تأثیر کاربرد شلتوک برنج و بیوچار آن بر الگوی خیس‌شدگی یک خاک رس سیلتی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی

افسانه ابراهیمی[۱*]، محمد شایان‌نژاد[۱] و محمدرضا مصدقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲)

چکیده

الگوی خیس‌شدگی در آبیاری قطره‌ای از ویژگی‌های مهمی است که در هنگام طراحی باید به آن توجه شود. بهبود ابعاد الگوی خیس‌شدگی موجب افزایش کارایی مصرف آب و سیستم آبیاری می‌شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کاربرد شلتوک برنج و بیوچار (biochar) آن بر الگوی خیس‌شدگی خاک رس سیلتی تحت آبیاری قطره‌ای سطحی بود. در این پژوهش از یک جعبه به طول ۲۰۰، عرض ۵۰ و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور سهولت در پر و خالی کردن، تنها تا ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری آن از خاک پر شد. شلتوک برنج و بیوچار به‌میزان صفر، یک و دو درصد وزنی خاک با آرایش فاکتوریل تیمارها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار افزوده شد. بیوچارها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. آزمایش‌ها با قطره‌چکان دارای دبی ثابت چهار لیتر در ساعت با مدت‌زمان آبیاری سه ساعت انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد حضور تیمارهای آلی سبب افزایش رطوبت خاک در دامنه رطوبتی گنجایش زراعی تا نقطه پژمردگی دائم شدند که این افزایش در تیمار بیوچار دو درصد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. همچنین افزودن شلتوک و بیوچار در خاک رسی سیلتی سبب کاهش پیشروی افقی و افزایش پیشروی عمودی شد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، شلتوک برنج، آبیاری قطره‌ای، جبهه رطوبتی خاک

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران
*: مسئول مکاتبات: af.ebrahimi@yahoo.com

مقدمه

شکل و ابعاد الگوی خیس‌شدگی می‌تواند طراحان را در انتخاب تعداد، نوع قطره‌چکان، آرایش قطره‌چکان‌ها و لوله‌ها راهنمایی کند. علاوه‌بر این مقاومت و استحکام گیاه در برابر نیروی باد بستگی به ویژگی‌های الگوی خیس‌شدگی خاک دارد و در مناطق خشک که بارندگی کم است توسعه ریشه محدود به الگوی خیس‌شدگی است. به‌طوری که با بهبود آن مقدار محصول تولیدی نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی اصلاح الگوی خیس‌شدن با توجه به شرایط موجود، موجب افزایش کارایی سیستم آبیاری و مصرف آب می‌شود (۲).

درباره ویژگی‌های الگوی خیس شدن خاک تاکنون پژوهش‌های قابل‌توجهی صورت پذیرفته است. حیدری و همکاران (۹) به‌منظور بررسی اثر شیب و دبی بر توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای پژوهشی انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد با افزایش شیب زمین، در مدت‌زمان آبیاری ثابت، مساحت و ابعاد پیاز رطوبتی افزایش یافته و الگوی رطوبتی به‌سمت پایین‌دست گسترده شده است. همچنین نتایج نشان داد با افزایش دبی، مساحت خیس‌شده افزایش یافت که بخش زیاد این افزایش، در جهت افقی صورت گرفت و جبهه رطوبتی سطحی بود.

به‌منظور بررسی اثر حجم آب آبیاری و دبی قطره‌چکان بر حجم خاک خیس‌شده آکر و همکاران (۱) پژوهشی را روی یک سیستم آبیاری قطره‌ای در خاک لومی انجام دادند. بر اساس نتایج حاصل مشخص شد که دبی‌های متفاوت قطره‌چکان اثر معنی‌داری بر میزان پیشروی جبهه رطوبتی در جهت افقی نداشته و افزایش دبی باعث کاهش عمق جبهه رطوبتی شده است. حجم‌های مختلف آبیاری نیز تأثیر معنی‌داری بر عمق جبهه رطوبتی داشته ولی بر شعاع پخشیدگی آب در سطح اثر معنی‌داری نداشته است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که شدت پخش بیشتر آب در سیستم آبیاری قطره‌ای باعث گسترش بیشتر آب و افزایش حجم جبهه رطوبتی خواهد شد.

علاوه بر نقش پارامترهای طراحی اختلاط برخی مواد افزودنی نظیر بقایای گیاهی، کود دامی، کمپوست و مواد پلیمری و بیوچار می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و به تعبیری پارامترهای طراحی و مدیریتی آبیاری را متأثر و امکان افزایش بهره‌وری مصرف آب را فراهم کند.

بیوچار زغال تهیه‌شده از پیرولیز توده زیستی (biomass) است. پیرولیز فرایندی است که مواد آلی تحت شرایط اکسیژن کم و در اثر گرما تجزیه می‌شوند (۱۶)، بیوچار پایداری بیشتری نسبت به مواد آلی دیگر را دارد، به همین دلیل تجزیه آن در خاک هزاران سال تخمین زده شده است. ترکیب کردن بیوچار با خاک می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان و تخلخل را اصلاح کند که درنتیجه تهویه و ظرفیت نگهداری آب خاک، کارکرد خاک و رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد (۵).

فواید کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی شامل بهبود نگهداری آب و مواد غذایی خاک است. افزودن بیوچار به خاک می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر نگهداری آب در خاک اثرگذار باشد. نگهداری آب خاک وابسته به توزیع و ارتباط منافذ با یکدیگر است که به‌طور به‌وسیله اندازه ذرات، ویژگی‌های ساختمانی و مقدار مواد آلی خاک تعیین می‌شود. اثر چشمگیر کاربرد بیوچار به سطوح درونی زیاد بیوچار مربوط می‌شود. بیوچار دارای ساختمان متخلخل است (۶) به‌طوری که تخلخل کل بیوچار تا ۸۰ درصد حجمی گزارش شده است (۱۴). به‌دلیل وجود این ساختار بسیار متخلخل، بیوچار ذخیره‌گاه مناسبی برای آب و عناصر غذایی است؛ به‌همین دلیل آن را به‌عنوان محافظ در برابر خشکی (به‌ویژه در خاک شنی) در نظر می‌گیرند (۱۸).

افزایش ظرفیت نگهداری آب و آب در دسترس (AWC) خاک شنی با افزودن بیوچار توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (۴ و ۱۸). همچنین افزایش در مقدار ظرفیت آب در دسترس در اثر افزودن بیوچار به‌همراه کمپوست توسط لیو و همکاران ذکر شده است. گزارش شده است کاربرد بیوچار در خاک‌های لومی موجب بهبود متوسط AWC (۱۳) و در خاک‌های رسی موجب کاهش AWC می‌شود.

فرامرزی و همکاران (۷) در پژوهشی به بررسی تأثیر سطوح مختلف بیوچار بر سرعت توسعه و ابعاد هندسی پیاز رطوبتی تحت یک تغذیه‌کننده نقطه‌ای در اراضی شیب‌دار پرداختند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که به‌کارگیری بیوچار در اراضی شیب‌دار مدت‌زمان توسعه عمقی جبهه رطوبتی را افزایش داده است و باعث کاهش کشیدگی جبهه رطوبتی به‌سمت پایین‌دست و افزایش جبهه رطوبتی به‌سمت بالادست گسیلنده بود.

در این پژوهش وضعیت توسعه‌یافتگی الگوی خیس‌شدگی خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای تحت‌تأثیر اضافه شدن شلتوک و بیوچار حاصل از آن به خاک بررسی خواهد شد. از آنجا که بیوچار موجب بهبود ساختمان و ظرفیت نگهداشت آب خاک می‌شود و با توجه به اینکه در خاک‌های رسی توسعه‌یافتگی الگوی خیس‌شدگی خاک سطحی و افقی و نفوذ آب در این خاک‌ها کمتر است و علاوه بر اینکه مقاومت و استحکام گیاه در برابر نیروی باد بستگی به ویژگی‌های الگوی خیس‌شدگی خاک دارد و در مناطق خشک که بارندگی کم است توسعه ریشه محدود به الگوی خیس شدگی است، بنابراین انتظار می‌رود افزودن این مواد به خاک سبب تغییر در شکل الگوی خیس‌شدگی خاک شوند، به‌همین دلیل در این پژوهش تأثیر سطوح مختلف شلتوک برنج و بیوچار آن بر الگوی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

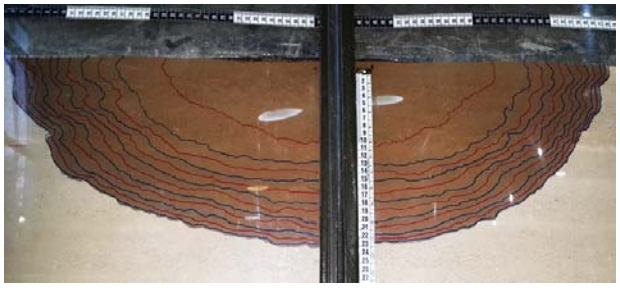
این پژوهش آزمایشگاهی با کاربرد سه سطح شلتوک برنج و بیوچار آن با آرایش فاکتوریل تیمارها (تیمار اول شامل نوع ماده آلی با دو سطح و تیمار دوم شامل درصد کاربرد با سه سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار روی خاکی با بافت رس سیلتی با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۳ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه و ۴۲ ثانیه شرقی در محل آزمایشگاه پژوهشی گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. بافت خاک بررسی‌شده ریزبافت بود که به روش پیپت اندازه‌گیری شد و چگالی ظاهری آن ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که در مزرعه به روش استوانه تعیین شد. در این پژوهش از یک جعبه به شکل مکعب مستطیل که سه دیواره آن آهنی و یک دیواره آن از جنس ورقه‌ای شفاف پلکسی‌گلاس به طول ۲۰۰، عرض ۵۰ و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر بود، استفاده شد. به‌منظور سهولت در پر و خالی کردن جعبه، تنها تا ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری آن از خاک پر شد. به‌منظور تأمین دبی مدنظر، یک سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی کوچک شامل یک مخزن آب، قطره‌چکان تنظیم‌شونده و لوله انتقال آب به قطره‌چکان اجرا و برای تأمین فشار لازم به‌منظور خروج آب از قطره‌چکان، از پمپ و شیر کنترل برای ایجاد فشار ثابت استفاده شد.

بیوچار مورد استفاده در این پژوهش از شلتوک برنج بود که از مزارع کشت برنج واقع در فلاورجان اصفهان جمع‌آوری‌شده و پس از آسیاب از الک دو میلی‌متری برای تهیه بقایای تازه و ساختن بیوچار عبور داده شد. به‌منظور ساخت بیوچار، شلتوک برنج در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره مخصوص در شرایط عدم وجود اکسیژن گرمادهی شد. محفظه‌ای با لوله‌های ورودی و خروجی، ترموکوپل و مسیر جمع‌آوری شیرابه ساخته و درون فضای کوره تعبیه شد (۱۲). شرایط بدون اکسیژن با ورود گاز نیتروژن از طریق لوله‌های ورودی و خروجی در فضای محفظه کوره فراهم شد. سپس شلتوک برنج درون محفظه کوره قرار داده شد، دمای محفظه سه درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر یک دقیقه افزایش یافت و دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت بر آن اعمال و سپس کوره به‌آرامی برای رسیدن به دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد یا کمتر خنک شد (شکل ۱).

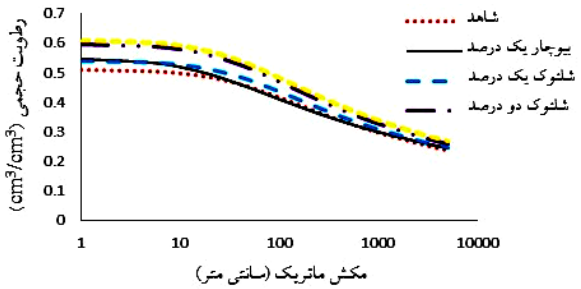
سطوح شلتوک به‌صورت صفر، یک و دو درصد وزنی و سطوح بیوچار نیز به‌صورت صفر، یک و دو درصد وزنی انتخاب شد. چگونگی اعمال تیمارها بدین ترتیب بود که ابتدا خاک مورد استفاده به‌صورت مرکب و دست‌خورده از عمق ۳۰ –۰ سانتی‌متری برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد، از الک چهار میلی‌متری برای جدا کردن سنگ، چوب و بقایای محصولات عبور داده شد. خاک خشک پس از اختلاط کامل با تیمارها به‌صورت دستی به داخل جعبه

الف ب ج

شکل ۱. نمایی از: الف) شلتوک برنج آسیاب شده، ب) بیوچار تولیدشده و ج) کوره الکتریکی



شکل ۲. نمونه‌ای از نحوه ترسیم پیشروی رطوبت در خاک



شکل ۳. منحنی مشخصه رطوبتی خاک رسی سیلتی تحت تأثیر دو سطح تیمارهای بیوچار و شلتوک برنج

ریخته شده و به‌وسیله غلتک به تراکم مدنظر رسانده شد. در این آزمایش از قطره‌چکان خودتنظیم شونده نتافیم با دبی ثابت چهار لیتر در ساعت استفاده شد. برای واسنجی قطره‌چکان با دبی چهار لیتر در ساعت، نیز از بشر مدرج و کرنومتر استفاده شد.

اندازه‌گیری الگوی خیس‌شدگی خاک

پس از پر کردن جعبه از خاک، قطره‌چکان روی سطح خاک و در نقطه وسط جعبه قرار داده شد. با نفوذ آب به درون خاک، موقعیت جبهه رطوبتی از طریق صفحه پلاکسی‌گلاس قابل رؤیت بود. در فواصل زمانی معین پس از شروع نفوذ، جبهه پیشروی (رطوبتی) ترسیم شد. مدت زمان برقراری جریان در هر آزمایش ثابت و برابر سه ساعت در نظر گرفته شد. از زمان شروع آزمایش در زمان‌های مشخص ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ دقیقه، موقعیت هندسی جبهه رطوبتی با استفاده از ماژیک روی شیشه مدل ترسیم شد. پس از قطع آبیاری، مختصات خطوط ترسیم‌شده روی شیشه برداشت و با استفاده از نرم‌افزار MS Excel رسم شد (شکل ۲). تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS statistics 23 انجام و میانگین‌ها به روش آزمون دانکن مقایسه شدند.

جدول ۱. میانگین پارامترهای برازش مدل ون‌گنوختن برای منحنی نگهداشت آب خاک در خاک رسی سیلتی به‌ازای تیمارهای مختلف

تیمار آلی	θ_s	θ_r	α	n	m	R^2
شاهد	۰/۵۰۵	۰/۲۳۷	۰/۰۲۴۵	۱/۲۲۵	۰/۱۸۳۵	۰/۹۸۲
خاک حاوی یک درصد بیوچار	۰/۵۴۵	۰/۲۴۵	۰/۰۲۹۵	۱/۲۵۲۵	۰/۲۰۳	۰/۹۸۴
خاک حاوی یک درصد شلتوک	۰/۵۴۱	۰/۲۴۳	۰/۰۲۸	۱/۲۴۵	۰/۱۹۶۵	۰/۹۹
خاک حاوی دو درصد شلتوک	۰/۵۹۲	۰/۲۵۶	۰/۰۳۷	۱/۲۷۵	۰/۲۱۴	۰/۹۸۱
خاک حاوی دو درصد بیوچار	۰/۶۱۷	۰/۲۶۸	۰/۰۴۸	۱/۲۹۵	۰/۲۲۷۵	۰/۹۸۹

از آنجا که افزودن مواد آلی به خاک سبب تغییر در ویژگی‌های مؤثر بر الگوی خیس‌شدگی خاک می‌شود در این پژوهش پارامترهای هیدرولیکی تیمارهای مورد آزمایش توسط دستگاه جعبه شن و صفحه فشاری اندازه‌گیری شد. در ابتدا نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و پس از اشباع شدن و توزین آنها، نمونه‌ها تا فشار ۰/۰۸ سانتی‌متر درون دستگاه جعبه شن و برای سایر فشارها درون دستگاه صفحه فشاری قرار گرفته و فشار مدنظر به‌ترتیب از کم به زیاد با استفاده از کپسول اعمال شد. با تنظیم فشار، نمونه‌ها تا زمان به تعادل رسیدن با فشار موردنظر در دستگاه قرار می‌گرفتند (تا زمانی که خروج آب از دستگاه مشاهده نشود) و همچنین اختلاف دو وزن متوالی آنها از ۰/۲ گرم کمتر شود. پس از اندازه‌گیری وزن در فشارهای ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳۳، ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ بار، نمونه‌ها در آون قرار داده شد تا وزن آنها با کم کردن وزن سیلندر و پارچه کف استوانه به‌دست آمد. مقادیر رطوبت وزنی با ضرب در چگالی ظاهری خاک به رطوبت حجمی خاک تبدیل شد. برای برازش داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی نمونه‌های خاک با مدل ون گنوختن و تعیین پارامترهای آن از ابزار solver موجود در نرم‌افزار MS Excel استفاده شد (شکل ۳).

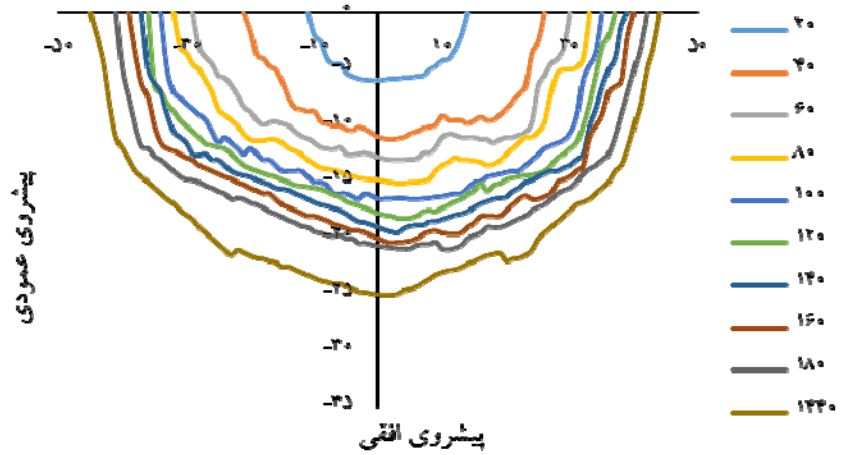
بحث و نتایج

تأثیر کاربرد شلتوک برنج و بیوچار آن بر ویژگی‌های خاک و منحنی مشخصه رطوبتی

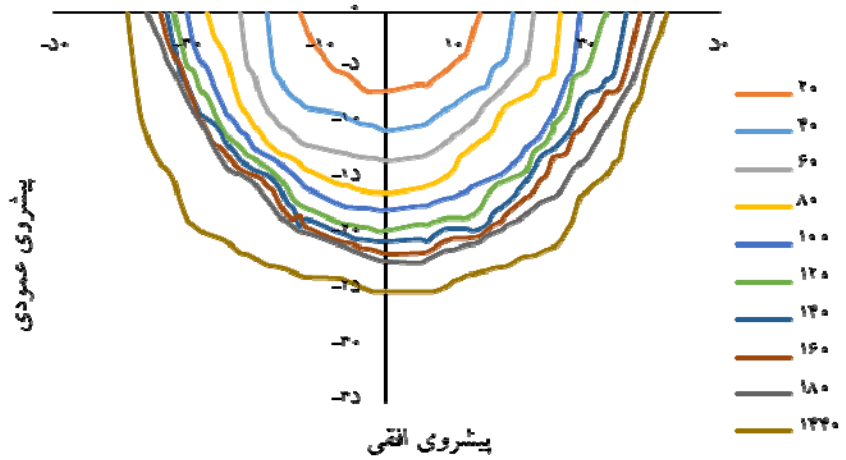
در جدول (۱) نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مربوط به پارامترهای هیدرولیکی پنج تیمار مورد بررسی ارائه شده است. افزودن تیمارهای آلی سبب افزایش رطوبت در نقطه اشباع و پژمردگی خاک در همه مکش‌ها شده است که بیشترین نگهداشت رطوبت خاک مربوط به تیمار بیوچار دو درصد است. مقدار α در تیمار بیوچار دو درصد از همه بیشتر است که سبب جابه‌جایی نمودار به‌سمت چپ شده است. این اثر به مفهوم درشت‌تر شدن منافذ خاک در این تیمار است. مقدار n در همه تیمارها روند افزایشی داشته که بیشترین مقدار متعلق به تیمار دارای بیوچار دو درصد است که به‌معنای افزایش کیفیت خاک است. طبق جدول افزودن مواد آلی به‌ترتیب سبب افزایش، ۷، ۷، ۱۷ و ۲۲ درصدی میزان θ_s، ۳، ۲/۵، ۸ و ۱۳ درصدی میزان θ_r، ۱/۶، ۱/۶، ۴ و ۵ درصدی میزان n و ۲۰، ۱۴، ۴۸ و۹۲ درصدی میزان α در تیمارهای بیوچار و شلتوک یک درصد و شلتوک و بیوچار دو درصد نسبت به تیمار شاهد شد.

گلاسر و همکاران (۸) گزارش کردند که ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های تراپرتا حدود ۱۸درصد نسبت به خاک‌های مجاور که فاقد بیوچار بودند، بیشتر بود. با توجه به پایداری بیوچار در برابر تجزیه، به نظر می‌رسد که این ماده با داشتن منافذ متعدد (در مقیاس میکرون) می‌تواند مستقیماً توانایی نگهداری آب در خاک را به‌صورت بلندمدت افزایش دهد. هینا و همکاران (۱۱) علت افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک در اثر افزودن بیوچار را تخلخل زیاد آن و کیشیموتو و سوگیرا (۱۵) علت این افزایش را، سطح ویژه داخلی بالای بیوچار عنوان کردند.

از آنجا که رفتار رطوبتی خاک در مکش‌های ماتریک



شکل ۴. پیشروی الگوی خیس شدگی برای خاک شاهد (بدون بیوچار و شلتوک) در زمان‌های مختلف (دقیقه) از شروع آبیاری

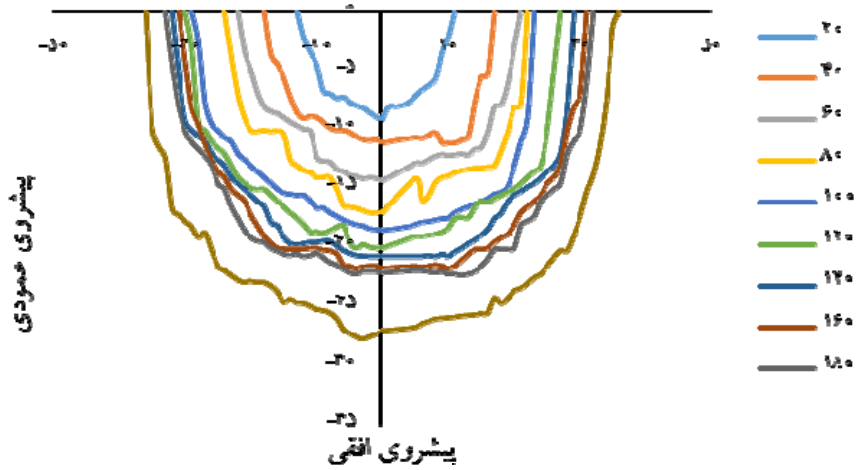


شکل ۵. پیشروی الگوی خیس‌شدگی برای خاک حاوی یک درصد بیوچار در زمان‌های مختلف (دقیقه) پس از شروع آبیاری

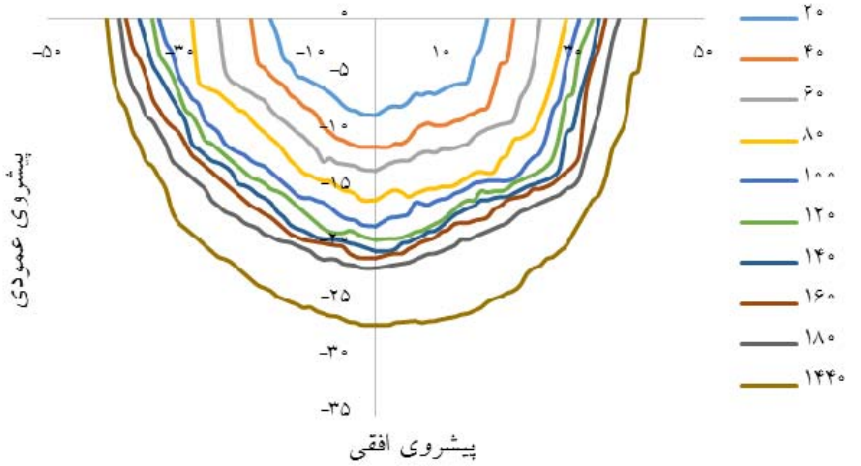
بالا تحت کنترل بافت خاک و منافذ ریز آن قرار دارد ولی در مکش‌های پایین تحت کنترل ساختمان خاک و تخلخل درشت آن است (۱۰) و از طرفی بخش اعظم تخلخل بیوچار را منافذ ریز تشکیل می‌دهد (۱۷) انتظار این بود که با افزودن بیوچار تخلخل ریز خاک افزایش پیدا کرده و به‌تبع آن رطوبت در وضعیت PWP نیز افزایش معنی‌دار پیدا کند ولی در عمل این گونه نشد. بنابراین این نتایج تأییدی است بر گزارش آندرلنیا و همکاران (۳) مبنی بر اینکه کاربرد بیوچار باعث اصلاح شرایط ساختمانی خاک و تخلخل درشت آن شده ولی در بافت و منافذ ریز آن تغییری ایجاد نمی‌کند. به همین دلیل رطوبت در θ_s افزایش پیدا کرده، ولی در PWP که تحت کنترل منافذ ریز خاک قرار دارد تغییرات معنی‌داری نداشته است.

بررسی الگوی خیس‌شدگی خاک

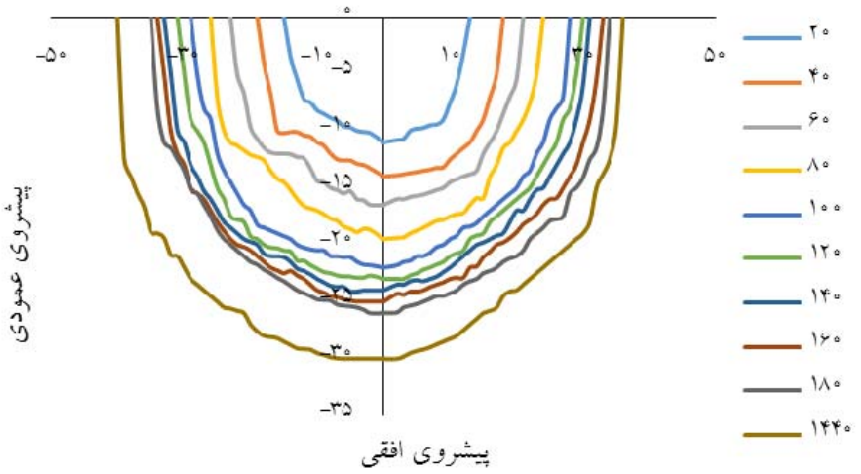
الگوی خیس‌شدگی عمودی خاک در زمان‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ و ۱۴۴۰ دقیقه پس از شروع آبیاری در تیمارهای مختلف در شکل‌های ۴ تا ۸ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که الگوی خیس‌شدگی در نمونه‌های حاوی دو درصد وزنی بیوچار و شلتوک برنج، نسبت به شاهد و نمونه‌های حاوی یک درصد وزنی بیوچار و شلتوک برنج از پیشروی افقی کمتر و پیشروی عمودی بیشتری برخوردار شده است.



شکل ۶. پیشروی الگوی خیس‌شدگی برای خاک حاوی دو درصد بیوچار در زمان‌های مختلف (دقیقه) پس از شروع آبیاری



شکل ۷. پیشروی الگوی خیس شدگی برای خاک حاوی یک درصد شلتوک برنج در زمان‌های مختلف (دقیقه) پس از شروع آبیاری



شکل ۸. پیشروی الگوی خیس‌شدگی برای خاک حاوی دو درصد شلتوک در زمان‌های مختلف (دقیقه) پس از شروع آبیاری

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس میزان پیشروی افقی و عمودی برای چهار زمان ابتدایی، میانی و انتهایی و ۲۴ ساعت پس از آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	پیشروی عمودی (سانتی‌متر)				پیشروی افقی (سانتی‌متر)			
		۲۰ دقیقه	۱۰۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۴۴۰ دقیقه	۲۰ دقیقه	۱۰۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۴۴۰ دقیقه
تیمار	۱	۰/۰۵۶ ns	۱/۶۲ns	۲/۴۹۴ns	۶/۸۴۵**	۰ns	۰/۸۸۹ns	۱/۶۲*	۳۶/۱۲۵**
سطح ماده آلی	۲	۱۰/۲۸۲**	۱۳/۵۲**	۱۹/۲۶۷**	۲۸/۱۴۵**	۱۸/۵**	۴۳۰/۸۸۹**	۴۲۹/۲۶۲**	۳۸۴/۱۳**
سطح × تیمار	۲	۰/۰۴۱ ns	۰/۴۲ns	۰/۶۲۴ ns	۱/۷۴۵**	۱/۵ns	۰/۲۲۲ns	۰/۵۱۲**	۱۳/۶۲۵**
خطا	۱۲	۰/۶۲۳	۰/۳۷۵	۰/۷۸۳	۰/۸۷۵	۰/۲۵	۰/۱۹۴	۰/۲۸۱	۰/۷۵

**، *و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری است.

طبق شکل‌های ۴ تا ۸، کمترین عمق جبهه رطوبتی در تیمار شاهد بلافاصله پس از آبیاری تا حدود ۲۰/۷ سانتی‌متر پیشروی کرده است که با افزایش بیوچار و شلتوک و افزایش سطح آنها از یک به دو درصد میزان عمق جبهه رطوبتی تا ۲۶ سانتی‌متر برای تیمار شلتوک دو درصد و ۲۳ سانتی‌متر برای تیمار بیوچار دو درصد افزایش داشته است که میزان افزایش در تیمار شلتوک نرخ بیشتری داشت که می‌توان گفت در تیمار حاوی بیوچار، سطح ویژه بالای بیوچار سبب ذخیره آب در خاک شده و نسبت به تیمار شلتوک دو درصد از پیشروی عمودی کمتری برخوردار شده و در عوض پیشروی افقی آن به نسبت تیمار شلتوک دو درصد بیشتر بوده است.

به‌منظور بررسی اثر تیمارها بر چگونگی توزیع آب در خاک، داده‌های مشاهده شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه‌وتحلیل شد (جدول ۲). آنالیزهای انجام شده، نشان داد که اثر ماده آلی (بیوچار و شلتوک) تنها در زمان ۱۴۴۰ برای پیشروی افقی و عمودی و برای زمان ۱۸۰ دقیقه و برای پیشروی افقی معنی‌دار بود و سطوح ماده آلی نیز برای پیشروی افقی و عمودی تمام بازه‌های زمانی دارای اختلاف معنی‌دار بوده است. از نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) بین سطوح مختلف بیوچار و شلتوک این نتایج حاصل شد که پیشروی افقی جبهه رطوبتی با افزایش بیوچار و ماده آلی (شلتوک)، کاهش و پیشروی عمودی افزایش یافته است.

در هر ستون و هر گروه حروف انگلیسی مشترک و غیرمشترک به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ازلحاظ آماری بین تیمارها تنها در زمان ۲۰ دقیقه و برای نفوذ عمقی تفاوت وجود داشته و برای سایر زمان‌ها و همچنین پیشروی افقی تفاوت معناداری از لحاظ آماری بین بیوچار و شلتوک برنج وجود نداشته است. نتایج مقایسه میانگین و همچنین شکل‌های ۴ تا ۸ نشان می‌دهد که نرخ رشد الگوی خیس‌شدگی تقریباً ثابت است که این به‌دلیل یکنواختی بافت خاک موردبررسی می‌تواند باشد. با افزایش زمان، پیشروی افقی الگوی خیس‌شدگی خاک کاهش یافت به‌طوری که در خاک بدون بیوچار و شلتوک، میزان پیشروی افقی بلافاصله پس از آبیاری به‌طور میانگین به ۴۲ سانتی‌متر رسید و در تیمارهای یک و دو درصد وزنی بیوچار و شلتوک، بیشترین میزان پیشروی به ترتیب برابر ۳۷، ۳۲/۵، ۳۶، ۳۵/۵ سانتی‌متر و افزایش پیشروی عمودی نیز به‌ترتیب برابر ۲۱/۳، ۲۳، ۲۲ و ۲۵ سانتی‌متر بود. این نتایج نشان می‌دهد که بیوچار و مواد آلی با جذب آب و حفظ آن، کارایی جذب آب خاک را افزایش می‌دهند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که افزودن شلتوک برنج و

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر پیشروی عمقی و پیشروی افقی آب در خاک

تیمارهای آزمایشی	پیشروی عمودی (سانتی‌متر)				پیشروی افقی (سانتی‌متر)			
	۲۰ دقیقه	۱۰۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۴۴۰ دقیقه	۲۰ دقیقه	۱۰۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۴۴۰ دقیقه
نوع تیمار								
بیوچار	۷/۳۹^{a}	۱۷/۷^{a}	۲۲/۱^{a}	۲۶/۱^{b}	۲۹/۶۷^{a}	۶۴/۳۳^{a}	۷۲/۷۳^{b}	۷۹/۶۷^{b}
شلتوک برنج	۷/۲۷^{a}	۱۸/۳^{a}	۲۲/۸۴^{a}	۲۷/۳۳^{a}	۲۹/۶۷^{a}	۶۴/۷۷^{a}	۷۳/۱۶^{a}	۸۲/۵^{a}
درصد تیمار آلی								
صفر	۶^{c}	۱۶/۵^{c}	۲۰/۷^{c}	۲۵^{b}	۳۱/۵^{a}	۷۲^{a}	۸۱^{a}	۸۹^{a}
یک	۷/۳۸^{b}	۱۸/۱^{b}	۲۲/۴۳^{b}	۲۶^{b}	۲۹/۳^{ab}	۶۶/۳۳^{b}	۷۵/۰۸^{b}	۸۱/۲۵^{b}
دو	۸/۶۲^{a}	۱۹/۵^{a}	۲۴/۲۸^{a}	۲۹/۱۵^{a}	۲۸^{c}	۵۵/۳۳^{c}	۶۴/۳۲^{c}	۷۳^{c}
سطح × تیمار								
شاهد	-	-	-	۲۵^{c}	-	–	۸۱^{a}	۸۹^{a}
بیوچار یک درصد	-	-	-	۲۵^{c}	-	–	۷۴/۵^{b}	۸۲/۵^{b}
شلتوک یک درصد	-	-	-	۲۷^{bc}	-	–	۷۵/۶۷^{b}	۸۰^{c}
شلتوک دو درصد	-	-	-	۳۰^{a}	-	–	۶۴/۶۷^{c}	۷۴^{d}
بیوچار دو درصد	-	-	-	۲۸/۳^{b}	-	–	۶۴^{c}	۷۰^{e}

در هر ستون و هر گروه حروف انگلیسی مشترک و غیرمشترک به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار است.

بیوچار به خاک سبب تغییر در الگوی خیس شدگی خاک شد. بدین‌صورت که با افزودن این مواد به خاک پیشروی افقی کاهش و پیشروی عمودی افزایش یافت. همچنین اضافه کردن بیوچار به خاک به‌دلیل برخورداری از سطح ویژه زیاد و تخلخل بالا سبب افزایش پارامترهای هیدرولیکی خاک به‌ویژه در تیمار بیوچار دو درصد به‌ترتیب با افزایش ۲۲، ۱۳، ۵/۷ و ۹۲ درصدی میزان پارامترهای θ_s، θ_r، n و α نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طور کلی می‌توان گفت اضافه کردن این مواد به خاک‌های رسی که ممکن است رشد ریشه را محدود کنند، سبب اصلاح ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و بهبود حرکت آب در خاک می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Acar, B., R. Topak and F. Mikailsoy. 2009. Effect of applied water and discharge rate onwetted soil volume in loam or clay loam soil from an irrigated trickle source. *Africa Journal Agricultural Research* 1: 49-54..
2. Alizadeh.A. 2004. Principles and Practices of Trickle Irrigation. Astan Quds Razavi Publications, Imam Reza (A.S.) University.
3. Andrenelli, M. C., A. Maienzab, L. Genesiob, F. Migliettab, S. Pellegrini, F. P. Vaccari and N. Vignozzi. 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.
4. Busscher, W., J. Novak, D. Evans, D. Watts, M. Niandou and M. Ahmedna. 2010. Influence of pecan biochar on physical properties of a norfolk loamy sand. *Soil Science* 175: 10–14.

5. Downie, A., A. Crosky and P. Munroe. 2009. Physical properties of biochar. pp. 13-32. *In:* Lehmann, J. and S. Joseph. (Eds.). Biochar for Environmental Management- Science and Technology Earthscan, London, Sterlin, VA.
6. Downie, A., L. Van Zwieten, W. Doughty and F. Joseph. 2007. Nutrient retention characteristics of chars and the agronomic implication. *In:* Proceedings of the International Agrichar Iniative Conference, Terrigal, Australia.
7. Faramarzi. E., Nouri. M. R. 2017. Biochar effect on the duration of the penetration depth of wetting front to a specific depth and Wetting Front Advance From emitting the sloping lands. *In:* Proceeding of the15th Soil
Science *Congress* of *Iran*. Isfahan. Soil Science Society of Iran, Isfahan University of Technology.
8. Glaser, B., J. Lehmann and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.
9. Heidari. Z., M. Farasati and R. Ghobadian. 2015-2016. Effect OF Slope On Soil Wetting Pattern Under Surface Drip Irrigation And Simulation HYDRUS-2D Model. *Journal of Water and Irrigation Management* 2: 277-288.
10. Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York.
11. Hina, K., P. Bishop, M. C. Arbestain, R. Calvelo-Pereira, J. A. Macia-Agullo, J. Hindmarsh, J. A. Hanly, F. Macias and M. J. Hedley. 2010. Producing biochars with enhanced surface activity through alkaline pretreatment of feedstocks. *Australian Journal of Soil Research* 48: 606-617.
12. Hossain, M. K., V. Strezov, K. Y. Chan, A. Ziolkowski and P. Nelson. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrientproperties ofwastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management* 92: 223-228.
13. Karhu, K., T. Mattila, I. Bergström and K. Regina. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH_4 uptake and water holding capacity results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 309–313.
14. Kinney, T., C. Masiello, B. Dugan, W. Hockaday, M. Dean, K. Zygourakis and R. Barnes. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy* 41: 34–43.
15. Kishimoto, S. and G. Sugiura. 1985. Charcoal as a soil conditioner. *International Achievements for the Future* 5:12–23.
16. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for Environmental Management: An introduction. pp. 1-13. *In:* Lehmann, J. and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management. Science Technology. Earthscan, London, UK.
17. Major, J., M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil* 333: 117–128.
18. Novak, J. M., W. J. Busscher, D. L. Laird, M. Ahmedna, D. W. Watts and M. A. S. Niandou. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science* 174: 105-112

Journal of Water and Soil Science
Vol. 23, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Rice Husk and its Biochar on Wetting Pattern in a Silty Clay Soil under Surface- Trickle Irrigation

A. Ebrahimi[1*], M. Shayannejad[1] and M. R. Mosaddeghi[2]

(Received: December 17-2018 ; Accepted: March 13-2019)

Abstract

Wetting pattern in a trickle irrigation system is one of the most important characteristics that should be taken into consideration for designing the irrigation systems. Improving the dimensions of the wetting pattern will increase the water use efficiency and irrigation systems. The objective of this study was to investigate the effect of rice husk and its biochar application on the wetting pattern in a silty clay soil under surface trickle irrigation. A box with the length of 200, the width of 50 and the height of 100 cm was used. To easily fill and empty the model, it was filled up to a height of 50 cm. The rice husk and its biochar were added to the soil at the rates of 0, 1 and 2 mass percentages based on a factorial arrangement of the treatments in a completely randomized design with three replications. Biochar was prepared in a special furnace at 500°C without oxygen. The experiments were done with a flow rate of 4 liters per hour with the irrigation time of 3 hours. The results of the analysis of variance showed that the organic treatments increased the soil water content in the range of field capacity to a permanent wilting point; the highest increase was observed for the biochar 2% treated soil. Also, the addition of rice husk and biochar in the silty clay soil reduced the horizontal advance and increased the vertical advance wetting pattern.

Keywords: Biochar, Rice husk, Surface trickle irrigation, Wetting pattern

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding author: af.ebrahimi@yahoo.com