

بررسی ارتباط خاصیت آب‌گریزی با گونه‌های درختان جنگلی، مخازن کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها (پژوهش موردی: ایستگاه تحقیقات بذر و نهال گونه‌های جنگلی سلمان، استان گیلان)

*کریم آتش‌نما^۱، احمد گلچین^۲ و سیدعبداله موسوی‌کوپر^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،
آستادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تات، رشت
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: خاصیت آب‌گریزی خاک شامل مقاومت خاک در برابر خیسیدگی است که می‌تواند سبب کاهش سرعت نفوذ آب برای چند ثانیه تا ساعت‌ها و یا حتی هفته‌ها گردد. در کنار اثرات سوء آب‌گریزی خاک در پژوهش‌های علمی، به نقش مثبت آن در بسیاری از پدیده‌ها از قبیل ساختمان خاک نیز اشاره شده است. در حالی که بسیاری از مطالعات مواد آلی خاک را به‌عنوان منشاء شیمیایی آب‌گریزی معرفی می‌کنند، اما برخی دیگر عدم ارتباط معنی‌دار میان این دو صفت را گزارش کرده‌اند. به‌نظر می‌رسد شناسایی گروه‌های عاملی آب‌گریز به‌جای در نظر گرفتن کل توده کربن آلی خاک به کمک روش جداسازی مخازن کربن آلی بر اساس ذرات تشکیل‌دهنده خاک بتواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با میزان و منشاء آب‌گریزی خاک ارائه دهد. بنابراین پژوهش حاضر جهت بررسی ارتباط مخازن مختلف کربن آلی با خاصیت آب‌گریزی خاک و همچنین نظر به مطالعات اندک صورت گرفته در خصوص نحوه تأثیر آب‌گریزی خاک بر ساختمان خاکدانه‌ها طراحی و به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌هایی از اعماق ۰-۵، ۵-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری از خاک تحت پوشش گونه‌های درختی شامل کاج تدا (*Pinus taeda*)، دارتالاب (*Taxodium distichum*)، ارس (*Juniperus polycarpos*)، توسکا (*Alnus glutinosa*)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و سفیدپلت (*Populus caspica*) جمع‌آوری گردید. در این نمونه‌ها مخازن کربن آلی به تفکیک ذرات اولیه خاک، میزان آب‌گریزی، پهاش و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها اندازه‌گیری و پس از تجزیه واریانس دوطرفه، داده‌ها بر اساس متغیرهای مستقل (گونه درختی و عمق) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل مورد آنالیز آماری قرار گرفته و جهت بررسی وضعیت ارتباط میان صفات مورد اندازه‌گیری از همبستگی پیرسون استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج اولیه بیانگر تأثیر گونه‌های درختی و عمق بر میزان خاصیت آب‌گریزی خاک و صفات اندازه‌گیری شده مورد بررسی می‌باشد. بیش‌ترین زمان‌های ثبت شده برای وضعیت آب‌گریزی خاک در ضخامت ۰-۵ سانتی‌متری ثبت شد. از میان گونه‌های مورد بررسی، کاج تدا، دارتالاب و ارس دارای بیش‌ترین تنوع کلاس‌های آب‌گریزی بودند به‌طوری‌که نمونه‌های با زمان آب‌گریزی بیش از یک ساعت صرفاً در لایه ۰-۵ سانتی‌متری و در خاک تحت پوشش

* مسئول مکاتبه: k_atashnama@znu.ac.ir

کاج تدا و دارتالاب به ترتیب با مقادیر ۱۳/۳۳ و ۳/۳۳ درصد نمونه‌های جمع‌آوری شده مشاهده گردید و کم‌ترین آن در نمونه‌های درختان سفیدپلت، توسکا و بلوط اندازه‌گیری شد. با افزایش عمق خاک، زمان آب‌گریزی در تمامی گونه‌ها کاهش یافت به گونه‌ای که ۸۲/۲۲ درصد از کل نمونه‌های جمع‌آوری شده از عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری دارای زمان آب‌گریزی ۵-۰ ثانیه بودند. علی‌رغم وجود همبستگی میان کربن آلی کل و آب‌گریزی ($r=0/19$, $P<0/01$) قوی‌ترین همبستگی معنی‌دار ($r=0/64$, $P<0/01$) میان کربن آلی جزء شن و خاصیت آب‌گریزی خاک مشاهده گردید؛ همچنین ارتباط همسویی ($r=0/2$, $P<0/01$) میان آب‌گریزی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری: وجود همبستگی معنی‌دار میان آب‌گریزی با میزان کربن آلی جزء شن بیانگر تجمع ترکیبات کربنه آب‌گریز در جزء شن بوده بنابراین این بخش از کربن آلی کنترل‌کننده میزان آب‌گریزی خاک محدوده مورد مطالعه می‌باشد. با این وجود کاهش پهاش خاک و همچنین درجه پوسیدگی مواد آلی می‌تواند بر کیفیت ماده آلی خاک اثر گذاشته و متعاقب آن منجر به کاهش خاصیت آب‌گریزی خاک گردد. علی‌رغم نقش مواد آلی و جزء آب‌گریز آن در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها ولی کیفیت نامطلوب ماده آلی، وجود پهاش پایین و تشکیل خاکدانه‌های کوچک در خاک‌های تحت پوشش درختان سوزنی‌برگ ایجاب می‌کند که در انتخاب درختان سوزنی‌برگ برای پروژه‌های جنگل‌کاری و فضای سبز این موارد در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: آب‌گریزی خاک، پایداری خاکدانه، جزء شن، مخازن کربن آلی، عمق

مقدمه

به اعماق خاک کاهش می‌دهد (۳۹)، از سویی دیگر در مقایسه با خاک‌های با قابلیت مرطوب شدن، شدت تبخیر کم‌تری از سطح خاکی که به‌طور مصنوعی آب‌گریز شده بود گزارش شده است (۳۹). علاوه بر این، وجود خاصیت آب‌گریزی در خاکدانه‌ها از طریق تأخیر در خیس شدن سریع خاکدانه‌ها و جلوگیری از متلاشی شدن آن‌ها در اثر فشرده‌شدن هوای داخل خاکدانه‌ها باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد (۳۴ و ۳۶). بر همین اساس خاصیت آب‌گریزی می‌تواند از طریق حفظ ساختمان خاک و جلوگیری از خروج کربن آلی از خاک در بهبود فرایند ترسیب کربن ایفای نقش نماید؛ در این راستا و به‌منظور شناسایی راه‌های افزایش سطح جزء پایدار مواد آلی خاک، پیکولو و امباگوو (۱۹۹۹) با اضافه نمودن

خاصیت آب‌گریزی از ویژگی‌های پویای خاک است که به مقاومت خاک در برابر خیسیدگی اطلاق می‌شود و می‌تواند کاهش سرعت نفوذ آب برای چند ثانیه تا ساعت‌ها و یا حتی هفته‌ها را به دنبال داشته باشد (۱۸ و ۳۹). مختل شدن نفوذ آب منجر به ایجاد پدیده‌هایی مانند جریان‌های ترجیحی، جریان‌های سطحی، افزایش وقوع سیلاب‌ها و فرسایش خاک می‌گردد (۹). در کنار عوارض ذکرشده در پژوهش‌های علمی، به نقش مثبت خاصیت آب‌گریزی خاک نیز اشاره شده است؛ سطح خاک‌های آب‌گریز، آب بارندگی‌های فصلی را به مسیرهای قابل مرطوب شدن هدایت کرده و با تشدید جریان ترجیحی، تبخیر نزولات جوی ناچیز مناطق خشک را از طریق هدایت

جداگانه ترکیبات آلی آب‌گریز و آب‌دوست و اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها پس از طی ۴۰ روز مشاهده نمودند که پایداری خاکدانه‌ها به کمک ترکیبات آلی آب‌گریز افزایش یافته است (۲۹).

به دلیل ارتباط محتوای رطوبتی خاک با خاصیت آب‌گریزی، شدت آن در خاک‌ها متغیر است؛ به طوری که بیش‌ترین میزان آب‌گریزی خاک در فصول خشک سال بوده و در فصول مرطوب شدت آن حداقل و یا ناچیز می‌باشد (۳۶ و ۳۹). میزان پ‌هاش، بافت خاک، نوع کاربری اراضی و ماده آلی خاک از دیگر عوامل مهم و اثرگذار بر شدت آب‌گریزی در خاک‌ها می‌باشند (۳۶). بیزدام و همکاران (۱۹۹۳) ماده آلی را به‌عنوان عامل شکل‌گیری پدیده آب‌گریزی در خاک معرفی نمودند (۵). در اغلب پژوهش‌های انجام شده همبستگی معنی‌داری میان مقادیر کربن آلی و خاصیت آب‌گریزی خاک مشاهده شده است (۱، ۲۶ و ۴۰) در حالی که برخی از پژوهش‌ها عدم این ارتباط را گزارش کرده‌اند. (۸ و ۱۶). این تناقض به آن علت است که همه ترکیبات آلی، آب‌گریز نبوده بلکه بخشی از آن مانند صمغ‌ها، اسیدهای چرب، تانن‌ها و موم‌ها با پوشاندن ذرات تشکیل‌دهنده خاک (رس، سیلت و شن) و همچنین خاکدانه‌ها مانع تماس مولکول‌های آب با سطوح معدنی می‌گردند (۳۹).

علی‌رغم اهمیت خاصیت آب‌گریزی خاک، مطالعات محدودی در این خصوص در داخل کشور صورت گرفته است. ذوالفقاری و حاج‌عباسی (۲۰۰۹) با بررسی خاک‌های جنگلی لردگان، نشان دادند که تغییرات کاربری اراضی منجر به کاهش شدت آب‌گریزی در اغلب خاک‌های جنگلی شده است (۳۹). ایشان در بررسی خاک‌های نواحی مرکزی

ایران، ارتباط میان پوشش گیاهی، ماده آلی و عمق خاک را با خاصیت آب‌گریزی مشاهده نموده و عدم خاصیت آب‌گریزی خاک‌های تحت مدیریت‌های زراعی را فقدان ماده آلی کافی گزارش کردند (۴۰). میربابائی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خاک‌های جنگلی غرب گیلان نشان دادند که ماده آلی، بافت خاک و پ‌هاش خاک عوامل مهم وجود آب‌گریزی در این منطقه می‌باشند (۲۶). اعلامنش و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ۳۰ سری از خاک‌های آهکی نواحی استان همدان مشاهده نمودند که خاک‌های مرتعی در مقایسه با خاک‌های شخم‌خورده به دلیل مقادیر بالای کربن آلی و نیتروژن کل و همچنین فعالیت بیش‌تر جوامع میکروبی دارای آب‌گریزی قابل‌توجهی می‌باشند (۱).

مک‌کیساک و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند که بررسی کیفی ماده آلی و شناسایی گروه‌های عاملی آب‌گریز به‌جای در نظر گرفتن کل توده کربن آلی خاک می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با میزان و شدت آب‌گریزی خاک ارائه دهد (۲۴). به جهت ساختار پیچیده و ناهمگن مواد آلی خاک، امروزه تفکیک فیزیکی ماده آلی بر اساس ذرات تشکیل‌دهنده آن (رس، سیلت و شن) در زمینه‌های متعددی از جمله ارزیابی پویایی کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی و کنترل مدیریت‌های اعمال‌شده بر خاک کاربردهای وسیعی پیدا کرده است (۳). از دیگر اهداف جزء به جزء کردن ماده آلی خاک که توجه کم‌تری به آن شده است تعیین وظایف و نقش هر یک از اجزاء در پدیده‌ها و واکنش‌های فیزیکوشیمیایی حاکم بر خاک‌ها از جمله خاصیت آب‌گریزی است.

به مساحت‌های ۵۰۰۰-۱۰۰۰ متری به صورت تصادفی کشت شده‌اند. سه گونه از درختان پهن‌برگ شامل توسکا (*Alnus glutinosa*)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) و سفیدپلت (*Populus caspica*) و سه گونه درختی سوزنی‌برگ شامل شامل کاج تدا (*Pinus taeda*)، دارتالاب (*Taxodium distichum*) و ارس (*Juniperus polycarpus*)؛ که همگی دارای سن یکسان بودند به‌عنوان گونه‌های مورد بررسی انتخاب شدند.

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی: جهت اندازه‌گیری آب‌گریزی خاک‌های تحت پوشش هر یک از قطعات گونه‌های درختی مورد بررسی و هم‌زمان با حداقل رطوبت خاک (اواخر خرداد) پس از حذف بقایای گیاهی موجود در سطح خاک، نمونه‌های دست‌نخورده‌ای از سه عمق ۰-۵، ۵-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری در محدوده زیر تاج درختان برداشت شدند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه تا ثابت شدن وزن آن‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) هواخشک شدند. سپس برای اندازه‌گیری میزان آب‌گریزی بالقوه^۲ (میزان آب‌گریزی خاک در شرایط خشک و بدون رطوبت) از روش معمول زمان نفوذ قطره آب^۳ (WDPT) استفاده گردید (۳۹). در این روش سه قطره آب مقطر توسط یک قطره‌چکان پزشکی بر روی سطوح صاف نمونه‌های دست‌نخورده قرار داده شدند و زمان ماندگاری قطرات آب تا مرحله نفوذ در خاک بر حسب ثانیه ثبت گردید (۳۹). در نهایت آب‌گریزی بالقوه نمونه‌ها طبق معیار به‌کار گرفته شده توسط ذوالفقاری و حاج عباسی (۲۰۰۸) و میربائی و همکاران (۲۰۱۳) کلاس‌بندی شدند (۲۶) و

با توجه به وسعت اندک پوشش جنگلی کشور، ایران دارای پتانسیل بالقوه‌ای در زمینه جنگل‌کاری می‌باشد. نظر به اولویت سیاست‌های جهانی در راستای افزایش سطح پوشش جنگلی در مناطق مستعد جنگل‌کاری، انتخاب گونه مناسب از طریق شناخت نحوه اثرگذاری بر خصوصیات اکولوژیکی به‌ویژه بستر خاک می‌تواند افزایش بازدهی عملیات جنگل‌کاری و احیای جوامع جنگلی را به همراه داشته باشد. بنابراین پژوهش حاضر جهت ارزیابی تأثیر گونه‌های مختلف جنگلی بر آب‌گریزی خاک‌ها، بررسی ارتباط مخازن مختلف کربن آلی با آب‌گریزی خاک‌ها و همچنین ارتباط آب‌گریزی خاک‌ها در پایداری ساختمان خاک‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه: ایستگاه تحقیقاتی بذر و نهال گونه‌های جنگلی سلمان واقع در شرق شهرستان لنگرود استان گیلان با مساحت تقریبی ۴ هکتار در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۶- متری از سطح دریا قرار داشته که به‌عنوان محل مورد مطالعه انتخاب گردید. میانگین سالانه بارندگی در این ایستگاه ۱۱۸۰ میلی‌متر و متوسط سالانه دما ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و دمایی ایستگاه به‌ترتیب آکوئیک و مزیک بوده و خاک منطقه بر اساس رده‌بندی خاک‌ها به روش آمریکائی (۳۲) آکوئیت^۱ با بافت متوسط (لوم شنی) و از مواد مادری درجا تشکیل شده است. ایستگاه مذکور شامل انواع گونه‌های بومی و غیربومی درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بوده که در پلات‌هایی

2- Potential water repellency
3- Water drop penetration time

1- Aquept

نمونه‌های خشک شده توزین و وزن خاکدانه‌های مربوط به هر الک پس از تصحیح وزن ذرات شن داخل خاکدانه‌ها به تفکیک خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک تعیین گردید. در خاتمه پایداری خاکدانه‌ها بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه^۲ (MWD) بر حسب میلی‌متر طبق رابطه زیر محاسبه گردید (۳ و ۱۲).

$$M.W.D = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i W_i$$

که در آن، \bar{x}_i میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک بر حسب میلی‌متر و W_i نسبت وزن خشک خاکدانه‌های روی هر یک از الک‌ها به وزن کل خاکدانه‌ها (۵۰ گرم) می‌باشد.

بقیه نمونه‌های خاک پس از کوبیدن جهت اندازه‌گیری سایر فاکتورهای مورد بررسی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند؛ سپس بافت خاک به روش هیدرومتری (۲۱) پس از حذف مواد آلی با آب اکسیژنه ۶ درصد (۳۳) و پهاش خاک در گل اشباع به روش پتانسیومتری (۲۵) اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری مواد آلی خاک بر اساس ذرات تشکیل‌دهنده (رس، سیلت و شن) بر اساس چارچوب روش مورد استفاده توسط بهشتی و همکاران (۲۰۱۲) ابتدا سوسپانسیونی از آب مقطر و ۵۰ گرم خاک تهیه شده و سپس با دستگاه فراصوت به مدت ۶ دقیقه فرآیند خردشدن توده‌های احتمالی موجود در سوسپانسیون انجام گرفت، سپس ذرات شن توسط شستشوی تدریجی به وسیله الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر از ذرات ریزتر (رس و سیلت) جدا شدند؛ برای جداسازی فاز رس نیز از روش ترسیب و سیفون با

(۳۹): در این طبقه‌بندی کلاس صفر شامل نمونه‌هایی با زمان نفوذ کم‌تر از ۵ ثانیه موسوم به خاک‌های آب‌دوست، کلاس یک شامل خاک‌هایی با زمان نفوذ ۵-۶۰ ثانیه تحت عنوان خاک‌هایی با آب‌گریزی کم، کلاس دو شامل خاک‌هایی با زمان نفوذ ۶۰-۶۰۰ ثانیه بیانگر خاک‌های بسیار آب‌گریز، کلاس ۳ خاک‌هایی با زمان نفوذ ۶۰۰-۳۶۰۰ ثانیه با عنوان خاک‌هایی به شدت آب‌گریز و کلاس ۴ خاک‌هایی با زمان نفوذ بیش‌تر از ۳۶۰۰ ثانیه با عنوان خاک‌های بی‌نهایت آب‌گریز می‌باشند.

در کنار نمونه‌های دست‌نخورده، نمونه‌های دست‌خورده‌ای نیز جمع‌آوری شدند. این نمونه‌ها در دمای اتاق هواخشک شده و پس از حذف مواد درشت و بقایای گیاهی، بخشی از آن جهت اندازه‌گیری پایداری خاکدانه به روش الک مرطوب برداشت گردید. برای این منظور ابتدا مقداری از نمونه‌های دست‌نخورده، از دو الک ۶ و ۴ میلی‌متری عبور داده شدند؛ سپس از ذرات برجا مانده بر روی الک ۴ میلی‌متری، ۵۰ گرم خاکدانه فاقد ذرات شن خالص جدا و توزین گردید و در مرحله بعد خاکدانه‌ها بر روی سری الک‌های ۴/۰، ۲/۰، ۱/۰، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر قرار داده شدند و سپس سری الک‌ها به آرامی داخل مخزن حاوی آب فرو برده شدند و الک کردن در آب با دامنه نوسان^۱ ۱/۳ سانتی‌متر به مدت ۱۵ دقیقه (۳) به طول انجامید. در طول این مدت، نوسان الک‌ها به گونه‌ای طراحی گردید که بالاترین الک از آب خارج نگردد. در ادامه خاکدانه‌های برجا مانده روی هر یک از الک‌ها در ظروف جداگانه‌ای جمع‌آوری و درون آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. سپس

2- Mean Weight Diameter (MWD)

1- Stroke

بیشترین تنوع کلاس‌های آب‌گیری در ضخامت سطحی و به‌ترتیب در سه گونه کاج تدا، دارتالاب و ارس اندازه‌گیری گردید (شکل ۱- الف)؛ به‌طوری‌که نمونه‌های با زمان آب‌گیری بیش از یک ساعت (کلاس ۴) صرفاً در این عمق و در خاک تحت پوشش کاج تدا و دارتالاب به‌ترتیب با مقادیر ۱۳/۳۳ و ۳/۳۳ درصد نمونه‌های جمع‌آوری شده (به تفکیک هر گونه، $n=30$) مشاهده گردید. به‌علاوه نمونه خاک‌های دارای زمان نفوذ ۳۶۰۰-۶۰۰ ثانیه (کلاس ۳) نیز تنها در عمق ۵-۰ سانتی‌متری مشاهده گردید (شکل ۱- الف)، بر این اساس به‌طور مشابه ۱۶/۶۷ درصد از نمونه‌های مربوط به کاج تدا و دارتالاب و ۶/۶۷ درصد از نمونه‌های مربوط به ارس در کلاس ۳ طبقه‌بندی شدند. میزان پتانسیل آب‌گیری در همه نمونه‌های مورد بررسی با افزایش عمق کاهش یافت به‌طوری‌که ۸۲/۲۲ درصد از کل نمونه‌های جمع‌آوری شده از عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری ($n=180$) دارای زمان آب‌گیری ۵-۰ ثانیه (کلاس صفر) بودند (شکل ۱- ج).

کاهش میزان آب‌گیری در طول نیمرخ خاک به‌نظر می‌رسد به‌دلیل کاهش میزان مواد آلی در خاک‌های تحت‌الارض باشد (۹ و ۳۴) ضرایب همبستگی بالا و مثبت به‌دست آمده بین میزان کربن آلی خاک و شدت آب‌گیری (جدول ۲) بیانگر این موضوع می‌باشد. ضخامت متفاوتی برای لایه آب‌گیر توسط پژوهشگران گزارش شده است. ذوالفقاری و حاج‌عباسی (۲۰۰۸) ضخامت لایه آب‌گیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک را ۵ سانتی‌متر گزارش نمودند (۳۹) در حالی‌که در خاک‌های مناطق مرطوب این لایه تا حدود ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک نیز گزارش شده است (۳۵).

پی‌پت استفاده گردید (۳). در نهایت میزان ماده آلی به تفکیک ذرات تشکیل‌دهنده به‌علاوه کربن آلی کل توده نمونه خاک به روش اکسیداسیون مرطوب توسط دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ (۲۷) مورد آزمایش قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا توزیع نرمال داده‌های به‌دست آمده توسط آزمون شاپیرو - ویلک و همگنی واریانس داده‌ها به روش آزمون لون در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس دو طرفه با در نظر گرفتن گونه‌های جنگلی و عمق به‌عنوان صفات مستقل به شکل آزمایش فاکتوریل در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با ۳۰ تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۱ به کمک نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین برای ارزیابی میزان ارتباط صفات مورد بررسی از آزمون همبستگی خطی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

پتانسیل آب‌گیری: بررسی جدول نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (جدول ۱) نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار نوع گونه‌های گیاهی و عمق بر میزان آب‌گیری خاک ($P<0/01$) می‌باشند. نتایج طبقه‌بندی زمان نفوذ قطرات آب بر روی نمونه‌های هوا خشک به تفکیک عمق‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. بررسی اثر اصلی عمق بر خاصیت آب‌گیری خاک نشان می‌دهد که برای تمامی گونه‌های گیاهی بیشترین مقدار آب‌گیری در خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید که با افزایش عمق این خاصیت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۱- الف)؛ همچنین

1- Least Significant Difference (LSD)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های عمق‌های مختلف تحت پوشش گونه‌های درختان مورد بررسی.

Table 1. Selected chemical and physical properties in different soil layers under tree species (mean±SD, n=30).

عمق Depth (cm)	گونه درخت Tree sp	آبگریزی خاک log WDPT (s)	کربن آلی OC (g/kg)	کربن آلی شن OC _{sand} (g/kg)	کربن آلی رس OC _{clay} (g/kg)	کربن آلی سیلت OC _{silt} (g/kg)	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD(mm)	pH
الف- اثر اصلی عمق بر صفات								
a. The main effect of depth on experimental factors								
۰-۵ 0-5		1.42±0.98 a	12.19±2.37 a	5.48±0.47 a	3.43±1.47 b	3.10±1.07 c	2.08±0.90 a	6.66±0.19 a
۵-۱۰ 5-10		1.03±0.79 b	11.50±2.53 b	4.62±0.51 b	3.39±1.26 bc	3.34±1.12 a	1.85±0.81 b	6.78±0.22 b
۱۰-۲۰ 10-20		0.48±0.49 c	11.00±2.28 c	3.87±0.38 c	3.66±1.12 a	3.25±1.04 b	1.66±0.81 c	6.75±0.23 b
ب- اثر اصلی نوع پوشش گونه‌های درختی بر صفات								
b. The Main effect of tree species on experimental factors								
	کاج تدا <i>P. taeda</i>	1.32±1.06 a	9.08±0.88 c	4.53±1.20 c	2.45±0.38 e	1.95±0.21 f	1.10±0.10 d	6.52±0.12 d
	دارتالاب <i>T. distichum</i>	0.96±0.96 b	10.03±0.66 d	4.86±0.72 ab	2.65±0.40 d	2.38±0.23 e	0.99±0.09 d	6.58±0.14 c
	ارس <i>J. polycarpos</i>	0.93±0.82 b	9.83±0.64 d	4.63±0.60 bc	2.42±0.22 e	2.55±0.23 d	1.66±0.18 c	6.64±0.16 b
	بلوط <i>Q. castaneifolia</i>	1.16±0.78 ab	13.41±0.72 b	4.66±0.51 bc	5.01±0.38 b	3.52±0.30 c	2.81±0.40 b	6.85±0.14 a
	توسکا <i>A. glutinosa</i>	0.90±0.78 bc	15.74±0.74 a	5.05±0.72 a	5.45±0.44 a	5.03±0.20 a	3.03±0.39 a	6.88±0.19 a
	سغیداپلت <i>P. caspica</i>	0.58±0.53 b	11.29±0.77 c	4.20±0.60 d	2.97±0.18 c	3.94±0.21 b	1.59±0.54 c	6.91±0.18 a
ج- اثرات متقابل نوع پوشش گیاهی و عمق بر صفات								
c. Tree species and depth interactions on experimental factors								
	کاج تدا <i>P. taeda</i>	2.07±1.09 a	10.13±0.69 i	6.03±0.46 a	2.14±0.16 l	1.74±0.13 n	1.12±0.06 g	6.51±0.07 e
	دارتالاب <i>T. distichum</i>	1.42±1.17 bc	10.60±0.83 h	5.73±0.45 b	2.23±0.17 kl	2.54±0.20 hi	1.07±0.08 gh	6.51±0.07 e
۰-۵ 0-5	ارس <i>J. polycarpos</i>	1.33±0.96 b-d	10.09±0.68 i	5.35±0.36 d	2.22±0.15 kl	2.32±0.16 j	1.78±0.13 e	6.51±0.07 e
	بلوط <i>Q. castaneifolia</i>	1.52±0.78 b	13.78±0.59 d	5.24±0.23 d	5.10±0.22 c	3.17±0.14 f	2.98±0.45 b	6.77±0.12 c
	توسکا <i>A. glutinosa</i>	1.30±0.82 b-d	16.41±0.40 a	5.58±0.14 bc	5.74±0.14 a	4.93±0.12 b	3.33±0.34 a	6.82±0.16 bc
	سغیداپلت <i>P. caspica</i>	0.85±0.60 d-g	12.13±0.11 f	4.97±0.04 e	3.15±0.03 f	3.88±0.04 d	2.18±0.14 d	6.85±0.18 bc

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

عمق Depth (cm)	گونه درخت Tree sp	آبگریزی خاک log WDPT (s)	کربن آلی OC (g/kg)	کربن آلی شن OC _{sand} (g/kg)	کربن آلی رس OC _{clay} (g/kg)	کربن آلی سیلت OC _{silt} (g/kg)	میانگین وزنی قطر خاکدانه MWD(mm)	pH
ج- اثرات متقابل نوع پوشش گیاهی و عمق بر صفات c. Tree species and depth interactions on experimental factors								
۵-۱۰ 5-10	کاج تدا <i>P. taeda</i>	1.41±1.17 bc	8.65±0.42 l	4.33±0.22 h	2.25±0.11 k	1.91±0.09 m	1.13±0.10 g	6.50±0.13 e
	دارتالاب <i>T. distichum</i>	0.92±0.83 b-f	9.92±0.16 ij	4.75±0.09 f	2.58±0.04 i	2.48±0.04 i	1.00±0.05 gh	6.58±0.15 de
	ارس <i>J. polycarpus</i>	0.87±0.71 c-g	9.72±0.59 jk	4.38±0.27 h	2.43±0.15 j	2.72±0.17 g	1.70±0.18 e	6.65±0.17 d
	بلوط <i>Q. castaneifolia</i>	1.31±0.75 b-d	13.75±0.43 d	4.67±0.14 g	5.36±0.17 b	3.57±0.11 e	2.88±0.35 b	6.85±0.10 abc
	توسکا <i>A. glutinosa</i>	1.06±0.76 b-e	15.75±0.56 b	5.51±0.20 c	4.88±0.17 d	5.20±0.18 a	2.87±0.35 b	6.93±0.19 ab
	سفیدپلت <i>P. caspica</i>	0.54±0.55 e-g	11.22±0.57 g	4.04±0.21 i	2.80±0.14 h	4.15±0.21 c	1.53±0.39 f	6.96±0.14 ab
۱۰-۲۰ 10-20	کاج تدا <i>P. taeda</i>	0.47±0.45 fg	8.46±0.05 l	3.21±0.02 k	2.96±0.02 g	2.20±0.01 k	1.03±0.10 gh	6.53±0.15 e
	دارتالاب <i>T. distichum</i>	0.98±0.57 b-f	9.56±0.23 k	4.11±0.10 i	3.15±0.08 f	2.10±0.05 l	0.91±0.06 gh	6.66±0.14 d
	ارس <i>J. polycarpus</i>	0.60±0.60 e-g	9.68±0.57 jk	4.16±0.24 i	2.62±0.15 i	2.62±0.15 h	1.51±0.09 f	6.76±0.12 c
	بلوط <i>Q. castaneifolia</i>	0.65±0.54 e-g	12.71±0.54 e	4.07±0.17 i	4.58±0.20 e	3.81±0.16 d	2.56±0.26 c	6.93±0.15 ab
	توسکا <i>A. glutinosa</i>	0.34±0.34 g	15.06±0.50 c	4.07±0.13 i	5.72±0.19 a	4.97±0.16 b	2.88±0.31 b	6.90±0.20 ab
	سفیدپلت <i>P. caspica</i>	0.37±0.31 g	10.54±0.42 d	3.58±0.14 j	2.95±0.12 g	3.80±0.15 d	1.05±0.27 gh	6.92±0.20 ab

جدول تجزیه واریانس دوطرفه (میانگین مربعات)

Two-way ANOVA result (mean squares)

عمق Depth (D)	39.44**	64.19**	117.57**	4.01**	2.66**	7.94**	0.67**
گونه درختی Tree Specious (T)	5.67**	583.90**	7.72**	168.20**	119.90**	66.90**	2.62**
اثر متقابل T×D	1.25*	2.95**	4.39**	4.53**	1.36**	1.23**	0.07**

حروف مشابه، بیانگر عدم اختلاف معنی دار ($P < 0.01$) صفات در هر یک از ستون‌ها است.

** و * به ترتیب بیانگر سطوح معنی دار ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد می‌باشند (میانگین \pm انحراف معیار).

Within a column mean values with different letters are significantly different between tree species type at $P < 0.01$.

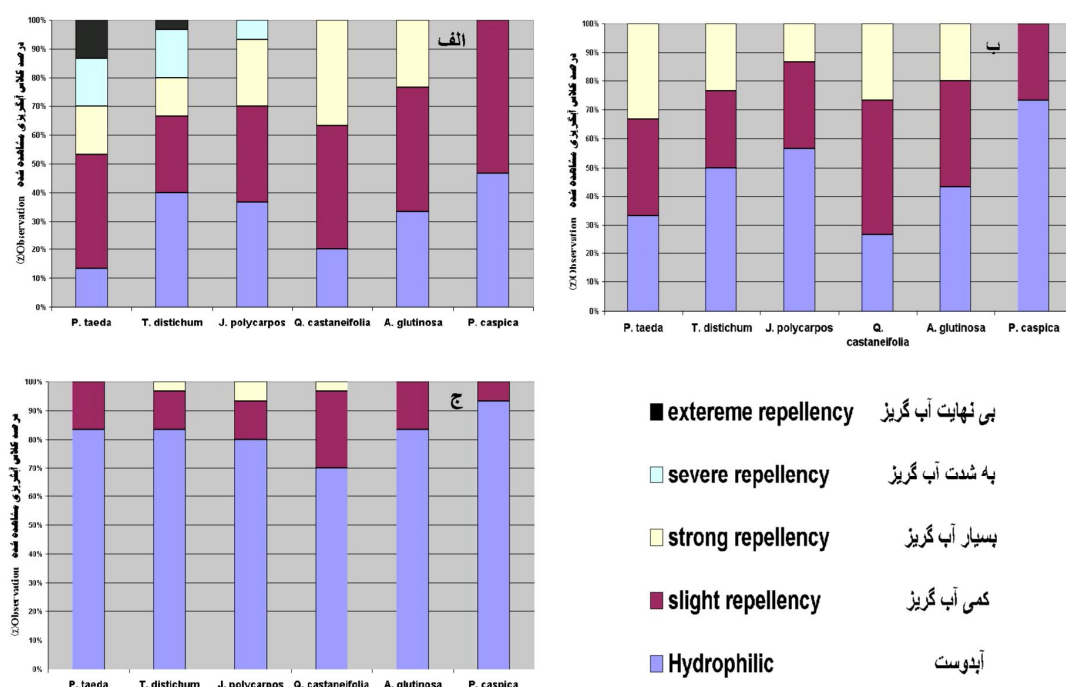
** and * Significant at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

پوشش ارس و کاج تدا مشاهده گردید، همچنین کمترین مقادیر کربن آلی در عمق‌های ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری نیز به ترتیب به میزان ۸/۶۵ و ۸/۴۶ گرم در کیلوگرم در نمونه‌های کاج تدا گزارش شدند (جدول ۱-ج).

وجود خاصیت آب‌گریزی در خاک‌ها علاوه بر مقدار به کیفیت ماده آلی نیز بستگی دارد (۳۶). کیفیت مطلوب بقایای گیاهی درختان پهن‌برگ نسبت به درختان سوزنی‌برگ (مانند نسبت کربن به نیتروژن پایین) و وجود پ‌هاش خنثی تا قلیایی در خاک باعث تسریع در تجزیه میکروبی لاشبرگ‌ها گردیده که این امر به تشکیل هوموس با کیفیت مطلوب در خاک‌های تحت پوشش درختان پهن‌برگ کمک می‌کند (۲ و ۲۰). در این خصوص و هماهنگ با یافته‌های فرانکو و همکاران (۲۰۰۰) پایین بودن معنی‌دار پ‌هاش خاک تحت پوشش درختان سوزنی‌برگ (کاج تدا، دارتالاب و ارس) احتمالاً باعث تجزیه ناقص بقایای گیاهی سوزنی‌برگ شده که منجر به تشکیل و توسعه افق‌های ضخیم هوموس نوع مور^۱ می‌گردد که این نوع هوموس از منابع عمده ترکیبات آلی آب‌گریز می‌باشد (۱۱). روی و مک‌گیل (۲۰۰۰) نشان دادند که بعضی از انواع اسید هومیک منشاء وجود خاصیت آب‌گریزی در خاک‌ها می‌باشند (۳۰). اسید هومیک به لحاظ شیمیایی در شرایط اسیدی نامحلول ولی در شرایط قلیایی محلول می‌باشد (۲۳). به همین دلیل خاصیت آب‌گریزی آن در پ‌هاش پایین به دلیل نامحلول بودن افزایش می‌یابد. دوئر و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که وجود ترکیبات آلی لیپیدی می‌تواند منشاء خاصیت آب‌گریزی در بعضی از خاک‌ها باشد و غلظت این ترکیبات با تجزیه مواد آلی کاهش می‌یابد (۹) بنابراین اختلاف در خاصیت آب‌گریزی خاک پوشش‌های گیاهی متفاوت می‌تواند به دلیل وجود مقادیر مختلف ترکیبات لیپیدی در این خاک‌ها باشد.

در مطالعات هم‌سو با نتایج پژوهش حاضر نشان داده شده است که برخی از گونه‌های گیاهی همیشه سبز مانند اکالیپتوس و کاج، با وقوع آب‌گریزی در خاک‌ها در ارتباط می‌باشند (۳۸). ووج و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی وضعیت آب‌گریزی پوشش گیاهی ۱۴ ناحیه مختلف آلمان مشاهده نمودند که سایت‌های تحت پوشش جوامع درختان سوزنی‌برگ و مخلوط پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در مقایسه با پوشش غالب درختان پهن‌برگ بیش‌ترین آب‌گریزی را دارا بودند (۳۷). یکی از علل خاصیت آب‌گریزی در درختان همیشه سبز و سوزنی‌برگ‌ها وجود مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از مواد رزینی، واکس‌ها و سایر ترکیبات حلقوی (آروماتیک) در بافت‌هایشان بوده که به شدت آب‌گریز می‌باشند (۲۳). با این وجود خاصیت آب‌گریزی در سایر گیاهان نیز گزارش شده است، در این رابطه جوردن و همکاران (۲۰۰۸) و لوزانو و همکاران (۲۰۱۳) وجود خاصیت آب‌گریزی در خاک‌های تحت پوشش درختان بلوط مناطق مختلفی از اسپانیا را تأیید کردند (۲۲، ۱۷) که می‌تواند به دلیل حضور مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از ترکیبات فنولی آب‌گریز در لاشبرگ‌ها و بافت‌های درختان بلوط باشد (۳۱ و ۳۶).

مخازن کربن آلی: طبق جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۱)، بیش‌ترین میزان کربن آلی برای همه گونه‌های گیاهی در عمق ۵-۰ سانتی‌متری گزارش گردید که با افزایش عمق میزان کربن آلی در گونه‌های مورد بررسی کاهش یافت (جدول ۱-الف). بیش‌ترین مقادیر کربن آلی به تفکیک عمق‌های ۵-۰، ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری به ترتیب به میزان ۱۶/۴۱، ۱۵/۷۵ و ۱۵/۰۶ گرم در کیلوگرم در خاک تحت پوشش گونه درختی توسکا مشاهده گردید (جدول ۱-ج). کمترین مقدار کربن آلی در عمق ۵-۰ سانتی‌متری با مقادیر ۱۰/۰۹ و ۱۰/۱۳ گرم در کیلوگرم به ترتیب در خاک تحت



شکل ۱- وضعیت درصد توزیع کلاس‌های آب‌گریزی به تفکیک گونه‌های درختان مورد بررسی (n=30) در الف) عمق ۰-۵ سانتی‌متر، ب) عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر و ج) عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر (Hydrophilic: کلاس صفر، Slight repellency: کلاس یک، Strong repellency: کلاس دو، Sever repellency: کلاس سه و Extreme repellency: کلاس چهار).

Figure 1. Percentage of observation of soil water repellency classes for selected tree species.

برای بلوط، توسکا و سفیدپل به ترتیب به میزان ۳۷/۷۵، ۳۵/۳۲ و ۲۶/۲۵ درصد گزارش شدند. در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متری نیز بیش‌ترین سهم کربن آلی جزء رس در بلوط و توسکا به ترتیب به میزان ۳۹/۴۱ درصد و ۳۱/۳۰ مشاهده گردید. در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر بیش‌ترین کربن آلی جزء شن با ۴۴/۲۶ و ۴۳/۹۱ درصد به ترتیب در گونه‌های ارس و داراتالاب و بیش‌ترین کربن آلی در جزء رس نیز به میزان ۳۸/۷۵ و ۳۶/۷۶ درصد به ترتیب در توسکا و بلوط مشاهده شدند.

تأثیر معنی‌دار نوع پوشش گیاهی و عمق بر توزیع اجزاء کربن آلی (شن، سیلت و رس) در جدول ۱ نشان داده شده است. به‌طور کلی مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از کربن آلی خاک در هر یک از نمونه‌های مورد بررسی در جزء شن^۱ مشاهده شد که مقدار آن با افزایش عمق و هماهنگ با کاهش میزان آب‌گریزی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در عمق ۰-۵ سانتی‌متری بیش‌ترین توزیع کربن آلی به میزان ۶۰/۸۵، ۵۴/۵۷ و ۵۴/۱۰ درصد و در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متری به میزان ۵۱/۰۰، ۴۸/۴۲ و ۴۵/۹۶ درصد به‌طور مشابه و به ترتیب در جزء شن کاج تدا، دارتالاب و ارس اندازه‌گیری شدند، همچنین در عمق سطحی بیش‌ترین توزیع کربن آلی جزء رس گونه‌های مورد بررسی نیز

1- Sand Fraction

جدول ۲- ضرایب همبستگی صفات فیزیکی و شیمیایی مورد اندازه گیری در ۵۴۰ نمونه خاک جمع آوری شده.

Table 2. Correlation coefficient of physical and chemical properties in 540 collected soil samples.

log WDPT	OC	OC _(Sand)	OC _(Clay)	OC _(Silt)	MWD	pH
آبگریزی خاک (s)	کربن آلی (g/kg)	کربن آلی بخش شن (g/kg)	کربن آلی بخش رس (g/kg)	کربن آلی بخش سیلت (g/kg)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	پهش
log WDPT	1					
OC	0.190**	1				
OC _(Sand)	0.643**	0.396**	1			
OC _(Clay)	0.031 ^{ns}	0.903**	0.086*	1		
OC _(Silt)	-0.081 ^{ns}	0.871**	0.057 ^{ns}	0.762**	1	
MWD	0.200**	0.907**	0.306**	0.881**	0.749**	1
pH	-0.317**	0.474**	-0.205**	0.478**	0.633**	0.405**

**، * و ^{ns} به ترتیب بیانگر همبستگی در سطح ۹۹ درصد، ۹۵ درصد و عدم معنی دار بودن همبستگی می باشد.

WDPT, water drop penetration time; OC, organic carbon; OC_(Sand), organic carbon of sand fraction; OC_(Clay), organic carbon of clay fraction; OC_(Silt), organic carbon of silt fraction; MWD, mean weight diameter.

**، * and ^{ns} including significant at P<0.01, P<0.05 and not significant; respectively.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها: نتایج حاصل از جدول ۱ نشان داد که میزان پایداری خاکدانه‌ها با تغییر نوع پوشش گیاهی تغییر کرده و نیز با افزایش عمق، به تفکیک گونه‌های گیاهی کاهش یافته است. بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه در عمق ۰-۵ سانتی متری به میزان ۳/۳۳ میلی متر در توسکا، عمق ۵-۱۰ سانتی متری به میزان ۲/۸۸ و ۲/۸۷ میلی متر به ترتیب در بلوط و توسکا و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری به میزان ۲/۸۸ میلی متر در نمونه‌های توسکا مشاهده گردیدند. کمترین مقادیر میانگین وزنی خاکدانه نیز در هر سه عمق به ترتیب به میزان ۱/۰۷، ۱/۰۰ و ۰/۹۱ میلی متر در نمونه‌های خاک تحت پوشش دارتالاب اندازه گیری شدند. پژوهش‌های متعدد در زمینه تأثیر مثبت مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها بیانگر همبستگی معنی دار میان کربن آلی با میانگین وزنی قطر خاکدانه در پژوهش حاضر (جدول ۲) می باشد (۳۶). از سوی دیگر همبستگی مثبت آبگریزی خاک با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ($r=0/20$, $P<0/01$) نشان دهنده نقش مؤثر عوامل آبگریز بر میزان پایداری خاکدانه‌ها است (جدول ۲). این مسأله به آن علت است که خاصیت آبگریزی از طریق کاهش جذب آب و

سالمین و همکاران (۲۰۰۴) ضمن مشاهده نقش مؤثر رس بر آبگریزی نشان دادند که وقوع آبگریزی در خاک‌های با بافت سبک بسیار متداول تر از خاک‌های سنگین می باشد (۳۱). از سوی دیگر هارپر و همکاران (۲۰۰۰) بیان نمودند که رس بیش از شن قادر به کاهش میزان آبگریزی خاک‌هاست (۱۵). سطح ویژه کانی‌های رسی بسیار بالا بوده و برای آبگریز شدن سطوح ذرات رس، مواد آلی فراوانی مورد نیاز است. گرایز و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که به دلیل سطح ویژه پایین خاک‌های شنی، حجم کوچکی از مواد آلی آبگریز برای پوشش سطح ذرات شن کافی است (۱۳). کاپریل و همکاران (۱۹۹۵) گزارش نمودند که میزان شن موجود در بافت خاک‌های زراعی جمع آوری شده از ۹۲ موقعیت ناحیه باواریا (آلمان) با زنجیره‌های هیدروکربن آلیفاتیک همبستگی مثبت و با مقدار کربوهیدرات و پروتئین رابطه منفی داشت، از این رو نتیجه گرفتند که نوع ماده آلی تجمع یافته بر سطوح ذرات شنی از گروه‌های alkyl-C بوده که منشاء آبگریزی در این نوع خاک‌ها محسوب می شود (۶).

(۱۰) که کربن آلی عامل ایجاد خاصیت آب‌گریزی (OC_{sand}) در کنار افزایش توأم کربن آلی خاک (OC) می‌تواند به‌عنوان یکی از جنبه‌های مثبت خاصیت آب‌گریزی خاک برای پایداری خاکدانه‌ها (MWD) در برابر تخریب محسوب گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری کربن آلی بر اساس ذرات تشکیل‌دهنده خاک (شن، سیلت و رس) بیانگر آن است که درختان مورد بررسی علاوه بر مقدار ماده آلی، بر کیفیت آن نیز مؤثر بوده که باعث بروز ویژگی‌های متفاوتی در خاک‌ها می‌شود، در این زمینه مشخص گردید کاج تدا، دارتالاب و ارس علی‌رغم مقدار کربن آلی کم، دارای بیش‌ترین میزان خاصیت آب‌گریزی در مقایسه با بلوط، توسکا و سفیدپلت بودند. بر اساس همبستگی‌های محاسبه شده نیز میزان خاصیت آب‌گریزی در مقایسه با کربن آلی کل، رابطه قوی‌تری با کربن آلی جزء شن داشت که این مسأله می‌تواند علاوه بر تأیید تفاوت کیفیت کربن آلی به تفکیک ذرات اولیه خاک (شن، سیلت و رس) بیانگر تجمع ترکیبات آلی آب‌گریز در جزء شن باشد. پوسیدگی و تجزیه کامل مواد آلی در خاک‌های تحت پوشش درختان بلوط و توسکا باعث به وجود آمدن بنیان‌های عاملی اکسیژن‌دار فراوان در ماده آلی می‌شود که این امر افزایش انحلال ماده آلی خاک را در شرایط اسیدی و قلیایی به همراه دارد و از خاصیت آب‌گریزی آن می‌کاهد. کیفیت نامطلوب ماده آلی، وجود پ‌هاش پایین و تشکیل خاکدانه‌های کوچک در خاک‌های تحت پوشش درختان سوزنی‌برگ ایجاب می‌کند که علی‌رغم تأثیر مثبت مواد آلی آب‌گریز بر پایداری خاکدانه‌ها در انتخاب درختان سوزنی‌برگ برای پروژه‌های جنگل‌کاری و فضای سبز، این موارد در نظر گرفته شود.

جلوگیری از خیسیدگی خاکدانه‌ها منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌گردد (۷ و ۲۹). در این رابطه و گل‌من و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که در خاک‌های دارای خاصیت آب‌گریزی علاوه بر وجود ارتباط هم‌سو میان میزان مواد آلی و خاصیت آب‌گریزی، شاخص پایداری خاکدانه^۱ و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها^۲ به‌ترتیب با ضرایب $0/73$ ($P < 0/05$) و $0/64$ ($P < 0/01$) همبستگی مثبت با خاصیت آب‌گریزی داشتند (۳۶). اوربانیک و همکاران (۲۰۰۷) طی مطالعه وضعیت توزیع گروه عاملی آب‌گریز ($C-H$) و آب‌دوست ($C=O$) به روش طیف‌سنجی با مادون قرمز^۳، همبستگی مثبت میزان گروه عاملی آب‌گریز با میزان کل کربن آلی را مشاهده نمودند (۳۴). از سوی دیگر به‌دلیل اندازه‌گیری بخش اعظمی از مقدار کربن آلی در خاکدانه‌های کوچک‌تر ($0/125-0/63$ میلی‌متر)، این خاکدانه‌ها در مقایسه با خاکدانه‌های بزرگ دارای شدت آب‌گریزی بیش‌تری بودند. بر خلاف پژوهش اخیر، هان و همکاران (۲۰۱۰) معتقدند که خاکدانه‌های بزرگ‌تر از 250 میکرومتر دارای کربن آلی بیش‌تری نسبت به خاکدانه‌های کوچک‌تر از 250 میکرومتر می‌باشند (۱۴). آنورمادو و همکاران (۲۰۱۰) نیز با مطالعه ارتباط میان محتوای کربن آلی و اندازه خاکدانه‌ها در خاک‌های شنی دشت‌های سیلابی جنوب‌شرق نیجریه، همبستگی معنی‌دار ($P < 0/05$) میان میزان کربن آلی خاک و اندازه خاکدانه‌های درشت را گزارش کردند (۲۸). نظر به همبستگی مثبت و معنی‌دار ($P < 0/01$) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، آب‌گریزی خاک‌ها (SWR)، کربن آلی کل (OC) و کربن جزء شن (OC_{sand}) با یکدیگر می‌توان بیان نمود که خاک‌های دارای کربن آلی بیش‌تر، دارای ساختمان بهتر و مقاومت بیش‌تر در برابر عوامل بیرونی بوده

- 1- Aggregate Stability Index (ASI)
- 2- Geometric Mean Diameter (GMD)
- 3- Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT)

منابع

1. Aelamanesh, P., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, B., and Safari Singani, A.A. 2014. Water Repellency in Calcareous Soils Under Different Land Uses in Western Iran. *Pedosphere*. 24: 3. 378-390.
2. Alvarez, E., Fernandez Marcos, M.L., Torrado, V., and Fernandez Sanjurjo, M.J. 2008. Dynamics of macronutrients during first stage of litter decomposition from forest species in a temperate area (Galicia, NW Spain). *Nutr. Cycle. Agroecosystem*. 80: 3. 243-256.
3. Beheshti, A., Raiesia, F., and Golchin, A. 2012. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agricultural Ecosystems and Environment*. 148: 121-133.
4. Binkley, D., and Giardina, C. 1998. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*. 42: 89-106.
5. Bisdom, E.B.A., Dekker, W., and Schoute, J.F.Th. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*. 56: 105-118.
6. Capriel, P., Beck, T., Borchert, H., Gronholz, J., and Zachmann, G. 1995. Hydrophobicity of the organic matter in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 27: 1453-1458.
7. Chenu, C., Le Bissonnais, Y., and Arrouays, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 1479-1486.
8. Doerr, S.H., Shakesby, S.H., and Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 51: 33-65.
9. Doerr, S.H., Llewellyn, C.T., Douglas, J.T., Morley, C.P., Mainwaring, K.A., Hskins, C., Johnsey, L., Ritsema, C.J., Stagnitti, F., Allinson, G., Ferreira, A.J.D., Keizer, J.J., Ziogas, A.K., and Diamantis, J. 2005. Extraction of compounds associated with water repellency in sandy soils of different origin. *Austr. J. Soil Res.* 43: 3. 225-237.
10. Emadodin, I., Reiss, S., and Rudolf Bork, H. 2009. A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (case study near Albersdorf, northern-Germany). *J. Agric. Biol. Sci.* 4: 4. 48-53.
11. Franco, C.M.M., Clarke, P.J., Tate, M.E., and Oades, J.M. 2000. Hydrophobic properties and chemical characterization of natural water repellent materials in Australian sands. *J. Hydrol.* 231-232: 47-58.
12. Golchin, A., and Asgari, H. 2008. Land use effects on soil quality indicators in north-eastern Iran. *Austr. J. Soil Res.* 46: 1. 27-36.
13. Gryze, S., Jassogne, L., Bossuyt, H., Six, J., and Merckx, R. 2006. Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 235-246.
14. Han, K.H., Ha, S.G., and Jang, B.C. 2010. Aggregate stability and soil carbon storage as affected by different land use practices. *Proc. of Int. Workshop on evaluation and sustainable management of soil carbon sequestration in Asian countries*. Bogor, Indonesia. Sep, 28-29.
15. Harper, R.J., McKissock, I., Gilkes, R.J., Carter, D.J., and Blackwell, P.S. 2000. A multivariate framework for interpreting the effects of soil properties, soil management and landuse on water repellency. *J. Hydrol.* 231-232: 371-383.
16. Horne, D.J., and McIntosh, J.C. 2000. Hydrophobic compounds in sands in New Zealand-extraction, characterisation and proposed mechanisms for repellency expression. *J. Hydrol.* 231-232: 35-46.
17. Jordán, A., Martínez-Zavala, L., and Bellinfante, N. 2008. Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain. *Catena*. 74: 137-143.
18. Jordan, A., Zavala, M.L., Nava, A.L., and Alanis, N. 2009. Occurrence and hydrological effects of water repellency in different soil and land use types in Mexican volcanic highlands. *Catena*. 79: 60-71.

19. Jordan, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., and Doerr, S.H. 2013. Soil water repellency: Origin, assessment and geomorphological consequences. *Catena*. 108: 1-5.
20. Kavvadias, V.A., Alifragis, A., Tsiontsis, G., Brofas, G., and Stamatelos, G. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystem in northern Greece. *Forest Ecology and management*. 144: 113-127.
21. Kroetsch, D., and Wang, C. 2008. Particle size distribution. P 713-725, In: M.R. Carter and E.G. Gregorich (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL.
22. Lozano, E., Jimenez-Pinilla, P., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Bárcenas, G.M., Gonzalez-Perez, J.A., Garcia-Orenes, F., Torres, M.P., and Mataix-Beneyto, J. 2013. Biological and chemical factors controlling the patchy distribution of soil water repellency among plant species in a Mediterranean semiarid forest. *Geoderma*. 207-208: 212-220.
23. Mataix-Solera, J., and Doerr, S.H. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma*. 118: 77-88.
24. McKissock, I., Gilkes, R.J., and van Bronswijk, W. 2003. The relationship of soil water repellency to aliphatic C and kaolin measured using DRIFT. *Austr. J. Soil Res.* 41: 251-265.
25. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P 199-224, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analyses, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
26. Mirbabaei, S.M., Shabanpour Shahrestani, M., Zolfaghari, A., and Taheri Abkenar, K. 2013. Relationship between soil water repellency and some of soil properties in northern Iran. *Catena*. 108: 26-34.
27. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis., Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
28. Onweremadu, E., Osuji, G., Eshett, T., Unamba-Oparah, I., and Onwuliri, C. 2010. Soil carbon sequestration in aggregate size of a forested isohyperthermic Arenic Kandiudults. *Agriculture Science*. 43: 9-15.
29. Piccolo, A., and Mbagwu, J.S.C. 1999. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63: 1801-1810.
30. Roy, J.L., and McGill, W.B. 2000. Flexible conformation in organic matter coatings: a hypothesis about soil water repellency. *Can. J. Soil Sci.* 80: 143-152.
31. Salminen, J.P., Roslin, T., Karonen, M., Sinkkonen, J., Pihlaja, K., and Pulkkinen, P. 2004. Seasonal variation in the content of hydrolyzable tannins, flavonoid glycosides and proanthocyanidins in oak leaves. *J. Chem. Ecol.* 30: 1693-1711.
32. Soil Survey Staff. 2010. Keys to soil taxonomy. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
33. Theng, B.K.G., Ristori, G.G., Santi, C.A., and Percival, H.J. 1999. An improved method for determining the specific surface areas of top soils with varied organic matter content, texture and clay mineral composition. *Europ. J. Soil Sci.* 50: 309-316.
34. Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D., and Horn, R. 2007. Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma*. 140: 147-155.
35. Vogelmann, E.S., Reicher, J.M., Reinert, D.J., Mentges, M.I., Vieira, D.A., Peixoto de Barros, C.A., and Fasinmirin, J.T. 2010. Water repellency in soils of humid subtropical climate of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil and Tillage Research*. 110: 126-133.
36. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O., and Mataix-Solera, J. 2013. Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability? *Catena*. 110: 24-31.

37. Woche, S.K., Goebel, M.O., Kirkham, M.B., Horton, R., Vander Ploeg, R.R., and Bachmann, J. 2005. Contact angle of soils as affected by depth, texture, and land management. *Europ. J. Soil Sci.* 56: 239-251.
38. Zavala, L.M., Garcia-Moreno, J., Gordillo-Rivero, A.J., Jordan, A., and Mataix-Solera, J. 2014. Natural soil water repellency in different types of Mediterranean woodlands. *Goederma.* 226-227: 170-178.
39. Zolfaghari, A., and Hajabassi, M.A. 2008. The effects of land use change on physical properties and water repellency of soils in Lordegan forest and Freidunshar pasture. *J. Water Soil (Agricultural Sciences and Technology).* 22: 2. 251-262. (In Persian)



Evaluation the soil water repellency in relation to tree species, soil organic carbon pools and aggregate stability (Case study: Shalman seed and seedling of forest tree species research station, Guilan province)

*K. Atashnama¹, A. Golchin² and S.A. Musavi Kupa³

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ²Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ³Research Assistant Prof., Research Center of Agriculture and Natural Resources of Guilan Province, (AREEO), Rasht

Received: 08/07/2016; Accepted: 12/20/2016

Abstract

Background and Objectives: Soil water repellency (SWR) is a soil characteristic that creates strong resistance to water penetration and decreases infiltration time from a few seconds to hours, days or weeks. The undesirable consequences of SWR have received interest from the scientific literature. However, the SWR has some beneficial aspects like increasing aggregate stability. Although several authors have reported the soil organic carbon as the origin of SWR but it seems only some parts of the soil organic carbon are hydrophobic and are involved in SWR. Thus, the aims of this study were: (a) to determine which soil organic carbon pools are linked with SWR, (b) to assess the impact of SWR on aggregate stability and (c) to determine which vegetative cover produce more hydrophobic organic compounds and contribute to SWR.

Materials and Methods: Soil samples were collected from the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers of the lands under different forest tree species including *Populus caspica*, Oak (*Quercus castaneifolia*), Alder (*Alnus glutinosa*), Bald cypress (*Taxodium distichum*), Loblolly pine (*Pinus taeda*) and Juniper (*Juniperus polycarpus*). The soil samples were analyzed for organic carbon content, pH, water repellency and aggregate stability (MWD) and were also separated to different organic matter pools based on particle size fractionation. The experimental variables were soil depth and kinds of vegetative cover and the data obtained from the soil samples were analyzed statistically by a two-way analysis of variance (ANOVA) using a factorial experiment with completely randomized design and 30 replications. Also Pearson linear correlation was used to indicate the relationships between the measure characteristics.

Results: The vegetative covers and soil depths had significant impacts on SWR and the measured soil properties. The highest water drop penetration time (WDPT) was measured for the surface soil layer (0-5 cm). About 13.33 and 3.33 % (n=30) of the samples collected from the soil surface under *P. taeda* and *T. distichum* had the more than one hour WDPT (extremely repellent class). In contrast, the lowest SWR classes were mostly observed under the vegetative covers of *P. caspica*, *Q. castaneifolia* and *A. glutinosa* which were broadleaves tree species. The water repellency decreased with soil depth and 82.22% of the soil samples collected from the 10-20 cm layer of all tree species (n=180) determined as wettable soil (WDPT < 5 s). The Pearson linear correlation showed a positive relationship among SWR and total organic carbon ($r=0.19$, $P<0.01$), But, there was the strongest relationship between SWR and organic carbon content of sand fraction ($r=0.64$, $P<0.01$). According to Pearson correlation, The SWR had a positive impact ($r=0.20$, $P<0.01$) on aggregate stability measured as mean weight diameter (MWD).

Conclusion: The strong correlation between SWR and the organic carbon content of the sand fraction indicates that this fraction contains organic compounds that contribute to SWR. Increase in soil pH and extent of decomposition of soil organic matter, however changes the solubility of soil organic matter and decrease SWR. As the soil aggregation depends on the total soil organic carbon content, the stability of aggregates is affected by hydrophobic fraction of soil organic carbon. Despite the extreme SWR in coniferous, Considering the undesirable quality of soil under coniferous trees such as low pH, MWD and organic carbon content, it is recommended to use discretion in the selection of these species for afforestation and reforestation projects.

Keywords: Soil water repellency, Aggregate stability, Sand fraction, Soil organic carbon pools, Depth

* Corresponding Author; Email: k_atashnama@znu.ac.ir