نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

اثر پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر شاخص‌های میکروبی خاک

*یحیی کوچ[۱] و محمدکاظم پارساپور[۲]
[۱]استادیار گروه جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس، [۲]دانشجوی دکتری گروه علوم جنگل، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۶

چکیده

سابقه و هدف: افزایش روزافزون میزان گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و نیتروز اکسید) و تغییرات اقلیمی بر کسی پوشیده نیست. پژوهش‌ها بیانگر آن است که تغییرات این گازها تا حد زیادی متأثر از تغییرپذیری شاخص‌های میکروبی خاک بوده و جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف، به‌عنوان یک راهکار مدیریتی، می‌تواند اثرات معنی‌داری بر این شاخص‌ها داشته باشد. در این پژوهش، اثر پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ (توسکاییلاقی، ون، افراپلت، بلوط بلندمازو) و سوزنی‌برگ (زربین و کاج سیاه) بر تغییرپذیری شاخص‌های میکروبی خاک مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در هر یک از پوشش‌های جنگلی مورد نظر، مستقر در حوزه شرکت چوب و کاغذ مازندران، تعداد ۱۰ نمونه خاک از عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری (مجموعاً ۲۰ نمونه) برداشت شد. وزن مخصوص ظاهری، بافت، رطوبت، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن کل و مشخصه‌های میکروبی (تنفس میکروبی، زیتوده میکروبی کربن و نیتروژن، ضریب متابولیک) در محیط آزمایشگاه مورد سنجش و محاسبه قرار گرفت.

یافته‌ها: تجزیه واریانس مقادیر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک حاکی از وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار در ارتباط با پوشش‌های جنگلی (به‌جز مشخصه وزن مخصوص ظاهری) و عمق‌های خاک (به‌جز مشخصه‌های شن، سیلت و pH) می‌باشد. بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های تنفس میکروبی (۱/۱۶ میلی‌گرم بر گرم)، زیتوده میکروبی کربن (۳۳۴/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن (۱۱/۹۹) و ضریب متابولیکی (۳/۶۴ میکروگرم دی‌اکسیدکربن بر میلی‌گرم زیست‌توده میکروبی کربن در روز) به پوشش جنگلی کاج سیاه اختصاص داشته در حالی‌که بالاترین مقدار زیتوده میکروبی نیتروژن (۳۸/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) خاک در توده جنگلی توسکاییلاقی مشاهده شد. مطابق با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های میکروبی خاک (به‌جز پارامتر زیتوده میکروبی نیتروژن) به پوشش‌های جنگلی کاج سیاه، زربین و بلندمازو اختصاص داشته که در ارتباط مستقیم با مقادیر کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، محتوی رطوبت و سیلت خاک می‌باشند. در حالی‌که مشخصه‌های نیتروژن کل، رس، وزن مخصوص ظاهری و شن منجربه تجمع بیش‌تر زیتوده میکروبی نیتروژن در خاک تحت پوشش‌های جنگلی توسکا، ون و پلت شده‌اند.

* مسئول مکاتبه: yahya.kooch@modares.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج بر این امر دلالت دارد که در انتخاب نوع گونه برای جنگل‌کاری، در راستای کاهش اثر تغییرات اقلیمی با بهبود شاخص‌های میکروبی، به کیفیت و سلامت خاک در منطقه باید توجه خاصی شود.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌کاری، کربن، نیتروژن، شاخص‌های بیوشیمی

مقدمه

جنگل‌ها ۴۰ درصد سطح بوم‌سازگان خاکی را به خود اختصاص می‌دهند و به‌علت تنوع بیولوژیکی و خدمات زیست‌محیطی نسبت به سایر بیوم‌ها عملکرد مناسب‌تری دارند (۴۲). جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش آلاینده‌های اتمسفری و ریزگردها، پاکسازی آب و تنظیم دما و بارش، جلوگیری از ایجاد رواناب، حفظ حاصلخیزی خاک توسط چرخش عناصر غذایی، حفظ زیستگاه‌های حیات‌وحش، ایجاد جاذبه‌های توریستی، حفظ تنوع زیستی و تأمین انرژی زیستی از جمله مزایای بوم‌سازگان جنگلی محسوب می‌شوند (۳۷، ۳۸). با این وجود، امروزه سطوح زیادی از عرصه‌های جنگلی تحت‌تأثیر دخالت انسان تخریب یافته‌اند. میزان این تخریب به گزارش فائو در سال ۲۰۱۲ تا ۱۳ میلیون هکتار در سال برآورد شده است. تغییر کاربری اراضی با اهدافی نظیر استفاده از معادن، ایجاد اراضی کشاورزی و بهره‌برداری بیش از توان تولید رویشگاه از عوامل تخریب جنگل‌ها محسوب می‌شوند که با توجه به رشد جمعیت و توسعه صنایع این روند رو به رشد می‌باشد (۲۳، ۳۹).

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، تخریب زیست‌گاه‌های حیات وحش و کاهش تنوع زیستی گیاهی و جانوری، کاهش ظرفیت حفظ آب، افزایش آلودگی‌های منابع آب زیرزمینی، اختلال در ترکیب جوامع جانوری و گیاهی، امکان هجوم آفات و بیماری‌ها و افزایش اراضی بیابانی از عواقب تخریب جنگل‌ها به‌شمار می‌روند (۴۷). در این بین کیفیت خاک که برآیندی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است در گذر زمان کاهش می‌یابد (۴) و میزان آن وابسته به اثرگذاری تخریب بر رژیم هیدرولوژیکی خاک، میکروکلیما و تعادل انرژی در اکوسیستم جنگل می‌باشد. در ارتباط با بیولوژی خاک تغییر در جوامع میکروبی (با توجه به نقشی که در تجزیه مواد آلی و معدنی شدن مواد غذایی دارند) عملکرد اکوسیستم را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۱۰، ۲۱). پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهند که تغییرات این گازها تا حد زیادی متأثر از تغییرپذیری شاخص‌های میکروبی کربن و نیتروژن خاک می‌باشند (۱۶، ۱۸). یکی از راه‌های مهم و تأثیرگذار در کاهش میزان این گازها و اثرات مخرب آن‌ها پیدا کردن راهکاری برای ترسیب و ذخیره‌سازی آن‌ها می‌باشد. برای تقلیل اثرات مخرب این گازها راهکارهای مختلفی وجود دارد. از جمله روش‌های مصنوعی (نظیر فیلترینگ دودکش‌های مراکز صنعتی و لوله اگزوز اکثر وسایل نقلیه توسط فناوری‌های پیشرفته اعم از نانو و غیره) ترسیب کربن و نیتروژن که هزینه‌های زیادی را به دنبال دارد. از دیگر راهکارهای موجود می‌توان به جنگل‌کاری و مدیریت پایدار جنگل اشاره کرد (۳۱).

جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) اثرات اکولوژیکی متعددی دارد (۳۱، ۴۱). در همین راستا، در خصوص تأثیر گونه‌های درختی مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است و نتایج کلی بیانگر آن است که حضور گونه‌های درختی پهن‌برگ در افزایش حاصلخیزی و باروری خاک بسیار مؤثر می‌باشد (۳، ۲۲، ۴۱). باید توجه

داشت که جنگل‌کاری‌های انجام گرفته در کشور بسته به شرایط و موقعیت اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه اهداف خاصی را دنبال می‌کنند، با این حال تاکنون به جنگل‌کاری‌ها با هدف کاهش مخاطرات ناشی از گرمایش جهانی (از طریق تنظیم عوامل کنترل‌کننده مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای) توجه جامعی نشده است. مطابق با نتایج پژوهش بخشی‌پور و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه فیدره لاهیجان، میزان تنفس میکروبی خاک در توده جنگلی دست‌کاشت کاج تدا بیش‌تر از خاک تحتانی صنوبر دلتوئیدس گزارش شد (۵). در همین راستا، یوان و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثر سه گونه کاج درختی (*P. densiflora* و *P. sylvestris* ،*P. mongoloca*) بر زیتوده میکروبی کربن و نیتروژن خاک پرداخته و بیان داشتند که مقدار زیتوده میکروبی خاک تحت گونه‌های *P. sylvestris* و *P. mongolica* نسبت به *P. densiflora* کم‌تر است (۴۶). بر اساس پژوهش سینگ و همکاران (۲۰۰۹) میزان زیتوده میکروبی نیتروژن خاک به‌ترتیب در خاک جنگل طبیعی پهن‌برگ، جنگل‌کاری مخلوط (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ)، ساوانا و گندم‌زار بیش‌ترین مقدار بوده است (۳۴).

در پژوهشی، یاداوا (۲۰۱۲) اشاره داشت که کاشت گونه‌های درختی *Acacia catechu* و *Dalbergia sisso* بعد از ۲۶ سال باعث افزایش معنی‌دار زیتوده میکروبی خاک (نسبت به جنگل طبیعی پهن‌برگ مجاور) شده است (۴۵). همچنین، ون و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی زیتوده میکروبی کربن و نیتروژن خاک تحت توده‌های خالص و آمیخته کاج (*P. massoniana*) نشان دادند که پارامترهای میکروبی خاک به ترکیب گونه‌ای و سن توده حساس بوده و همچنین میزان زیتوده میکروبی کربن و نیتروژن در پایه‌های خالص بیش‌تر گزارش شد (۴۳). با توجه به این‌که نوع پوشش جنگلی اثر معنی‌داری بر مشخصه‌های میکروبی (بیوشیمی) کربن و نیتروژن خاک دارد بنابراین تغییرپذیری این پارامترها می‌تواند در تنظیم جریان گازهای متان، دی‌اکسیدکربن و نیتروز اکسید، به‌عنوان مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای که تقریباً ۸۰ درصد گرمایش جهانی زمین را منجر می‌شوند، اثرگذار باشد (۷، ۴۰)، از این‌رو این پژوهش برای اولین بار به مطالعه جامع نقش جنگل‌های دست‌کاشت پهن‌برگ و سوزنی‌برگ (توسکاییلاقی، زبان‌گنجشک، افراپلت، بلوط بلندمازو، زربین و کاج سیاه) و تأثیر آن‌ها در رابطه با عوامل کنترل‌کننده (شاخص‌های میکروبی کربن و نیتروژن خاک) جریان گازهای گلخانه‌ای در بخشی از جنگل‌های هیرکانی شمال ایران می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در محدوده سری چای‌باغ شهرستان قائم‌شهر، بخش ۲ حوزه ۴ شرکت چوب و کاغذ مازندران، در محدوده آبخیز شماره ۳۸ واقع در بین ۵۲ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه و ۴۰ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شمالی انجام گرفت. بر اساس آمار و اطلاعات ۲۰ ساله نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی، شیرگاه، گرم‌ترین ماه سال تیرماه با میانگین ۲۹/۴ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال دی و بهمن‌ماه با میانگین ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و پرباران‌ترین ماه سال مهرماه با میانگین ۱۱۸/۲ میلی‌متر و کم‌باران‌ترین ماه سال خردادماه با ۶۲ میلی‌متر بارندگی می‌باشد. عرصه مورد پژوهش توده‌های جنگل‌کاری شده می‌باشد که در سال ۱۳۶۹ با حفظ تک‌درختان مرغوب با گونه‌های توسکاییلاقی، زبان‌گنجشک (ون)، افراپلت، بلوط بلندمازو، زربین و

کاج سیاه به‌صورت خالص و آمیخته نهال‌کاری شد. عرصه مورد نظر دارای مساحتی حدود ۹۵ هکتار، حداقل ارتفاع از سطح دریا ۲۰۰ متر و حداکثر ۳۴۰ متر بوده و دارای شیبی حدود ۵ درصد می‌باشد (۱). جهت بررسی، با چندین مرحله جنگل‌گردشی و آشنایی با منطقه، توده‌های خالص از گونه‌های جنگل‌کاری‌شده مذکور که از نظر رویشگاهی (وضعیت شیب، شکل زمین و ارتفاع از سطح دریا) شرایط یکسانی داشتند شناسایی و توسط دستگاه GPS مساحی شدند. مساحت‌های به‌دست آمده برای جنگل‌کاری گونه‌های توسکاییلاقی ۴۶۷۵ مترمربع، ون ۱۰۰۰ مترمربع، افرایلت ۷۵۶۰ مترمربع، بلوط بلندمازو ۹۱۰۰ مترمربع، زربین۳۵۰۰ مترمربع و کاج سیاه ۳۰۰۰ مترمربع می‌باشد.

نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی: پس از بازدید و شناسایی دقیق منطقه، تعداد ۱۰ نقطه در هر یک از توده‌های جنگل‌کاری شده مورد مطالعه انتخاب و به نمونه‌برداری خاک از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری (مجموعاً ۲۰ نمونه خاک) به‌وسیله استوانه فلزی (قطر ۸ سانتی‌متر) اقدام شد (۴). به‌طور کلی سعی شد که به‌منظور کاهش اثرات مرزی، حاشیه توده‌ها برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشود و نمونه‌برداری‌ها متمایل به بخش مرکزی هر توده جنگلی باشد (۱۷). نمونه‌های خاک نیز در فضای باز پخش و پس از خشک شدن، خاک حاصله خرد و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. وزن مخصوص ظاهری به روش سیلندر، بافت خاک (درصد اجزا تشکیل‌دهنده خاک) با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت خاک به روش توزین، اسیدیته به روش پتانسیومتری و از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، کربن آلی به روش والکلی‌بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (۱۲). به‌منظور اندازه‌گیری مشخصه‌های میکروبی، نمونه‌های تازه خاک مورد استفاده قرار گرفت.

میزان تنفس میکروبی خاک با استفاده از روش بطری بسته مورد سنجش قرار گرفت. به این منظور، ۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسیدسدیم به درون ظروف شیشه‌ای دارای درپوش ریخته و مقدار ۲۵-۲۰ گرم خاک مرطوب، داخل کیسه‌های نایلونی، در درون ظروف شیشه‌ای قرار داده شد. در قسمت بالای کیسه، منافذ ریز ایجاد و در کنار محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه انکوباسیون گردید. برای تهیه نمونه شاهد، همان روش بدون خاک اجرا شد. پس از پایان انکوباسیون، مقدار ۲ سی‌سی کلرید باریم نیم مولار به نمونه‌ها اضافه و ۴-۳ قطره محلول شناساگر (مقدار ۰/۱ گرم فنل‌فتالئین را در اتانول ۶۰ درصد حل نموده و در بالون حجمی با اتانول به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) افزوده شد و با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار تیتر شدند. در نهایت میزان تنفس میکروبی خاک بر مبنای میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن متصاعد شده از گرم خاک در روز محاسبه گردید (۲).

به‌منظور اندازه‌گیری زیتوده میکروبی کربن، به روش تدخین- استخراج، ابتدا خاک مرطوب با کلروفرم به‌مدت ۲۴ ساعت در درون دسیکاتور تدخین شد. سپس خاک تدخین شده، با محلول عصاره‌گیر سولفات پتاسیم نیم مولار (۲۰ میلی‌لیتر) به‌مدت ۳۰ دقیقه شیک و عصاره‌گیری شد. همین کار با خاک شاهد (تدخین نشده) هم انجام شد. مقدار ۴ میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده برداشته و به درون لوله‌های هضم انتقال داده شد. سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر پتاسیم دی‌کرومات و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به این محلول اضافه شد. پس از آن ۳ قطره (۰/۳میلی‌لیتر) از محلول شناساگر (۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر و یک گرم دی‌فنیل آمین را مخلوط نموده و به آرامی ۲۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد) افزوده شد و در نهایت با استفاده از

فروآمونیوم سولفات، تیتراسیون نمونه‌ها صورت گرفت. با توجه به تفاوت کربن آلی استخراج شده از خاک نمونه‌ها (تدخین‌شده) و خاک شاهد (تدخین‌نشده) مقدار کربن زیتوده میکروبی کربن بر مبنای میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (۲). جهت اندازه‌گیری زیتوده میکروبی نیتروژن خاک، به روش تدخین- استخراج، نمونه‌های خاک پس از تدخین با کلروفرم، با محلول سولفات پتاسیم عصاره‌گیری و عصاره‌ها تا موقع اندازه‌گیری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در نهایت مقدار نیتروژن زیتوده میکروبی به روش ایندوفنل بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (۲). مشخصه ضریب متابولیکی، از تقسیم دی‌اکسیدکربن (میلی‌گرم کربن) آزاد شده در هر ساعت از هر گرم خاک (در تنفس میکروبی) بر زیتوده میکروبی کربن خاک (گرم) محاسبه (۲) و بر حسب میکروگرم دی‌اکسیدکربن بر میلی‌گرم زیتوده میکروبی کربن در روز گزارش گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شد. سپس به‌منظور تجزیه و تحلیل و همچنین مقایسه داده‌ها، ابتدا نرمالیته آن‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون تست گردید. به‌منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک در ارتباط با توده‌های جنگلی مختلف و عمق‌های خاک، از تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسه چندگانه میانگین به‌کار گرفته شد. همه تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۰ انجام پذیرفت. همچنین به‌منظور انجام آنالیز چندمتغیره و تعیین ارتباط مقادیر مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی با شاخص‌های میکروبی خاک در پوشش‌های جنگلی مورد مطالعه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصله در برنامه PC-ORD تحت Windows مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مقادیر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بیانگر وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار در ارتباط با پوشش‌های جنگلی (به‌جز مشخصه وزن مخصوص ظاهری) و عمق‌های خاک (بجز مشخصه‌های شن، سیلت و pH) می‌باشد (جدول‌های ۱ و ۲). مطابق با نتایج، مقادیر مشخصه‌های میکروبی خاک تفاوت‌های آماری معنی‌داری را در ارتباط با پوشش‌های جنگلی و عمق‌های خاک (به‌جز مشخصه‌های تنفس میکروبی و نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن) نشان داده‌اند (جدول ۱). بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های تنفس میکروبی، زیتوده میکروبی کربن (به‌ویژه در عمق بالا)، نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن و ضریب متابولیکی (به‌ویژه در عمق بالا) به پوشش جنگلی کاج سیاه تعلق داشته، در حالی‌که کم‌ترین مقادیر این مشخصه‌ها در توده جنگلی توسکا مشاهده شد (شکل ۱).

مطابق با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، بیش‌ترین مقادیر مشخصه‌های میکروبی خاک (به‌جز پارامتر زیتوده میکروبی نیتروژن) به پوشش‌های جنگلی کاج سیاه، زربین و بلندمازو اختصاص داشته که در ارتباط مستقیم با مقادیر کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، محتوی رطوبت و سیلت خاک می‌باشند. در حالی‌که مشخصه‌های نیتروژن کل، رس، وزن مخصوص ظاهری و شن منجربه تجمع بیش‌تر زیتوده میکروبی نیتروژن در خاک تحت پوشش‌های جنگلی توسکا، ون و پلت شده‌اند (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک در پوشش‌های جنگلی و عمق‌های مختلف.

Table 1. ANOVA for soil physical, chemical and microbial characters in different forest covers and depths.

مشخصه (Character)	منبع تغییرات (Variables source)	مقدار F (F value)	میزان معنی‌داری (Significant)	مشخصه (Character)	منبع تغییرات (Variables source)	مقدار F (F value)	میزان معنی‌داری (Significant)
	پوشش جنگلی (Forest cover)	0.979	0.434		پوشش جنگلی (Forest cover)	37.806	0.000
وزن مخصوص ظاهری (Bulk density)	عمق (depth)	18.318	0.000	نیتروژن کل (Total nitrogen)	عمق (depth)	34.890	0.000
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.139	0.983		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.226	0.950
	پوشش جنگلی (Forest cover)	2.568	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	14.720	0.000
شن (Sand)	عمق (depth)	3.281	0.073	نسبت کربن به نیتروژن (C/N ratio)	عمق (depth)	4.145	0.044
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.495	0.780		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	1.311	0.265
	پوشش جنگلی (Forest cover)	11.522	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	63.631	0.000
سیلت (Silt)	عمق (depth)	0.732	0.394	تنفس میکربی (Microbial respiration)	عمق (depth)	3.103	0.081
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.986	0.430		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.717	0.612
	پوشش جنگلی (Forest cover)	9.120	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	8.114	0.000
رس (Clay)	عمق (depth)	4.592	0.028	زیتوده میکربی کربن (Carbon microbial biomass)	عمق (depth)	52.902	0.000
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.440	0.819		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	1.255	0.289

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

مشخصه (Character)	منبع تغییرات (Variables source)	مقدار F (F value)	میزان معنی‌داری (Significant)	مشخصه (Character)	منبع تغییرات (Variables source)	مقدار F (F value)	میزان معنی‌داری (Significant)
	پوشش جنگلی (Forest cover)	24.703	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	7.474	0.000
رطوبت (Moisture)	عمق (depth)	15.758	0.000	زیتوده میکربی نیتروژن (Nitrogen microbial biomass)	عمق (depth)	36.926	0.000
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	2.487	0.036		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.505	0.772
	پوشش جنگلی (Forest cover)	43.173	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	11.096	0.000
pH	عمق (depth)	2.145	0.146	نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن (CMB/NMB ratio)	عمق (depth)	1.243	0.267
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.510	0.678		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.976	0.436
	پوشش جنگلی (Forest cover)	20.435	0.000		پوشش جنگلی (Forest cover)	18.841	0.000
کربن آلی (Organic carbon)	عمق (depth)	39.375	0.000	ضریب متابولیکی (Metabolic quotient)	عمق (depth)	12.807	0.001
	پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.438	0.821		پوشش جنگلی × عمق (Forest cover × depth)	0.577	0.718

جدول ۲- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پوشش‌های جنگلی و عمق‌های مختلف.

Table 2. Mean (standard error) of soil physical and chemical characters in different forest covers and depths.

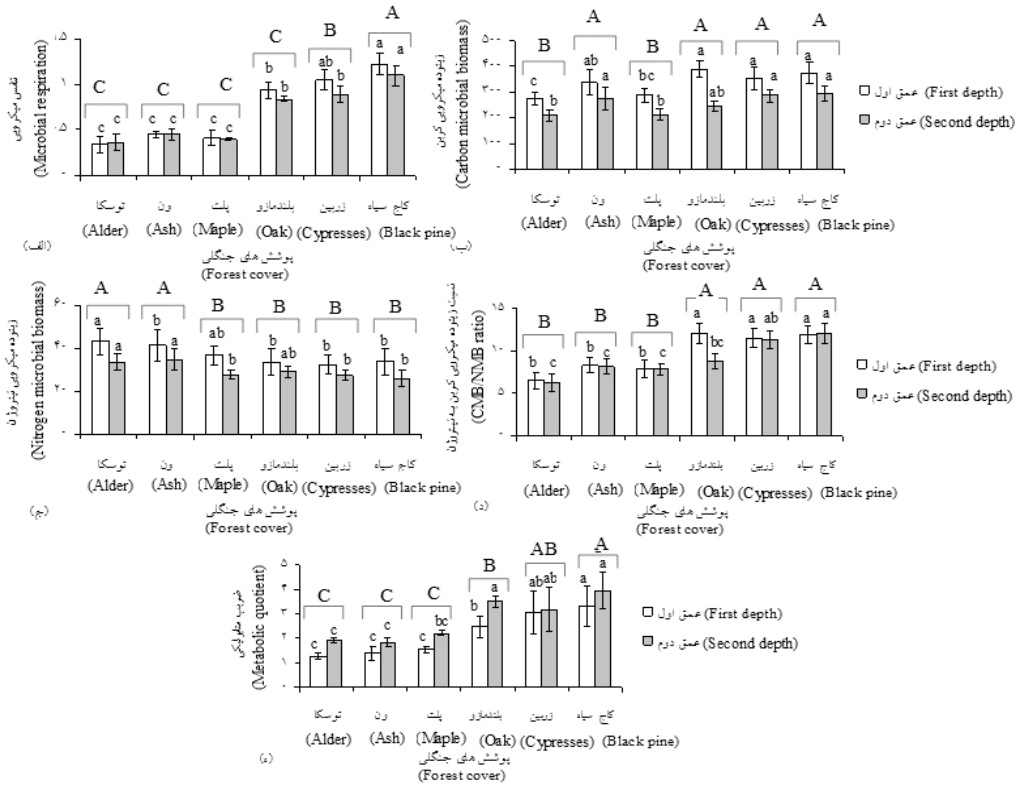
مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر)	توسکا	ون	پلت	بلندمازو	زربین	کاج سیاه
	Soil depth (cm)	Alder	Ash	Maple	Oak	Cypress	Black pine
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Bulk density (g/cm^3)	0-10	1.42 ± 0.08^{ns}	1.38 ± 0.08^{ns}	1.45 ± 0.04^{ns}	1.39 ± 0.07^{ns}	1.34 ± 0.05^{ns}	1.30 ± 0.03^{ns}
	10-20	1.64 ± 0.08^{ns}	1.59 ± 0.16^{ns}	1.59 ± 0.04^{ns}	1.64 ± 0.06^{ns}	1.50 ± 0.04^{ns}	1.50 ± 0.06^{ns}
	میانگین کل (Total mean)	1.53 ± 0.06^{NS}	1.49 ± 0.09^{NS}	1.52 ± 0.03^{NS}	1.51 ± 0.05^{NS}	1.42 ± 0.03^{NS}	1.40 ± 0.04^{NS}
شن (درصد) Sand (%)	0-10	30.60 ± 2.49^{ns}	40.20 ± 4.39^{ns}	32.80 ± 1.34^{ns}	31.90 ± 3.36^{ns}	32.40 ± 3.84^{ns}	28.80 ± 3.23^{ns}
	10-20	31.90 ± 3.08^{ns}	34.50 ± 4.40^{ns}	32.30 ± 4.34^{ns}	28.60 ± 4.87^{ns}	25.60 ± 3.72^{ns}	21.20 ± 2.50^{ns}
	میانگین کل (Total mean)	31.25 ± 1.93^{AB}	37.35 ± 3.09^{A}	32.55 ± 2.21^{AB}	30.25 ± 2.90^{AB}	29.00 ± 2.71^{B}	25.00 ± 2.17^{B}
سیلت (درصد) Silt (%)	0-10	32.20 ± 2.12^{bc}	25.00 ± 3.38^{c}	35.40 ± 1.98^{ab}	34.60 ± 1.71^{b}	$40.60=4.04^{ab}$	43.20 ± 2.67^{a}
	10-20	28.30 ± 2.70^{c}	29.50 ± 2.71^{c}	32.80 ± 2.87^{c}	36.60 ± 4.63^{bc}	$42.40=3.50^{ab}$	50.40 ± 2.16^{a}
	میانگین کل (Total mean)	30.30 ± 1.73^{CD}	27.25 ± 2.17^{D}	34.10 ± 1.72^{C}	$35.60\pm2.41B^{C}$	41.50 ± 2.62^{AB}	46.80 ± 1.86^{A}
رس (درصد) Clay (%)	0-10	37.10 ± 1.27^{a}	34.80 ± 1.87^{ab}	31.80 ± 1.71^{bc}	33.50 ± 2.43^{ab}	27.00 ± 1.30^{c}	28.00 ± 1.33^{c}
	10-20	39.80 ± 1.11^{a}	36.00 ± 2.02^{ab}	34.90 ± 2.78^{ab}	34.80 ± 2.22^{ab}	32.00 ± 0.73	28.40 ± 1.30^{c}
	میانگین کل (Total mean)	38.45 ± 0.90^{A}	35.40 ± 1.35^{AB}	33.35 ± 1.62^{B}	34.15 ± 1.61^{B}	29.50 ± 0.92^{C}	28.20 ± 0.90^{C}
رطوبت (درصد) Moisture (%)	0-10	30.17 ± 5.39^{ab}	23.41 ± 2.45^{ab}	21.62 ± 2.81^{b}	35.63 ± 2.02^{a}	36.08 ± 1.79^{a}	38.93 ± 1.31^{a}
	10-20	14.94 ± 2.56^{c}	17.09 ± 2.80^{c}	13.88 ± 1.66^{c}	29.82 ± 1.34^{b}	36.69 ± 1.82^{a}	38.38 ± 2.20^{a}
	میانگین کل (Total mean)	21.55 ± 3.39^{C}	20.25 ± 1.95^{C}	17.75 ± 1.73^{C}	32.73 ± 1.35	36.38 ± 1.24^{AB}	38.66 ± 1.25^{A}

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

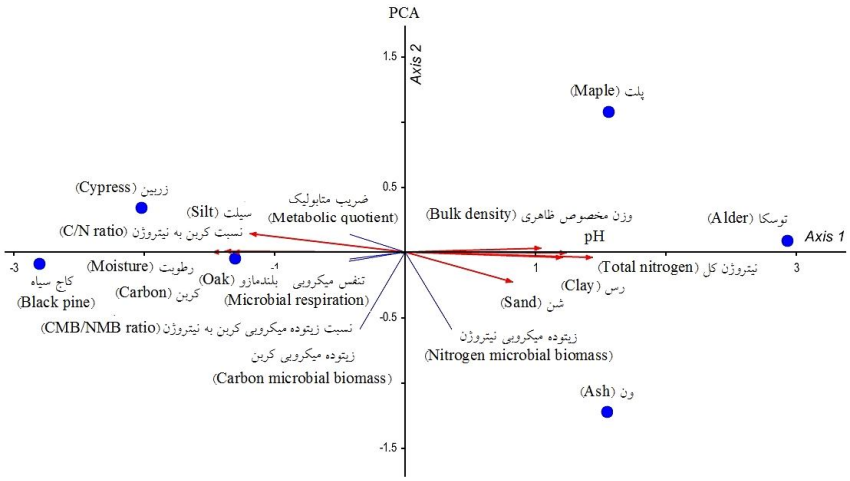
مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	توسکا Alder	ون Ash	پلت Maple	بلندمازو Oak	زربین Cypress	کاج سیاه Black pine
pH	0-10	7.10±0.02^{a}	6.96±0.09^{a}	6.80±0.12^{a}	6.45±0.09^{b}	6.38±0.10^{b}	5.72±0.15^{c}
	10-20	7.13±0.02^{a}	7.02±0.06^{a}	6.85±0.11^{ab}	6.54±0.08^{b}	6.68±0.13^{b}	5.74±0.15^{c}
	میانگین کل (Total mean)	7.11±0.01^{A}	6.99±0.05^{AB}	6.82±0.08^{B}	6.49±0.06^{C}	6.53±0.08^{C}	5.73±0.10^{D}
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	0-10	2.15±0.12^{c}	2.37±0.10^{c}	2.23±0.10^{c}	2.95±0.11^{b}	3.20±0.15^{ab}	3.56±0.33^{a}
	10-20	1.66±0.09^{b}	1.60±0.15^{b}	1.69±0.08^{b}	2.45±0.15^{a}	2.66±0.21^{a}	2.69±0.22^{a}
	میانگین کل (Total mean)	1.90±0.09^{C}	1.98±0.12^{C}	1.96±0.09^{C}	2.70±0.10^{B}	2.93±0.14^{AB}	3.12±0.22^{A}
نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	0-10	0.41±0.01^{a}	0.36±0.01^{ab}	0.32±0.01^{bc}	0.27±0.02^{cd}	0.23±0.02^{de}	0.18±0.00^{e}
	10-20	0.35±0.01^{A}	0.30±0.02^{a}	0.23±0.01^{b}	0.19±0.02^{bc}	0.17±0.02^{cd}	0.11±0.01^{d}
	میانگین کل (Total mean)	0.38±0.01^{A}	0.33±0.01^{B}	0.28±0.01^{C}	0.23±0.01^{D}	0.20±0.01^{D}	0.15±0.01^{E}
نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio	0-10	5.33±0.46^{c}	6.73±0.52^{c}	6.95±1.39^{c}	11.55±1.18^{b}	15.75±2.38^{ab}	19.92±2.56^{a}
	10-20	4.88±1.47^{c}	5.41±0.61^{c}	7.76±1.10^{c}	14.77±2.74^{bc}	24.78±6.79^{ab}	29.94±6.32^{a}
	میانگین کل (Total mean)	5.10±0.32^{C}	6.07±0.42^{C}	7.35±0.57^{BC}	13.16±1.50^{B}	20.24±3.65^{A}	24.93±3.51^{A}

حروف کوچک انگلیسی در داخل جدول بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار در عمق‌های مختلف (به‌صورت مجزا) خاک پوشش‌های جنگلی بوده و حروف بزرگ بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار (میانگین دو عمق) در پوشش‌های جنگلی مختلف می‌باشد.



شکل ۱- میانگین تنفس میکروبی ($mg\ CO_2\text{-}C\ g\ soil^{-1}\ day^{-1}$) (الف)، زیتوده میکروبی کربن ($mg\ kg^{-1}$) (ب)، زیتوده میکروبی نیتروژن ($mg\ kg^{-1}$) (ج)، نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن (د) و ضریب متابولیکی ($\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$) (ه) خاک به تفکیک عمق (حروف کوچک) و پوشش‌های جنگلی مختلف (حروف بزرگ).

Figure 1. Mean of soil microbial respiration ($mg\ CO_2\text{-}C\ g\ soil^{-1}\ day^{-1}$) (a), carbon microbial biomass ($mg\ kg^{-1}$) (b), nitrogen microbial biomass ($mg\ kg^{-1}$) (c), carbon to nitrogen microbial biomass ratio (d), metabolic quotient ($\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$) (e) in different depth (small letters) and forest covers (large letters).



شکل ۲- توزیع مکانی پوشش‌های جنگلی، مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی خاک در تحلیل PCA (فاکتور اول: مقدار ویژه = ٤/٤٤، درصد واریانس متناظر با عامل = ۸۸/۹٤، درصد واریانس تجمعی = ۸۸/۹٤ و فاکتور دوم: مقدار ویژه = ۰/٤٥، درصد واریانس متناظر با عامل = ۹/۰۳، درصد واریانس تجمعی = ۹۷/۹۷).

Figure 2. Spatial pattern of forest covers, soil physic-chemical and microbial characters in PCA (PC1: Eigen value = 4.44, percent of variance = 88.94, cumulative percent of variance = 88.94; PC2: Eigen value = 0.45, percent of variance = 9.03, cumulative percent of variance = 97.97).

تنفس خاک منعکس‌کننده وضعیت فیزیولوژیکی میکروبی خاک است (۴۶). در تفسیر نتایج آزمایشگاهی اغلب تنفس میکروبی بیش‌تر را معرف خاک با کیفیت بالا می‌دانند، زیرا هر چقدر تنفس میکروبی بیش‌تر باشد فعالیت بالقوه میکروبی بیش‌تر خواهد بود (۱۴). از علل مؤثر بر تنفس میکروبی بالای خاک در اکوسیستم‌های جنگلی، مناسب بودن شرایط برای فعالیت میکروبی از جمله عرضه کافی کربن و وجود لایه لاشبرگ مورد استفاده ریزجانداران خاک می‌باشد (۱۵). مطابق با نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین میزان تنفس میکروبی خاک در پوشش‌های جنگلی کاج سیاه، زربین و بلندمازو مشاهده شد که می‌تواند در ارتباط با درصد بالای کربن آلی خاک (۸) نسبت به سایر توده‌های مورد مطالعه باشد. علاوه بر میزان کربن آلی، محتوی رطوبت خاک نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن خاک بیان شود (۳۵). در واقع، در خاک‌هایی با مقدار رطوبت کم‌تر، میزان فعالیت‌های میکروبی کاهش پیدا می‌کند (۲۴). با افزایش تدریجی رطوبت، شرایط برای فعالیت بسیاری از ریزجانداران فراهم شده و منجر به افزایش فعالیت میکروبی و تنفس بیش‌تر آن‌ها در خاک می‌گردد که همین امر باعث افزایش تولید دی‌اکسیدکربن می‌شود (۳۳، ۳۶). در این پژوهش، بیش‌ترین مقادیر رطوبت خاک در توده‌های جنگلی کاج سیاه، زربین و بلندمازو مشاهده شد که دارای بالاترین مقدار تنفس میکروبی نیز بوده‌اند. بنابراین خاک‌های مرطوب (بین کاملاً خشک و کاملاً اشباع) شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت انواع ریزجانداران در این توده‌های جنگلی فراهم می‌آورد (۲۹) که منجربه تصاعد بیش‌تر دی‌اکسیدکربن از خاک می‌شود. در هر حال مطالعات متعددی بر تغییرپذیر بودن مشخصه تنفس میکروبی خاک تحت پوشش‌های مختلف اراضی اشاره داشته‌اند (۲۹، ۴۴)، که در این مطالعه نیز با توجه به‌میزان کربن آلی، رطوبت و نسبت کربن به نیتروژن بالاتر (به‌ویژه در لایه بالایی خاک) در توده‌های جنگلی کاج سیاه، زربین و بلندمازو بیش‌ترین مقادیر تنفس میکروبی خاک به این توده‌ها اختصاص داشته است (جدول ۲ و شکل ۱).

تغییر نوع پوشش اراضی اثر قابل‌توجهی بر زیتوده میکروبی کربن دارد (۱۱، ۲۸) و میزان آن‌ها تابعی از میزان کربن آلی خاک بوده و رابطه مستقیمی با آن دارد (۶). بر همین اساس، بالاترین مقادیر این مشخصه در توده‌های کاج سیاه، زربین، بلندمازو و همچنین ون مشاهده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین میزان کربن زیتوده میکروبی در بخش‌های سطحی خاک تجمع می‌یابند و با افزایش عمق به‌دلیل کاهش کربن خاک کاهش می‌یابد (۱۹). مطابق با نتایج مطالعه لیو و همکاران (۲۰۰۷)، مقدار رطوبت خاک عامل محدودکننده‌ای برای فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بوده و در مناطقی با محتوی رطوبت پایین میزان فعالیت زیستی خاک کاهش یافته و زیتوده میکروبی کربن به حداقل می‌رسد (۲۰). در همین راستا پژوهش‌های متعددی (۹، ۲۰، ۳۲) اذعان داشته‌اند که با فراهمی رطوبت و مقدار مناسب کربن فعالیت میکروب‌های خاک افزایش یافته و همین امر باعث تجمع بیش‌تر زیتوده میکروبی کربن خاک می‌گردد. در این پژوهش نیز تجمع بیش‌تر کربن آلی و همچین رطوبت خاک در توده‌های کاج سیاه، زربین، بلندمازو و همچنین ون منجر به ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروب‌ها و افزایش زیتوده میکروبی خاک شده‌اند. همچنین وجود وزن مخصوص ظاهری کم‌تر (۱۳) و pH اسیدی‌تر (۴۵) خاک در توده‌های مورد اشاره در افزایش میزان زیتوده میکروبی کربن خاک نیز موثر بوده‌اند (شکل ۲).

بررسی میزان زیتوده میکروبی نیتروژن بیانگر آن است که در خاک بخش تحتانی گونه توسکاییلاقی و ون با افزایش میزان نیتروژن، زیتوده میکروبی نیتروژن نیز افزایش یافته است (جدول ۲ و شکل ۱). نوربخش و همکاران (۲۰۰۲) اشاره داشتند که میزان زیتوده میکروبی نیتروژن به نیتروژن آلی خاک وابسته است و با توجه به این‌که نیتروژن آلی خاک از نیتروژن کل خاک نشأت می‌گیرد، با افزایش میزان نیتروژن کل خاک میزان زیتوده میکروبی نیتروژن نیز افزایش پیدا کرده است (۲۶). در همین راستا، نورتون و همکاران (۲۰۰۳) به افزایش میزان زیتوده میکروبی نیتروژن خاک تحت گونه‌های غنی از ازت اشاره داشته‌اند (۲۷). کاهش زیتوده میکروبی نیتروژن با افزایش عمق به‌دلیل فعالیت و جمعیت بیش‌تر ریزجانداران در لایه سطحی خاک دور از انتظار نیست (۳۴). نتایج این پژوهش بیانگر آن است که نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن هم‌راستا با تنفس میکروبی، زیتوده میکروبی کربن و تحت‌تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک افزایش و یا کاهش می‌یابد. بر همین اساس، بیش‌ترین میزان نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن خاک در پوشش‌های جنگلی زربین، کاج سیاه و بلندمازو مشاهده گردید که دارای بالاترین میزان کربن آلی (۱۵)، رطوبت (۲۴) و نسبت کربن به نیتروژن (۱۹) به‌ویژه در لایه بالایی خاک بوده‌اند.

ضریب متابولیکی نشان‌دهنده مقدار کربن متصاعدشده (تنفس پایه) از هر واحد کربن زیست‌توده میکروبی در واحد زمان است (۳۰) که در این پژوهش مقدار این ضریب هم راستا با افزایش کربن آلی، رطوبت خاک، نسبت کربن به نیتروژن و درصد سیلت افزایش می‌یابد. بالا بودن این ضریب در هر دو عمق خاک تحت پوشش کاج سیاه بیانگر آن است که کربن خاک بیش‌تر صرف تولید انرژی شده است در حالی‌که پایین بودن این ضریب در خاک تحتانی گونه‌های توسکاییلاقی، ون و پلت نشان می‌دهد که کربن خاک بیش‌تر صرف رشد میکروبی گردیده است (۲۵).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که نوع گونه‌های درختی کاشته شده در عرصه‌های خالی از پوشش، باعث ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در مشخصه‌های خاک، به‌ویژه پارامترهای میکروبی می‌گردد. بالاترین مقادیر مشخصه‌های تنفس میکروبی، زیتوده میکروبی کربن، نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن و ضریب متابولیکی به پوشش جنگلی کاج سیاه اختصاص داشته در حالی‌که بالاترین مقدار زیتوده میکروبی نیتروژن خاک در توده جنگلی توسکاییلاقی مشاهده شد. با توجه به این نکته که منابع اصلی گازهای گلخانه‌ای که در مبحث گرمایش جهانی مطرح می‌شود سه گاز دی‌اکسیدکربن، متان و نیتروز اکسید هستند، بنابراین منابع تولید این گاز متأثر از مشخصه‌های میکروبی خاک می‌باشند. در همین راستا مشخصه‌های تنفس میکربی، زیتوده میکروبی کربن، نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن و ضریب متابولیکی در ارتباط مستقیم با تولید گازهای دی‌اکسیدکربن و متان خواهند بود در حالی‌که میزان تولید نیتروزاکسید به‌طور مستقیم به‌میزان زیتوده میکروبی نیتروژن ارتباط خواهد داشت. بنابراین در انتخاب نوع گونه برای جنگل‌کاری، در راستای کاهش اثر تغییرات اقلیمی با بهبود شاخص‌های میکروبی، به کیفیت و سلامت خاک در منطقه باید توجه خاصی شود.

منابع

1.Aghajani, L. 2009. Studying of herbal species diversity and understory regeneration in native and non-native afforestations (case study: Chi-bagh district of Gaemshahr). M.Sc. thesis of Forestry, University of Agriculture and Natural Resources Sciences of Sari, 103p. (In Persian)

2.Ali Asgharzad, N. 2010. Laboratory methods of soil biology. Tabriz University Publication, 522p. (In Persian)

3.Antunesa, S.C., Pereiraa, R., Sousab, J.P., Santosa, M.C., and Gonçalves, F. 2008. Spatial and temporal distribution of litter arthropods in different vegetation covers of PortoSanto Island (Madeira Archipelago, Portugal). Europ. J. Soil Biol. 44: 45-56.

4.Asadian, M., Hojjati, S.M., Pormajidian, M.R., and Fallah, A. 2013. The effect of different land uses on soil quality index in Alandan forests of Sari. Natural Geoghraphical Researches. 45: 65-76. (In Persian)

5.Bakhshipoor, R., Ramzanpoor, H., and Lashkar Bloky, A. 2012. Studying effect of pine and polplus afforestations on some of soil cahracters. Iran. J. For. 4: 321-332. (In Persian)

6.Beheshti Alagha, A., Raisi, F., and Golchin, A. 2010. Effect of land uses of soil biochemical and microbiological properties. Soil Water J. 25: 562-548. (In Persian)

7.Christiansen, J.R., Vesterdal, L., and Gumdersen, P. 2012. Nitrous oxide and methane exchange in two small temperate forest catchments-effects of hydrological gradients and implications for global warming potentials of forest soils. Biogeochemistry. 107: 437-454.

8.Dijkstra, F.A., West, J.B., Hobbie, S.E., and Reich, P.B. 2009. Antagonistic effects of species on C respiration and net N mineralization in soils from mixed coniferous plantation. Forest Ecology and Management. 257: 1112-1118.

9.Franzluebbers, K., Franzluebbers, A.J., and Jawson, M.D. 2002. Environmental controls on soil and whole-ecosystem respiration from a tallgrass prairie. Soil Sci. Soc. Amer. J. 66: 254-262.

10.Fukuzawa, K., Shibata, H., Takagi, K., Satoh, F., Koike, T., and Sasa, K. 2013. Temporal variation in fine-root biomass, production and mortality in a cool temperate forest covered with dense understory vegetation in northern Japan. Forest Ecology and Management. 310: 700-710.

11.Gamboa, A., and Galicia, L. 2012. Land-use/cover change effects and carbon controls on volcanic soil profiles in highland temperate forests. Geoderma. 170: 390-402.

12.Ghazanshahi, J. 2006. Soil and plant analysis. Hooma publication, 272p. (In Persian)

13.Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. J. Environ. Biol. 30: 825-830.

14.Iqbal, J., Ronggui, H., Lijun, D., Lan, L., Shan, L., Tao, C., and Leilei, R. 2008. Differences in soil CO_2 flux between different land use types in mid-subtropical China. Soil Biology and Biochemistry. 40: 2324-2333.

15.Kara, O., and Bolat, I. 2007. The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Barton Province. Turk. J. Agric. For. 32: 281-288.

16.Kooch, Y., and Moghimian, N. 2015. The effect of forest degradation and land use changes on soil ecophysiology indices of carbon and nitrogen. Iran. J. For. 7: 243-256. (In Persian)

17.Kooch, Y., Hosseini, S.M., Zaccone, C., Jalilvand, H., and Hojjati, S.M. 2012. Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: the Darab Kola forest (North of Iran) case study. J. Environ. Monitor. 14: 2438-2446.

18.Kooch, Y., Mollaei Darabi, S., and Hosseini, S.M. 2015. The effects of pits and mounds following windthrow events on soil features and greenhouse gas fluxes in a temperate forest. Pedosphere. 25: 1-13.

19.Kooijman, A.M., and Smit, A. 2009. Paradoxical differences in N–dynamics between Luxembourg soils: litter quality or parent material? Europ. J. For. Res. 128: 555-565.

20.Liu, W., Xu, W., Han, Y., Wang, C., and Wan, S. 2007. Responses of microbial biomass and respiration of soil to topography, burning, and nitrogen fertilization in a temperate steppe. Biology and Fertility of Soils. 44: 259-268.

21.Liu, W., Xu, W., Han, Y., Wang, C., and Wan, S. 2007. Responses of microbial biomass and respiration of soil to topography, burning and nitrogen fertilization in a temperate steppe. Biology and Fertility of Soils. 44: 259-268.
22.Luan, J., Xiang, C., Liu, S.L.Z., Gong, Y., and Zhu, X. 2010. Assessments of the impacts of Chinese fir plantation and natural regenerated forest on soil organic matter quality at Longmen mountain, Sichuan, China. Geoderma. 156: 228-236.
23.Meyfroidt, P., Phuong, V.T., and Anh, H.V. 2013. Trajectories of deforestation, coffee expansion and displacement of shifting cultivation in the Central Highlands of Vietnam. Global Environmental Change. 23: 1187-1198.
24.Moldrup, P., Olsen, T., Komatsu, T., Schjønning, P., and Rolston, D.E. 2001. Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65: 613-623.
25.Moscatelli, M.C., Tizio, A.D., Marinari, S., and Grego, S. 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research. 97: 51-59.
26.Norbakhsh, F., Moneral, C.M., Emtiazy, G., and Dinel, H. 2002. Asparagines activity in some soils of central Iran. Arid Land Management. 16: 377-384.
27.Norton, B.J., Sandor, J.A., and White, C.S. 2003. Hill slope soils and organic matter dynamics within native American agro ecosystem of the Colorado Plateau. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67: 225-234.
28.Nunes, A., Figueiredo, A., and Almeida, A.C. 2012.The effects of farmland abandonment and plant succession on soil properties and erosion processes: a study case in central of Portugal. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n.º 2 (Dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Pág. 165 a 190.
29.Peng, Y., and Thomas, S.C. 2006. Soil CO_2 efflux in uneven-aged managed forests: temporal patterns following harvest and effects of edaphic Heterogeneity. Plant and Soil. 289: 253-264.
30.Raiesi, F., and Asadi, E. 2006. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. Biology and Fertility of Soils. 43: 76-82.
31.Ross, D.J., Tate, K.R., Scott, N.A., Wilde, R.H., Rodda, N.J., and Townsend, J.A. 2002. Afforestation of pasturess with Pinus radiata influences soil carbon and nitrogen pools and mineralization and microbial properties. Austr. J. Soil Res. 40: 303-318.
32.Saiz, G., Byrne, K.A., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Blujdea, V., and Farrell, E.P. 2006. Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. Global Change Biology. 12: 1007-1020.
33.Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Brenes, T., O'Brien, J.J., and Mackensen, J. 2003. Spatial and temporal variation in soil CO_2 effluxinanold-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. Biogeochemistry. 64: 111-128.
34.Singh, J.S., Singh, D.P., and Kashyap, A.K. 2009. A comparative account of the microbial biomass-N and N-mineralization of soils under natural forest, grassland and crop field from dry tropical region, India. Plant, Soil and Environt. 55: 223-230.
35.Sjogersten, S., van der Wal, R., and Woodin, S.J. 2006. Small-scale hydrological variation determines landscape CO_2 fluxes in the high Arctic. Biogeochemistry. 80: 205-216.
36.Sotta, E.D., Veldkamp, E., Guimaraes, B.R., Paixao, R.K., Ruivo, M.L.P., and Almeida, S.S. 2006. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO_2 efflux in an eastern Amazonian rainforest, Caxiuana, Brazil. Forest Ecology and Management. 237: 57-64.
37.Sun, G., and Lockaby, B.G. 2013. Water quantity and quality at the urban-rural interface. In: Laband, D.N., Lockaby, B.G., Zipperer, W. (Eds.), Urban-Rural Interfaces: Linking People and Nature. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 165p.
38.Tadesse, G., Zavaleta, E., Shennan, C., Carol, R., and Simmons, M.F. 2014. Prospects for forest-based ecosystem Services in forest-coffee mosaics as forest loss continues in southwestern Ethiopia. Applied Geography. 50: 144-151.

39. Tengberg, A., Fredhoima, S., Ellisona, I., Knez, I., Saltzmana, K., and Wetterberg, O. 2012. Cultural ecosystem Services provided by landscapes: assessment of heritage values and identity. Ecosystem Services. 2: 14-26.
40. Ullah, S., Frasier, R., King, L., Picotte-Anderson, N.P., and Moore, T.R. 2008. Potential fluxes of N_2O and CH_4 from soils of three forest types in Eastern Canada. Soil Biology and Biochemistry. 40: 986-994.
41. Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O., and Gundersen, P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. Forest Ecology and Management. 255: 35-48.
42. Wang, W., Wei, X., Liao, W., Blanco, J.A., Liu, Y., Zhang, L., and Guo, S. 2013. Evaluation of the effects afforests management strategies on carbon sequestration in evergreen broad-leaved (*Phoebe bournei*) plantation forests using FORECAST ecosystem model. Forest Ecology and Management. 300: 21-32.
43. Wen, L., Lei, P., Xiang, W., Yan, W., and Liu, S. 2014. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. Forest Ecology and Management. 328: 150-158.
44. Xu, M., and Qi, Y. 2001. Soil - surface CO_2 efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. Global Change Biology. 7: 667-677.
45. Yadava, R. 2012. Soil organic carbon and soil microbial biomass as affected by restoration measures after 26 years of restoration in mined areas of Doon Valley. Inter. J. Environ. Sci. 2: 1380-1385.
46. Yuan, Z.Y., Chen, F.S., Zeng, D.H., Zhao, Q., and Chen, G.S. 2008. Soil inorganic nitrogen and microbial biomass carbon and nitrogen under pine plantations in Zhanggutai sandy soil. Pedosphere. 18: 775-784.
47. Yuksek, T. 2013. The restoration effect of blank locust (*Robinia pseudoacasia* L) plantation on surface soil properties and carbon sequestration on lower hill slopes in the semi-humid region of Crouch Drainage Basin in turkey. Catena. 90: 18-25.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(2), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

The effects of broad and needle-leaved forest covers on soil microbial indices

***Y. Kooch[1] and M.K. Parsapoor[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Forestry, Tarbiat Modares University,
[2]Ph.D. Student, Dept. of Forestry, Tarbiat Modares University
Received: 07/18/2015; Accepted: 10/28/2015

Abstract
Background and Objectives: Nowadays, the increasing of greenhouse gases, especially carbon dioxide, methane and nitrous oxide and also climate change phenomena is obvious for whole of peoples. Findings indicated that the changes of these gases are strongly effected by variability of soil microbial indices and afforestation with different species, as a management strategy, has significant effects on these indices. Present research was carried out for studying the effect of broad-leaved (alnus, ash, maple and oak) and needle-leaved (cupressus and pine) forest covers on variability of soil microbial indices.
Materials and Methods: Soil sampls were excavated in ten points from 0-10 and 10-20 cm depths, resulting 20 samples, for each forest covers located in Wood and Paper Company of Mazandaran. Soil bulk density, texture, moisture, pH, organic carbon, total nitrogen and microbial indices (microbial respiration, carbon and nitrogen microbial biomass, metabolic quotient) were measured and calculated at the laboratory.
Results: Analysis of variance results for soil physic-chemical properties showed significant statistical differences related to forest covers (except for bulk density) and soil depths (except for sand, silt and pH). Greater amounts of soil microbial respiration (1.16 mg g^{-1}), carbon (334.68 mg kg^{-1}) and nitrogen (11.19 mg kg^{-1}) microbial biomass, carbon to nitrogen microbial biomass ratio (11.99) and metabolic quotient (3.64 µg CO_2-C mg^{-1} MBC day^{-1}) were found in pine forest, whereas the higher values of nitrogen microbial biomass (38.33 mg kg^{-1}) was recorded in Alnus forest stand. In accordance with PCA results, the most amounts of soil microbial properties (except for nitrogen microbial biomass) were belong to pine, cupressus and oak forest covers that are related to soil organic carbon, carbon to nitrogen ratio, water content and silt characters. Whereas, the properties of total nitrogen, bulk density and sand are due to more assemblage of nitrogen microbial biomass under alnus, ash and maple forest covers.
Conclusions: The findings of this study is indicating that the soil quality and health must be considered for selection of tree species in afforestation programs regarding to the reduction effect of climate changes with improving microbial indices.

Keywords: Forestation, Carbon, Nitrogen, Biochemical indices

* Corresponding Author; Email: yahya.kooch@modares.ac.ir