

تحلیل تغییرپذیری پایداری خاکدانه و اجزای ناپایدار ماده آلی خاک در توده‌های خالص جنگلی

یحیی کوچ^{۱*}، کتابون حق‌وردی^۲، محمد بیرانوند^۳

۱. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی

۳. دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

چکیده

اثر سه توده توسکای بیلاقی، افراپلت و زربین با سن ۲۸ سال و همچنین عرصه فاقد پوشش بر پایداری خاکدانه و مواد آلی ذره‌ای خاک در جنگل دارابکلای ساری بررسی شد. در هر یک از عرصه‌ها، شش نمونه خاک سطحی با دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری، در مجموع ۱۲ نمونه از هر عرصه، برای تجزیه آزمایشگاهی برداشت شد. به‌منظور بررسی تفاوت یا نبود تفاوت در مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک در ارتباط با نوع پوشش‌های جنگلی و عمق خاک از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه در قالب طرح فاکتوریل استفاده شد. نتایج بیانگر تغییرپذیری مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، بافت، رطوبت، pH، هدایت الکتریکی، آهک، کربن، نیتروژن، عناصر غذایی قابل جذب، تعداد و زیاده‌های توده کرم‌های خاکی در سطح عرصه‌های بررسی شده بوده است. براساس یافته‌های این پژوهش، جنگلکاری سبب افزایش درصد پایداری خاکدانه، مقدار کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای در هر دو عمق مورد بررسی شده است. لایه‌های بالایی و پایینی خاک تحت توده توسکای بیلاقی دارای بیشترین مقادیر مشخصه‌های پایداری خاکدانه (۷۹/۳ و ۸۲/۴ درصد)، کربن آلی ذره‌ای (۴/۲۴ و ۳/۵۶ گرم بر کیلوگرم) و نیتروژن آلی ذره‌ای (۰/۴۵ و ۰/۴ گرم بر کیلوگرم) بود و کمترین مقادیر این مشخصه‌ها به ترتیب با ۵۰/۵۴ و ۵۲/۷۶ درصد، ۱/۹۸ و ۱/۴۸ گرم بر کیلوگرم، ۰/۲۲ و ۰/۱۶ گرم بر کیلوگرم در عرصه فاقد پوشش مشاهده شد. نتایج بیانگر آن است که جنگلکاری با گونه توسکای بیلاقی، سبب پایداری خاکدانه و تقویت مواد آلی ذره‌ای خاک شده و برای احیای عرصه‌های جنگلی تخریب‌یافته پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پهن‌برگ، سوزنی‌برگ، خاکدانه تر، کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن آلی ذره‌ای.

مقدمه

افزایش عملکرد اکوسیستم‌های تخریب‌یافته، مدیریت و افزایش سطح جنگلکاری با گونه‌های مناسب، ضروری است. آمار و اطلاعات اخیر نشان داده است که 200×10^3 هکتار از اراضی تخریب‌شده جنگل‌های شمال توسط گونه‌های مختلف درختی جنگلکاری شده، به‌طوری که حدود 40×10^3 هکتار آن با گونه‌های سوزنی‌برگ بوده است [۲]. گونه‌های درختی مختلف، اعم از پهن‌برگ و

امروزه سطوح زیادی از عرصه‌های جنگلی با اهدافی همچون ایجاد اراضی کشاورزی و بهره‌برداری بیش از توان تولید رویشگاه تحت تأثیر دخالت انسان تخریب شده‌اند [۱]. برای جبران کاهش سطح جنگل‌های طبیعی و

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۱۱-۴۴۵۵۳۱۰۱

Email: yahya.kooch@modares.ac.ir

سوزنی‌برگ، تأثیرات متفاوتی بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌جای می‌گذارند [۳، ۴].

پایدار شدن خاکدانه‌ها فرایندی است که طی آن ذرات خاک به‌گونه‌ای در کنار هم قرار می‌گیرند که نیروهای نگهدارنده درونی آنها قوی‌تر از نیروی‌های میان خاکدانه‌های مجاور باشد [۵]. در این بین، فرایند تشکیل خاکدانه نتیجه تقابل عواملی همچون محیط، مدیریت خاک، اثرهای پوشش گیاهی و خصوصیات مانند بافت، کربن آلی خاک، فعالیت‌های زیستی، یون‌های تبادلی و رطوبت در دسترس است [۶-۸]. در این زمینه، ورود مواد آلی از طریق ریشه‌دوانی و ریزش لاشبرگ پوشش جنگلی بر فرم و پایداری خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد [۳، ۴]. خاکدانه به‌عنوان واحد اصلی ساختمان خاک، شکل‌گیری و ثبات خاک را تعیین می‌کند و با تقویت مشخصه‌های فیزیکی مانند هوادهی خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت و مقاومت خاک به فرسایش، سبب تجمع مواد آلی و افزایش مقدار کربن آلی در ساختار خاک می‌شود [۳، ۷، ۹]. گونه‌های درختی با تأثیر بر عناصر غذایی، pH و رطوبت خاک فعالیت و زی‌توده، گرم‌های خاکی را دچار تغییر می‌کنند [۱]. این در حالی است که فعالیت گرم‌های خاکی سبب افزایش اختلاط و توزیع مناسب مواد آلی در عمق‌های مختلف خاک و افزایش خاکدانه‌های ریز و درشت می‌شوند. گرم‌های خاکی با بهبود ساختار خاکدانه‌ها و افزایش قابلیت جذب مواد غذایی در پایداری خاکدانه‌ها تأثیر مهمی دارند [۱، ۶].

توده‌های مختلف جنگلی دست‌کاشت به روش‌های مختلفی بر عناصر وابسته به مواد آلی خاک به‌شدت تأثیرگذارند [۴] و از مشخصه‌های مختلف مواد آلی خاک، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با زمان گردش کوتاه‌تر، به تغییر کاربری‌ها و شیوه مدیریت زمین بسیار حساس‌اند [۹]. علاوه بر این، کربن آلی ذره‌ای به‌عنوان مشخصه زیستی قابل دسترس، منبع کربن و انرژی برای

ریزجانداران خاک بوده و چرخه عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳، ۴]. مواد آلی ذره‌ای خاک، بیشتر شامل بقایای گیاهی به‌نسبت تجزیه‌شده‌ای در مرحله هوموسی شدن‌اند و اغلب به‌عنوان هسته مرکزی و عامل اتصال دهنده خاکدانه‌ها عمل می‌کنند [۳]. علاوه بر این، کربن آلی ذره‌ای به‌عنوان مشخصه زیستی در دسترس، منبع کربن و انرژی برای میکروارگانیسم‌های خاک است و چرخه عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نیز اثر مهمی در خصوصیات ساختاری خاک به‌ویژه پایداری خاکدانه‌ها دارد [۴]. ماده آلی ذره‌ای به‌منظور مطالعه شکل و اجزای سازنده ماده آلی خاک و همچنین بررسی اثر کاربری زمین، مدیریت و نوع پوشش گیاهی بر مقدار ذخیره کربن و نیتروژن خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۰]. در همین زمینه، کربن آلی ذره‌ای به‌عنوان بخش حساس و ناپایدار از کربن کل خاک می‌تواند اطلاعات اولیه در مورد پویایی و تغییرات مواد آلی در خاک را نشان دهد. بنابراین شناخت نحوه عملکرد مواد آلی ذره‌ای خاک تحت تأثیر توده‌های مختلف درختی، در مدیریت بهینه کربن خاک کمک‌کننده خواهد بود [۳].

در ایران پژوهش‌های کمی به بررسی تأثیر توده‌های مختلف جنگلکاری پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر مشخصه‌های پایداری خاکدانه و مواد آلی ذره‌ای و ارتباط آنها با مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک پرداخته‌اند. در پژوهش‌های پیشین، بررسی پایداری خاکدانه‌ها و مواد آلی ذره‌ای بیشتر معطوف به اکوسیستم‌های مرتعی و کشاورزی بوده و به اثر گونه‌های درختی کمتر توجه شده است. مواد آلی ذره‌ای و پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخص‌های مناسب در ارزیابی تأثیر مدیریت‌های متفاوت بر کیفیت خاک، اغلب سریع‌تر از دیگر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی تحت تأثیر عوامل اکولوژیکی قرار می‌گیرند. هدف اصلی مطالعه حاضر تأثیر توده‌های مختلف درختی بر پایداری خاکدانه‌ها، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای است. از این رو این موضوع می‌تواند

حال سعی شد به منظور کاهش اثرهای مرزی، حاشیه توده‌ها برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشود و نمونه‌برداری‌ها متمایل به بخش مرکزی هر توده باشد [۱۲]. نمونه‌های خاک در سایه و فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خاک حاصله خرد شد و از الک دو میلی متری عبور داده شد. جرم مخصوص ظاهری در نمونه‌های دست‌نخورده به روش سیلندر، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت خاک به روش توزین، اسیدیته به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی به وسیله EC سنج، آهک معادل (مواد خشی شونده) به روش تیتراسیون، کربن آلی به روش والکلی-بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر به روش اولسن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu Model AA-670) اندازه‌گیری شد [۱۳].

پایداری خاکدانه براساس روش الک تر پیشنهادی Kay and Pojasok (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شده و مقدار پایداری خاکدانه‌های تر از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

$$\%WAS = (R - S) / (T - S) \times 100 \quad (1)$$

R جرم ذرات باقی مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر، S جرم ذرات شن مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر و T جرم کل نمونه خاک است. اجزای ناپایدار ماده آلی خاک (کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای) نیز به روش Six و همکاران (۱۹۹۸) اندازه‌گیری شد [۵]. برای اندازه‌گیری ماده آلی ذره‌ای، ابتدا ۱۰ گرم خاک با ۳۰ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد هگزا متافسفات سدیم مخلوط شد و ۴ ساعت در دستگاه تکان‌دهنده با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفت. پس از پراکنده شدن ذرات، سوسپانسیون روی الک ۰/۰۵ میلی‌متری تخلیه شد تا ذرات شن و ماده آلی ذره‌ای از یکدیگر تفکیک شوند. در مرحله بعد، برای تفکیک کامل ذرات شن و ماده آلی ذره‌ای از روش سوزندان (WLOI)^۱

گونه‌های مناسب را برای بهبود ساختمان خاکدانه‌ها و حاصلخیزی در اکوسیستم‌های جنگلی تخریب‌شده جنگلی برای جنگلکاری معرفی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

جنگل دارابکلا در جنوب شرقی شهرستان ساری بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۲ درجه و ۳۱ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه واقع شده است. این جنگلکاری‌ها شامل توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C. A. M.)، افراپلت (*Acer velutinum* Bioss.) و زربین (*upressus sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord) با فاصله کاشت اولیه ۲ × ۲ متر است که در سال ۱۳۶۶ کاشته شده‌اند. براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی دارابکلا، میانگین دمای سالانه ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد، میانگین بیشترین دما در گرم‌ترین ماه ۳۱/۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمترین دما در سردترین ماه ۲ درجه سانتی‌گراد، متوسط تبخیر سالانه ۱۲۲۴/۸ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه ۷۲۴ میلی‌متر است. بافت خاک، کمی سنگین تا سنگین و نفوذپذیری آب در خاک متوسط تا ضعیف است. براساس مطالعات زمین‌شناسی، سنگ مادری غالب در منطقه مارن است که به دلیل دارا بودن رس فراوان (بیش از ۵۰ درصد) و نفوذپذیری کم، موجب بروز لغزش‌های توده‌ای می‌شود [۱۱].

نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی

برای اجرای این تحقیق بخش همگنی از هر توده جنگلی برای نمونه‌برداری مشخص شد. در داخل هر یک از توده‌های مورد بررسی و همچنین سطوح بدون پوشش درختی (عرصه فاقد پوشش) مجاور با توده‌های جنگلکاری شده، شش نمونه خاک سطحی از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری (در مجموع ۱۲ نمونه خاک از هر توده) در سطح ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر گودبرداری شد. در هر

کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم (در هر دو عمق) و تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی (در هر دو عمق) در خاک توده جنگلی توسکای بیلاقی وجود داشته و تفاوت آماری معنی‌داری با خاک توده‌های دیگر و عرصه فاقد پوشش دارد (جدول‌های ۱ و ۲). بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری به عرصه فاقد پوشش (در هر دو عمق)، بیشترین درصد شن به توده افراپلت (عمق دوم) و بیشترین درصد سیلت به توده زربین اختصاص دارد (جدول ۲).

پایداری خاکدانه و اجزای ناپایدار ماده آلی خاک

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مشخصه‌های پایداری خاکدانه و اجزای ناپایدار ماده آلی خاک نشان داد که بیشترین مقدار پایداری خاکدانه (در هر دو عمق) (جدول ۱ و شکل ۱ الف)، کربن آلی ذره‌ای (در هر دو عمق) (جدول ۱ و شکل ۱ ب) و نیتروژن آلی ذره‌ای (در هر دو عمق) (جدول ۱ و شکل ۱ ج) در توده پهن‌برگ توسکای بیلاقی وجود دارد، درحالی که کمترین مقادیر هر سه مشخصه مذکور (در هر دو عمق) به عرصه فاقد پوشش جنگلی اختصاص دارد و توده‌های افراپلت و زربین حالتی بینابین را نشان می‌دهند (جدول ۱ و شکل ۱ الف، ب و ج).

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در ارتباط با توده‌های مختلف جنگلی و مشخصه‌های خاک (در هر دو عمق) نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در مجموع ۷۴/۹۸ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه می‌کنند (شکل ۲). توده توسکای بیلاقی با پایداری خاکدانه، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای ارتباط نزدیکی نشان می‌دهد و با مشخصه‌های نیتروژن، تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی، رطوبت، pH، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم همبستگی قوی دارد. توده زربین و عرصه فاقد پوشش با جرم مخصوص ظاهری و نسبت کربن به نیتروژن خاک در یک ربع قرار گرفتند. توده پهن‌برگ افراپلت در این شکل حالت بینابینی داشته و با مشخصه‌های کربن، درصد رس، سیلت، آهک و هدایت الکتریکی ارتباط نزدیکی دارد (شکل ۲).

استفاده شد که توسط Cambardella و همکاران (۲۰۰۱) معرفی شده است. همچنین همزمان با نمونه‌برداری خاک، کرم‌های خاکی مشاهده شده، به روش دستی جمع‌آوری (در سطح ۳۰×۳۰ سانتی‌متری و از دو عمق ۱۰- و ۲۰- ۱۰ سانتی‌متری) و زی‌توده با توجه به وزن آنها بعد از ۴۸ ساعت خشک شدن روی کاغذهای فیلتر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد [۲].

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها براساس آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. سپس به منظور بررسی تفاوت یا نبود تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک در ارتباط با نوع پوشش‌های جنگلی و عمق خاک از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه در قالب طرح فاکتوریل استفاده شد. آزمون دانکن ($p < 0/05$) نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین‌ها به کار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت. کلیه نمودارها در نرم‌افزار اکسل ترسیم شد. همچنین برای تجزیه و تحلیل چندمتغیره و تعیین ارتباط بین مشخصه‌های پایداری خاکدانه، اجزای ناپایدار ماده آلی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک در توده‌های مختلف جنگلی، مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصل در برنامه ORD - PC تحت ویندوز بررسی شد.

نتایج و بحث

مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

تجزیه واریانس نشان داد که توده جنگلی و عمق نمونه‌برداری اثر معنی‌داری بر مشخصه‌های خاک دارد (جدول ۱). با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین درصد رس (به‌ویژه در عمق اول)، درصد رطوبت (عمق اول)، pH (در هر دو عمق)، درصد آهک (در هر دو عمق)، نیتروژن (در هر دو عمق)، فسفر (در هر دو عمق)،

جدول ۱. تجزیه واریانس مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در ارتباط با توده‌های جنگلی و عمق‌های مختلف خاک

مشخصه	منبع تغییرات	میانگین مربعات	درجه آزادی	مشخصه	منبع تغییرات	میانگین مربعات	درجه آزادی
جرم مخصوص ظاهری	توده	۰/۱۹۳**	۳	نسبت کربن به نیتروژن	عمق	۰/۰۲۱**	۱
	عمق	۴۴/۲۹۴ns	۱		توده×عمق	۱۳/۵۸۷Ns	۳
	توده×عمق	۱۹۳/۹۳۴**	۳				
شن	توده	۳۰۸/۷۶۱**	۳	فسفر قابل جذب	عمق	۳۳۳/۵۳۸**	۱
	عمق	۲۰/۳۶۹ns	۳		توده×عمق	۴/۵۰۷ns	۳
	توده×عمق	۱۷۸/۳۲۸**	۳				
سیلت	توده	۸۵۰/۳۳۶**	۱	پتاسیم قابل جذب	عمق	۲۱۶۲/۹۳۸ns	۳
	عمق	۱۹/۶۱۵ns	۳		توده×عمق	۲۱۶۲/۹۳۸ns	۳
	توده×عمق	۵۹۹/۶۱۴**	۳				
رس	توده	۲۸۳۶/۵۳۴**	۱	کلسیم قابل جذب	عمق	۶۰۳/۰۷۵ns	۱
	عمق	۴۷/۱۰۸ns	۳		توده×عمق	۳۴/۵۸۱ns	۳
	توده×عمق	۱۵۴/۸۸۲**	۳				
رطوبت	توده	۱۲۲۳/۶۱۵**	۱	مینیزیم قابل جذب	عمق	۲۵۵/۹۹۴**	۱
	عمق	۱/۴۱۸ns	۳		توده×عمق	۳/۳۸۳ns	۳
	توده×عمق	۲/۶۵۹**	۳				
pH	توده	۰/۰۴۰ns	۱	تعداد کرم خاکی	عمق	۰/۱۸۸**	۱
	عمق	۰/۰۰۹ns	۳		توده×عمق	۰/۰۴۲ns	۳
	توده×عمق	۰/۲۲۲**	۳				
هدایت الکتریکی	توده	۰/۷۳۰**	۱	زی توده کرم خاکی	عمق	۱۷/۸۹۷**	۱
	عمق	۰/۰۷۳**	۳		توده×عمق	۴/۶۳۶ns	۳
	توده×عمق	۱۷۵۹/۹۳۴**	۳				
آهک	توده	۱/۰۲۲**	۱	پایداری خاکدانه	عمق	۱/۰۵۰ns	۱
	عمق	۰/۰۶۰ns	۳		توده×عمق	۱۰۴/۷۵۲ns	۳
	توده×عمق	۱۲/۲۰۶**	۳				
کرن	توده	۳۰/۳۶۹**	۱	کربن آلی ذره‌ای	عمق	۱/۴۹۸**	۱
	عمق	۱/۰۴۴ns	۳		توده×عمق	۰/۱۸۱Ns	۳
	توده×عمق	۰/۰۲۱**	۳				
نیتروژن کل	توده	۰/۰۹۴**	۱	نیتروژن آلی ذره‌ای	عمق	۰/۰۴۸**	۱
	عمق	۰/۰۰۶ns	۳		توده×عمق	۰/۰۰۱ns	۳
	توده×عمق						

ns بیانگر معنی‌دار نبودن؛ ** بیانگر معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد

جدول ۲. میانگین ± اشتباه معیار و ضریب تغییرات (CV) مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در توده‌های جنگلی و عمق‌های مختلف خاک

مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر)	توسکای ییلاقی CV (%)	افراپلت CV (%)	زربین CV (%)	عرصه فاقد پوشش CV (%)
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰-۱۰	۱/۲۶ ± ۰/۰۳b	۵/۲۹	۱/۲۴ ± ۰/۰۱b	۱/۵۰ ± ۱/۰۱a
	۱۰-۲۰	۱/۲۲ ± ۰/۰۳b	۶/۱۵	۱/۲۷ ± ۰/۰۱bc	۱/۵۱ ± ۱/۰۱a
	میانگین کل	۱/۲۹ ± ۰/۰۲B	۶/۱۲	۱/۲۶ ± ۰/۰۱BC	۱/۵۰ ± ۱/۰۱A
شن (درصد)	۰-۱۰	۱۴/۳۷ ± ۱/۶۵b	۲۸/۱۳	۱۳/۴۹ ± ۱/۳۹b	۱۳/۱۱ ± ۱/۹۳b
	۱۰-۲۰	۶/۷۷ ± ۰/۴۲b	۱۵/۴۳	۱۰/۳۶ ± ۰/۹۹a	۹/۹۶ ± ۱/۰۴b
	میانگین کل	۱۰/۵۷ ± ۱/۴۰B	۲۹/۶۶	۱۱/۹۲ ± ۰/۹۴A	۱۱/۴۰ ± ۱/۱۲B
سیلت (درصد)	۰-۱۰	۵۲/۹۱ ± ۱/۸۰	۸/۳۷	۵۸/۳۷ ± ۳/۴۳	۵۸/۴۵ ± ۴/۰۲
	۱۰-۲۰	۴۶/۳۳ ± ۱/۰۰b	۵/۳۱	۴۷/۶۶ ± ۱/۷۸a	۴۷/۹۵ ± ۲/۴۲b
	میانگین کل	۴۹/۵۵ ± ۱/۴۰B	۹/۸۵	۵۳/۰۲ ± ۲/۴۵AB	۵۲/۲۱ ± ۲/۷۴AB
رس (درصد)	۰-۱۰	۳۴/۰۴ ± ۲/۴۵a	۱۹/۷۴	۲۸/۱۲ ± ۴/۷۵a	۲۸/۶۸ ± ۵/۹۴a
	۱۰-۲۰	۴۶/۹۹ ± ۱/۹۲	۶/۲۲	۴۱/۹۷ ± ۲/۷۱	۴۲/۰۸ ± ۳/۴۲
	میانگین کل	۴۰/۵۱ ± ۲/۹۳A	۲۵/۱۲	۳۵/۰۵ ± ۳/۳۴AB	۳۵/۲۸ ± ۳/۲۸AB
رطوبت (درصد)	۰-۱۰	۶۲/۱۷ ± ۲/۲۷	۸/۹۵	۵۴/۴۰ ± ۲/۸۱	۵۴/۴۴ ± ۴/۱۹
	۱۰-۲۰	۵۲/۰۴ ± ۱/۱۰a	۵/۲۱	۴۵/۲۹ ± ۱/۸۹ab	۴۳/۸۹ ± ۳/۳۴b
	میانگین کل	۵۷/۱۰ ± ۱/۹۴A	۱۱/۸۰	۴۹/۸۴ ± ۱/۹۶AB	۴۹/۱۶ ± ۲/۰۱B
pH	۰-۱۰	۶/۹۰ ± ۱/۱۱a	۴/۰۶	۶/۵۴ ± ۰/۰۲a	۶/۵۴ ± ۰/۰۲a
	۱۰-۲۰	۷/۰۴ ± ۱/۰۱a	۳/۴۸	۶/۵۸ ± ۰/۰۲b	۶/۵۵ ± ۰/۰۲b
	میانگین کل	۱۰/۵۷ ± ۰/۰۷A	۳/۷۴	۶/۵۶ ± ۰/۰۱B	۶/۵۴ ± ۰/۰۲B

ادامه جدول ۲. میانگین \pm اشتباه معیار و ضریب تغییرات (CV) مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در توده‌های جنگلی و عمق‌های

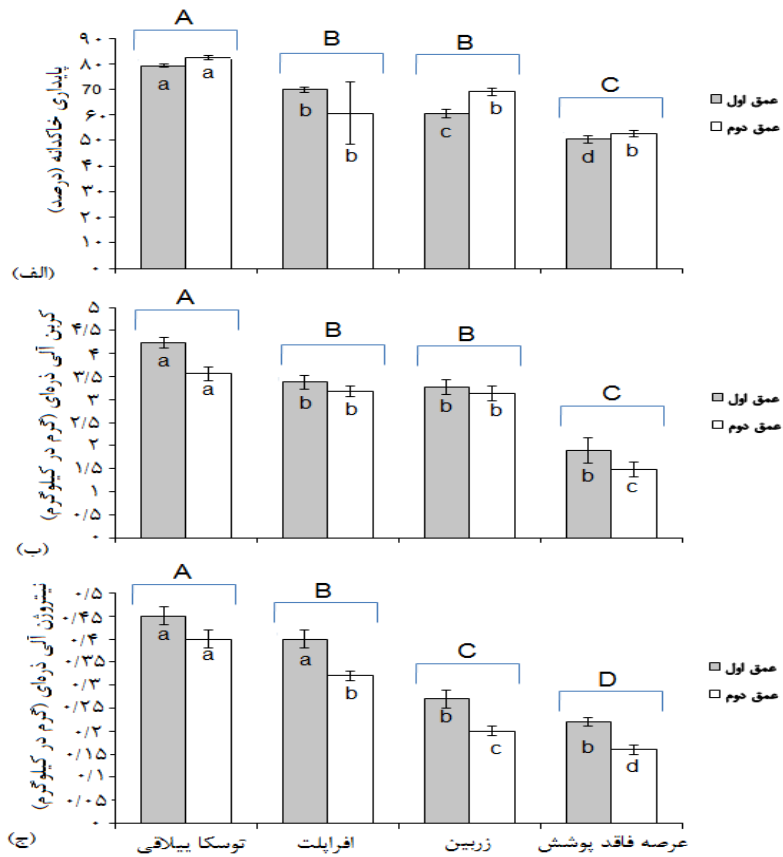
مختلف خاک

مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر)	توسکای بیلابقی	CV (%)	افراپلت	CV (%)	زربین	CV (%)	عرصه فاقد پوشش	CV (%)
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰-۱۰	-۰/۷۴ \pm -۰/۵b	۱۸/۲۸	-۰/۵۷ \pm -۰/۰۶b	۳۲/۱۷	۱/۰۵ \pm -۰/۶۳a	۱۴/۷۸	-۰/۷۰ \pm -۰/۱b	۵/۱۱
	۱۰-۲۰	-۰/۵۴ \pm -۰/۰۱a	۳/۸۵	-۰/۳۸ \pm -۰/۰۱b	۸/۹۹	-۰/۵۷ \pm -۰/۰۵a	۱۹/۸۵	-۰/۵۸ \pm -۰/۰۲a	۶/۸۵
	میانگین کل	-۰/۶۳ \pm -۰/۰۴B	۲۱/۹۴	-۰/۶۷ \pm -۰/۰۵C	۲۹/۲۲	-۰/۸۱ \pm -۰/۰۸A	۳۰/۵۲	-۰/۶۳ \pm -۰/۰۲B	۱۱/۴۱
آهک (درصد)	۰-۱۰	۲/۳۷ \pm ۰/۱۱ a	۱۱/۵۸	۱/۸۸ \pm -۰/۱۹b	۳۴/۷۸	۱/۶۷ \pm -۰/۱۳b	۹/۰۷	۱/۶۶ \pm -۰/۰۵b	۶/۹۴
	۱۰-۲۰	۲/۵۶ \pm ۱/۰۳ a	۹/۸۱	۲/۱۴ \pm -۰/۱۴b	۱۶/۵۸	۲/۱۵ \pm -۰/۱۹b	۲۲/۰۲	۱/۸۰ \pm -۰/۰۳b	۴/۲۳
	میانگین کل	۲/۴۲ \pm ۱/۰۸ A	۱۱/۹۴	۲/۰۱ \pm -۰/۱۲B	۲۰/۸۳	۱/۹۱ \pm -۰/۱۲B	۲۳/۱۴	۱/۸۳ \pm -۰/۰۳B	۶/۶۹
کرن (درصد)	۰-۱۰	۲/۹۳ \pm ۰/۰۶-b	۳۰/۳۹	۳/۷۳ \pm -۰/۸۳b	۱۴/۳۱	۵/۰۰ \pm ۰/۸۳a	۱۵/۱۸	۱/۹۴ \pm -۰/۲۲b	۳/۰۵
	۱۰-۲۰	۱/۴۵ \pm ۰/۱۷ab	۲۹/۱۸	۱/۸۹ \pm -۰/۲۵ab	۲۹/۹۶	۲/۸۹ \pm -۰/۴۵a	۳۲/۴۲	۱/۱۱ \pm -۰/۰۶b	۱۲/۴۰
	میانگین کل	۲/۱۹ \pm ۰/۳۷B	۳۹/۹۵	۲/۸۱ \pm ۰/۵۰-AB	۴۸/۳۵	۲/۹۰ \pm -۰/۵۶A	۲۸/۳۵	۱/۵۳ \pm -۰/۰۲-B	۲۸/۱۷
نیترژن کل (درصد)	۰-۱۰	-۰/۲۹ \pm -۰/۰۵a	۵/۸۰	-۰/۲۲ \pm -۰/۰۳ab	۷/۸۳	-۰/۲۱ \pm -۰/۰۲ab	۲۸/۹۷	-۰/۱۴ \pm -۰/۰۳b	۱۲/۲۰
	۱۰-۲۰	-۰/۱۴ \pm -۰/۰۲a	۲۵/۳۴	-۰/۱۳ \pm -۰/۰۱ab	۲۱/۳۲	-۰/۱۵ \pm -۰/۰۲a	۲۶/۴۴	-۰/۰۹ \pm -۰/۰۱b	۲۶/۸۳
	میانگین کل	-۰/۲۲ \pm -۰/۰۳A	۲۹/۱۵	-۰/۱۷ \pm -۰/۰۲AB	۲۶/۲۲	-۰/۱۷ \pm -۰/۰۲AB	۲۷/۲۳	-۰/۱۱ \pm -۰/۰۱B	۲۶/۸۶
نسبت کربن به نیترژن	۰-۱۰	۱۱/۱۷ \pm ۰/۹۹ b	۲۱/۸۸	۱۵/۶۶ \pm ۰/۹۱b	۲۹/۸۸	۳۳/۵۹ \pm ۲/۰۱-a	۲۱/۸۱	۱۴/۲۱ \pm ۱/۰۳b	۱۷/۸۰
	۱۰-۲۰	۱۰/۸۱ \pm ۱/۲۴ b	۲۸/۱۲	۱۵/۰۲ \pm ۱/۵۷ab	۲۵/۸۳	۱۸/۵۹ \pm ۱/۶۴a	۲۱/۵۸	۱۲/۵۳ \pm ۱/۲۲b	۲۳/۹۰
	میانگین کل	۱۰/۹۹ \pm ۰/۷۶ C	۲۳/۹۹	۱۵/۳۴ \pm ۱/۱۸B	۲۶/۹۶	۲۱/۰۹ \pm ۱/۴۷A	۲۴/۲۶	۱۳/۳۶ \pm ۰/۸۰-BC	۲۰/۸۲
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۲۶/۷۰ \pm ۲/۱۱ a	۱۹/۳۴	۱۸/۲۶ \pm ۲/۱۱b	۲۸/۴۴	۱۷/۰۴ \pm ۱/۱۳b	۱۶/۲۰	۱۸/۳۴ \pm ۱/۴۰b	۱۸/۵۶
	۱۰-۲۰	۲۱/۹۴ \pm ۰/۸۴ a	۹/۳۹	۱۶/۵۴ \pm ۱/۷۸b	۲۶/۳۵	۱۳/۸۹ \pm ۰/۶۷b	۱۱/۹۶	۱۴/۶۲ \pm ۱/۱۴b	۱۹/۱۸
	میانگین کل	۲۴/۳۱ \pm ۱/۲۹ A	۱۸/۴۹	۱۷/۴۵ \pm ۱/۳۶B	۲۶/۹۴	۱۵/۴۲ \pm ۰/۸۹B	۱۷/۸۵	۱۶/۴۸ \pm ۱/۰۲B	۲۱/۵۵
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۳۰/۵۳۱ \pm ۲۳/۰۳ a	۲۶/۵۰	۱۸۲/۷۹ \pm ۱۷/۹۹b	۳۲/۹۸	۱۶۳/۹۰ \pm ۲۳/۴۶b	۳۰/۶۸	۱۳۶/۳۶ \pm ۲۳/۴۶b	۲۹/۰۵
	۱۰-۲۰	۲۰/۶۵۱ \pm ۱/۹۱ a	۲/۲۸	۱۴۸/۱۵ \pm ۱۰/۶۲b	۱۷/۵۶	۱۰۰/۳۴۰ \pm ۵/۱۵c	۱۲/۲۰	۱۱۱/۹۴ \pm ۷/۹۵c	۱۷/۳۹
	میانگین کل	۲۵/۶۹۰ \pm ۲۱/۶۹A	۲۹/۳۶	۱۶۵/۹۷ \pm ۱۱/۳۱B	۲۳/۶۲	۱۳۳/۶۵ \pm ۱۴/۸۳B	۲۳/۴۵	۱۳۷/۶۵ \pm ۱۴/۱۲B	۳۰/۰۰
کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۲۸۱/۵۲ \pm ۱۲/۹۴ a	۱۱/۲۷	۲۱۸/۷۳ \pm ۱۲/۲۸b	۱۳/۷۵	۱۵۹/۹۵ \pm ۱۱/۱۱c	۱۷/۰۱	۱۳۴/۰۹ \pm ۸/۹۶d	۱۷/۷۰
	۱۰-۲۰	۲۸۸/۶۸ \pm ۱۳/۴۵ a	۱۱/۴۲	۲۳۳/۵۲ \pm ۱۲/۸۵b	۱۳/۹۸	۱۷۱/۸۱ \pm ۷/۵۲c	۱۰/۸۳	۱۲۸/۶۲ \pm ۹/۸۷d	۱۸/۸۱
	میانگین کل	۲۸۵/۸۰ \pm ۸/۹۷ A	۱۰/۹۰	۲۳۱/۱۲ \pm ۸/۴۷B	۱۳/۲۷	۱۶۵/۸۸ \pm ۶/۶۴C	۱۳/۸۷	۱۲۶/۳۶ \pm ۶/۸۹D	۱۷/۵۳
منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۶۰/۹۸ \pm -۰/۹۳ a	۳/۹۱	۴۹/۸۶ \pm -۰/۹۲b	۴/۵۱	۴۲/۶۵ \pm -۰/۷۵c	۴/۳۳	۳۸/۳۶ \pm ۱/۵۶d	۹/۹۷
	۱۰-۲۰	۵۷/۶۶ \pm ۱/۰۸ a	۴/۶۳	۴۵/۴۸ \pm ۱/۱۲b	۶/۱۱	۳۷/۷۴ \pm ۱/۳۰c	۸/۴۹	۳۲/۳۹ \pm ۲/۴۶d	۱۸/۵۳
	میانگین کل	۵۹/۳۲ \pm ۰/۸۶ A	۵/۰۱	۴۷/۶۶ \pm -۰/۹۶B	۶/۹۷	۴۰/۱۹ \pm ۱/۰۳C	۸/۸۹	۳۵/۳۳ \pm ۱/۶۵D	۱۶/۱۰
تعداد کرم خاکی (تعداد در متر مربع)	۰-۱۰	-۰/۸۳ \pm -۰/۰۹ a	۲۵/۹۱	-۰/۴۲ \pm -۰/۰۲b	۱۲/۸۴	-۰/۰۵ \pm -۰/۰۲c	۳۹/۴۰	-۰/۱۵ \pm -۰/۰۶c	۳۴/۳۹
	۱۰-۲۰	۱/۰۰ \pm -۰/۰۹ a	۲۲/۰۸	-۰/۴۸ \pm -۰/۰۲b	۱۲/۶۹	-۰/۰۵ \pm -۰/۰۲c	۱۶/۶۷	-۰/۴۱ \pm -۰/۰۳b	۱۶/۸۸
	میانگین کل	۰/۹۱ \pm -۰/۰۶ A	۲۴/۷۷	-۰/۴۵ \pm -۰/۰۲B	۱۳/۸۹	-۰/۰۵ \pm -۰/۰۲C	۵۲/۸۰	-۰/۲۸ \pm -۰/۰۶D	۲۸/۶۷
زی توده کرم خاکی (میلی‌گرم در متر مربع)	۰-۱۰	۹/۰۲ \pm ۰/۸۶ a	۲۳/۵۰	۴/۳۸ \pm ۰/۲۷b	۱۵/۳۹	-۰/۵۷ \pm ۰/۲۶ c	۳۳/۲۳	۱/۵۵ \pm ۰/۹۹c	۳۲/۸۰
	۱۰-۲۰	۱۰/۶۲ \pm ۰/۹۳ a	۲۱/۴۶	۴/۸۱ \pm -۰/۳۱b	۱۶/۰۲	-۰/۶۱ \pm ۰/۲۸ c	۳۴/۰۷	۴/۲۵ \pm -۰/۱۷b	۹/۴۲
	میانگین کل	۹/۸۲ \pm ۰/۶۵A	۲۳/۰۲	۴/۵۹ \pm -۰/۲۱B	۱۵/۸۰	-۰/۵۹ \pm -۰/۱۸C	۴۷/۱۰	۲/۹۵ \pm ۰/۶۴D	۳۷/۸۴

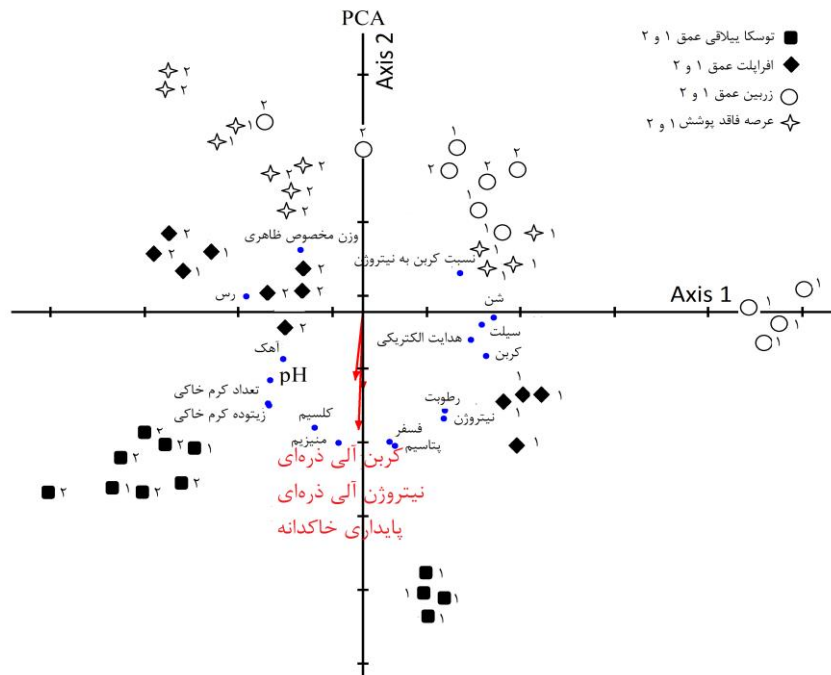
حروف متفاوت کوچک انگلیسی در هر ردیف جدول بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار در خاک زیر توده‌ها بوده و حروف بزرگ بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار (میانگین دار) (عمق) در توده‌هاست.

جدول ۳. ضریب تغییرات (CV%) مشخصه‌های پایداری خاکدانه و مواد آلی ذره‌ای در توده‌های جنگلی و عمق‌های مختلف خاک

مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)
پایداری خاکدانه (درصد)	۰-۱۰	۲/۴۷	۴/۰۱	۶/۱۶	۶/۹۱
	۱۰-۲۰	۳/۰۵	۳/۹۳	۵/۲۸	۵/۵۶
	میانگین کل	۳/۳۳	۴/۳۳	۵/۹۶	۶/۳۶
کربن آلی ذره‌ای (گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۶/۳۸	۱۰/۶۱	۱۱/۹۰	۲۹/۵۵
	۱۰-۲۰	۱۰/۲۳	۹/۳۳	۱۲/۵۴	۲۷/۷۶
	میانگین کل	۱۲/۰۲	۱۰/۱۳	۱۱/۸۳	۳۰/۰۰
نیترژن آلی ذره‌ای (گرم در کیلوگرم)	۰-۱۰	۱۰/۹۶	۱۲/۶۵	۱۷/۶۴	۱۴/۹۴
	۱۰-۲۰	۱۳/۹۷	۷/۲۳	۱۵/۹۰	۷/۹۱
	میانگین کل	۱۳/۶۰	۱۵/۰۲	۲۱/۴۰	۲۰/۶۹



شکل ۱. میانگین پایداری خاکدانه (الف)، کربن آلی ذره‌ای (ب) و نیتروژن آلی ذره‌ای (ج) خاک به تفکیک عمق (حروف کوچک) و توده‌های جنگلی (حروف بزرگ)



شکل ۲. موقعیت مکانی توده‌های مختلف جنگلی و مشخصه‌های خاک در تجزیه مؤلفه‌های اصلی

پهن‌برگ توسکا و افراپلت است که با یافته‌های فلاح‌زاده و حاج‌عباسی [۵] همسوست. در مقابل، کرم‌های خاکی سبب ثبات و پایداری طولانی مدت خاکدانه‌ها می‌شوند و سطح میکرو و ماکروی خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهند. در همین زمینه، فعالیت کرم‌های خاکی (تعداد و زی‌توده) در زیر توده‌های توسکا و افراپلت نیز بیشتر بوده است [۶]. علاوه بر این Jouquet و همکاران [۱] بیان کردند که کرم‌های خاکی با ایجاد گودال‌های افقی و عمودی و جابه‌جایی خاک پردازش خاکدانه‌ها در لایه‌های بالای خاک را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌عبارت دیگر کرم‌های خاکی با ایجاد حفره‌هایی در خاک موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک می‌شوند و به افزایش پایداری خاکدانه‌ها کمک می‌کنند [۱]. همچنین نتایج این تحقیق، بیانگر رابطه بسیار نزدیک پایداری خاکدانه با تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی زیر توده‌های پهن‌برگ توسکای بیلاقی و افراپلت نسبت به توده سوزنی‌برگ زربین و عرصه فاقد پوشش است که ممکن است به‌دلیل تأثیر گونه‌های درختی بر عناصر غذایی، pH و رطوبت خاک با فراهم کردن شرایط مناسب برای فعالیت کرم‌های خاکی باشد [۶].

مواد آلی ذره‌ای بیانگر عملکرد مواد آلی تحت گونه‌های درختی‌اند، به‌طوری که با افزایش کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای، مقدار کربن و نیتروژن خاک افزایش می‌یابد که سبب افزایش کیفیت خاک می‌شود [۳، ۴]. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر توده و عمق بر مشخصه‌های شیمیایی، کربن آلی ذره‌ای و نیتروژن آلی ذره‌ای معنی‌دار بوده و بیشترین مقادیر آنها در هر دو عمق متعلق به توده جنگلی توسکای بیلاقی بوده است. یکی از دلایل اصلی افزایش کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای افزایش ورود لاشبرگ و سرعت تجزیه آن است که می‌تواند به تجمع کربن و نیتروژن خاک کمک کند [۳]. در این بین توده افراپلت بعد از توسکا شرایط بهتری را از نظر نیتروژن خاک فراهم آورده و توده زربین با وجود مقادیر زیاد کربن

گونه‌های درختی از طریق فعالیت ریشه‌ای و ریزش لاشبرگ‌ها سبب ورود مواد آلی به خاک می‌شوند و بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارند و پایداری خاکدانه‌ها را کنترل می‌کنند [۳]. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که پایداری خاکدانه در توده پهن‌برگ توسکا به‌مراتب بیشتر از توده‌های افراپلت و سوزنی‌برگ زربین بوده است. تأثیر کلسیم و آهک به‌دلیل ظرفیت زیاد و شعاع آب‌پوشی کم، عامل مهمی در افزایش هموردی خاکدانه‌ها و انتشار رس است. زیاد بودن پایداری خاکدانه در جنگلکاری توسکا را می‌توان به زیاد بودن درصد رس، افزایش بار منفی ذرات رس، کلسیم و رطوبت خاک نسبت داد [۱۶]. براساس نتایج این تحقیق نیز بیشترین درصد رس و رطوبت (به‌ویژه در عمق اول)، آهک و کلسیم (در هر دو عمق) در توده جنگلی توسکای بیلاقی مشاهده شد که تفاوت آماری معنی‌داری را با توده‌های دیگر و عرصه فاقد پوشش نشان دادند. یکی از دلایل اصلی افزایش پایداری خاکدانه‌ها، افزایش نیتروژن و کربن خاک توسط توده‌های مختلف درختی است [۳، ۵]. در این زمینه پولادی و همکاران [۱۵] پایداری بیشتر خاکدانه در توده جنگلکاری توسکا (گونه تثبیت‌کننده نیتروژن) نسبت به صنوبر را نتیجه زیاد بودن نیتروژن و فسفر خاک عنوان کردند. در این تحقیق نیز پایداری خاکدانه زیر گونه درختی توسکا به‌مراتب بیشتر از گونه پهن‌برگ افراپلت بوده است. علاوه بر این، عباسیان و همکاران [۸] بین پایداری خاکدانه و مقدار نیتروژن خاک رابطه مثبت و معنی‌داری را نشان دادند. همچنین در زمینه تأثیر شوری خاک بر پایداری ساختمان خاک، افزایش هدایت الکتریکی تأثیرات مخربی بر پایداری خاکدانه‌ها دارد [۵]. زیاد بودن هدایت الکتریکی موجب کاهش جذب عناصر غذایی شده و با کاهش تحریک فعالیت عوامل خاکدانه‌ساز موجب ضعیف شدن ساختمان خاک می‌شود. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که گونه سوزنی‌برگ زربین دارای هدایت الکتریکی بیشتر و پایداری خاکدانه کمتری نسبت به توده‌های

پوشش جنگلی با تغییر در pH خاک، سبب افزایش دسترسی عناصر غذایی، افزایش فعالیت میکروبی و تقویت مواد آلی ذره‌ای در خاک می‌شود. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که توده‌های جنگلی (به‌ویژه توده‌های پهن‌برگ توسکا و افراپلت با pH نزدیک به خنثی) نسبت به عرصه فاقد پوشش جنگلی، سبب افزایش کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای شده‌اند. در همین زمینه Li و همکاران [۷] افزایش کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای را از مهم‌ترین دلایل ثبات پایداری خاکدانه‌ها عنوان کردند، زیرا توسط فعالیت‌های میکروبی در pH مناسب تجزیه شده و به مواد آلی خاک تبدیل می‌شوند، که نتایج تحقیق حاضر این ادعا را ثابت می‌کند. همچنین نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بیانگر ارتباط نزدیک بین کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با پایداری خاکدانه در حضور عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب و همچنین تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی در زیر گونه‌های توسکا < و افراپلت است که با نتایج Jouquet و همکاران [۱] و Mao و همکاران [۳] مشابه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیر مثبت جنگلکاری با گونه‌ای مناسب بر ساختمان و چرخه عناصر غذایی خاک، استفاده از جنگلکاری در عرصه‌های بدون پوشش، اجتناب‌ناپذیر است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که توده‌های مختلف جنگلکاری اثرهای متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک دارند. به‌طور کلی، توده پهن‌برگ توسکای بیلاقی از نظر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی مربوط به حاصلخیزی، پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان ساختمان فیزیکی خاک و همچنین کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای به‌عنوان شاخص‌های ناپایدار مواد آلی خاک نسبت به توده‌های سوزنی‌برگ زربین و عرصه فاقد پوشش جنگلی از مقادیر بیشتر و شرایط مناسب‌تری برخوردار بوده است. علت اصلی این موضوع افزایش ذخیره نیتروژن

خاک، مقادیر کمتری از مواد آلی ذره‌ای را به خود اختصاص داده است. در این زمینه Yang و همکاران [۴] بیان کردند کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای ارتباط نزدیکی با نیتروژن، کربن و رطوبت خاک دارند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با افزایش عمق بین همه توده‌های جنگلی دست‌کاشت و عرصه فاقد پوشش کاهش یافت. در تحقیقی مشابه Yang و همکاران [۴] در بررسی مشخصه‌های مذکور بین توده‌های جنگلی دست‌کاشت و طبیعی اظهار داشتند که دلیل اصلی کاهش این مشخصه‌ها، کاهش فعالیت ریزجانداران، کرم‌های خاکی و کربن آلی خاک است. علاوه بر این، Mao و همکاران [۴] در تحقیق خود بیان داشتند که کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای در خاک‌های با درصد رس بیشتر از خاک‌های با درصد شن بیشتر، بالاتر است و با افزایش عمق خاک، کاهش چشمگیری دیده می‌شود. این شرایط زیر توده‌های پهن‌برگ توسکا و افراپلت به‌مراتب بیشتر از زربین بوده است. بافت خاک به‌طور مستقیم از ترکیب کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با میکروخاکدانه‌ها حمایت می‌کند و به‌طور مستقیم بر پویایی خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد. درصد زیاد رس، مواد آلی ذره‌ای خاک را در مقابل تجزیه بیش از حد محافظت می‌کند و سبب افزایش تجمع کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای در خاک می‌شود. همچنین مواد آلی ذره‌ای با افزایش تجمع کربن در خاک، در بهبود کیفیت خاک تأثیر اساسی دارد [۳، ۴]. علاوه بر این Jouquet و همکاران [۱] به این نتیجه رسیدند که حضور و فعالیت کرم‌های خاکی در توده‌های جنگلی با شرایط pH، رطوبت و درصد رس مناسب و همچنین مقدار زیاد کاتیون‌های کلسیم و منیزیم سرعت تجزیه مواد آلی خاک را کنترل می‌کند و سبب افزایش مقدار مواد آلی ذره‌ای و استحکام خاکدانه‌ها می‌شود، به‌طوری که این شرایط به‌ترتیب در زیر توده‌های پهن‌برگ توسکا < و افراپلت < بهتر از توده سوزنی‌برگ زربین < و عرصه فاقد پوشش است.

پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن دیگر عوامل محیطی و اقلیمی گونه‌های پهن‌برگ تثبیت‌کننده نیتروژن در اولویت جنگلکاری قرار گیرند.

و ایجاد شرایط مناسب اسیدیته خاک زیر گونه توسکا است. با این تفاسیر، برای تقویت ساختمان و کیفیت خاک در عرصه‌های فاقد پوشش جنگلی جنگل‌های شمال ایران،

References

- [1]. Jouquet, P., Bottinelli, N., Podwojewski, P., Hallaire, V., and Duc, T.T. (2008). Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, 146(1): 231-238.
- [2]. Kooch, Y., Moghimian, N., Bayranvand, M., and Alberti, G. (2016). Changes of soil carbon dioxide, methane, and nitrous oxide fluxes in relation to land use/cover management. *Environmental monitoring and assessment*, 188(6): 1-12.
- [3]. Mao, R., Zhang, X.H., and Meng, H.N. (2014). Effect of Suaeda salsa on soil aggregate-associated organic carbon and nitrogen in tidal salt marshes in the Liaohe Delta, China. *Wetlands*, 34(1): 189-195.
- [4]. Yang, Y., Guo, J., Chen, G., Yin, Y., Gao, R., and Lin, C. (2009). Effects of forest conversion on soil labile organic carbon fractions and aggregate stability in subtropical China. *Plant and soil*, 323(1-2): 153-162.
- [5]. Fallahzade, J., and Hajabbasi, M.A. (2010). Evaluation of organic matter storage in aggregate of clayey soils under degraded pasture and cropland in central Zagros. *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(3):179-194.
- [6]. Zhang, M., Zou, X., and Schaefer, D.A. (2010). Alteration of soil labile organic carbon by invasive earthworms (*Pontoscolex corethrurus*) in tropical rubber plantations. *European Journal of Soil Biology*, 46(2): 74-79.
- [7]. Li, W., Zheng, Z., Li, T., Zhang, X., Wang, Y., Yu, H., He, S., and Liu, T. (2015). Effect of tea plantation age on the distribution of soil organic carbon fractions within water-stable aggregates in the hilly region of Western Sichuan, China. *Catena*, 133(31): 198-205.
- [8]. Abasian, A., Delavar, M.A., Golchin A., and Beheshti Alagha A. (2014). Aggregate stability in relation to carbon, nitrogen, carbohydrate and calcium carbonate content in Histosols. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(1): 1-26.
- [9]. Mao, R., Zeng, D.H., Li, L.J., and Hu, Y.L. (2012). Changes in labile soil organic matter fractions following land use change from monocropping to poplar-based agroforestry systems in a semiarid region of Northeast China. *Environmental monitoring and assessment*, 184(11): 6845-6853.
- [10]. Karimi, R., Salehi, M.H., and Mosleh, Z. (2015). Effect of land use change on some carbon components in bulk soil and aggregates in Safashahr area, Fars province. *Iranian Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1): 145-157.
- [11]. Rahmani, R., and Mohammaddnejad Kiasari, Sh. (2003). Relation between millipedes abundance and litter nutritional elements composition in afforested and disturbed sites (Case Study: Darabkola-Mazandaran). *Iranian Journal Natural Resorce*, 56(3): 201- 212.
- [12]. Losi, C.J., Siccama, T.G., Juan, R.C., and Morales, E. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, 184(1): 355-368.
- [13]. Ghazan Shahy, C. (2006). Analysis of soil and plants. Homa Publication, Tehran.
- [14]. Tajik, F. (2004). Evaluation of soil aggregate stability in some regions of iran. *Jwss - Isfahan University of Technology*, 8(1): 107-123.
- [15]. Puladi, N., Delavar, M.A., Golchin, A., and Mosavi Koper, A. (2013). Effect of alder and poplar plantation on soil quality and carbon sequestration (A case study: Safrabasteh Poplar Experimental Station). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2): 286-299.
- [16]. Zhang, Z., Wei, C., Xie, D., Gao, M., and Zeng, X. (2008). Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. *Particuology*, 6(3): 157-166.

Variability analysis of aggregate stability and soil organic matter fractions in pure forest stands

Y. Kooch*; Assist. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I.R. Iran

K. Haghverdi; Assist. Prof., College of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I.R. Iran

M. Bayranvand; Ph.D Candidate, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I.R. Iran

(Received: 05 October 2016, Accepted: 06 February 2017)

ABSTRACT

After 28 years, the effects of *Alnus subcordata* (AS), *Acer insigne* (AI), *Cupressus sempervirens* (CS) plantations and also bare land on soil aggregate stability and particulate organic matter (POM) were studied in Darabkola forest located in Sari, Iran. In each stand, six soil profiles were sampled at depths of 0-10 and 10-20, resulting in 12 soil samples for each stand. The samples were transferred to laboratory for analysis. The soil properties were analyzed by using two-way analysis (ANOVA) procedure, treating forest stands and soil depths as factors with interaction. Results are indicating that the variability of soil physico-chemical and biological properties, *i.e.*, bulk density, texture, moisture, pH, EC, lime, carbon (C), nitrogen (N), available nutrient, earthworms density/biomass, in different studied areas. According to our data, the plantation increased aggregate stability, POM-C and POM-N in both of depths. The upper and lower layers of soil had the highest amounts of soil aggregate stability (79.3 and 82.4 %), POM-C (4.24 and 3.56 g/kg) and POM-N (0.45 and 0.4 g/kg) under the AS forest stand. The least values of these characters were found under bare lands (50.54 and 52.76 %, 1.98 and 1.48 g/kg, 0.22 and 0.16 g/kg, respectively). Results showed that the planting of AS trees improved aggregate stability and POM and it is recommended for rehabilitation of degraded forest areas.

Keywords: Broad-leaved, Needle-leaved, Wet aggregate, POM-C, POM-N.

* Corresponding Author, Email: yahya.kooch@modares.ac.ir, Tel: +981144553101