مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

ص ۵۶۱-۵۵۱

اثرات بایوچارهای طبیعی و کمپوست زبالهٔ شهری بر پارامترهای هیدرولیکی خاک ماسه‌بادی

❖ **علی یزدان‌پناهی؛** دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ **خالد احمدالی*؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ **سلمان زارع؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ **تورج شعبانی عمران؛** کارشناس مسئول دفتر امور بیابان، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که در مدل‌سازی حرکت آب، انتقال املاح و آلاینده‌ها در محیط‌های متخلخل، تعیین، مقدار و سرعت نفوذ، طراحی زهکش‌ها و دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی کاربرد زیادی دارد. در این مطالعه با افزایش سطوح مختلف (۱، ۳ و ۵ درصد) بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری به خاک جمعاً ۱۶ نوع خاک تهیه شد و اثر افزایش این مواد بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بررسی شد. برای این منظور هدایت هیدرولیکی خاک‌ها در آزمایشگاه و به روش بار ثابت اندازه‌گیری شد. سپس مدل‌سازی منحنی مشخصهٔ رطوبتی (SMC) با استفاده از مدل ون‌گنوختن-معلم (VGM) برای همهٔ خاک‌ها انجام گردید و پارامترهای این مدل شامل رطوبت باقی‌مانده (θ_r)، رطوبت اشباع (θ_s)، پارامترهای α، m، n و نیز هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از داده‌های زودیافت خاک نظیر درصد ذرات خاک (شن، سیلت، و رس)، چگالی ظاهری و مقادیر ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با نرم‌افزارهای ROSETTA و RETC از طریق مدل‌سازی معکوس تعیین شد. نتایج نشان داد که افزایش بایوچار کمپوست زباله و بایوچار طبیعی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی آب در خاک گردید و تیمار۱۱ که دارای خاک ۵+ درصد بایوچار طبیعی ۱+ درصد بایوچار زباله شهری بوده با ۶۴ درصد و بعد از آن تیمار ۱۳ با کاهش ۶۱ درصدی بیشترین کاهش Ks شده است. بیشترین و کمترین مقدار Ks مربوط به تیمارهای ۱ و ۱۱ به ترتیب برابر ۷۰۷/۹ و ۲۵۴/۸ سانتیمتر بر روز بود. همچنین اثر تیمارهای مختلف بر همهٔ پارامترهای مدل VGM (θr , θs, m , n , α) معنی‌دار بود و در اکثر تیمارهای به‌کاررفته با افزایش درصدهای مصرفی بایوچار در خاک پارامترهای θr، n و m افزایش و پارامترهای θs، α و Ks کاهش یافتند.

کلید واژگان: هدایت هیدرولیکی اشباع، بار ثابت، مواد افزودنی طبیعی، خاک شنی

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۲۶۳۲۲۴۹۳۱۳+

Email: khahmadauli@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱. مقدمه

مسئلهٔ هیدرودینامیک یا حرکت آب در خاک، یکی از مسائل مهم در پروژه‌های نشت آب در سازه‌های خاکی و ایجاد فرسایش درونی[۱] (رگاب)، فشار نشت آب بر سطوح شیب‌دار خاکی و دیوارهای حائل، زهکشی اراضی زراعی و فرودگاه‌ها، انتقال املاح (آلاینده‌ها و یا نمک‌ها)، برآورد نیاز آبی گیاهان، تعیین مقدار آب قابل‌استفاده برای رشد گیاهان، کنترل شوری، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری و اصلاح خاک‌ها است [۳ و ۲۲]. یک خاک خوب برای رشد گیاهان، خاکی است که در عین حال که مقدار قابل‌توجهی آب در خود ذخیره می‌کند، آب نیز به آسانی از یک نقطه‌به‌نقطهٔ دیگر حرکت کند [۳]. هدایت هیدرولیکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است که در علوم آب‌وخاک اهمیت زیادی دارد. بیان کمی این ویژگی برای برآورد نیاز آبی گیاهان، تعیین مقدار آب قابل‌استفاده برای رشد گیاهان، کنترل شوری، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت دارد. هدایت هیدرولیکی، توانایی خاک برای انتقال آب است [۱۴]. هدایت هیدرولیکی به دو عامل نفوذپذیری ذاتی خاک[۲] و سیالیت[۳] آب بستگی دارد. نفوذپذیری ذاتی خاک به دو عامل شکل ذرات و اندازهٔ قطر ذرات بستگی دارد. سیالیت آب با چگالی آن نسبت مستقیم و با لزوجت آن نسبت معکوس دارد. در اراضی زراعی و عرصه‌های طبیعی عوامل مهم تأثیرگذار بر هدایت هیدرولیکی عبارتند از تراکم و انبساط خاک، پایداری و مقدار مواد آلی خاک [۳ و۱۰]. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که قسمت عمدهٔ کشور ایران را نیز شامل می‌شود، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب، عدم مدیریت صحیح استفاده از بقایای گیاهان و همچنین کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک سبب کمبود مواد آلی شده که این کاهش پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان ضعیف خاک، موجب کاهش هدایت هیدرولیکی می‌شود. مواد آلی نقش قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه داشته و می‌توان از آن‌ها برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک و افزایش پایدار محصول استفاده کرد [۲۳]. در سال‌های اخیر برای بالا بردن میزان مادهٔ آلی خاک از مواد پایداری مانند بایوچارها استفاده می‌شود که در مقابل تجزیهٔ میکروبی بسیار مقاوم است [۱۲]. بایوچار یک محصول غنی از کربن است که از طریق سوختن زیست‌توده در غیاب اکسیژن به دست می‌آید [۱۵]. بایوچارها بسته به مواد اولیه و پارامترهای فرآیند (دما، زمان اقامت، و غیره)، ساختارهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی را می‌توانند ایجاد کند که این ساختارها توانایی تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را دارد [۸ و ۱۸]. بایوچارها دارای خواص مهمی از جمله: سطح ویژه و تخلخل زیاد، چگالی ظاهری کم، محتوای مواد مغذی زیاد، پایداری بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و محتوای کربن بالا هستند [۱۵]. همچنین بایوچار باعث بهبود ویژگی‌های خاک مانند ظرفیت نگهداری آب، نفوذ آب به خاک، هوادهی خاک، رشد ریشه، هم‌آوری خاک و ظرفیت نگهداری مواد مغذی می‌گردد [۷ و ۳۳].

در تحقیقات اخیر روش‌های مختلفی نظیر استفاده از انواع مختلف اصلاح‌کننده‌های طبیعی و مصنوعی از جمله بایوچار و کودهای آلی برای اصلاح و یا تقویت ساختمان خاک‌های درشت‌بافت (ماسه‌ای و شنی) پیشنهاد شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. نتایج به‌کارگیری اصلاح‌کنندهٔ ژل‌هایی با نام تجاری ژالما در غلظت ۰/۴ درصد در یک خاک شنی نشان داد که این ژل‌ها، باعث کاهش پارامتر α از ۰/۰۰۴۳ به ۰/۰۰۳۹ و نیز کاهش Ks به میزان ۷۰ درصد نسبت به شاهد گردید [۲].

[۱] Piping

[۲] Intrinsic permeability

[۳] Fluidity

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از ۳۷/۵ تن در هکتار کمپوست کود گاوی در یک خاک شنی باعث افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت نگهداری آب خاک در فاصلهٔ مکش‌های ۲۰۰-۵ کیلوپاسکال گردید [۲۰]. به‌کارگیری اصلاح‌کننده‌های پلی‌آکریل‌آمید (PAM)، پومیس و کاه و کلش بر روی لایهٔ سطحی (۵-۰ سانتیمتر) یک خاک لوم شنی باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری ($P < 0.01$) و افزایش معنی‌دار تخلخل کل (به‌طور عمده میکروپروزیته) و در نتیجه کاهش تشکیل سله گردید [۲۵]. نتایج تحقیق اثرات ۴ اصلاح‌کنندهٔ آلی (پلی‌آکریل آمید، کود دامی، ورمی‌کمپوست و لجن بیولوژیکی) خاک بر پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در یک خاک لوم شنی نشان داد که PAM و کود دامی نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌ها در سطوح مصرفی به‌کاررفته، به میزان بیشتری در بهبود شرایط فیزیکی خاک مؤثر بودند [۴]. بایوچار کود گاوی باعث افزایش آب قابل‌دسترس گیاه و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در یک خاک شنی می‌شود [۲۹]. مصرف سطوح مختلف (۰، ۳ و ۶ درصد وزنی) بایوچار حاصل از درخت بلوط تحت فرآیند پیرولیز با دمای حدود ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، سبب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک به میزان ۲۳ درصد گردید [۵]. نتایج حاصل از افزایش بایوچار حاصل از شلتوک برنج در سطوح ۰، ۲ و ۶ درصد وزنی به یک خاک رسی و به مدت ۱۸۰ روز، نشان داد که در نمونه‌های حاوی بایوچار در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بایوچار) ظرفیت نگهداری رطوبت به ترتیب ۲۰، ۱۲، ۳۱ درصد افزایش پیدا می‌کند [۱۷]. نتیجهٔ افزودن لجن فاضلاب شهری با نسبت‌های۰ به ۱۰۰، ۵۰ به ۵۰ و ۸۰ به ۲۰ (گرم لجن فاضلاب به گرم خاک) با درجات آبگریزی متفاوت بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک آهکی با بافت لوم سیلتی رسی نشان داد که پارامترهای رابطهٔ ون گنوختن تحت تأثیر آبگریزی خاک قرار گرفتند و با افزایش درجهٔ آبگریزی پارامترهای m و α کاهش و پارامترهای θs و nافزایش یافتند. همچنین، هدایت هیدرولیکی اشباع تحت تأثیر تیمارها کاهش یافت و مقدار آن از ۲/۱۹ سانتیمتر بر ساعت در تیمار به ۱/۱۸سانتیمتر بر ساعت در تیمار رسید [۱۳]. نتایج بررسی اثر بایوچار تهیه شده از کنوکارپوس بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک آهکی با سطوح مصرفی ۱۵ گرم بر کیلوگرم خاک برای ذرات ماسه با اندازه‌های کمتر از ۰/۵، ۱-۰/۵ و ۲-۱ میلی‌متر و در اعماق ۲-۰، ۶-۴ و ۱۰-۸ سانتیمتر نشان داد که بیشترین کاهش ضریب آبگذری در اندازهٔ کمتر از ۰/۵ میلی‌متر و در اعماق ۶-۴ و ۱۰-۸ سانتیمتر اتفاق افتاد [۱۲]. اثرات دینامیکی اندازه و غلظت بایوچار بر خواص هیدرولیکی ماسه نشان داد که مخلوط بایوچار و شن بسته به اندازهٔ ذرات بایوچار می‌تواند هم سبب افزایش و هم سبب کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش یا افزایش ضریب آبگذری گردد [۲۸]. بررسی اثر بایوچار حاصل از پوستهٔ بادام‌زمینی بر ضریب آبگذری خاک رس کائولین با تیمارهای ۰، ۵ و ۲۰ درصد وزنی نشان داد که سطوح ۵ و ۲۰ درصد بایوچار ضریب آبگذری را افزایش داد و سبب اصلاح این خاک گردید [۳۴]. در واقع آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی خاک خصوصاً هدایت هیدرولیکی خاک در کارهای مربوط به بهساز خاک‌ها و حاصلخیزی آن‌ها (آهک دادن، اصلاح ساختمان و اصلاح بافت خاک)، بهره‌برداری از منابع آب و اراضی زراعی (اصلاح اراضی، زهکشی، آبیاری، جلوگیری از فرسایش، حفاظت از چشمه‌ها، کانال‌های فاضلاب، سدهای دفنی، حفاظت از رودخانه‌ها، کنترل جریان آب‌های آلوده، ظرفیت تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی، تعیین حدود بهره‌برداری از آب‌ها) و تأسیسات مناطق روستایی (کانال‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، چاه‌ها و راه‌های ارتباطی) بسیار حائز اهمیت است. با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌گردد که تاکنون مطالعات چندانی در ارتباط با تأثیر بایوچار طبیعی و کمپوست زبالهٔ شهری بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های ماسه‌بادی که خاک غالب در عرصه‌های طبیعی بیابانی است، انجام نشده است، لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات بایوچار طبیعی و کمپوست زبالهٔ شهری بر پارامترهای هیدرولیکی

Archive of SID

www.SID.ir

در یک خاک شنی انجام شد. بررسی اثر افزایش سطوح مختلف بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری به خاک بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و مدل‌سازی منحنی مشخصهٔ رطوبتی با استفاده از مدل ون‌گنوختن-معلم[1] با نرم‌افزارهای ROSETTA و RETC از طریق مدل‌سازی معکوس می‌باشد.

۲. روش شناسی

۱.۲. تهیهٔ خاک

ماسه‌های بادی وسعت زیادی از بیابان‌های کشور را دربر گرفته است که اغلب تپه‌های ماسه‌ای و مناطق درگیر با گردوغبار نیز دارای خاک ماسه‌بادی هستند. به همین دلیل کارهای لازم در اصلاح این‌گونه خاک‌ها جهت استقرار پوشش گیاهی و متعاقباً کنترل گردوغبار و کاهش فرسایش بادی در کشور بسیار مهم است؛ لذا در مطالعهٔ حاضر، خاک مورد بررسی از ماسه‌های روان بیابان ریگ‌بلند کاشان، برداشت و به پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت انجام آزمایش انتقال داده شد. نمونهٔ خاک پس از خشک شدن در مجاورت هوا، آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری جهت انجام آزمایشات عبور داده شد. آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی شامل تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری [۹]، هدایت الکتریکی (EC متر) [۲۴]، واکنش خاک در عصارهٔ اشباع (pH متر) [۱۶]، مقدار مادهٔ آلی به روش اکسیداسیون با اسیدکرومیک و سپس تیتر کردن توسط فروآمونیوم سولفات [۱۹]، نیتروژن کل به روش کجلدال [۶]، آهک به روش خنثی‌سازی با اسیدکلریدریک [۱۶] و فسفر قابل‌استفاده توسط عصاره‌گیری با بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال [۲۱] بر روی خاک انجام شد. مشخصات اندازه‌گیری شدهٔ خاک مورد مطالعه، در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. خصوصیات اولیهٔ خاک مورد مطالعه

ردیف	ویژگی	واحد	مقدار
۱	اسیدیته	-	۷/۲۷
۲	هدایت الکتریکی	(dS/m)	۱/۳
۳	ماسه	(درصد)	۹۲/۵۶
۴	رس	(درصد)	۷/۴۴
۵	سیلت	(درصد)	۰
۶	کلاس بافت خاک	-	ماسه‌ای
۷	نیتروژن	(درصد)	۲/۶۳
۸	فسفر قابل‌جذب	(ppm)	۰/۴۲
۹	آهک	(درصد)	۱۵/۹۷
۱۰	مادهٔ آلی	(درصد)	۰/۳۳

۲.۲. تهیهٔ بایوچار

در این مطالعه از دو نوع بایوچار یکی بایوچار حاصل از کمپوست زبالهٔ شهری و دیگری بایوچار طبیعی استفاده شد. برای تهیهٔ بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری، مواد اولیهٔ کمپوست زباله از بزرگ‌ترین مجتمع دفع و پردازش پسماندهای شهر تهران، مجتمع آرادکوه واقع در جنوب

[1] Van Genuchten - Mualem

Archive of SID
www.SID.ir

شـــهر کهریزک و در ابتدای جادهٔ قدیم تهران – قم تهیه گـردیـد. پـس از گـذشـــت هفـت روز از پَهن کردن کمپوسـت‌های زباله شـهری در گلخانه و خشک شدن آن، اقـدام بـه جـمع‌آوری آن‌هـا گردیـد. ســپس جهـت یکنواخـت‌کردن، ذرات خرد شـــده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. تولید بایوچار در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشـگاه تهران واقع در کوهین به این صورت انجام شـد که ابتدا مواد اولیهٔ کمپوسـت زبالهٔ شـهری در داخل باکس فلزی به ابعاد ۵۰ ×۳۰ ســانتی‌متر قرار داده شـد. سـپس جهت حذف اکسـیژن موجود، شمعی روشن روی مواد اولیهٔ کمپوسـت درون باکس قرار داده شـد. در ادامـه کورهٔ الکتریکی در دمـای ۵۵۰ درجـهٔ ســانتیگراد تنظیم شده و مواد اولیه به مدت سه ساعت درون دستگاه در معرض حرارت قرار داده شـد. همچنین بایوچار طبیعی از یک معدن واقع در شـهرسـتان کوهبنان واقع در استان کرمان تهیه شد. این بایوچار کاملاً طبیعی بوده و بر اساس مطالعات زمین‌شـناسی، در فرآیندی طبیعی در طول ۶۵۰ میلیون سـال پیش تشـکیل گردیده اسـت. پس از تهیهٔ بایوچارهای کمپوسـت زبالهٔ شـــهری و بایوچار طبیعی با اختلاط نســبت‌های مختلف این مواد با خاک، تیمارهای مختلف بستر ایجاد گردید.

۳.۲. تیمارهای آزمایش

تیمارهای مختلف خاک شـامل ۱۶ سـطح، حاصـل از اختلاط نسبت‌های ۰، ۱، ۳ و ۵ درصد بایوچارهای مذکور به خاک، به‌صورت زیر است: تیمار اول: شاهد (خاک بدون مواد افزودنی)، تیمار دوم: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار طبیعی، تیمار سوم: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار زبالهٔ شـهری، تیمار چهار: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار زبالهٔ شـــهری، تیمار پنج: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار شش: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار طبیعی، تیمار هفت: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شـهری، تیمار هشت: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار زبالهٔ شـــهری، تیمار نه: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار زبالهٔ شـــهری، تیمار ۱۰: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار طبیعی، تیمار ۱۱: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار زبالهٔ شـهری، تیمار ۱۲: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار زبالهٔ شـــهری، تیمار ۱۳: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار زباله شـــهری، تیمار ۱۴: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصـد بایوچار زبالهٔ شـــهری، تیمار ۱۵: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصـد بایوچار زبالهٔ شـهری و تیمـار ۱۶: شـــامل خاک به‌علاوهٔ ۵ درصـد بایوچار زبالهٔ شـــهری بود. پس از تهیـهٔ سـطوح ۱۶ گـانـهٔ خـاک، آزمایش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با ســه تکرار، مطابق زیر انجام گرفت.

۴.۲. اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)[1] به روش بار ثابت

پـارامترهـای لازم برای محاســبهٔ هدایت هیدرولیکی اشـــبـاع به روش بار ثابت با اســتفاده از دســتگاهی که شـماتیک آن در شـکل (۱) نشـان داده شده، اندازه‌گیری شد.

ســپس مقدار هدایت هیدرولیکی اشـباع از رابطهٔ (۱) محاسبه شد [۲۶].

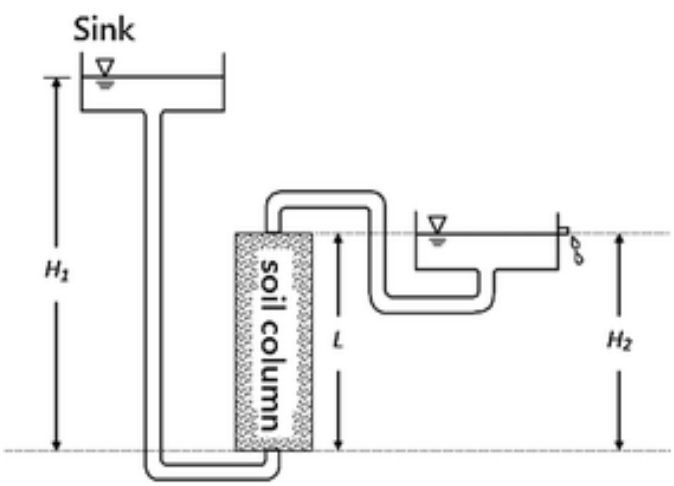
$$K = \frac{\Delta V \times L}{A \times \Delta h \times \Delta t}$$ رابطهٔ (۱)

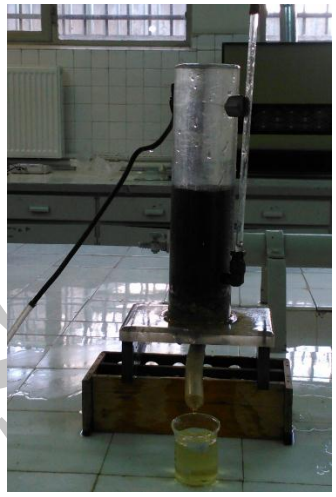
که در آن ΔV: حجم آب عبوری از ستون خاک (m^3) در بـازهٔ زمـانی Δt (s)، K: هـدایت هیدرولیکی اشـــباع (ms^{-1})، A: ســطح مقطع ســتون خـاک (m^2)، Δh: اختلاف گرادیان هیدرولیکی بین نقطهٔ خروجی و ســطح

[1] Saturated hydraulic conductivity

Archive of SID
www.SID.ir

آب ثابت‌شده روی ستون خاک (m) و L: طول ستون خاک (m)، است. جهت اندازه‌گیری پارامترهای رابطهٔ (۱) برای هرکدام از سطوح ۱۶ گانهٔ خاک‌های موردمطالعه، ابتدا استوانهٔ دستگاه را با خاک موردنظر پر کرده و درب آن بسته شد. پس از قرائت ارتفاع ستون خاک و قطر استوانه، یک هِد ثابت آب روی ستون خاک ایجاد شد و حجم آب عبوری از ستون خاک در بازه‌های زمانی مشخص اندازه‌گیری شد.





شکل ۱. شماتیک و تصویر دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در روش بار افتان [۳۲]

۵.۲. تعیین پارامترهای هیدرولیکی

از مدل‌های مختلفی برای برازش داده‌های مربوط به منحنی مشخصهٔ رطوبتی و هدایت هیدرولیکی استفاده می‌شود که بهترین مدل تا به امروز مدل ون‌گنوختن-معلم (۱۹۸۰) است که در این تحقیق نیز از این مدل (رابطهٔ ۲) استفاده گردید [۳۰].

$$\theta(h)=\begin{cases}\theta_r+\frac{\theta_s-\theta_s}{[1+(\alpha h)^n]^m} & \forall h<0\\ \theta_s & \forall h\geq 0\end{cases} \qquad \text{رابطهٔ (۲)}$$

در این رابطه $\theta(h)$ (L^3L^{-3})، θ_r (L^3L^{-3})، θ_s (L^3L^{-3}) به ترتیب رطوبت در مکش h، رطوبت باقیمانده و رطوبت اشباع، α (L^{-1}) عکس نقطهٔ ورود هوا، m و n پارامترهای شکل می‌باشند که شش ویژگی مستقل شامل رطوبت باقی‌مانده (θ_r)، رطوبت اشباع (θ_s)، پارامترهای α، m، n و هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از داده‌های زودیافت خاک نظیر درصد ذرات خاک (شن، سیلت، و رس)، چگالی ظاهری و مقادیر رطوبت نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، و در نرم‌افزار ROSETTA و RETC برآورد شد.

۶.۲. تحلیل آماری

بررسی اثرات هر تیمار از طریق محاسبهٔ جدول تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسهٔ میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن ($P<0.01$) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22.0، مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳. نتایج

در جدول (۱) برخی ویژگی‌های اولیهٔ خاک مورد آزمایش آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که خاک از نظر شوری با EC پایین فاقد مشکل شوری بوده و دارای اسیدیتهٔ قلیایی کم می‌باشد. خاک مورد استفاده دارای مادهٔ آلی کم و ماسهٔ بسیاری بوده و در کلاس بافت ماسه‌ای قرار می‌گیرد. همچنین نتایج

Archive of SID
www.SID.ir

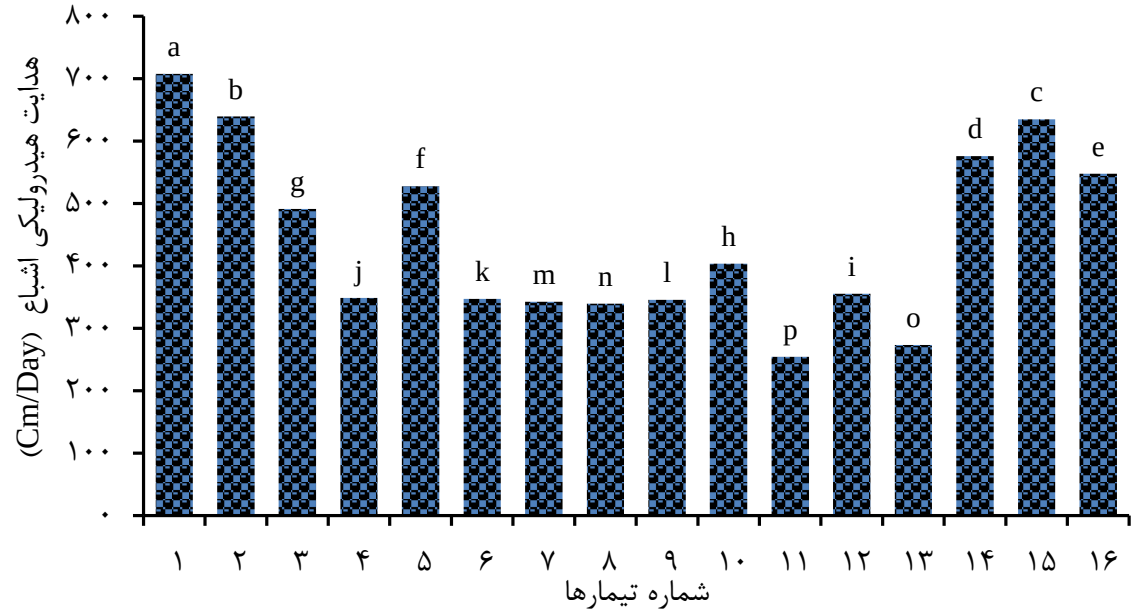
حاصل از تجزیهٔ واریانس اثرات مواد افزودنی به خاک (بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری و بایوچار طبیعی) بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن-معلم در جدول (۲) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد افزودن بایوچار کمپوست زباله شهری و بایوچار طبیعی به خاک بر کلیهٔ پارامترهای مدل ون‌گنوختن- معلم در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت.

جدول ۲ . تجزیهٔ واریانس نتایج مربوط به اثرات بایوچار بر پارامترهای مختلف مدل ون‌گنوختن-معلم

منبع تغییر	df	میانگین مربعات					
		θr (L^3L^{-3})	θs (L^3L^{-3})	α (L^{-1})	n –	m –	Ks ($cmday^{-1}$)
تیمار	۱۵	۰/۰۰۰۰۱۷**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۶۱۰۴۴**
تکرار	۲	۰/۶۴×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۳۲×۱۰$^{-۶}$	۰/۰۴×۱۰$^{-۵}$	۰/۸۳×۱۰$^{-۶}$	۰/۱۳×۱۰$^{-۷}$	۰/۰۰۰۱
خطا	۳۰	۰/۹۷×۱۰$^{-۱۰}$	۰/۱۲×۱۰$^{-۶}$	۰/۱۴×۱۰$^{-۵}$	۰/۱۳×۱۰$^{-۶}$	۰/۵۹×۱۰$^{-۸}$	۰/۰۰۱
کل	۴۸						

****: معنی داری در سطح یک درصد**

با توجه به شکل (۲) ملاحظه می‌شود که افزودن بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زباله به خاک، اثر معکوس و معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks) داشت، به‌طوری‌که با افزایش درصد بایوچارهای کمپوست زباله و بایوچار طبیعی، مقدار Ks خاک کاهش یافت. تیمار ۱۱ (خاک + ۵ درصد بایوچار طبیعی + ۱ درصد بایوچار زباله شهری) بیشترین کاهش (۶۴ درصد) را به‌دنبال داشته است. البته باید ذکر کرد که تیمار ۱۳ نیز تفاوت چندانی با تیمار ۱۱ نداشته و سبب کاهش ۶۱ درصدی Ks شده است. بیشترین و کمترین مقدار Ks مربوط به تیمارهای ۱ و ۱۱ به ترتیب برابر ۷۰۷/۹ و ۲۵۴/۸ سانتیمتر بر روز بود.



شکل ۲. اثر تیمارهای مختلف مواد افزودنی به خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع

www.SID.ir

آزمایشات نشان داد که تیمارهایی که محتوی درصد بایوچار کمپوست زبالهٔ بالایی بودند در ابتدا نسبت به نفوذ آب مقاومت نشان دادند (در لحظات اولیهٔ تماس آب با خاک نیروی پیوستگی بین مولکول‌های آب بیشتر از نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و ذرات خاک است) و سرعت نفوذ اولیهٔ آب در آن‌ها کم بود اما بعد از خیس شدن ذرات سطحی خاک و نفوذ آب به داخل خاک، نسبت به تیمارهای با مقدار بایوچار کمپوست زبالهٔ کمتر، آب بیشتری در ماتریکس خاک جذب کرده و Ks کمتری نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای با درصد کمتر بایوچار داشتند.

بیشترین و کمترین میزان رطوبت ظرفیت زراعی مربوط به تیمارهای ۵ و ۱ و این مقادیر برای نقطهٔ پژمردگی دائم مربوط به تیمارهای ۱۶ و ۶ می‌باشد.

همچنین بر اساس جدول (۳) ملاحظه می‌گردد که مقدار رطوبت باقی‌ماندهٔ خاک (θr) در تیمارهای ۱۳ و ۶ به ترتیب برابر ۲/۶۸ و ۱/۹۲ درصد، بیشترین و کمترین مقدار را داشتند که به ترتیب افزایش ۲۹ درصدی و کاهش ۷ درصدی را به‌دنبال داشت. اثر مواد افزودنی (بایوچارهای طبیعی و کمپوست زباله) در همهٔ تیمارها به‌جز تیمارهای ۵ و ۹، ۱۰ و ۱۱، ۱ و ۷ و ۴، ۲ و ۳ و ۸ بر θr در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسهٔ میانگین در جدول (۳) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار θs به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۵ و ۱۱ بود که به ترتیب افزایش ۶ درصدی و کاهش ۱۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند. همچنین اثر مقدار مواد افزودنی در تمام تیمارها به‌جز تیمارهای ۸، ۱۰ و ۱۳ بر θs معنی‌دار بود.

جدول ۳ . مقایسهٔ میانگین‌های ضرایب معادلات منحنی مشخصهٔ رطوبتی در تیمارهای مختلف با آزمون دانکن

شمارهٔ تیمار	θr	θs	α	n	m	Ks
۱	۰/۰۲۰۷ h	۰/۵۳۷ r	۰/۰۵۵۰ a	۱/۲۶۵ h	۰/۲۰۹ h	۷۰۷/۹ a
۲	۰/۰۲۰۴ i	۰/۵۲۷ f	۰/۰۵۱۲ b	۱/۲۶۸ g	۰/۲۱۱ g	۶۳۹/۴ b
۳	۰/۰۲۰۲ ij	۰/۵۲۲ g	۰/۰۳۸۳ g	۱/۲۶۸ g	۰/۲۱۱ g	۴۹۱/۹ g
۴	۰/۰۲۰۸ h	۰/۴۹۵ k	۰/۰۳۱۴ j	۱/۲۸۷ d	۰/۲۲۳ d	۳۴۸/۱ j
۵	۰/۰۲۱۱g	۰/۵۶۵ b	۰/۰۳۳۸ i	۱/۲۴۶ k	۰/۱۹۷ k	۵۲۷/۵ f
۶	۰/۰۱۹۲ k	۰/۴۸۸ m	۰/۰۳۰۷ j	۱/۲۹۱ b	۰/۲۲۶ b	۳۴۷/۹ k
۷	۰/۰۲۰۷ h	۰/۵۰۱ j	۰/۰۲۸۶ m	۱/۲۸۶ e	۰/۲۲۲ e	۳۴۲/۵ m
۸	۰/۰۲۰۱ j	۰/۴۹۳ l	۰/۰۲۹۸ kl	۱/۲۸۹ c	۰/۲۲۴ c	۳۳۹/۸ n
۹	۰/۰۲۱۳ g	۰/۵۰۹ h	۰/۰۲۶۶ n	۱/۲۸۵ e	۰/۲۲۲ e	۳۴۵/۶ l
۱۰	۰/۰۲۴۲ d	۰/۴۹۳ l	۰/۰۴۸۷ c	۱/۲۸۳ f	۰/۲۲۰ f	۴۰۳/۶ h
۱۱	۰/۰۲۴۲ d	۰/۴۷۶ n	۰/۰۳۰۶ jk	۱/۳۰۱ a	۰/۲۳۱ a	۲۵۴/۸ p
۱۲	۰/۰۲۵۴ c	۰/۵۰۵ i	۰/۰۳۶۰ h	۱/۲۸۲ f	۰/۲۲۰ f	۳۵۵/۲ i
۱۳	۰/۰۲۶۸ a	۰/۴۹۴ l	۰/۰۲۹۶ l	۱/۲۹۲ b	۰/۲۲۶ b	۲۷۳/۷ o
۱۴	۰/۰۲۱۶ f	۰/۵۴۴ d	۰/۰۴۱۶ f	۱/۲۵۶ i	۰/۲۰۴ i	۵۷۶/۱ d
۱۵	۰/۰۲۲۸ e	۰/۵۷۰ e	۰/۰۴۳۸ e	۱/۲۴۰ l	۰/۱۹۳ l	۶۳۴/۷ c
۱۶	۰/۰۲۶۱ b	۰/۵۴۹ c	۰/۰۴۴۷ d	۱/۲۵۴ j	۰/۲۰۳ j	۵۴۷/۷ e

*میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

همچنین بر اساس نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها (جدول ۳)، ملاحظه می‌شود که پارامتر α بین تیمارهای ۴، ۶، ۸، ۱۱ و ۱۲ تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در بین بقیهٔ تیمارها تفاوت معنی‌دار بود. پارامتر α در تیمار شاهد

Archive of SID

www.SID.ir

بیشترین (۰/۰۵۵ cm^{-1}) و در تیمار ۹ کمترین (۰/۰۲۷ cm^{-1}) مقدار را داشت. افزایش مقدار بایوچار مصرفی در خاک، باعث کاهش پارامتر α از طریق کاهش قطر درشت‌ترین منافذ و در نتیجه افزایش مکش ورود هوا در خاک نسبت به تیمار شاهد گردید. به نظر می‌رسد تیمارهای حاوی بایوچار با کاهش درصد منافذ ماکرو و افزایش منافذ میکرو نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش قطر درشت‌ترین منفذ (منفذ متناظر با مکش ورود هوا در خاک) و در نتیجه کاهش پارامتر α شده است.

اثر تیمارهای مواد افزودنی به خاک بر پارامتر n در همهٔ تیمارها به‌جز ۶ و ۱۳، ۹ و ۷، ۱۲ و ۱۰، ۳ و۲ معنی‌دار بود. بیشترین مقدار n، در تیمار۱۱ و کمترین در تیمار ۱۵ بوده که به ترتیب افزایش ۲/۷ درصدی و کاهش ۲ درصدی به دنبال داشته‌اند. مقدار پارامتر m در بین تمامی تیمارها به‌جز ۶ و ۱۳، ۹ و ۷، ۱۲ و ۱۰، ۳ و ۲ اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). همچنین با افزایش بایوچار در خاک مقدار پارامتر m، در تیمارهای ۵، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ کاهش یافت.

اتلاف آب و عناصر غذایی در اثر آبشویی در خاک‌های شنی و ماسه‌ای زیاد است. استفاده از اصلاح‌کننده‌ها نظیر افزودن بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زباله شهری در سطوح مختلف به این‌گونه خاک‌ها، از طریق ایجاد خاکدانه‌های به نسبت پایدار و کم کردن خلل و فرج درشت، باعث کاهش معنی‌دار Ks نسبت به خاک شنی و ماسه‌ای می‌گردد. استفاده از این افزودنی‌ها علاوه بر منافع اقتصادی که از طریق کاهش استفاده از کودها (به دلیل کاهش آبشویی عناصر از ماتریکس خاک)، سبب کاهش آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و حفظ محیط‌زیست نیز می‌شود.

۴. بحث‌ونتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر افزایش سطوح مختلف بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زباله شهری در سطوح (۱، ۳ و ۵ درصد) بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بررسی شد. همچنین مدل‌سازی منحنی مشخصهٔ رطوبتی با استفاده از مدل ون‌گنوختن-معلم برای ۱۶ سطح خاک انجام گردید و پارامترهای این مدل شامل رطوبت باقی‌مانده (θ_r)، رطوبت اشباع (θ_s)، پارامترهای α، m، n و هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از داده‌های زودیافت خاک نظیر درصد ذرات خاک (ماسه، سیلت، و رس)، چگالی ظاهری و مقادیر رطوبت نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، و نرم‌افزار ROSETTA و RETC از طریق مدل‌سازی معکوس برای هر ۱۶ نوع خاک تعیین شد. نتایج نشان داد که افزایش بایوچار کمپوست زباله و بایوچار طبیعی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و نگهداشت بیشتر آب در خاک گردید و با افزایش سطح مصرف بایوچار در خاک، کاهش بیشتری در هدایت هیدرولیکی اتفاق افتاده است. به‌طوری‌که، در تیمار۱۱ (خاک + ۵ درصد بایوچار طبیعی + ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شهری) بیشترین کاهش (۶۴ درصد) را به‌دنبال داشته است. البته باید ذکر کرد که تیمار ۱۳ نیز تفاوت چندانی با تیمار ۱۱ نداشته و سبب کاهش ۶۱ درصدی Ks شده است. بیشترین و کمترین مقدار Ks مربوط به تیمارهای ۱ و ۱۱ به ترتیب برابر ۷۰۷/۹ و ۲۵۴/۸ سانتیمتر بر روز بود که این امر را می‌توان به درصد مادهٔ آلی بیشتر این تیمارها مرتبط دانست که این یافته با نتایج [۱، ۴، ۱۲، ۱۳، ۲۸ و ۳۴]، که همگی به مطالعات مشابهی در زمینهٔ تأثیر افزودنی آلی بر خاک پرداخته‌اند، مطابقت دارد. همچنین اثر تیمارهای مختلف بر همهٔ پارامترهای مدل ون‌گنوختن-معلم (θr , θs, m , n , α) معنی‌دار بود. در اکثر تیمارهای به کار رفته با افزایش درصدهای مصرفی بایوچار در خاک پارامترهای θr، n و m افزایش و پارامترهای θs، α و Ks کاهش یافتند، که این کاهش و یا افزایش با نتایج حاصل از پژوهش [۲، ۴، ۱۳ و ۳۱]، که تأثیر افزودن مواد آلی و اصلاح‌کننده‌ها بر پارامترهای هیدرولیکی را گزارش کردند، همخوانی دارد. در نتیجه وجود ذرات معدنی و آلی موجود

Archive of SID

www.SID.ir

در بـایوچـار کمپوســـت زباله و بایوچار طبیعی موجب پر شـدن خلل و فرج درشـت خاک شده که منجر به افزایش نگهداشــت میزان نفوذ آب به درون خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی آن گردید.

سپاسگزاری

نویســـنـدگـان این مقـاله بر خود لازم می‌دانند که از پشـتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در تأمین اعتبار این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

References

[1] Abbasi, F. (2017). Advanced Soil Physics, 4th Edition, University of Tehran press, 320pp.

[2] Al-Darby, A.M. 1996. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gelforming soil conditioner. Soil Technology, 9: 15-28.

[3] Alizadeh, A. (2013). Soil Physics, 6th Edition, University of Imam Reza, 568pp.

[4] Asghari, Sh., Abbasi, F., Neyshabouri, M.R., Oustsan, Sh, and Aliasgharzad, A. (2011). Effects of Four Organic Soil Conditioners on Some Hydraulic and Solute Transport Parameters in a Sandy Loam Soil. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 18(2), 177-194.

[5] Basso, A. S. 2012. Effect of fast pyrolysis biochar on physical and chemical properties of a sandy soil. Master's Thesis, Iowa State University, Ames, 69 pp.

[6] Bremner, J., Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Sumner, M. (1996). Nitrogen-total. Methods of soil analysis. Part 3-Chemical methods. 1085-1121.

[7] Downie, A., & Van Zwieten, L. (2013). Biochar: A Coproduct to Bioenergy from Slow-Pyrolysis Technology Advanced Biofuels and Bioproducts (pp. 97-117): Springer.

[8] Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In Lehmann, J., and S. Joseph (eds) Biochar for Environmental Management - Science and Technology. p. 13-32.

[9] Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis1. Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods (methodsofsoilan1), 383-411.

[10] Ghazan Shahi, j. (1995). Soil Physics. 1th Edition, University of Tehran press, 467pp.

[11] Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 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

[12] Ibrahim, A., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M. I., Nadeem, M., Ok, Y. S., & Al-Omran, A. (2017). Effects of conocarpus biochar on hydraulic properties of calcareous sandy soil: influence of particle size and application depth. Archives of Agronomy and Soil Science, 63(2), 185-197.

[13] Karimian, N., Ghorbani Dashtaki, Sh., and Tabatabaei, H. (2016). Hydraulic properties under different water repellency levels, Journal of Water and Soil Resources conservation, vol 6(1), 75-86.Klute, A. (1986) Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison,Wisconsin, USA.

[14] Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation: Routledge.

[15] Loeppert, R.H., and Suarez. L. 1996. Carbonate and gypsum. P 437-474. In: Sparks, D.L., A.L. Page, P.A. Helmke and R.H. Loeppert, (Eds.), Methods of soil analysis, Part 3, Soil Science Society of America, Madison, WI.

[16] Lu, S. G., Sun, F. F., & Zong, Y. T. (2014). Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena, 114, 37-44.

[17] Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., & Goodale, C. (2010). Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Global Change Biology, 16(4), 1366-1379.

Archive of SID

www.SID.ir

[18] Nelson, D., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methodsofsoilan2), 539-579.

[19] Nyamangara, J., Gotosa, J., and Mpofu, S.E. 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. Soil Till. Res. 62: 157-162.

[20] Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture; Washington. Rahimi, H. ().Soil Mechanics, 3th Edition, Danesh and Fan of press, 622pp.

[21] Razzaghi, F., and Rezaie, N. (2017). Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures, Journal of Water and Soil Resources conservation. Vol 7(1), 75-88.

[22] Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 417-435.

[23] Sadeghian, N., Neyshabouri, M.R., Jafarzadeh, A.A., and Tourchi, M. 2006. Effects of three soil conditioners on the physical properties of soil surface layer. Iranian J. Agric. Sci. 37: 2. 351-341. (In Persian)

[24] Stibinger, J. (2014). Examples of Determining the Hydraulic Conductivity of Soils: Theory and Applications of Selected Basic Methods: University Handbook on Soil Hydraulics. Jan Evangelista Purkyně University, Faculty of the Environment.

[25] Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 475-490.

[26] Trifunovic, B., Gonzales, H. B., Ravi, S., Sharratt, B. S., & Mohanty, S. K. (2018). Dynamic effects of biochar concentration and particle size on hydraulic properties of sand. Land Degradation & Development.

[27] Uzoma, K.C., 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 and Management, 27: 205-212.

[28] Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal, 44: 892-898

[29] Vervoort, R.W., Radcliffe, D.E., and West, L.T. 1999. Soil structure development and preferential solute flow. Water Resources Research, 35: 913-928.

[30] Wang, T. Y., Lin, L. L., & Tsai, Y. Z. (2017). Effect of Gravel Content on Saturated Hydraulic Conductivity in Sand. In Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls (pp. 163-169). Springer, Tokyo.

[31] Wong, J. T. F., Chen, Z., Chen, X., Ng, C. W. W., & Wong, M. H. (2017). Soil-water retention behavior of compacted biochar-amended clay: a novel landfill final cover material. Journal of soils and sediments, 17(3), 590-598.

[32] Wong, J. T. F., Chen, Z., Wong, A. Y. Y., Ng, C. W. W., & Wong, M. H. (2018). Effects of biochar on hydraulic conductivity of compacted kaolin clay. Environmental Pollution, 234, 468-472.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir