶) موجود است. ما و همکاران نشان دادند که بیوچار می‌تواند به نحو موثری توانایی خاک در نگهداری عناصر غذایی و آب را بهبود بخشد (Ma et al., 2016).



شکل ۱- مقایسه منحنی رطوبتی خاک با مقادیر مختلف مصرف بیوچار در تیمار کم‌آبیاری ٦٥ درصد



شکل ۲- مقایسه منحنی رطوبتی خاک با مقادیر مختلف مصرف بیوچار در تیمار کم‌آبیاری ٥٥ درصد



شکل ۳- مقایسه منحنی رطوبتی خاک با مقادیر مختلف مصرف بیوچار در تیمار آبیاری کامل

عملکرد ذرت

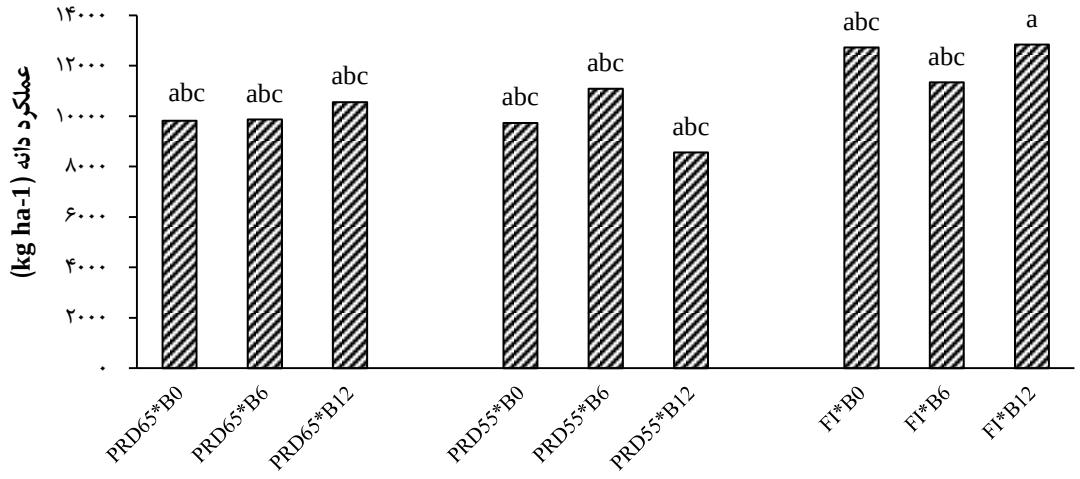
نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه ذرت در تیمارهای مختلف آبیاری و بیوچار در شکل ۴ نشان داده شده است. عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری از عملکرد دانه در تیمارهای کم‌آبیاری بیش‌تر بود. بیش‌ترین عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۱۲۸۳۶ کیلوگرم در هکتار، مربوط به تیمار آبیاری کامل با مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. کم‌ترین مقدار عملکرد نیز مربوط به تیمار کم‌آبیاری ۵۵ درصد بود. در شرایط تنش خشکی، تنش‌های اکسایشی به عنوان تنش ثانویه عمل کرده و ضمن کاهش پایداری غشا سلولی، سرعت فتوسنتز و در نهایت عملکرد را کاهش می‌دهند (سی و سه مرده و همکاران، ۱۳۹۳). نادری و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد ذرت علوفه‌ای نشان دادند 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 تامین ۸۰ درصد نیاز آبی و روش PRD متغیر مشاهده نشد.

هر چند مقدار عملکرد در تیمارهای مختلف بیوچار معنی‌دار نشد اما عملکرد دانه در تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیش‌تر از بقیه تیمارها بود، که می‌توان آن را متاثر از بهبود وضعیت رطوبت خاک با افزودن بیوچار مرتبط دانست. واکاریا و همکاران 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 افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش دسترسی عناصر غذایی و آب برای گیاه نسبت دادند (Vaccaria et al., 2011).

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

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی اثر بیوچار و کم‌آبیاری بخشی ریشه بر میزان رطوبت در دسترس خاک و آب قابل جذب خاک در احمدآباد مستوفی تهران انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل، آبیاری بخشی ریشه در سطح ۶۵ درصد آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه در سطح ۵۵ درصد آبیاری کامل و تیمارهای مصرف بیوچار باگاس نیشکر شامل صفر، ۶ و ۱۲ تن در هکتار بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه باعث کاهش ۲۵ و ۳۲ درصدی مقدار آب مصرفی شدند. تیمار آبیاری کامل دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت اشباع خاک و آب در دسترس بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کم‌آبیاری داشت. از طرف دیگر، تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار دارای بیش‌ترین مقدار رطوبت اشباع، آب در دسترس و آب قابل جذب بود. در تیمارهای آبیاری، در مکش‌های کم و نزدیک نقطه اشباع، بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک مربوط به تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار بود. هم‌چنین، تیمار مصرف ۱۲ تن در هکتار بیوچار و تیمار آبیاری کامل، دارای بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه ذرت بودند و اختلاف معنی‌داری در عملکرد ذرت بین تیمارهای کم-آبیاری با مصرف بیوچار نسبت به تیمار آبیاری کامل مشاهده نشد. نتایج، نشان داد که بیوچار می‌تواند به نحو موثری توانایی خاک در نگهداری عناصر غذایی و آب را بهبود بخشد و برای مقابله با خشکی و افزایش عملکرد محصول در خاک‌های لوم مفید باشد.



شکل ٤- تأثیر متقابل سطوح آبیاری و بیوچار روی عملکرد دانه گیاه ذرت

منابع

بهنام،ه.، فرخیان فیروزی،ا.، معزی،ع. ۱۳۹۵. تأثیر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳. ۴: ۲۵۰-۲۳۵.

خادم،ا.، رئیسی،ف و بشارتی،ح. ۱۳۹۶. مروری بر اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی. ۵. ۱: ۳۰-۱۳.

خان‌محمدی،ز.، افیونی،م و مصدقی،م.ر. ۱۳۹۴. اثر دمای پیرولیز بر ویژگی‌های شیمیایی بیوچار حاصل از باگاس نیشکر و بقایای پسته. تحقیقات کاربردی خاک. ۳. ۱: ۱۳-۱.

داوری‌نژاد،غ.، حق‌نیا،غ و لکزیان،ا. ۱۳۸۳. تاثیر کودهای دامی و کمپوست غنی شده بر عملکرد گندم. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱۸. ۱: ۱۰۸-۱۰۱.

رضایی‌استخروییه،ع.، خوش‌قدم،س.، ابراهیمی‌سیریزی،م.، بادیه-نشین،ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد گیاه آفتاب‌گردان (رقم فرخ) تحت تأثیر کم‌آبیاری سنتی و خشکی موضعی ریشه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸ .۵: ۸۷۵-۸۶۷.

رضایی استخروییه،ع.، هوشمند،ع.، برومندنسب،س.، خان‌جانی،م. ۱۳۹۱. تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶. ۶: ۱۵۱۴-۱۵۲۱.

سرائی تبریزی،م.، بابازاده،ز.، پارسی‌نژاد و مدرس ثانوی،س.ع.م. ۱۳۸۹. بهبود کارایی مصرف آب سویا با استفاده از آبیاری بخشی منطقه ریشه. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۴. ۵۲: ۱۳-۱.

سی و سه مرده،ع.، فاتح،ح و بدخشان،ه. ۱۳۹۳. واکنش سرعت فتوسنتز، پایداری غشا و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به تنش خشکی و تحت شرایط کنترل شده کود ازته در دو رقم جو (Hordeum vulgare). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲. ۲: ۲۲۸-۲۱۵.

عباسی،ف.، عباسی،ن و توکلی،ع. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار. ۴. ۱: ۱۴۴-۱۴۱.

عظیم‌زاده،ی.، نجفی،ن. ۱۳۹۵. اثر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک. نشریه مدیریت اراضی. ۴. ۲: ۱۷۳-۱۶۱.

قدمی فیروز آبادی،ع.، رائینی،م.، شاه‌نظری،ع و زارع ابیانه،ح. ۱۳۹۳. تغییرات شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و پارامترهای ریشه گیاه آفتاب‌گردان در کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری خشکی ناحیه ریشه. فناوری تولیدات گیاهی. ۱۴. ۱: ۷۹-۶۹.

قدمی فیروزآبادی،ع.، شاه‌نظری،ع.، رائینی سرجاز،م و زارع ابیانه،ح. ۱۳۹۴. اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتاب‌گردان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹. ۲: ۱۶۷-۱۵۷.

گویلی،ا.، موسوی،س.ع.ا.، کامکارحقیقی،ع.ا. ۱۳۹۵. اثر بیوچار کود

گاوی و تنش رطوبتی بـر ویژگـی‌هـای رشـد و کـارایی مصـرف اسفناج در شرایط گلخانـه‌ای. پـژوهش آب در کشـاورزی. ۳۰. ۲: ۲۵۹-۲۴۳.

نادری،ن.، فضل‌اولی،ر.، ضیاتبار احمدی،م.خ.، شاه‌نظری،ع و خـاوری-خراسانی،س. ۱۳۹۴. بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیـاری بـر عملکرد و کـارآیی مصـرف آب ذرت علوفـه‌ای. نشـریه آبیـاری و زهکشی ایران. ۳. ۶: ۵۳۱-۵۲۳.

نورزاد،س.، احمدیان،ا، مقدم،م. ۱۳۹۴. بررسی میزان پرولین، شـاخص کلروفیل، کلروفیل کل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غـذایی در گیاه دارویی گشنیز (Coriandrum sativum L) تحـت تـأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. پژوهش‌هـای زراعـی ایـران. ۱۳. ۱: ۱۳۹-۱۳۱.

نوروزی،م.، طباطبایی،س.ح.، نـوری،م.ر و متقیـان،ح.ر. ۱۳۹۵. اثـرات کوتاه‌مدت بیوچار حاصل از برگ خرما بر حفظ رطوبـت در خـاک لوم‌شنی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۶. ۲: ۱۵۰-۱۳۷.

Andrenelli,M.C., Maienza,A., Genesio,L., Miglietta,F., Pellegrini,S., Vaccari,F.P 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. 163.1: 190-196.

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

Chen,Y., Shinogi,Y and Taira,M. 2010. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and ground water quality. Australian Journal of Soil Research. 48: 526–530.

Cornelissen,G., Martinsen,V., Shitumbanuma,V., Alling,V., Breedveld,G., Rutherford,D., Sparrevik,M., Hale,S., Obia,A and Mulder,J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation-farming sites in Zambia. Agronomy. 3: 256–274.

De Melo Carvalho,M.T., De Holanda Nunes Maia,A., Madari,B.E., Bastiaans,L., Van Oort,P.A.J., Heinemann,A.B., Soler da Silva,M.A., Petter,F.A., Marimon,J.B.H and Meinke,H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. Solid earth. 5: 939–952.

Downie,A., Crosky,A and Munroe,P. 2009. Physical properties of biochar. In: Biochar for Environmental Management, Science and Technology. Lehmann JL and Joseph JS, (Eds.). Earth scan Publishers Ltd., London: 13-32.

Du,T., Kang,S., Sun,J., Zhang,X and Zhang,J. 2010. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. Agricultural Water Management. 97(1):66-74.

GaoLu,S., Fang,S.F and Tong,Z.Y. 2014. Effect of rice husk biochar and charcoal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena. 114: 37-44.

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

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.

Hu,T., Kang,S., Li,F and Zhang,J. 2009. Effects of partial root-zone irrigation on the nitrogen absorption and utilization of maize. Agricultural Water Management. 96: 208–214.

Jill,E.C., Ciro,S and Mateo,V. 2012. Dissecting maize productivity, ideo types associated with grain yield under drought stress and well watered conditions. Journal of Integrative Plant Biology. 54.12: 1007–1020.

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.

Katy,E., Brantley,K., Brye,R., Mary,C., Savin,D and Longer,E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. Open Journal of Soil Science. 5: 1-10.

Kirda,C., Topcu,S., Cetin,M., Dasgan,H.Y., Kaman,H., Topaloglu,F., Derici,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.

Laird,D.A., Fleming,P., Davis,D.D., Horton,R., Wang,B and Karlen,D.L. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma. 158.3: 443–449.

Lehmann,J., Gaunt,J., Rondon,M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems–a review. Mitigation and adaptation strategies for global change. 11: 395-419.

Lu,S.G., Sun,F.F and Zong,Y.T. 2014. Effect of rice husk biochar and coalfly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena. 114: 37–44.

Agronomy. 34. 231-238

Van Genuchten,M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soils Science Society of America Journal. 44: 892-898

Van Zwieten,L., Kimber,S., Morris,S., Downie,A., Berger,E., Rust,J and Scheer,C. 2010. Influence of biochars on flux of N_2O and CO_2 from ferrosol. Australian Journal of Soil Research. 48: 555–568.

Woolf,D., Amonette,J.E., Street-Perrott,F.A., Lehmann,J and Joseph,S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communications. 1: 56-63.

Yactayo,W., Ramírez,D.A., Gutiérrez,R., Mares,V., Posadas,A and Quiroz,R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. Agricultural Water Management. 123: 65– 70.

Yazar,A., Gokcel,F and Sezen,M.S. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant and Soil Environment. 55.11: 494-503.

Yu,O.Y., Richle,B and Sink,S. 2013. Impact of biochar on water holding of loamy sand soil. International Journal of Environmental Engineering. 4:44-49.

Zhang,T., Gong,H., Wen,X and Lu,C. 2010. Salt stress induces a decrease in excitation energy transfer from phycobilisomes to photosystem II but an increase to photosystem I in the cyanobacterium Spirulina platensis. Journal of Plant Physiology. 167: 951-958.

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.

Ouyang,L., Wang,F., Tang,J., Yu,L and Zhang,R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 13: 991–1002.

Peake,L., Reid,B.J and Tang,X. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. Geoderma. 235-236: 182-190.

Sepaskhah,A.R and Ahmadi,S.H. 2010. A review on partial root zone drying irrigation. International Journal of Plant Production. 4.4: 241-259.

Sohi,S., Krull,E., Lopez-Capel,E and Bol,R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Advance agronomy. 105: 47-82.

Steiner,C., Das,K.C., Garcia,M., Forster,B and Zech,W. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic ferralsol. Pedobiologia. 51: 359–366.

Uzoma,K., Inoue,M., Andry,H., Fujimaki,H., Zahoor,A and Nishihara,E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use Management. 27: 205-212.

Vaccaria,F.P., Barontia,S., Lugato,E., Genesio,L., Gastaldi,S., Fornasier,F and Migliettaa,F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1217-1228

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۲۸-۱۲۱۷

Effect of Different Rates of Biochar on Soil Moisture Characteristics under Partial Root Zone Drying of Maize

M.Dehghani Ahmadabadi[1], A.Shahnazari[2*], M.Ziatabar Ahmadi[3], M.R. Ardakani[4], A.Ghadami Firouzabadi[5]

Recived: May.02, 2018 Accepted: Jul.25, 2018

Abstract

The main purpose of irrigation and partial root zone drying is to overcome soil moisture deficit in root zone for plant use and water saving, respectively. In addition, one of the soil amendments to increase soil fertility is biochar, which affects the amount of water abstraction in the root zone. The aim of this study was to evaluate the effect of partial root zone irrigation of maize under different levels of biochar (6 and 12 ton ha^{-1}) on the moisture characteristics and soil water content of loamy soil. The irrigation treatments were full irrigation, partial root zone drying at 55 and 65 levels. The study was done in Ahmadabad Mostofi Research Farm in Tehran. This project was Randomly Complete Block Design under Split Plot with three replicates. The results showed that full irrigation treatment had the highest amount of soil saturation moisture and available water, which had a significant difference with partial root zone irrigation (PRD) treatments. On the other hand, in the soil of PRD, under low matric potential and near saturation level, maximum soil moisture content was related to 12 ton ha^{-1} treatment of biochar. In addition, this treatment had the highest amount of available water and water content that were 24 and 15 % and 18.6 and 9.8 %, respectively, higher than 0 and 6 ton ha^{-1} biochar treatments. Therefore, the biochar can effectively improve the soil ability to maintain water. This condition has improved 1 to 13 % the maize yield under partial root zone irrigation.

Keywords: Extractable water, Maize yield, Partial root zone drying, Saturated water content, Soil moisture retention curve

1- Ph.D. student of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Professor of Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj branch
5- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran
(* - Corresponding Author Email: aliponh@yahoo.com)