

تأثیر بقایای گیاه فسکیوی بلند در حضور قارچ اندوفیت *Epichloë coenophaila* بر آب‌گریزی و پایداری ساختمان خاک‌های با بافت متفاوت

فاطمه حسینی^{۱*}، محمد رضا مصدقی^۱، محمد علی حاج‌عباسی^۱، محمد رضا سبزه‌علیان^۲،
محسن سلیمانی^۳ و مژگان سپهری^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۱۶)

چکیده

آب‌گریزی بر بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله پایداری خاکدانه‌ها مؤثر است. بافت خاک و ماده آلی حاصل از بقایای گیاهی و ترشحات ریشه گیاهان و ریزجانداران از منابع اصلی ایجاد پوشش‌های آب‌گریز در خاک می‌باشند. از مهم‌ترین علف‌های دائمی و سرمدوست گیاه فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) است که رابطه همزیستی با قارچ اندوفیت *Epichloë coenophaila* برقرار می‌کند و این همزیستی سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و تغییر سرعت تجزیه بقایا و ویژگی‌های مختلف خاک می‌شود. در این پژوهش اثر بقایای گیاه فسکیوی بلند حاوی اندوفیت (E+) و عاری از اندوفیت (E-) در سه سطح صفر، یک و دو درصد بر کربن آلی، تنفس میکروبی پایه، رس قابل پراکنش و شاخص آب‌گریزی (به روش جذب‌پذیری ذاتی) در چهار خاک با بافت مختلف بررسی شد. بقایای گیاهان E+ و E- با نمونه‌های خاک مرطوب مخلوط و تحت ۱۰ چرخه تر و خشک شدن قرار گرفته و در گرم‌خانه (دمای °C ۲۵) به مدت ۲ ماه نگهداری شده و در پایان ویژگی‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با ریزش بافت، کربن آلی و رس قابل پراکنش افزایش و تنفس میکروبی پایه و شاخص آب‌گریزی خاک کاهش یافت. افزایش مقدار بقایا سبب افزایش کربن آلی و تنفس میکروبی پایه و کاهش رس قابل پراکنش گردید. آب‌گریزی خاک با افزایش مقدار ترکیبات آب‌گریز (در سطح ۱ درصد) و با افزایش تخلخل خاک (در سطح ۲ درصد) به ترتیب افزایش و کاهش یافت. نوع بقایا (اندوفیت) اثر معنی‌داری بر جذب‌پذیری آبی و اتانول و همچنین شاخص آب‌گریزی خاک نداشت اما بقایای گیاهان E+ سبب افزایش معنی‌دار کربن آلی و کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خاک شد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که بقایای گیاه فسکیوی بلند به ویژه در حضور اندوفیت با افزایش ذخیره کربن آلی، شاخص آب‌گریزی و کاهش رس قابل پراکنش (شاخص ناپایداری ساختمان) سبب بهبود کیفیت فیزیکی خاک می‌شود. این گیاهان و بقایای حاصل از آنها دارای پتانسیل زیادی برای کاربرد در طرح‌های حفاظت خاک در مراتع و زمین‌های کشاورزی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شاخص آب‌گریزی، اندوفیت، رس قابل پراکنش، فسکیوی بلند، جذب‌پذیری آب، جذب‌پذیری اتانول

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: baharehhosseini64@gmail.com

مقدمه

حضور پوشش‌های آب‌گریز روی سطوح ذرات و خاکدانه‌ها و ایجاد پدیده آب‌گریزی بر بسیاری از ویژگی‌های خاک مؤثر است (۱۴). مقاومت خاک در برابر مرطوب‌شدن برای دوره‌های زمانی چند دقیقه‌ای، چند ساعته و یا بیشتر را آب‌گریزی خاک می‌گویند (۱۵). عوامل زیادی مانند مقدار و نوع ماده آلی، بافت خاک، نوع کاربری زمین، مقدار رطوبت خاک، pH خاک و آتش‌سوزی در ایجاد و تغییر شدت آب‌گریزی خاک دخالت دارند (۳۹). از پیامدهای منفی آب‌گریزی در خاک می‌توان به کاهش نفوذپذیری آبی، تشدید روان‌آب و فرسایش خاک، ایجاد جریان‌های ترجیحی و آب‌شویی عناصر غذایی و آلاینده‌های شیمیایی و کاهش رشد گیاه اشاره کرد (۱۰). از سوی دیگر پدیده آب‌گریزی (خفیف تا متوسط) دارای پیامدهای مثبت نیز است؛ آب‌گریزی زیر-بحرانی می‌تواند سبب پایداری خاکدانه‌ها در برابر تنش‌های محیطی و در نتیجه افزایش (حفاظت فیزیکی) کربن آلی خاک شود. بنابراین آب‌گریزی زیر-بحرانی یک پدیده کلیدی در پایداری فیزیکی (ساختمان) و کیفیت خاک محسوب می‌شود (۲۲). همچنین تبخیر از سطح خاک‌های آب‌گریز نسبت به خاک‌های آب‌دوست کمتر است که می‌تواند سبب حفظ ذخیره آبی خاک‌های آب‌گریز شود (۴).

از منابع اصلی پوشش‌های آب‌گریز در خاک می‌توان به ترشح موسیلاژها و مواد آلی از ریشه گیاهان، اسیدهای آلی و پلی‌ساکاریدهای حاصل از فعالیت‌های میکربی، هیف‌های قارچی و موم‌ها و مواد هومیکی آزادشده از بقایای گیاهی در حال تجزیه اشاره کرد (۲۸). تاکنون پژوهش‌های زیادی به بررسی پیامدهای افزودن بقایای گیاهی بر ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند (۳۷). حضور ترکیبات تجزیه‌پذیر و آب‌دوست مانند کربوهیدرات‌ها که طی تجزیه بقایای گیاهی ایجاد می‌شوند، از طریق تقویت کردن پیوندهای بین ذرات سبب افزایش پایداری خاکدانه می‌گردند (۳۳). از سوی دیگر مواد آب‌گریز مانند ترکیبات آلیفاتیک و اسید هومیک حاصل از تجزیه بقایای گیاهی از طریق ایجاد پوشش بر دیواره منافذ سبب افزایش

آب‌گریزی خاک و در نتیجه کاهش پیامدهای مخرب ناشی از مرطوب شدن سریع بر ساختمان خاک می‌شوند (۱۳). بنابراین از مزایای افزودن بقایای گیاهی به خاک می‌توان به کاهش چگالی ظاهری، بهبود ساختمان خاک و سرعت نفوذ آب در خاک، افزایش مقاومت خاک در برابر تراکم و کاهش فرسایش‌پذیری خاک اشاره کرد (۹).

گیاه فسکیوی بلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) یک گراس دائمی و سرمدوست و از مهم‌ترین گونه‌های جنس فسکوکا به شمار می‌رود. این گیاه به لحاظ سازگاری وسیع با شرایط محیطی از نظر تولید علوفه، احیای مراتع و احداث چراگاه، ایجاد پوشش‌های چمنی و حفاظت درازمدت خاک به ویژه در زمین‌های شیب‌دار حاصل‌خیز مورد توجه است (۳). فسکیوی بلند در مناطق مختلف ایران همچون آذربایجان غربی، خراسان، فارس، اصفهان، کرج، دامنه الوند و فیروزکوه به صورت طبیعی رویش دارد (۱). این گیاه در طول دوره‌های تکامل خود، رابطه همزیستی با قارچ اندوفیت (*Epichloë coenophaila*) برقرار کرده است (۳۱). قارچ اندوفیت از طریق ترشح آکالوئیدها و ترکیبات فنلی سبب ایجاد تغییرات مورفولوژیکی در گیاه میزبان شده که در نتیجه آن، مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیرزیستی افزایش می‌یابد (۳۱). حضور اندوفیت در اندام‌های هوایی گیاه بر میزان تجزیه‌پذیری بقایای گیاهی حاصل از آن نیز مؤثر است (۲۴). لمونز و همکاران (۲۹) و اماسینی و همکاران (۳۲) نشان دادند که بقایای گیاهان حاوی اندوفیت به دلیل حضور آکالوئیدها و آثار سمی آنها بر جمعیت‌های میکربی تجزیه‌کننده خاک، با سرعت کمتری در مقایسه با بقایای گیاهان عاری از اندوفیت تجزیه می‌شوند. علاوه بر اثر حضور قارچ اندوفیت در شاخساره گیاه بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک، اثر حضور این قارچ بر افزایش ذخایر کربن آلی و نیتروژن خاک نیز به خوبی به اثبات رسیده است (۱۷).

از آنجایی که کشور ایران تنوع وسیعی از گیاهان چمنی و قارچ‌های اندوفیت همزیست با آنها را داراست (۱) و از سوی

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	مکان	بافت	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم گرم بر کیلوگرم	کربن آلی	رسانایی الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH
۱	خمینی شهر	لوم	۱۶۱	۴۸۷	۳۵۲	۴۸۲	۵/۵۱	۲/۷	۸/۱
۲	نجف‌آباد	لوم	۲۶۳	۳۸۸	۳۴۹	۴۰۴	۵/۸۶	۲/۲	۷/۸
۳	اصفهان	لوم رسی سیلتی	۳۸۶	۵۰۹	۱۰۵	۴۵۵	۶/۷۳	۲/۵	۷/۸
۴	اصفهان	رس سیلتی	۴۲۶	۴۵۶	۱۱۸	۴۳۱	۶/۱۵	۲/۴	۷/۸
CV	-	-	۳۹	۱۱	۶۰	۷	۸/۵۲	۸/۵	۱/۹

دستگاه‌های EC متر و pH متر تعیین شد (۳۴). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

گیاه مورد آزمایش، فسکیوی بلند بود که پس از جمع‌آوری از مراتع استان کردستان در مزرعه چاه اناری دانشگاه صنعتی اصفهان کشت شده و پنجه‌های آن به‌طور طبیعی دارای قارچ اندوفیت بودند. آلوده بودن کامل گیاه به قارچ اندوفیت توسط روش رنگ‌آمیزی غلاف برگ با استفاده از رنگ رز بنگال تعیین شد (۳۶). برای حذف قارچ اندوفیت، برخی از پنجه‌ها با مخلوط دو قارچ‌کش به نام‌های پروپیکونازول و تبوکونازول به ترتیب با مقادیر ۱ میلی‌لیتر در لیتر و ۲ گرم در لیتر تیمار شدند (۳۵). بقایای گیاهی از شاخساره فسکیوی بلند حاوی اندوفیت (+E) و عاری از اندوفیت (-E) در بهار سال ۱۳۹۲ برداشت شد. بقایا به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک شد. بقایای گیاهی آسیاب گردیده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های بقایا شامل کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، نیتروژن کل به روش کجلدال، نسبت کربن به نیتروژن، و غلظت ترکیبات فنلی محلول در آب به روش کونگ و همکاران اندازه‌گیری شد (جدول ۲) (۲۷). برای اندازه‌گیری غلظت ترکیبات فنلی محلول در آب، یک میلی‌گرم از بقایای گیاه فسکیوی بلند در ۸ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تکان داده و با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. در عصاره حاصل، مقدار ترکیبات فنلی با معرف فولین - سیوکالتیو اندازه‌گیری شد (۵). پنج میلی‌لیتر معرف فولین رقیق شده با آب مقطر (به نسبت

دیگر در شرایط کنونی، مراتع کشور قادر به تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها و حفاظت خاک نیستند، بنابراین زمینه مناسبی برای استفاده از این گیاهان و قارچ‌های همزیست با آنها و همچنین بقایای آنها در طرح‌های احیا مراتع و حفاظت خاک وجود دارد. با این حال این گیاهان کمتر مورد توجه قرار گرفته و پژوهش‌های اندکی به بررسی اثر این گیاهان و قارچ‌های همزیست با آنها و همچنین بقایای آنها بر ویژگی‌های مختلف خاک پرداخته‌اند. این پژوهش با هدف بررسی اثر نوع خاک، حضور اندوفیت و مقدار بقایای گیاه فسکیوی بلند بر برخی ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیک و هیدرولیکی، و پایداری ساختمان خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و تهیه بقایای گیاهی

برای انجام این پژوهش، چهار نوع خاک از مزارع اطراف شهر اصفهان انتخاب شد که از نوع خاک‌های آهکی با کربن آلی کم بودند (جدول ۱). ویژگی‌های اولیه خاک‌ها به جز بافت آنها شباهت زیادی به یکدیگر داشت؛ بنابراین بررسی اثر بافت بر ویژگی‌های خاک پس از افزودن بقایای گیاهی امکان‌پذیر بود. در پاییز ۱۳۹۱ نمونه‌های خاک از لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شده و پس از هوا-خشک شدن به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های خاک شامل بافت به روش پیپت، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی و رسانایی الکتریکی و pH گل اشباع به ترتیب با

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی بقایای گیاهی حاوی اندوفیت (E+) و عاری از اندوفیت (E-)

نوع بقایا	کربن آلی --گرم بر کیلوگرم ماده خشک--	نیتروژن کل	نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	ترکیبات فنلی محلول در آب (میکروگرم بر گرم ماده خشک)
E+	۴۸۲/۲	۲/۵۸	۱۸۶/۸۹	۲۸۷۰/۹
E-	۴۶۳/۶	۳/۰۱	۱۵۴/۰۲	۲۴۵۰/۵

اعمال شد. در فاصله زمانی میان چرخه‌های تر-خشک شدن، نمونه‌های خاک درون گرم‌خانه قرار گرفتند. در هر چرخه تر-خشک شدن، رطوبت خاک توسط پل آبی به گنجایش زراعی (FC) رسانده شد و به مدت ۲۴ ساعت در تعادل با این رطوبت قرار گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون هواکش‌دار با دمای ۳۵ درجه سلسیوس قرار گرفته و خشک شدند. پس از آخرین (دهمین) چرخه تر-خشک شدن، میزان کربن آلی با روش اکسیداسیون تر و تنفس میکربی پایه خاک با روش چن و همکاران اندازه‌گیری شد (۱۱).

اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک

پس از اعمال آخرین چرخه تر-خشک شدن، نمونه‌های خاک در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند تا اثر رطوبت اولیه خاک بر آب‌گریزی در تیمارهای مختلف حذف شود. آب‌گریزی نمونه‌های خاک با استفاده از روش جذب‌پذیری ذاتی اندازه‌گیری شد. در این روش با استفاده از دستگاه ریز-نفوذسنج مکشی که از پژوهش‌های هالت و یانگ الگوبرداری شد، میزان جذب آب مقطر و اتانول (۹۵ درصد) توسط خاک، تحت شرایط نزدیک اشباع (پتانسیل ماتریک یا h برابر ۲- سانتی‌متر برای آب و ۰/۷- سانتی‌متر برای اتانول) اندازه‌گیری شد (۲۰). شکل (۱) شمای کلی ریز-نفوذسنج مکشی استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

اساس اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک در این روش تفاوت جذب‌پذیری خاک برای آب و اتانول است. آرایش (هندسه) منافذ و همچنین پوشش‌های آب‌گریز روی سطح ذرات بر جذب‌پذیری آبی خاک مؤثر است ولی جذب‌پذیری اتانول تنها از توزیع اندازه (هندسه) منافذ خاک تأثیر می‌پذیرد چون این سیال تمامی سطوح و ذرات خاک را مستقل از آب‌گریزی خیس

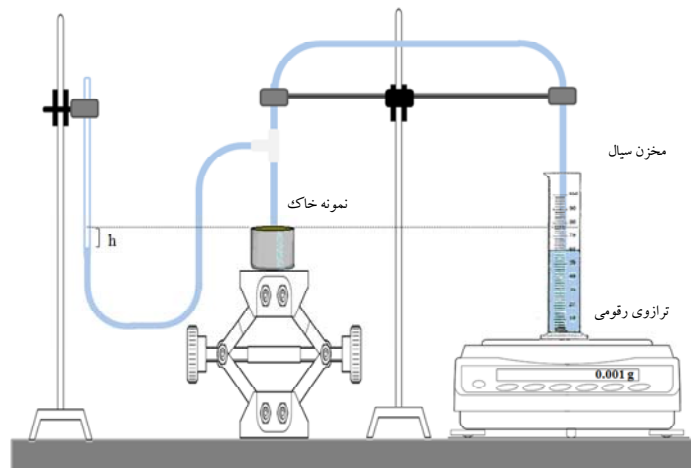
۱ به ۱۰) به ۱ میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده افزوده شده و میزان جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. اسید وانیلیک به‌عنوان استاندارد استفاده شد و مقدار ترکیبات فنلی محلول در آب برحسب میکروگرم بر گرم وزن خشک بقایا گزارش شد.

آماده‌سازی نمونه‌های خاک

نمونه‌های خاک مخلوط‌شده با بقایا در سیلندرهای استیل به ارتفاع ۴ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر بازسازی شدند. چگالی ظاهری مناسب (بهینه برای رشد گیاه) برای بازسازی نمونه‌های خاک برابر با ۸۵ درصد چگالی ظاهری مرجع (BD_{ref}) در نظر گرفته شد. تعیین BD_{ref} براساس روش هکنسون تحت تنش محوری محصور ۲۰۰ کیلوپاسکال انجام شد (۱۹). نمونه‌های خاک هوا-خشک شده از الک ۲ میلی‌متری عبور داده و بقایای گیاه فسکیوی بلند حاوی اندوفیت و عاری از اندوفیت در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد براساس وزن خشک به خاک‌ها افزوده شد. رطوبت نمونه‌های خاک به حد خمیری رسانده شد. خاک مرطوب درون پاکت‌های پلاستیکی قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد تا رطوبت با تمام نمونه خاک به تعادل رسیده و توزیع آن در نمونه خاک یکنواخت گردد. در نهایت خاک مرطوب در سیلندرهای استیل به چگالی ظاهری مناسب ($0/85BD_{ref}$) رسانده شد.

اعمال چرخه‌های تر-خشک شدن

پس از بازسازی نمونه‌های خاک، نمونه‌ها به مدت دو ماه در گرم‌خانه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در این مدت به‌منظور تأثیر بیشتر بقایا بر ساختمان خاک و شبیه‌سازی شرایط طبیعی، ۱۰ چرخه تر-خشک شدن بر نمونه‌های خاک



شکل ۱. شمای کلی دستگاه ریز-نفوذسنج مکشی برای اندازه‌گیری جذب‌پذیری آبی و اتانول و آب‌گریزی خاک

معادله (۲) و با استفاده از مقادیر جذب‌پذیری آبی (S_w) و جذب‌پذیری اتانول (S_E) محاسبه شد (۳۸):

$$RI = 1/95 \times \frac{S_E}{S_w} \quad [2]$$

مقادیر RI برابر ۱، بزرگ‌تر از ۱/۹۵ و بزرگ‌تر از ۵۰ به ترتیب نشان دهنده خاک‌های کاملاً آب‌دوست، خاک‌های آب‌گریز زیر-بحرانی و خاک‌های شدیداً آب‌گریز می‌باشند (۲۰ و ۳۰).

اندازه‌گیری رس قابل پراکنش خاک

برای اندازه‌گیری رس قابل پراکنش، نمونه‌های خاک پس از پایان اعمال چرخه‌های تر-خشک شدن و اندازه‌گیری آب‌گریزی، از سیلندرها خارج شده، خاکدانه‌ها به آرامی با دست از یکدیگر جدا شده و بدون کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بخشی از رس خاک که بدون حذف مواد آلی و سایر مواد چسباننده و تنها با کاربرد انرژی مکانیکی پراکنش می‌یابد تحت عنوان رس قابل پراکنش شناخته شده و به‌عنوان شاخصی از ناپایداری ساختمان خاک است. رس قابل پراکنش خاک به روش بورت و همکاران اندازه‌گیری شد (۷). چهار گرم خاک خشک به لوله‌های فالكون ۵۰ میلی‌لیتری انتقال یافته و ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها افزوده شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۹۰ دور در دقیقه تکان داده شد و میزان رس پراکنده شده براساس قانون استوکز و با استفاده از

می‌کند (۳۸). در ابتدای فرآیند نفوذ، جریان سیال تحت تأثیر گرادیان پتانسیل ماتریک بوده و ثقل اهمیت کمی دارد. بنابراین پارامتر مؤثر بر مقادیر ابتدایی نفوذ، جذب‌پذیری ($S, \text{cm s}^{-0.5}$) است که با داشتن دبی ماندگار سیال با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$S = \sqrt{\frac{Qf}{2br}} \quad [1]$$

در این رابطه Q دبی ماندگار سیال ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$)، b پارامتر ثابت برابر $r, 0/55$ شعاع انتهایی لوله نفوذسنج در تماس با خاک ($0/2 \text{ cm}$) و f تخلخل پر از هوای خاک ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) است. چون نمونه‌های خاک آون-خشک بوده‌اند، f برابر تخلخل خاک و از رابطه تخلخل با چگالی ظاهری و حقیقی خاک محاسبه شد. همچنین به‌منظور به‌دست آوردن Q ، جرم سیال جذب شده توسط خاک (ابتدا آب و سپس اتانول) توسط یک ترازوی رقومی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) در بازه زمانی صفر تا ۱۸۰ ثانیه با فواصل زمانی ۵ ثانیه یادداشت شد. سپس حجم سیال نفوذیافته در خاک با تقسیم جرم آن به چگالی سیال به‌دست آمد و منحنی‌های نفوذ تجمعی در برابر زمان برای آب و اتانول رسم گردید. مقدار Q از شیب منحنی حجم سیال نفوذیافته در برابر زمان در دامنه با روند خطی که عموماً در بازه زمانی ۱۴۰-۳۰ ثانیه رخ می‌دهد، به‌دست آمد (۲۱). درنهایت شاخص آب‌گریزی (RI، بی‌بعد) پیشنهادی تیلمن و همکاران با

جدول ۳. تجزیه واریانس بر مبنای میانگین مربعات داده‌ها برای کربن آلی (SOC)، گرم بر کیلوگرم، تنفس میکروبی پایه (BSR)، میلی‌گرم CO₂ بر کیلوگرم خاک، جذب پذیری آبی (Sw، سانتی‌متر بر جذر ثانیه)، جذب پذیری اتانول (SE، سانتی‌متر بر جذر ثانیه)، شاخص آب‌گریزی (RI) و رس قابل پراکنش (WDC، گرم بر کیلوگرم رس) خاک

WDC	RI	MSE				درجه آزادی	منابع تغییرات
		SE	Sw	BSR	SOC		
						۱۹	تیمار
۳۱۵۷ ***	۱۰۳/۸۵ ***	۰/۰۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۰۴۵ ns	۴۹۲۲۴ ***	۴۲/۲۸ ***	۳	بافت خاک
۲۴۴۹ *	۲۳/۵۱ ***	۰/۰۰۰۰۷ ns	۰/۰۰۰۸۹ ns	۱۲۳۰۱۸ ***	۱۱۸/۶۸ ***	۱	مقدار بقایا
۳۷۹۹ **	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۲۶ ns	۰/۰۰۰۶۹ ns	۴۳۸۰۲ ***	۶/۱۱ ***	۱	نوع بقایا
۳۶۳۵ ***	۱۳/۷۶ ***	۰/۰۰۰۳۰ ns	۰/۰۰۰۵۷ ns	۸۶۲۴ ***	۲۰/۴۵ ***	۳	بافت خاک × مقدار بقایا
۱۰۸۵ ns	۷/۱۰ ***	۰/۰۰۰۱۶ ns	۰/۰۰۰۵۲ ns	۵۹۶۷۴ ***	۸/۱۱ ***	۳	بافت خاک × نوع بقایا
۳۳۹ ns	ns ۰/۰۵	۰/۰۰۰۲۷ ns	۰/۰۰۰۳۵ ns	۵۰۰۵۲ ***	ns/۱۳	۱	مقدار بقایا × نوع بقایا
۵۵ ns	۲/۶۲ **	۰/۰۰۰۱۴ ns	۰/۰۰۰۴۹ ns	۹۳۷۹ ***	۹/۳۱ ***	۳	بافت خاک × مقدار بقایا × نوع بقایا
۱۷۰۲ ns	۳/۴۰ ***	۰/۰۰۰۵۵ ns	۰/۰۰۰۰۱ ns	۱۷۷۸۶ ***	۱۸/۲۵ ***	۳	مقایسه شاهد‌ها
۱۲۹۳ ns	۵/۰۷ **	۰/۰۰۰۲۹۹ **	۰/۰۰۰۳۹ ns	۱۳۸۷۲۰ ***	۱۱۹/۶۲ ***	۱	مقایسه شاهد با سایر تیمارها
۴۸۵	۰/۴۷	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۳۲	۶۰	۰/۰۸	۴۰	خطا

***، **، * ns به ترتیب نشان دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و اثر غیر معنی‌دار می‌باشند.

نتایج و بحث

خاک‌های مورد بررسی از نوع آهکی با ماده آلی کم بوده و به جز بافت، ویژگی‌های اولیه آنها شباهت زیادی به یکدیگر داشتند (جدول ۱). بنابراین بررسی اثر بافت بر ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیک و هیدرولیکی خاک پس از اعمال تیمارها امکان‌پذیر است. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که افزودن بقایای گیاهی به خاک از هر نوع و در هر مقدار سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار در اغلب ویژگی‌های خاک از جمله کربن آلی، تنفس میکروبی پایه، جذب پذیری اتانول و شاخص آب‌گریزی می‌گردد (جدول ۳). به طور کلی افزودن بقایا سبب افزایش کربن آلی، تنفس میکروبی پایه، جذب‌پذیری اتانول و شاخص آب‌گریزی خاک شد (جدول ۴). افزایش کربن آلی خاک با تغییر توزیع اندازه منافذ و ایجاد پوشش‌های آب‌گریز حاصل از تنفس میکروبی بیشتر سبب افزایش جذب‌پذیری اتانول و کاهش جذب‌پذیری آبی و در نتیجه افزایش شاخص آب‌گریزی خاک شد.

بافت خاک اثر معنی‌داری بر مقدار کربن آلی، تنفس

پیپت ریز اندازه‌گیری شد و مقدار رس قابل پراکنش براساس رس کل خاک بیان گردید.

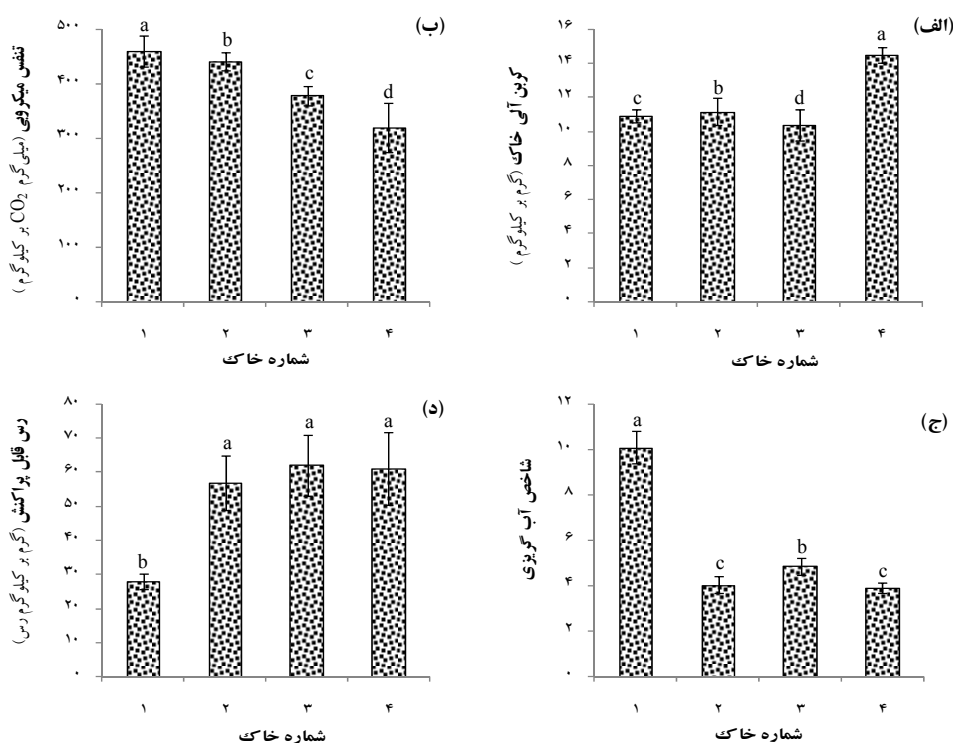
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

با توجه به این که برای سطح صفر بقایا (شاهد)، نوع بقایا متغیر نبود (کرت‌های غیرواقعی یا موهوم)، جدول تجزیه واریانس با کمی تغییر ارائه شد. به منظور بررسی اثر تیمارهای آزمایشی از آزمون فاکتوریل سه عاملی (بافت خاک در ۴ سطح، نوع بقایا در ۲ سطح و مقدار بقایا در ۳ سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. برای مقایسه شاهد‌ها و همچنین مقایسه شاهد با سایر تیمارها از مقایسات گروهی استفاده شد. ارتباط شاخص آب‌گریزی و رس قابل پراکنش خاک با ویژگی‌های خاک شامل مقدار رس و شن، نسبت کربن آلی به رس و تنفس میکروبی پایه به کمک ضرایب همبستگی پیرسون بررسی شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر مقدار بقایا بر کربن آلی (SOC)، تنفس میکربی پایه (BSR)، جذب پذیری آبی (Sw)، جذب پذیری اتانول (SE)، شاخص آب‌گریزی (RI) و رس قابل پراکنش (WDC) خاک

WDC (گرم بر کیلوگرم رس)	RI	SE (سانتی‌متر بر جذر ثانیه)	Sw (سانتی‌متر بر جذر ثانیه)	BSR (میلی‌گرم CO ₂ بر کیلوگرم خاک)	SOC (گرم بر کیلوگرم)	مقدار بقایا (درصد وزنی)
۶۳/۸ ± (۹/۱)	۵/۰۲ ± (۰/۳۰)	۰/۰۸۳۵ ± (۰/۰۰۵۳)	۰/۰۳۵۳ ± (۰/۰۰۳۶)	۲۸۱ ± (۲۰)	۸/۲۴ ± (۰/۶۵)	شاهد
۵۹/۲ ± (۷/۰) ^a	۶/۴۴ ± (۰/۷۵) ^a	۰/۱۰۰۰ ± (۰/۰۰۳۴) ^a	۰/۰۴۱۹ ± (۰/۰۰۴۵) ^a	۳۵۰ ± (۱۳) ^b	۱۰/۲۰ ± (۰/۵۱) ^b	۱
۴۴/۹ ± (۵/۱) ^b	۵/۰۵ ± (۰/۴۰) ^b	۰/۱۰۲۳ ± (۰/۰۰۳۱) ^a	۰/۰۶۹۱ ± (۰/۰۰۱۸۴) ^a	۴۵۲ ± (۲۶) ^a	۱۳/۳۴ ± (۰/۴۴) ^a	۲

مقایسه میانگین براساس مقدار بقایا صورت گرفته و ردیف شاهد تنها جهت مقایسه ارائه شده است. در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, P<۰/۰۵). اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار می‌باشند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر بافت بر ویژگی‌های خاک، ستون‌های دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, P<۰/۰۵)

علاوه همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقدار رس خاک و تنفس میکربی پایه مشاهده شد ($r = -0.44, P < 0.001$). به نظر می‌رسد که افزایش مقدار رس با محدودیت تهویه سبب کاهش فعالیت‌های میکربی و در نتیجه انباشت مواد آلی در خاک شده است. جین‌دالوانگ و همکاران نیز گزارش نمودند که با در نظر گرفتن ورودی یکسان مواد آلی، خاک‌های ریزبافت به دلیل

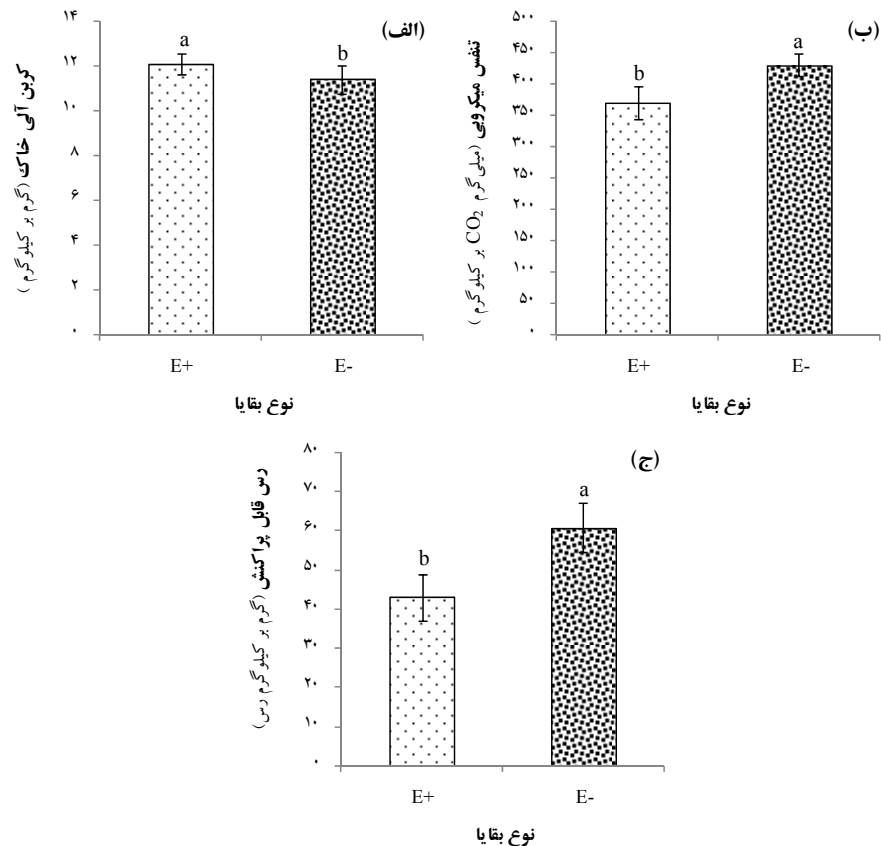
میکربی، رس قابل پراکنش و شاخص آب‌گریزی خاک داشت (جدول ۳). مقدار کربن آلی و تنفس میکربی در خاک‌های ریزبافت به ترتیب بیشتر و کمتر از خاک‌های درشت‌بافت است (شکل ۲-الف و ب)، به گونه‌ای که بیشترین مقدار کربن آلی در خاک شماره ۴ دیده شد. همچنین بیشترین و کمترین تنفس میکربی خاک به ترتیب در خاک‌های شماره ۱ و ۴ دیده شد. به

۴). همبستگی منفی و معنی دار بین رس قابل پراکنش و نسبت کربن آلی به رس خاک ($r = 0/43, P < 0/001$) نیز نشان می دهد که مستقل از بافت خاک، افزایش کربن آلی سبب کاهش رس قابل پراکنش (افزایش پایداری ساختمان) خاک شد. به عبارت دیگر افزایش سطح بقایا از یک سو سبب افزایش کربن آلی و از سوی دیگر موجب افزایش فعالیت های میکربی خاک شده است که خود می تواند افزایش ترشحات ناشی از فعالیت های میکربی مانند پلی ساکاریدهای برون سلولی را به همراه داشته باشد. این مواد به عنوان مواد سیمانی کننده سبب افزایش پایداری خاکدانه ها و در نتیجه کاهش مقدار رس قابل پراکنش می شوند (۱۳). افزودن بقایا در سطح ۱ درصد سبب افزایش معنی دار شاخص آب گریزی خاک نسبت به نمونه شاهد شده است ولی با افزایش مقدار بقایا تا سطح ۲ درصد آب گریزی خاک نسبت به سطح ۱ درصد کاهش معنی دار داشته است (جدول ۴). به عبارت دیگر افزایش میزان بقایای گیاهی افزوده شده به خاک اثر دوگانه ای بر میزان آب گریزی خاک داشته است. بنابراین می توان گفت شاخص آب گریزی خاک که با افزایش بقایای گیاهی تا سطح ۱ درصد به دلیل افزایش فعالیت میکربی خاک و تولید مواد آب گریز افزایش یافته است اما با افزایش بیشتر بقایای گیاهی تا سطح ۲ درصد، افزایش کربن آلی خاک سبب افزایش تخلخل کل شده و با افزایش K_w در مقایسه با K_E آب گریزی خاک را کاهش داده است (جدول ۴). به طور مشابه کوسستینو و همکاران نیز دریافته اند که افزودن بقایای ذرت در کوتاه مدت (۷ روز) با ایجاد ترکیبات آب گریز سبب افزایش آب گریزی خاک و در درازمدت (۱۳۵ روز) با افزایش تخلخل خاک سبب کاهش آب گریزی خاک می شود (۱۲). دی گریز و همکاران نیز گزارش نمودند که افزودن بقایای گندم به خاک سبب افزایش تخلخل یا تغییر توزیع اندازه منافذ خاک به ویژه در مجاورت بقایا می گردد (۱۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع بقایا بر کربن آلی، تنفس میکربی پایه و مقدار رس قابل پراکنش خاک اثر معنی دار داشت (جدول ۳). شکل (۳) نشان می دهد که حضور اندوفیت

حفاظت فیزیکی از مواد آلی دارای کربن آلی بیشتری نسبت به خاک های درشت بافت می باشند (۲۵). شاخص آب گریزی خاک نیز با افزایش مقدار رس کاهش معنی دار یافت به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر آن در خاک های شماره ۱ و ۴ اندازه گیری شد (شکل ۲-ج). شاخص آب گریزی با مقدار رس خاک همبستگی منفی و معنی دار داشت ($r = 0/63, P < 0/001$). خاک های ریز بافت با داشتن سطح ویژه بیشتر نسبت به خاک های درشت بافت برای آب گریز شدن نیاز به مقدار بیشتری پوشش های آلی آب گریز دارند (۴۱). آب گریزی شدید عموماً در خاک های درشت بافت گزارش شده است (۱۶ و ۴۰). مقدار رس قابل پراکنش خاک نیز با ریز بافت تر شدن خاک به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳ و شکل ۲-د) که با همبستگی مثبت و معنی دار آن و مقدار رس خاک ($r = 0/44, P < 0/001$) هم خوانی دارد. ایگوه و اودگبونام نیز همبستگی مثبت و معنی داری بین مقدار رس قابل پراکنش با مقدار رس در خاک های جنوب نیجریه مشاهده نمودند (۲۳).

مقدار بقایا نیز اثر معنی داری بر کربن آلی، تنفس میکربی، رس قابل پراکنش و شاخص آب گریزی خاک داشته است (جدول ۳). با افزایش مقدار بقایا (از شاهد به ۲ درصد)، میزان کربن آلی و تنفس میکربی خاک به طور معنی داری افزایش یافته است (جدول ۴). ضراب همبستگی نیز نشان داد که بین تنفس میکربی پایه و نسبت کربن آلی به رس خاک همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد ($r = 0/50, P < 0/001$). این نتایج نشان می دهد که صرف نظر از بافت، افزایش ماده آلی سبب افزایش تنفس میکربی خاک می شود. برکن و همکاران نیز دریافته اند که با افزودن کمپوست، میزان تنفس میکربی و کربن آلی خاک افزایش می یابد (۶). جعفری و همکاران نیز دریافته اند که کاربرد بقایای گیاهی بر فرآیندهای معدنی شدن کربن و نیتروژن و سرعت معدنی شدن آنها اثر مثبت و معنی دار داشته و سبب افزایش معدنی شدن کربن تا ۲ برابر گردید (۲). افزایش مقدار بقایا از ۱ به ۲ درصد همچنین سبب کاهش معنی دار مقدار رس قابل پراکنش و در نتیجه بهبود کیفیت فیزیکی خاک شد (جدول



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر نوع بقایا (حاوی اندوفیت (E+) و عاری از اندوفیت (E-)) بر ویژگی‌های خاک
ستون‌های دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, P < 0.05)

در گیاه سبب کاهش تجزیه میکربی بقایای گیاهی و انباشت کربن آلی در خاک شده است (۱۸). فرانزلوئیرز و همکاران نیز دریافتند که در مراتع ایالت جورجیا در آمریکا جمعیت گسترده‌ای از گیاهان فسکیوی بلند حاوی اندوفیت وجود دارد که خاک این مراتع دارای مقدار بیشتری کربن آلی و نیتروژن کل بوده و فعالیت میکربی آن کمتر است (۱۷). نتایج اماسینی و همکاران در آرژانتین نیز نشان داد که سرعت تجزیه بقایای شاخساره رای‌گراس ایتالیایی (*Lolium multiflorum* Lam.) حاوی اندوفیت به دلیل حضور آلکالوئیدها و آثار سمی آنها بر جمعیت‌های میکربی تجزیه‌کننده خاک در مقایسه با گیاهان عاری از اندوفیت آهسته‌تر است (۳۲). به نظر می‌رسد که افزایش بیشتر کربن آلی خاک در نمونه‌های دارای بقایای حاوی

در بقایای فسکیوی بلند در مقایسه با شرایط بدون اندوفیت سبب افزایش کربن آلی، کاهش تنفس میکربی و کاهش رس قابل پراکنش خاک شده است. همچنین، حضور اندوفیت در بقایای گیاهی در مقایسه با شرایط عاری از اندوفیت سبب کاهش جذب‌پذیری آبی ($\leq 0.43\%$ در برابر 0.68% سانتی‌متر بر جذر ثانیه) و جذب‌پذیری اتانول ($\leq 0.99\%$ در برابر 1.04% سانتی‌متر بر جذر ثانیه) و افزایش شاخص آب‌گریزی خاک (≤ 5.78 در برابر 5.71) شد ولی این تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۳). غلظت ترکیبات فنلی در بقایای فسکیوی بلند حاوی اندوفیت بیشتر از بقایای عاری از اندوفیت است (جدول ۲). بنابراین می‌توان گفت حضور قارچ‌های اندوفیت و تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدهای مختلف و ترکیبات فنلی

و کمترین میزان آب‌گریزی در ترکیب خاک ۳ و دو درصد بقایا اندازه‌گیری شد (جدول ۵). در خاک‌های شماره ۱ و ۴ با افزایش کربن آلی، شاخص آب‌گریزی خاک نیز افزایش یافته است در حالی که در خاک‌های شماره ۲ و ۳ با افزایش کربن آلی، میزان آب‌گریزی خاک کاهش یافته است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کمیت ماده آلی تنها عامل مؤثر بر آب‌گریزی خاک نبوده بلکه کیفیت ماده آلی نیز ممکن است بر آن مؤثر باشد. نتایج برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا نشان داد که در خاک‌های ریزبافت، افزایش مقدار بقایا سبب کاهش معنی‌دار مقدار رس قابل پراکنش خاک شده است؛ به ویژه در خاک شماره ۴ با بیشترین مقدار رس، افزایش میزان بقایا از ۱ به ۲ درصد سبب کاهش ۷۰ درصدی میزان رس قابل پراکنش خاک شد (جدول ۵). تغییرات مقدار رس قابل پراکنش را می‌توان به تغییرات آب‌گریزی خاک مرتبط دانست (افزایش شاخص آب‌گریزی سبب کاهش معنی‌دار مقدار رس قابل پراکنش شده است) و این اثر در خاک‌های ریزبافت آشکارتر است (جدول ۵). همبستگی منفی و معنی‌دار بین رس قابل پراکنش و شاخص آب‌گریزی خاک ($r = 0/44, P < 0/001$) این نتیجه‌گیری را تایید می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که حضور پوشش‌های آب‌گریز روی دیواره منافذ سبب جلوگیری از پیامدهای مخرب تنش‌های آبی شده و از فروپاشی خاکدانه‌های خاک جلوگیری می‌کند (۳۳). کارون و همکاران اثبات کردند که فروپاشی خاکدانه‌ها در اثر فشار هوای محبوس در منافذ تابعی از سرعت مرطوب‌شدن بوده و با حضور پوشش‌های آب‌گریز در خاک مرتبط است (۸).

برهم‌کنش دوگانه بافت خاک و نوع بقایا و همچنین برهم‌کنش سه‌گانه بافت خاک، مقدار بقایا و نوع بقایا بر کربن آلی، تنفس میکروبی پایه و شاخص آب‌گریزی خاک معنی‌دار شده است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که میزان و چگونگی تأثیر نوع بقایا بر ویژگی‌های خاک تابعی از بافت خاک بوده و در خاک‌های با بافت متفاوت اثر یکسانی ندارند (جدول ۶).

اندوفیت سبب پایداری بیشتر خاکدانه‌ها و کاهش رس قابل پراکنش خاک شده باشد (شکل ۳). کاپلان و همکاران نیز دریافتند که مواد آلی جذب‌شده روی سطح کلوئیدهای خاک از طریق نیروهای الکتروستاتیک سبب پایداری ذرات کلوئیدی پراکنش یافته در محلول خاک می‌شوند (۲۶).

نتایج نشان داد که برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا بر کربن آلی، تنفس میکروبی پایه، شاخص آب‌گریزی و رس قابل پراکنش خاک معنی‌دار است (جدول ۳). در خاک درشت‌بافت شماره ۱ (جدول ۱)، افزایش مقدار بقایا از ۱ به ۲ درصد سبب کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک شده ولی در خاک‌های متوسط تا ریزبافت با افزایش مقدار بقایای افزوده شده، کربن آلی خاک نیز به صورت معنی‌داری افزایش یافته است (جدول ۵). از سوی دیگر، بررسی برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا بر تنفس میکروبی خاک نشان می‌دهد که در خاک شماره ۱، با افزایش مقدار بقایای افزوده شده از ۱ به ۲ درصد، تنفس میکروبی پایه خاک در حدود ۴۲ درصد افزایش یافته است در صورتی که در خاک‌های متوسط تا ریزبافت شدت افزایش تنفس میکروبی کمتر از خاک شماره ۱ بوده است به طوری که در خاک ریزبافت شماره ۴ (جدول ۱)، میزان افزایش تنفس میکروبی از سطح ۱ به ۲ درصد بقایا، تنها ۱۰ درصد بوده است (جدول ۵). بنابراین می‌توان گفت که در خاک شماره ۱ با مقدار رس کمتر، تهویه مناسب‌تر و افزایش مقدار سوبسترا با نسبت کربن به نیتروژن زیاد (جدول ۲) سبب افزایش ناگهانی فعالیت میکروبی خاک و اکسیداسیون بیشتر کربن آلی خاک و در نتیجه کاهش معنی‌دار آن با افزایش مقدار بقایا شده است. در حالی که در خاک‌های متوسط تا ریزبافت با مقدار رس بیشتر، محدودیت تهویه و حفاظت فیزیکی بیشتر از ماده آلی سبب شده است که با افزایش مقدار بقایا، میزان کربن آلی خاک نیز افزایش یابد.

بررسی برهم‌کنش بافت خاک و مقدار بقایا نشان داد که بیشترین میزان آب‌گریزی در ترکیب خاک ۱ و یک درصد بقایا

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم کنش بافت خاک و مقدار بقایا بر کربن آلی، تنفس میکربی پایه، شاخص آب‌گریزی و رس قابل پراکنش خاک

شماره خاک	مقدار بقایا (درصد وزنی)	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)	تنفس میکربی (میلی گرم CO ₂ بر کیلوگرم خاک)	شاخص آب‌گریزی	رس قابل پراکنش (گرم بر کیلوگرم رس)
۱	۱	۱۱/۱۱ ± (۰/۱۱) ^d	۳۸۲ ± (۳۱) ^e	۱۲/۰۹ ± (۰/۷۴) ^a	۲۴/۸۴ ± (۰/۰۰) ^d
۲	۲	۱۰/۷۴ ± (۰/۷۶) ^e	۵۴۲ ± (۲) ^a	۸/۱۳ ± (۰/۲۶) ^b	۳۱/۰۶ ± (۴/۲۴) ^{cd}
۲	۱	۸/۶۸ ± (۰/۴۰) ^f	۳۹۵ ± (۱۲) ^d	۴/۶۴ ± (۰/۶۶) ^d	۵۳/۳۰ ± (۱۱/۶۳) ^{bc}
۲	۲	۱۳/۷۱ ± (۰/۳۳) ^b	۴۹۰ ± (۱۷) ^b	۳/۴۹ ± (۰/۳۵) ^e	۶۰/۹۱ ± (۱۱/۹۶) ^b
۳	۱	۷/۸۰ ± (۰/۹۹) ^e	۳۲۰ ± (۱۰) ^e	۵/۷۵ ± (۰/۴۵) ^c	۶۴/۷۰ ± (۱۶/۱۳) ^b
۳	۲	۱۳/۰۳ ± (۰/۱۵) ^c	۴۸۳ ± (۷) ^c	۴/۰۰ ± (۰/۳۶) ^{de}	۵۹/۵۲ ± (۹/۲۳) ^b
۴	۱	۱۳/۲۰ ± (۰/۱۲) ^c	۳۰۵ ± (۲۹) ^b	۳/۳۰ ± (۰/۲۱) ^e	۹۳/۹۸ ± (۴/۳۷) ^a
۴	۲	۱۵/۸۹ ± (۰/۳۸) ^a	۳۳۷ ± (۸۸) ^f	۴/۵۵ ± (۰/۱۰) ^d	۲۸/۲۰ ± (۶/۸۶) ^d
	LSD _{۰/۰۵}	۰/۳۱	۹	۰/۸۷	۲۴/۳۲

در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, P<۰/۰۵). اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار می‌باشند.

جدول ۶. مقایسه میانگین برهم کنش بافت خاک و نوع بقایا بر کربن آلی، تنفس میکربی پایه و شاخص آب‌گریزی خاک

شماره خاک	نوع بقایا	کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)	تنفس میکربی (میلی گرم CO ₂ بر کیلوگرم خاک)	شاخص آب‌گریزی
۱	E+	۱۱/۸۴ ± (۰/۲۷) ^c	۴۹۵ ± (۲۰) ^a	۹/۰۹ ± (۰/۶۳) ^b
۱	E-	۱۰/۰۱ ± (۰/۴۴) ^f	۴۲۸ ± (۵۱) ^c	۱۱/۱۳ ± (۱/۱۶) ^a
۲	E+	۱۱/۰۸ ± (۱/۴۷) ^e	۴۳۷ ± (۸) ^c	۴/۵۸ ± (۰/۷۲) ^d
۲	E-	۱۱/۳۱ ± (۰/۸۰) ^{de}	۴۴۸ ± (۳۵) ^b	۳/۵۵ ± (۰/۲۵) ^e
۳	E+	۱۱/۵۹ ± (۰/۷۲) ^{cd}	۳۶۲ ± (۲۸) ^e	۵/۵۷ ± (۰/۴۷) ^c
۳	E-	۹/۲۴ ± (۱/۶۴) ^e	۳۹۷ ± (۲۶) ^d	۴/۱۹ ± (۰/۴۸) ^{de}
۴	E+	۱۳/۹۹ ± (۰/۴۷) ^b	۱۹۰ ± (۲۳) ^f	۳/۸۷ ± (۰/۳۸) ^{de}
۴	E-	۱۵/۰۹ ± (۰/۷۳) ^a	۴۵۲ ± (۳۷) ^b	۳/۹۸ ± (۰/۲۶) ^{de}
	LSD _{۰/۰۵}	۰/۳۱	۹	۰/۸۷

در هر ستون اعداد دارای حروف مختلف تفاوت معنی‌دار دارند (LSD, P<۰/۰۵). اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار می‌باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

(۱) نتایج این پژوهش نشان داد که بقایای گیاه فسکیوی بلند به ویژه در حضور اندوفیت، بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک به گونه معنی‌داری مؤثر بوده و با افزایش ذخیره کربن آلی در خاک، افزایش شاخص آب‌گریزی و کاهش مقدار رس قابل پراکنش (کاهش ناپایداری ساختمان)، سبب بهبود کیفیت فیزیکی و ساختمان خاک گردیده‌اند.

(۲) به‌طور کلی در خاک‌های ریزبافت، کربن آلی و رس قابل پراکنش بیشتر و تنفس میکربی و شاخص آب‌گریزی کمتر از خاک‌های درشت‌بافت بود. افزایش مقدار بقایا سبب افزایش کربن آلی و تنفس میکربی و کاهش رس قابل پراکنش شد ولی بر شاخص آب‌گریزی خاک اثر دوگانه‌ای داشت. نوع بقایا (اندوفیت) اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نداشت اما افزودن بقایای گیاهان حاوی اندوفیت سبب افزایش

کربن آلی و کاهش معنی‌دار رس قابل پراکنش خاک شد. احیای مراتع داشته و کاربرد آن به‌دستگاه‌های اجرایی حفاظت گیاه فسکیوی بلند و بقایای آن پتانسیل خوبی برای کاربرد از منابع طبیعی پیشنهاد می‌گردد. در طرح‌های حفاظت خاک در زمین‌های مرتعی و کشاورزی و

منابع مورد استفاده

۱. آهک‌پز، ف. ۱۳۷۹. تجزیه و تحلیل کاربوتیمی جمعیت‌های بومی گیاه فستوکا ارون‌دیناسه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زراعت و اصلاح نبات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. جعفری، س. و ف. رئیسی. ۱۳۹۱. معدنی شدن کربن و نیتروژن در یک خاک آهکی پس از افزودن بقایای گیاهی و گوگرد، مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۳(۱): ۷۵-۸۶.
۳. شاه‌نظری م، ب. سیاسر، س. م. خیام‌نکویی و ر. محمدی. ۱۳۸۹. ارزیابی پارامترهای ژنتیکی و ترکیب‌پذیری عمومی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند. دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۱۸(۲): ۲۶۶-۲۴۹.
4. Bachmann, J., R. Horton and R. R. Van Der Ploeg. 2001. Isothermal and nonisothermal evaporation from four sandy soils of different water repellency. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1599-1607.
5. Beta, T., S. Nam, J. E. Dexter and H. D. Sapirstein. 2005. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chem.* 82: 390-393.
6. Borken, W., A. Muhs and F. Beese. 2002. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 34: 403-412.
7. Burt, R., T. G. Reinsch and W. P. Miller. 1993. A micro-pipette method for water dispersible clay. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 2531-2544.
8. Caron, J., C. R. Espindola and D. A. Angers. 1996. Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 901-908.
9. Castellini, M., M. Niedda, M. Pirastru and D. Ventrella. 2014. Temporal changes of soil physical quality under two residue management systems. *Soil Use Manage.* 30: 423-434.
10. Chau, H. W., Y. K. Goh, V. Vujanovic and B. C. Si. 2012. Wetting properties of fungi mycelium alter soil infiltration and soil water repellency in a γ -sterilized wettable and repellent soil. *Fungal Biol.* 116: 1212-1218.
11. Chen, C. R., L. M. Condrón, M. R. Davis and R. R. Sherlock. 2000. Effects of afforestation on phosphorus and biological properties in a New Zealand grassland soil. *Plant Soil.* 220: 151-163.
12. Cosentino, D., P. D. Hallett, J. C. Michel and C. Chenu. 2010. Do different methods for measuring the hydrophobicity of soil aggregates give the same trends in soil amended with residue? *Geoderma* 159: 221-227.
13. De Gryze, S., L. Jassogne, J. Six, H. Bossuyt, M. Wevers and R. Merckx. 2006. Pore structure changes during decomposition of fresh residue: X-ray tomography analyses. *Geoderma* 134: 82-96.
14. Dekker, L. W., S. H. Doerr, K. Oostindie, A. K. Ziogas, J. Coen. 2001. Water repellency and critical soil water content in a dune sand. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1667-1674.
15. Doerr, S. H. and A. D. Thomas. 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *J. Hydrol.* 231: 134-147.
16. Doerr, S. H. R. A. Shakesby, L. W. Dekker and C. J. Ritsema. 2006. Occurrence prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land-use types in a humid temperate climate. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 741-754.
17. Franzluebbers, A. J. N. Nazih, J. A. Stuedemann, J. J. Fuhrmann, H. H. Schomberg and P. G. Hartel. 1999. Soil carbon and nitrogen pools under low-and high-endophyte-infected tall fescue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1687-1694.
18. Franzluebbers, A. J. and N. S. Hill. 2005. Soil carbon, nitrogen, and ergot alkaloids with short-and long-term exposure to endophyte-infected and endophyte-free tall fescue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 404-412.
19. Håkansson, I. 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil Tillage Res.* 16: 105-120.
20. Hallett, P. D. and I. M. Young. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 35-40.

21. Hallett, P. D., D. C. Gordon and A. G. Bengough. 2003. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytol.* 157: 597-603.
22. Hallett, P. D. 2007. An introduction to soil water repellency. *In: Proceedings of the 8th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals Vol. 6*, p. 9.
23. Igwe, C. A. and O. N. Udegbonam. 2008. Soil properties influencing water-dispersible clay and silt in an Ultisol in southern Nigeria. *Int. Agrophys* 22: 319-325.
24. Iqbal, J., J. A. Siegrist, J. A. Nelson and R. L. McCulley. 2012. Fungal endophyte infection increases carbon sequestration potential of southeastern USA tall fescue stands. *Soil Biol. Biochem.* 44: 81-92.
25. Jindaluang, W., I. Kheoruenromne, A. Suddhiprakarn, B. P. Singh and B. Singh. 2013. Influence of soil texture and mineralogy on organic matter content and composition in physically separated fractions soils of Thailand. *Geoderma* 195: 207-219.
26. Kaplan, D. I., P. M. Bertsch and D. C. Adriano. 1997. Mineralogical and physicochemical differences between mobile and non-mobile colloidal phases in reconstructed pedons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 641-649.
27. Kong, L., F. Si J. Wang, B. Feng and S. Li. 2008. Water-soluble phenolic compounds in the coat control germination and peroxidase reactivation in *Triticum aestivum* seeds. *Plant Growth Regul.* 56: 275-283.
28. Kostka, S. J. 2000. Amelioration of water repellency in highly managed soils and the enhancement of turfgrass performance through the systematic application of surfactants. *J. Hydrol.* 231: 359-368.
29. Lemons, A., K. Clay and J. A. Rudgers. 2005. Connecting plant-microbial interactions above and belowground: a fungal endophyte affects decomposition. *Oecologia* 145: 595-604.
30. Lipiec, J., A. Wojciga and R. Horn. 2009. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction. *Soil Tillage Res.* 103: 170-177.
31. Malinowski, D. P. and D. P. Belesky. 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Sci.* 40: 923-940.
32. Omacini, M. J., E. M. Chaneton, C. Ghersa and P. Otero. 2004. Do foliar endophytes affect grass litter decomposition? A microcosm approach using *Lolium multiflorum*. *Oikos* 104: 581-590.
33. Piccolo, A. and J. S. Mbagwu. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1801-1810.
34. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils*. United States Department of Agriculture, Handbook no. 60. 102 pp. Washington, DC.
35. Sabzaljan, M. R. and A. Mirlohi. 2010. *Neotyphodium* endophytes trigger salt resistance in tall and meadow fescues. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173: 952-957.
36. Saha, D. C., M. A. Jackson and J. M. Johnson-Cicalese. 1988. A rapid staining method for detection of endophytic fungi in turf and forage grasses. *Phytopathology* 78: 237-239.
37. Strudley, M. W., T. R. Green and J. C. Ascough. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Tillage Res.* 99: 4-48.
38. Tillman, R. W., D. R. Scotter, M. G. Wallis and B. E. Clothier. 1989. Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Aust. J. Soil Res.* 27: 637-644.
39. Vogelmann, E. S., J. M. Reichert, J. Prevedello and G. O. Awe. 2013. Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. *Cienc. Rural.* 43: 1582-1589.
40. Wahl, N. A. 2008. Variability of water repellency in sandy forest soils under broadleaves and conifers in north-western Jutland/Denmark. *Soil Water Res.* 3: S155-S164.
41. Wallis, M. G. and D. J. Horne. 1992. Soil Water Repellency. PP: 91-146. *In: Stewart, B.A. (Ed.), Advances in Soil Science*. Springer. New York.

Effects of Endophyte-infected (*Epichloë coenophiala*) Tall Fescue Residues on Water Repellency and Structural Stability of Texturally-Different Soils

F. Hosseini^{*1}, M. R. Mosaddeghi¹, M. A. Hajabbasi¹, M. R. Sabzalian²,
M. Soleimani³ and M. Sepehri⁴

(Received: Feb. 03-2015; Accepted: Sept. 06-2016)

Abstract

Soil water repellency can affect several soil properties such as aggregate stability. Soil texture and organic matter are two main internal factors responsible for the variability of soil water repellency. Major sources of organic matter in soil include plant residues, and exudates of plant roots and soil microorganisms. Tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) as an important cool-season perennial forage grass is usually infected by a fungal endophyte (*Epichloë coenophiala*) which often enhances resistance to biotic and abiotic stresses as well as altering the litter decomposition rate and soil properties. In this study, the effects of endophyte-infected (E+) and endophyte-free (E-) tall fescue residues (in three different levels of 0, 1 and 2%) on soil organic carbon, basal microbial respiration, water-dispersible clay and water repellency index (determined by intrinsic sorptivity method) were investigated in four texturally-different soils in the laboratory. E+ and E- tall fescue residues were completely mixed with moist soil samples and then were incubated at 25 °C. During two months of incubation period, the amended soil samples were subjected to 10 wetting and drying cycles and then, the above-mentioned soil properties were measured. The results indicated that soil organic carbon and water-dispersible clay were greater, while basal soil respiration and repellency index were lower in fine-textured soils. Water repellency index was increased by production of hydrophobic substances (for the rate of 1%) and was reduced by induced greater soil porosity (for the rate of 2%). Presence of endophyte in plant residues had no significant effect on water sorptivity, ethanol sorptivity and water repellency index; nevertheless, E+ residues increased soil organic carbon and decreased water-dispersible clay significantly. Overall, it is concluded that tall fescue residues, especially those with E+, can improve soil physical quality due to improving soil organic carbon storage and water repellency index and decreasing water-dispersible clay (as an index for aggregate instability). These E+ species and the residues have great potential to be used in sustainable soil conservational managements.

Keywords: Water repellency index, Endophyte, Water-dispersible clay, Tall fescue, Water sorptivity, Ethanol sorptivity.

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agric. Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

3. Dept. of Natural Resources, Isfahan Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

4. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: baharehhosseini64@gmail.com