



"مقاله پژوهشی"

تغییرات تنفس میکروبی و پتانسیل نیتروفیکاسیون خاک در توده‌های جنگلی با ساختار متفاوت در استان کردستان

مازیار حیدری^۱، مریم تیموری^۲، مهدی پورهاشمی^۳ و طاهره علی زاده^۴

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران، (نویسنده مسوول: m.haidari@areeo.ac.ir)

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- کارشناس تحقیقات، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

صفحه: ۶۴ تا ۷۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنفس میکروبی و زی توده میکروبی کربن خاک دو شاخص مهم زیستی برای ارزیابی کیفیت رویشگاه هستند که می‌توان به کمک آن‌ها سلامت اکوسیستم را تعیین کرد. هدف از این پژوهش بررسی تغییر فعالیت‌های میکروبی خاک در توده‌های جنگلی با ساختار متفاوت در استان کردستان است.

مواد و روش‌ها: چهار قطعه نمونه یک هکتاری مربعی شکل با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر در شهرستان‌های بانه (دو قطعه نمونه)، مریوان و سروآباد انتخاب شدند و پارامترهای کمی و ساختاری جنگل در این توده‌ها برداشت شد. برای بررسی تغییرات فعالیت‌های میکروبی خاک در هر قطعه نمونه، در مردادماه سال ۱۳۹۸، ۷ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی متری برداشت شد (در مجموع، ۲۸ نمونه). در این پژوهش فعالیت‌های میکروبی شامل تنفس پایه، تنفس برانگیخته، پتانسیل نیتروفیکاسیون و زی توده میکروبی کربن در چهار قطعه نمونه مورد پژوهش مقایسه شدند. از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و دانکن برای بررسی معنی دار بودن اختلاف مشخصه‌های میکروبی خاک بین چهار منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین پارامترهای تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زی توده میکروبی کربن خاک بین چهار توده مورد مطالعه اختلاف معنی دار وجود داشت، اما از نظر پتانسیل نیتروفیکاسیون اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین، برای پارامترهای تنفس پایه، تنفس برانگیخته، پتانسیل نیتروفیکاسیون و زی توده میکروبی کربن به ترتیب رویشگاه‌های بلوه با ۲/۴۵ (میلی گرم دی اکسید کربن در هر گرم وزن خشک خاک)، رویشگاه بلوه با ۴۸/۲۱ (میلی گرم دی اکسید کربن در ۱۰۰ گرم وزن خشک خاک)، رویشگاه دوله ناو با ۲۸۰/۹ (میکروگرم نیتروژن در هر گرم وزن خشک خاک) و رویشگاه سارکی با ۵/۳۵ (میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک) دارای بیشترین میانگین بودند. بنابراین از نظر پارامتر پتانسیل نیتروفیکاسیون رویشگاه دوله ناو (با ساختار شاخه‌زاد همسال کم‌قطر) دارای برتری بود و بیشترین مقادیر تنفس پایه و برانگیخته در رویشگاه بلوه (با ساختار شاخه‌زاد نامنظم دواشکوبه) مشاهده شد. **نتیجه‌گیری:** نتایج کلی نشان داد که ساختار جنگل بر مشخصه‌های میکروبی خاک (تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زی توده میکروبی کربن) تأثیر دارد. برای مدیریت پایدار جنگل پیشنهاد می‌شود که در پایش‌های دوره‌ای جنگل اقدام به بررسی فعالیت‌های میکروبی خاک شود و با توجه به تأثیر مثبت زی توده میکروبی کربن بر جنگل، در رویشگاه‌های سارکی و بلوه (که دارای کمترین میانگین دو پارامتر مذکور هستند) اقدام به احیاء و توسعه جنگل با گونه‌های بومی شود.

واژه‌های کلیدی: تنفس برانگیخته، تنفس پایه، زی توده میکروبی کربن، شاخه‌زاد جوان، شاخص‌های زیستی

مقدمه

خاک یکی از اجزای مهم بوم‌سامانه جنگل به‌شمار می‌رود و شناخت کیفیت خاک که یکی از شاخص‌های آن مشخصه‌های شیمیایی و فزاینده تغییرات آن است، می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای تحلیل سلامت بوم‌سامانه جنگل مورد استفاده قرار گیرد (۲۱). پیوستگی مدیریت پایدار از اراضی در گرو توجه به شاخص‌های کیفیت خاک است که در نهایت منجر به حفاظت از محیط‌زیست می‌شود. به همین دلیل ارزیابی جنبه‌های گوناگون کیفیت خاک که نسبت به اعمال شیوه‌های مختلف مدیریت اراضی از خود حساسیت نشان می‌دهند بسیار بااهمیت است (۱۹).

تنفس میکروبی یکی از مهم‌ترین عوامل کیفی خاک است (۲۸). از آنجایی که فرایندهای میکروبی در خاک اهمیت زیادی در انجام عمل‌کردهای صحیح خاک از جمله چرخه عناصر مختلف دارند، تمرکز و توجه زیادی به پایش مشخصه‌های میکروبی در برنامه‌های پایش بوم‌سامانه‌های زمینی از جمله جنگل شده است (۲۶). در برنامه‌های پایش به اندازه‌گیری برخی مشخصه‌های میکروبی مانند تنفس خاک،

زی توده میکروبی کربن، فعالیت آنزیم‌های خاک و پویایی نیتروژن خاک‌توجه ویژه‌ای شده است (۱۰، ۲۷). بنابراین، تنفس میکروبی و زی توده میکروبی کربن خاک دو شاخص مهم زیستی برای ارزیابی کیفیت رویشگاه هستند که می‌توان به کمک آن‌ها سلامت بوم‌سامانه و سرعت چرخش کربن در تیپ‌های جنگلی (تیپ تیب راش-ممرز در ناحیه رویشی هیرکانی) را تعیین کرد (۸). جنگل‌های زاگرس به‌عنوان گسترده‌ترین جنگل‌های کشور، ضامن بقا و پایداری آب و خاک کشور است (۲۲). این جنگل‌ها تولیدی و تجاری نبوده و ارزش اصلی آن‌ها براساس دیگر خدمات بوم‌سامانه‌ی (خدمات تنظیمی، فرهنگی و پشتیبانی) سنجیده می‌شود. عمده جنگل‌های استان کردستان در نیمه غربی استان واقع شده‌اند و ۳۷۳۰۰۰ هکتار از سطح استان را جنگل دربر می‌گیرند (۲) و به دلیل تنوع در بهره‌برداری‌های جوامع محلی، این جنگل‌ها دارای ساختارهای متنوعی هستند. مدیریت‌های مختلف جنگل علاوه بر تأثیر مستقیم بر خاک، به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق تغییر یا تخریب پوشش گیاهی بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر دارند (۱۸). بنابراین ساختار و تیپ جنگل

جنوبی، شاهد شمالی و زوال شمالی ثبت شد. در مقابل، روند توجیه‌پذیری برای تنفس میکروبی پایه مشاهده نشد. پتانسیل نیتریفیکاسیون نیز تحت تأثیر پدیده زوال قرار نگرفت. آملی کندوری و همکاران (۱) نشان دادند که در جنگل راش الندان (ساری) بین شاخص ساختاری رقابت با زی‌توده میکروبی نیتروژن همبستگی منفی معنی‌دار و با نسبت زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی نیتروژن همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده شد.

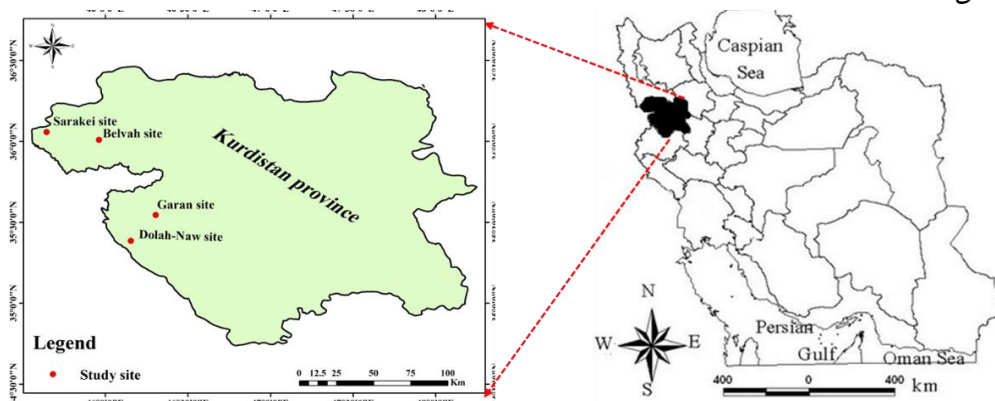
در منابع خارجی، پژوهش انجام‌شده توسط گری و همکاران (۷) در بررسی تأثیر بقایای گیاهی و مواد آلی خاک بر جمعیت میکروبی خاک نشان داد که دو عامل فوق بر تنوع عملکردی میکروارگانیسم‌ها مؤثر و فعالیت آنزیمی خاک که ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها است مؤثرند. ماسن و همکاران (۱۳) با پایش دوساله در آلمان پس از تک کردن جنگل، نشان دادند که در فعالیت میکروبی خاک تغییری ایجاد نشد، اما تغییر در ترکیب جمعیت میکروبی مشاهده شد. گوموریو و همکاران (۶) نشان دادند که در نواحی جنگلی اسلوونی، تغییر در جنگل‌های طبیعی باعث تغییر در میزان زی‌توده میکروبی کربن و نیز وضعیت تغذیه‌ای عناصر در خاک می‌شود و تأکید شد که تغییر در ساختارها جنگل باید با احتیاط بیشتری انجام شود. نتایج پژوهش مارگسین و همکاران (۱۶) در جنگل‌های تیرول ایتالیا در یک دوره زمانی ۱۳ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۳) نشان‌دهنده تأثیر سال پایش در برخی مشخصه‌های میکروبی اندازه‌گیری شده به‌استثنای نیتریفیکاسیون بود. به‌علاوه، تأثیر فصل منجر به افزایش تعداد باکتری‌ها و نیز تنفس پایه خاک در بهار شد. کورتز و همکاران (۵) ثابت کردند که با استفاده از تغییر در پارامترهای میکروبی خاک می‌توان اثرات گونه‌های کاشته شده غیربومی را در یک ناحیه پایش کرد. ژو و همکاران (۳۱) نشان دادند که با تخریب جنگل‌ها، ترکیب جوامع میکروبی تغییر کرده و می‌توان با استفاده از تغییرات به‌وجود آمده در ترکیب جوامع میکروبی، روند و یا تخریب بهبود بوم‌سامانه‌های جنگلی را پیش‌بینی کرد.

از آنجا که پایداری طولانی‌مدت بوم‌سامانه‌های جنگلی وابسته به حفظ کیفیت خاک است، آگاهی از وضعیت خاک‌های مناطق جنگلی و بررسی آثار فعالیت‌های مختلف انجام‌شده بر مشخصه‌های خاک بسیار مهم بوده و در مدیریت جنگل مؤثر است. تخریب فزاینده جنگل‌های زاگرس سبب می‌شود که اهمیت حفظ، نگهداری و احیاء این جنگل‌های بارز بیشتر شود (۱۱). در استان کردستان، جنگل با ساختار متفاوت متعددی وجود دارد و مشخصه‌های ساختاری مانند پراکنش درختان در طبقات قطری و درصد تاج پوشش درختان از مهمترین مشخصه‌های ساختاری این جنگل‌ها هستند. براساس بررسی سوابق پژوهش، تا کنون در زمینه بررسی شاخص‌زیستی خاک و تأثیر ساختار جنگل بر این شاخص‌ها، در جنگل‌های استان کردستان پژوهشی انجام نشده است. آگاهی از تغییرهای فعالیت‌های میکروبی خاک در توده‌های جنگلی با ساختار متفاوت، می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار مدیران منابع طبیعی برای حفاظت از منابع طبیعی و رویشگاه زاگرس قرار می‌دهد، با توجه به اهمیت شاخص‌های

بر فعالیت‌های میکروبی خاک تأثیر دارد. درمورد بررسی فعالیت‌های میکروبی خاک مطالعاتی چند در داخل و خارج از کشور انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. سلیمانی و همکاران (۲۴) نشان دادند که در جنگل‌های شمال استان ایلام، تنفس میکروبی در قله و پای شیب بیشینه بود و به تدریج از قله به پایه شیب کاهش یافته و سپس به طرف انتهایی شیب افزایش نشان می‌داد. خالدیان و همکاران (۱۲) نشان دادند که تنفس میکروبی در شهر و مرتع به‌ترتیب ۲۶ و ۲۲ درصد کمتر از مقادیر آن در جنگل (در حوزه زیارت استان گلستان) است. حبشی (۸) نشان داد که بین مشخصه‌های تنفس میکروبی، زی‌توده میکروبی کربن و ماده آلی خاک در تیپ راش خالص با دیگر تیپ‌ها (در جنگل شصت کلاته) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. همچنین، کیفیت و سلامت خاک رویشگاه در تیپ راش-ممرز به واسطه همراهی ممرز حداکثر بود. حق‌وردی (۹) نشان داد که در پارک جنگلی چیتگر، بیشترین مقادیر زی‌توده میکروبی کربن (۵۱۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک توده جنگلی افاقیا مشاهده شد. بیشترین سطوح تنفس میکروبی، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن در رویشگاه‌های جنگل‌کاری شده پهن‌برگ و کمترین مقادیر آن‌ها در اراضی بایر و فاقد پوشش درختی مشاهده شد. بازگیر و همکاران (۳) نشان دادند که در منطقه ایذه، بیشترین زی‌توده میکروبی کربن (۷/۵۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در زیر تاج درختان توده‌های کنار (*Ziziphus spina-christi* L.) به‌دست آمد. همچنین، خاک زیر تاج، بیشترین مقدار تنفس پایه (۲۹/۱۹ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در هر کیلوگرم خاک) را داشت. کوچ و نقره (۱۳) نشان دادند که در جنگل‌های نوشهر، بیشترین مقادیر مشخصه‌های تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زی‌توده میکروبی کربن در رویشگاه جنگلی (در مقایسه با رویشگاه‌های مرتعی و زراعی) مشاهده شد. زرافشار و همکاران (۲۹) نشان دادند که در جنگل‌های استان فارس، مقادیر مشخصه‌های میکروبی خاک در توده جنگلی بلوط ایرانی حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از کاربری کشاورزی است. مظاهری و بازگیر (۱۷) نشان دادند که بیشترین مقدار کربن آلی و تنفس پایه در شهرستان ایوان (در مقایسه با منطقه گنجان) با کاربری جنگل به دست آمد و با افزایش عمق خاک، مقدار کربن آلی، تنفس پایه و تنفس برانگیخته در کاربری‌های مختلف کاهش یافت و بیشترین زی‌توده میکروبی کربن در کاربری جنگل در عمق سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متری) مشاهده شد. کوچ و همکاران (۱۴) نشان دادند که رامسر، بیشترین و کمترین مقدار تنفس میکروبی به‌ترتیب در عرصه مرتعی و جنگل طبیعی (۲۰/۰ و ۰/۱۰ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم در یک روز) مشاهده شد. بالاترین مقدار زی‌توده میکروبی کربن (۲۴۲/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به عرصه مرتعی و بالاترین مقدار مشخصه معدنی شدن نیتروژن خاک (۲۷/۰۳ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) به جنگل طبیعی تعلق داشت. زرافشار و همکاران (۳۰) نشان دادند که توده‌های خالص برودار (در کوهمره سرخی استان فارس)، بیشترین تنفس برانگیخته خاک به‌ترتیب در توده‌های شاهد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در قالب قطعه‌نمونه‌های یک هکتاری (در ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر) در شهرستان‌های بانه (دو قطعه‌نمونه)، مریوان (یک قطعه‌نمونه) و سروآباد (یک قطعه‌نمونه) در استان کردستان انتخاب شدند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت رویشگاه‌های مورد مطالعه در استان کردستان
Figure 1. Location of study area in Kurdistan province

برای اندازه‌گیری تنفس پایه خاک به ۲۰ گرم خاک مرطوب ۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از این مدت و به دنبال اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر کلرور باریم، هیدروکسید سدیم باقیمانده با استفاده از اسید کلریدریک تیترو شد و میزان تنفس براساس رابطه ۲ محاسبه شد.

(رابطه ۲)
$$(C-S) * 2.2 * 100 / Sw * \% d.m$$

در این فرمول میزان C اسید کلریدریک مصرفی برای نمونه‌های کنترل، S میزان اسید کلریدریک مصرفی برای نمونه‌های مورد آزمایش، SW وزن خشک و d.m میزان وزن خشک نمونه است.

برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته خاک، به نمونه‌ها ۵ گرم گلوکز اضافه شد و سپس مقدار دی اکسید کربن تولیدی پس از ۴ ساعت اندازه‌گیری شد و تنفس برانگیخته بر حسب $mg CO_2 100 g^{-1} dm. h^{-1}$ گزارش شد (۲۳). برای اندازه‌گیری پتانسیل نیتروفیکاسیون از روش ارایه شده توسط Berg and Rosswall (۴) استفاده شد. میزان نیتريت آزاد شده در ۵ گرم نمونه خاک پس از ۵ ساعت گرم‌خامه‌گذاری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده سوبسترای سولفات آمونیوم و پس از استخراج با کلرید پتاسیم در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 انجام شد و برای انجام تحلیل‌های آماری، ابتدا از آزمون کولموگروف-سمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. با توجه به اینکه داده‌ها نرمال بودند، از آزمون‌های تجزیه واریانس یک‌طرفه و دانکن به ترتیب برای بررسی معنی‌دار بودن و مقایسه میانگین شاخص‌های زیستی در چهار رویشگاه مورد مطالعه استفاده شد.

زیستی خاک در پایداری توده‌های جنگل، ضرورت دارد تاثیر ساختار جنگل بر شاخص‌های زیستی خاک در جنگل‌های استان بررسی گردد. مهم‌ترین فرضیه پژوهش، شامل: بین میانگین شاخص‌های زیستی در توده‌های جنگلی چهار رویشگاه مورد پژوهش اختلاف معنی‌دار وجود دارد، است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تغییرهای شاخص‌های زیستی خاک در توده‌های جنگلی با ساختار متفاوت جنگل در استان کردستان است.

ساختار جنگل در رویشگاه‌های مورد پژوهش، با استفاده از آماربرداری صد در صد قطعات نمونه یک هکتاری انجام شد و مشخصه‌های کمی درختان شامل قطر برابر سینه و قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن (دو قطر تاج) برداشت شدند و سطح تاج هر درخت محاسبه شد و با بدست آوردن مجموع سطح تاج درختان در قطعه نمونه، درصد تاج پوشش محاسبه شد. ساختار جنگل با استفاده پراکنش درختان در طبقات قطری ۵ سانتی‌متری (حد شمارش ۲/۵ سانتی‌متر) تعیین گردید.

در پژوهش پیش‌رو، برای بررسی فعالیت‌های میکروبی خاک در هر قطعه‌نمونه یک هکتاری، ۷ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در هفته اول مردادماه برداشت شد. برای این منظور، هر قطعه‌نمونه به ۶ قسمت (زیرقطعه‌نمونه) مساوی تقسیم شد و از مرکز هر زیرقطعه‌نمونه یک نمونه خاک و نیز یک نمونه خاک از مرکز قطعه‌نمونه اصلی (در مجموع ۲۸ نمونه) برداشت شد و نمونه‌های پس از برداشت در یخدان مسافرتی (حاوی یخ و بطری‌های آب یخزده) قرار داده شدند و به یخچال آزمایشگاه انتقال یافتند.

برای اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن خاک از روش fumigation-extraction استفاده شد. برای این منظور نمونه‌ها با کلروفورم به مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت تیمار شده و میزان کربن آلی پس از استخراج با سولفات پتاسیم با روش والکلی-بلاک اندازه‌گیری شد (۲۵).

میزان زی‌توده میکروبی کربن خاک از فرمول زیر محاسبه شد، که در آن C میزان کربن نمونه‌های کنترل (تیمار نشده)، S میزان کربن نمونه‌های مورد آزمایش (تیمار شده) و ۰/۳۵ فاکتور ثابت است.

(رابطه ۱)
$$S-C/0.35$$

نتایج و بحث

مورد مطالعه ساختارهای متفاوتی داشتند (جدول ۱) و پراکنش درختان در طبقه‌های قطری برابر سینه نیز تاییدکننده ساختار متفاوت جنگل در چهار رویشگاه مورد پژوهش بود (شکل ۲).

پارامترهای ساختار جنگل در چهار توده مورد مطالعه بررسی و مقایسه شدند و براساس نتایج، چهار قطعه نمونه

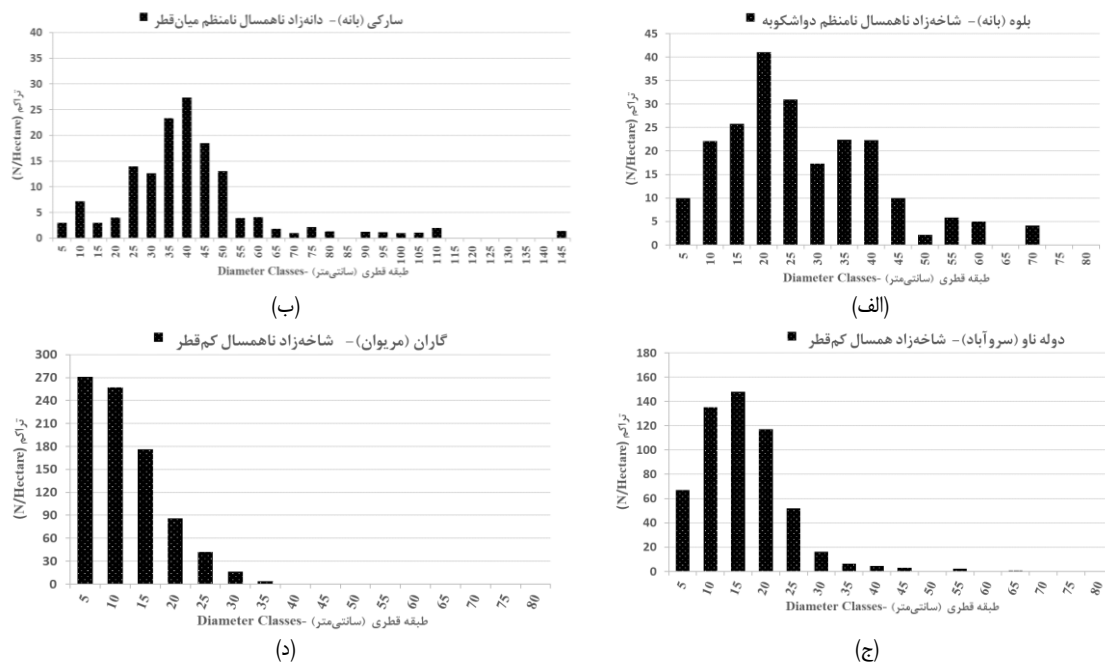
جدول ۱- مشخصه‌های ساختاری چهار توده مورد مطالعه در استان کردستان

Table 1. The stand structure properties in four studied stands in Kurdistan

نام قطعه نمونه	سارکی	بلوه	گاران	دوله ناو
ساختار	دانه‌زاد ناهمسال نامنظم میان قطر	شاخه‌زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه	شاخه‌زاد ناهمسال کم قطر	شاخه‌زاد همسال کم قطر
میانگین قطر برابر سینه	۴۰/۵۱	۲۷/۱۱	۱۱/۶۳	۱۵/۶۱
رویه زمینی (مترمربع در هکتار)	۲۴/۰۴	۱۶/۱۰	۱۱/۹۵	۱۳/۲۱
تاج پوشش (درصد)	۴۴/۲۲	۳۸/۴۶	۵۱/۶۱	۳۷/۴۰

کم قطر (منطقه مریوان) و شاخه‌زاد همسال کم قطر (منطقه سروآباد) است (جدول ۱).

نتایج نشان داد که چهار توده مورد مطالعه به ترتیب دارای دانه‌زاد ناهمسال نامنظم میان قطر (منطقه سارکی)، شاخه‌زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه (منطقه بلوه)، شاخه‌زاد ناهمسال



شکل ۲- پراکنش درختان در طبقه‌های قطری در چهار قطعه نمونه مورد پژوهش (الف: بلوه (بانه); ب: سارکی (بانه); ج: دوله ناو (سروآباد) و د: گاران (مریوان))

Figure 2. Distribution of trees in diameter classes in four studied stands (A: Belveh (Baneh); B: Sarakei (Baneh); C: Dolaeh-Nav (Sarvabad) and D: Garan (Marivan))

توده‌های جنگلی چشم‌گیر نیست، به طوری که مارگسین و همکاران (۱۶) ذکر کردند که ساختار توده‌های جنگلی بر مشخصه‌های میکروبی اندازه‌گیری شده خاک به‌استثنای نیتریفیکاسیون تأثیر معنی‌دار داشته‌اند.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که بین شاخص‌های زیستی تنفس پایه، تنفس برانگیخته و زی توده میکروبی کربن خاک بین چهار توده مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار وجود داشت، اما از نظر پتانسیل نیتریفیکاسیون اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۲). قابل ذکر است که تغییر پتانسیل نیتریفیکاسیون در

جدول ۲- نتیجه آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه برای بررسی معنی‌دار بودن شاخص‌های زیستی خاک در چهار رویشگاه مورد مطالعه

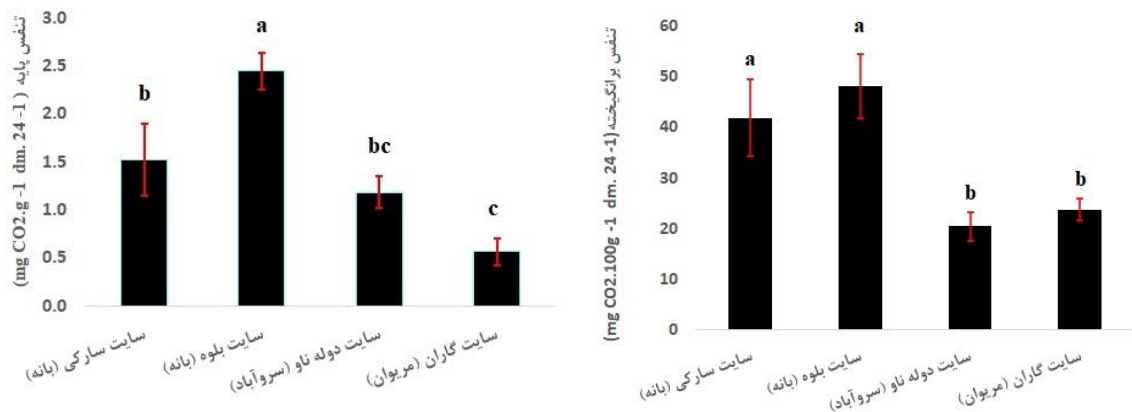
Table 2. The result of ANOVA analysis of significance in soil biological indicators in the four studied stands

مشخصه خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اماره F	معنی‌داری
تنفس پایه	۱۳/۰۳۹	۳	۴/۳۴۶	۱۱/۰۲۸	۰/۰۰۰**
تنفس برانگیخته	۳۸۵۳/۱۸۸	۳	۱۲۸۴/۳۹۶	۶/۵۹۲	۰/۰۰۲**
پتانسیل نیتریفیکاسیون	۳۰۹۰۴۷/۷۷۰	۳	۴۶۷۵/۹۹۳	۰/۳۶۳	۰/۷۸۰ ^{ns}
زی توده میکروبی کربن	۶۰/۶۰۰	۳	۱۲۸۷۶/۹۹۰	۳/۳۹۷	۰/۰۳۵*
	۵۳/۵۱۱	۹	۵/۹۴		

ns: غیر معنی‌دار؛ * : اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ** : اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

سرشاخه‌ها و اندام‌های درختی) در رویشگاه‌های بلوه و سارکی نسبت داد و رویه زمینی در این دو رویشگاه بیشتر از رویشگاه‌های دوله ناو گاران بود و گری و همکاران (۶) تاکید داشتند که بقایای گیاهی و مواد آلی خاک سبب تغییر و افزایش شاخص‌های زیستی می‌شود و با نتایج پژوهش حاضر در یک راستا است. از طرفی ژو و همکاران (۳۱) تاکید داشتند که تغییر در ساختار جنگل سبب تغییر در شاخص‌های زیستی می‌شود و بر روند بهبودی جنگل‌های تخریب یافته تاکید داشتند و این نتایج تاییدکننده تاثیر شاخص‌های زیستی در بهبودی بوم‌سامانه جنگلی است و در توده‌های جنگلی که تنفس پایه و برانگیخته بیشتری دارند، توده‌های جنگلی در حال بهبود و احیاء هستند و توده‌های جنگلی بلوه و سارکی تراکم درختان در طبقات قطری پایین (کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) کم بود و پایداری جنگل نسبت به توده‌های با ساختار شاخه زاد کم قطر همسال و ناهمسال (رویشگاه‌های گاران و دوله ناو) کمتر است و نتایج پژوهش حاضر با ژو و همکاران (۳۱) در یک راستا است.

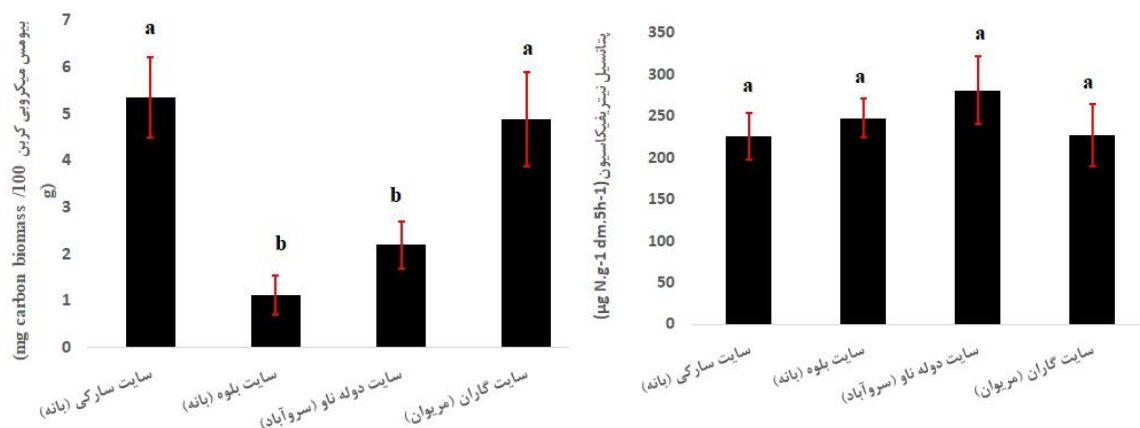
نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار تنفس پایه در قطعه‌نمونه‌های بلوه (بانه) و گاران (مربوان) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه تأییدکننده اختلاف معنی‌دار تنفس پایه در چهار قطعه‌نمونه مورد مطالعه بود. آزمون دانکن نیز نشان داد که قطعه‌نمونه‌های دوله‌ناو و گاران با هم اختلاف معنی‌دار نداشته، اما این دو قطعه‌نمونه با قطعه‌نمونه‌های دیگر دارای اختلاف معنی‌دار بودند (شکل ۳-الف). از سوی دیگر، بیشترین و کمترین مقدار تنفس برانگیخته در قطعه‌نمونه‌های بلوه (بانه) و دوله‌ناو (سروآباد) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه تأییدکننده اختلاف معنی‌دار تنفس برانگیخته بین چهار قطعه‌نمونه مورد مطالعه بود. آزمون دانکن نشان داد که قطعه‌نمونه‌های دوله‌ناو و گاران با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند و قطعه‌نمونه‌های بلوه و سارکی هم در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳-ب). بنابراین توده‌های جنگلی شهرستان بانه (رویشگاه‌های بلوه و سارکی) دارای میانگین تنفس پایه و برانگیخته بیشتری، نسبت به رویشگاه‌های شاخه زاد همسال و ناهمسال بود و علت را می‌توان به افزایش مواد آلی خاک (به دلیل بازگشت



شکل ۳- تنفس پایه (الف) و تنفس برانگیخته (ب) خاک در چهار رویشگاه مورد مطالعه
Figure 3. The soil respiration (A) and induced soil respiration (B) in the four studied stands

در رویشگاه سارکی (با ساختار دانه‌زاد ناهمسال نامنظم میان‌قطری) بیشتر از دیگر رویشگاه‌ها بود و علت این رویداد را می‌توان به میانسال و کهنسال بودن درختان توده‌های جنگلی رویشگاه سارکی است و در این رویشگاه تراکم درختان جوان (با قطر کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) کمتر بوده و به نحوی پایداری توده‌های جنگلی در این رویشگاه کمتر از دیگر رویشگاه‌ها است و فعالیت میکروبی خاک (زی‌توده میکروبی کربن) در این رویشگاه بیشتر از دیگر رویشگاه‌ها است و علت این تغییر را می‌توان در تلاش بوم‌سامانه برای بهبود و احیاء جنگل نسبت داد و با نتایج پژوهش با ژو و همکاران (۲۹) در یک راستا است.

نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین پتانسیل نیتروفیکاسیون در قطعه‌نمونه‌های دوله ناو (سروآباد) و سارکی (بانه) مشاهده شد، اما اختلاف بین پتانسیل نیتروفیکاسیون در چهار قطعه‌نمونه مورد پژوهش معنی‌دار نیست (شکل ۴-الف). از طرفی بیشترین و کمترین مقدار زی‌توده میکروبی کربن خاک در رویشگاه‌های سارکی (بانه) و بلوه (بانه) مشاهده شد (شکل ۵-ب) و آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه تأییدکننده اختلاف معنی‌دار زی‌توده میکروبی کربن خاک در چهار قطعه‌نمونه مورد پژوهش است، مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد که رویشگاه‌های گاران و سارکی با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند و رویشگاه‌های بلوه و دوله ناو هم در یک گروه قرار داشتند (شکل ۴-ب). بنابراین زی‌توده میکروبی کربن خاک



شکل ۴- پتانسیل نیتریفیکاسیون (الف) و مقدار زی‌توده میکروبی کربن خاک (ب) در چهار رویشگاه مورد مطالعه
Figure 4. The nitrification potential (A) and microbial carbon biomass (B) in the four studied stands

و کوچ و نقره (۱۳)، زرافشار و همکاران (۲۹)، گری و همکاران (۷)، گوموریوا و همکاران (۶) و کورتز و همکاران (۵) بر تأثیر جنگل، مدیریت، تیپ و ساختار جنگل بر شاخص‌های زیستی خاک تأکید داشتند با نتایج تحقیق حاضر در یک راستا هستند، همچنین این پژوهشگران بر اهمیت برنامه‌های پایش به اندازه‌گیری برخی مشخصه‌های میکروبی مانند تنفس خاک، زی‌توده میکروبی کربن و فعالیت آنزیم‌های خاک تأکید داشتند.

درکل، نتایج این پژوهش تأییدکننده تأثیر ساختار جنگل بر فعالیت‌های میکروبی خاک در جنگل‌های استان کردستان بوده است و بیشترین میانگین تنفس پایه و برانگیخته در توده با ساختار شاخه‌زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه (رویشگاه بلوه) مشاهده شد. در زمینه زی‌توده میکروبی کربن نیز بیشترین کمترین مقدار در توده‌های با ساختار دانه‌زاد ناهمسال نامنظم میان قطر و شاخه‌زاد ناهمسال کم‌قطر مشاهده شد. بنابراین توده‌های با ساختار شاخه‌زاد ناهمسال کم‌قطر دارای تنفس برانگیخته و پایه کمتری در مقایسه با توده‌های میان قطر و دانه زاد داشتند و در مقابل زی‌توده میکروبی کربن در توده میان قطر دانه زاد (سارکی) بیشتر بود. نورزاد روشن و همکاران (۲۰) بر اثر مثبت احیا و توسعه جنگل بر افزایش زی‌توده میکروبی کربن و تنفس میکروبی در حدود ۴۰ تا ۸۰ درصد تأکید داشتند و با نتایج این پژوهش در یک راستا است و رویشگاه سارکی (با توجه به ساختار میانسال و میان قطر) نیازمند بازسازی و بهبود ساختار جنگل است. برای مدیریت پایدار جنگل‌های استان کردستان پیشنهاد می‌شود در توده‌های با ساختار ناهمسال میان قطر و دارای قطر برابر سینه کمتر از ۳۰ سانتی‌متر (رویشگاه سارکی) اقدام به احیاء جنگل با گونه‌های بومی شود. از طرفی افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک نشان‌دهنده بهبود بوم‌سامانه و کاهش تخریب جنگل است، پیشنهاد می‌گردد نسبت به پایش‌های دوره‌ای فعالیت‌های میکروبی خاک اقدام شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بدین‌وسیله مراتب قدردانی خود را از زحمات و همکاری مسئول و کارشناسان آزمایشگاه خاک بخش

بنابراین پژوهش پیش‌رو نشان داد که از نظر مشخصه‌های پتانسیل نیتریفیکاسیون و زی‌توده میکروبی کربن، به ترتیب قطعه‌نمونه‌های دوله‌ناو و گاران (با ساختارهای شاخه‌زاد همسال کم‌قطر و شاخه‌زاد ناهمسال کم‌قطر) دارای بیشترین مقادیر بودند و از نظر مشخصه‌های تنفس پایه و تنفس برانگیخته، قطعه‌نمونه بلوه (شاخه‌زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه) دارای برتری بود. کمترین مقدار مشخصه‌های تنفس پایه، تنفس برانگیخته، پتانسیل نیتریفیکاسیون و زی‌توده میکروبی کربن نیز به ترتیب قطعه‌نمونه‌های دوله‌ناو، گاران، سارکی و دوله ناو مشاهده شد، که نشان دهنده بالا بودن مقادیر مشخصه‌های تنفس پایه و برانگیخته در توده شاخه زاد کم قطر (همسال و ناهمسال) بود و گری و همکاران (۷)، گوموریوا و همکاران (۶) و کورتز و همکاران (۵) بر تأثیر گونه درختی، مدیریت جنگل، ساختار و بقایای گیاهی بر فعالیت‌های میکروبی خاک تأکید داشته‌اند که با نتایج پژوهش پیش‌رو در یک راستا هستند و علت اصلی بیشتر بودن تنفس پایه و برانگیخته در قطعه‌نمونه‌های بلوه و سارکی مربوط به بازگشت بیشتر بقایای درختی (برگ‌ها، سرشاخه‌ها و غیره) به خاک است و این دو قطعه‌نمونه از نظر رویه زمینی، میانگین قطر برابر سینه و درصد تاج‌پوشش (پس از قطعه‌نمونه دوله‌ناو) نسبت به دیگر رویشگاه‌ها است.

در مورد زی‌توده میکروبی کربن، قطعه‌نمونه سارکی (بدون اختلاف معنی‌دار با قطعه‌نمونه گاران) دارای بیشترین مقدار بود و قطعه‌نمونه بلوه (شاخه‌زاد ناهمسال نامنظم دواشکوبه) دارای کمترین مقدار بود، بنابراین توده‌های جنگلی میان قطر (تراکم درختان با قطر کمتر از ۳۰ سانتی‌متر)، دارای پایدار جنگل کمتری هستند و دارای تنفس میکروبی بیشتری بودند. علت مهم بیشتر بودن تنفس میکروبی در رویشگاه سارکی نسبت به دیگر رویشگاه‌ها به ساختار جنگل و میزان برگشت مواد درختی (برگ، شاخه، تنه و غیره) مربوط است. در توده جنگلی سارکی، درختان مسن‌تر و بعضاً بادافتاده وجود داشت، و دارای ساختار میان قطر (درختان جوان این توده کمتر بودند) بود و برگشت مواد از درختان به خاک و ساختار جنگل (دانه‌زاد ناهمسال نامنظم میان قطر) سبب فراهم شدن کربن آلی مورد نظر برای فعالیت‌های میکروبی خاک و افزایش آن شده است

تحقیقات بیابان و آزمایشگاه خاک بخش تحقیقات جنگل
موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع به‌ویژه سرکار خانم دکتر
الهام نوری و آقای مهندس فرهاد خاکساریان را اعلام
می‌دارند.

منابع

- Amolikondori, A., K. Abrari Vajari, M. Feizian and A. Diiorio. 2021. Interactions between structural properties beech tree and soil biology with competition index in canopy gaps in Beech stand. *Ecology of Iranian Forest*, 9(18): 74-80.
- Anonymous. 2018. Tudar Mullah forestry plan. Natural Resources and Watershed Management General Office of Kurdistan Province, Sanandaj, 88 pp (In Persian).
- Bazgir, M., E. Noorozi and Z. Maghsodi. 2019. Soil physicochemical and biological properties of Christ's thorn (*Ziziphus spina-christi* L.) in the Izeh. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27(2): 232-243 (In Persian).
- Berg, P. and T. Rosswall. 1985. Ammonium oxidizer number, potential and actual oxidation rates in two Swedish arable soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1: 131-140.
- Cortez, C.T., L.A.P.L. Nunes, L.B. Rodrigues, N. Eisenhauer and A.S.F. Araújo. 2014. Soil microbial properties in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(3): 734-742.
- Gömöröyová, E., K. Štřelcová, P. Fleischer and D. Gömöröy. 2014. Soil microbial characteristics at the monitoring plots on windthrow areas of the Tatra National Park (Slovakia): their assessment as environmental indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174(1-4): 31-45
- Gray, D., M.K. Bending, J. Turner and E. Jones. 2002. Interaction between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(3): 1073-1082.
- Habashi, H. 2015. Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different types of mixed beech forest. *Forest Research and Development*, 1(2): 135-144 (In Persian).
- Haghverdi, K. 2017. The effect of Tree covers on soil microbiological indices and CO₂ emission. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4): 63-81 (In Persian).
- Kandeler E, R. Margesin, R. Ohlinger and F. Schinner. 1993. Bodenmikrobiologisches Monitoring—Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. *Die Bodenkultur*, 44: 357-377.
- Karamian, M. and V. Hosseini. 2015. Effect of position and slope aspect on organic carbon, total Nitrogen and Available Phosphorus in forest soils (Case study: The forest of Ilam province, Dalab). *Journal of Water and Soil Science*, 19(71): 109-117 (In Persian).
- Khaledian, Y., F. Kiani, S. Ebrahimi and A. Movahedi Naeini. 2011. Impact of forest degradation, changing land use and building villas on some indicators of soil quality in the watershed, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(3): 167-184 (In Persian).
- Kooch, Y. and N. Noghre. 2019. The effect of forest, rangeland and agriculture covers on soil microbial characters and enzyme activities. *Journal of Water and Soil Conservation*, 11(2): 179-194 (In Persian).
- Kooch, Y. and S. Ehsani. 2020. The effect of different land uses on new indices of soil quality in Central Alborz region. *Ecology of Iranian Forest*, 8(16): 60-71.
- Maassen, S., H. Fritze and S. Wirth. 2010. Response of soil microbial biomass, activities, and community structure at a pine stand in northeastern Germany 5 years after thinning. *Journal of Forest Research*, 36(6): 1427-1434.
- Margesin, R., S. Minerbi and F. Schinner. 2014. Long-Term Monitoring of Soil Microbiological Activities in Two Forest Sites in South Tyrol in the Italian Alps. *Microbes and Environments*, 29(3): 277-285.
- Mazaheri, M. and M. Bazgir. 2019. The effect of climate and land uses on soil microbial biomass and activities. *Iranian Journal of Forest*, 11(2): 179-194 (In Persian).
- Nadi, H., V. Hosseini and K. Mohammadi Samani. 2009. The Effect of pear tree vegetation of chamhesar, Lorestan on some soil chemical properties. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(1): 167-179 (In Persian).
- Navidi, M., F. Sarmadian and Sh. Mahmoudi. 2009. Studying the effects of land use change on soil physical and chemical quality indicators of surface horizons in rangelands of eastern Qazvin province. *The Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 62(2): 299-310 (In Persian).
- Noorzade Roshan, M., F. Keyani, R. Ghorbani Nasrabadi, S. Ebrahimi and A. Nadimi. 2018. Effect of some conservation practices on soil biological quality indices in the Chehelchai region, Golestan province. *Journal of Agricultural Engineering*, 41(1): 17-28 (In Persian).
- Rostami, D., K. Mohammadi Samani and V. Hosseini. 2017. The effects of seasonal changes on some chemical forest soil properties during one year (Case study: Marivan forests). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2): 354-363 (In Persian).

22. Sagheb Talebi, Kh., T. Sajedi and M. Pourhashemi. 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, 152 pp.
23. Schinner, F., R. Öhlinger, E. Kandeler and R. Margesin. 1996. Methods in soil biology. Springer.
24. Solimani, R., A.A. Pourbabaei, H. Mirseyedi Hosseini and P. Shekari. 2011. Spatial changes of microbial respiration in the forest ecosystem of northern Ilam province. Central Zagros National Conference on Forests, Capabilities and bottlenecks. Academic center of Education, Culture and Reserch of Lorestan, Khorramabad, Iran, 9 pp (In Persian).
25. Sparling, G.P. and A.W. West. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. Soil Biology and Biochemistry, 20(3): 337-343.
26. Staddon, WJ., L.C. Duchesne and J.T. Trevors. 1999. The role of microbial indicators of soil quality in ecological forest management. Forestry Chronicle, 75: 81-86.
27. Vanhala, P., O. Kiikkillä and H. Fritze. 1996. Microbial responses of forest soil to moderate anthropogenic air pollution. Water, Air and Soil Pollution, 86: 173-186.
28. Zandi, L., R.H. Erfanzadeh and H. Joneidi. 2020. The effect of introduced Species on rangelands soil quality with emphasizing on Microbial Respiration. Journal of Rangeland, 14(1): 1-11 (In Persian).
29. Zarafshar, M., M. Matinizadeh, M.J. Rosta, S.K. Bordbar, Y. Kooch and M. Negahdarsaber. 2019. The impact of forest degradation and land use change on some soil biological indices (case study: Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) forests in Fars province). Journal of Plant Ecosystem Conservation, 7(15): 319-332 (In Persian).
30. Zarafshar, M., M.R. Negahdarsaber, H. Jahanbazei, M. Pourhashemi, S.K. Bordbar M. Matinizadeh and A. Abasi. 2020. Dieback in pure stands of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in southern Zagros forests, Kohmareh Sorkhi region of Fars province. Iranian Journal of Forest, 12(2): 291-303 (In Persian).
31. Zhou, Z., C. Wang and Y. Luo. 2018. Effects of forest degradation on microbial communities and soil carbon cycling: A global meta-analysis. Global Ecology Biogeography, 27: 110-124.

Study Changes in Biological Indicators in Forest Stands with Different Structure in Kurdistan Province

Maziar Haidari¹, Maryam Teimouri², Mehdi Pourhashemi³ and Tahereh Alizadeh⁴

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran, (Corresponding Author: m.haidari@areeo.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Forest, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

4- Research Expert, Department of Forest, Research Institute of Forest and Rangeland, AREEO, Tehran, Iran

Received: 13 September, 2021 Accepted: 21 February, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objectives: Microbial respiration and microbial carbon biomass are two important biological indicators for assessing ecosystem quality that can be used to determine ecosystem health. The aim of this study was to investigate the change in soil microbial activities in forest different structure in Kurdistan province.

Material and Methods: Four one-hectare sample plots (100×100 meters) were selected in Baneh (two sample plots), Marivan and Sarvabad counties and structural characteristics of stands were measured. In order to investigate the changes in soil microbial activities in each sample plot, seven soil samples were taken from a depth of 0-10 cm in each site (a total of 28 soil samples) in August 2019 (28 samples in total). In this study, microbial activities including soil respiration, induced soil respiration, nitrification potential and microbial carbon biomass were compared in four stands (site). One-Way ANOVA and Duncan's test were used to evaluate the significance of differences in soil microbial characteristics between the four sites.

Results: The results showed that there was a significant difference between the parameters of soil respiration, induced soil respiration and microbial carbon biomass of soil between the four studied stands, but no significant difference was observed in terms of nitrification potential. Also, for soil respiration, induced soil respiration and microbial carbon biomass of soil parameters in Belveh site with 2.45 (mg CO₂.g⁻¹ dm. 24⁻¹), Belveh site with 48.21 (mg CO₂.100g⁻¹ dm. 24⁻¹), Dolah-Naw site with 280.9 (μg N.g⁻¹ dm.5h⁻¹) and Saraki site with 5.35 (mg carbon biomass /100 gr) had the highest average.

Therefore, for nitrification potential of Doleh Naw (with young aged coppice forest) site was the highest values and highest value of soil respiration, induced soil respiration observed in Belveh site (unaged coppice forest with to two story layer).

Conclusion: Therefore, forest structure area effects on soil microbial characteristics (soil respiration, induced soil respiration and microbial carbon biomass). For sustainable forest management, it is recommended to study soil microbial activities in periodic monitoring and positive effect microbial carbon biomass on forest, in Sareki and Belveh site (area lowest average of microbial carbon biomass), afforestation with native species be done.

Keywords: Induced soil respiration, Microbial carbon biomass, Microbial properties, Soil respiration, Young coppice forest