

## تغییرات زمانی کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی در توده راش آمیخته (مطالعه موردی: طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا-گرگان)

فاطمه رفیعی<sup>۱</sup>، هاشم حبشی<sup>۲\*</sup>، رامین رحمانی<sup>۳</sup>، خسرو ثاقب طالبی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۶

### چکیده

کربن زی توده و سهم میکروبی خاک از شاخص‌های زیستی حساس به تغییرات ایجادشده در بوم‌سازگان‌هاست که در بررسی کیفیت خاک به آنها توجه می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر اجرای شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی در سال ۱۳۹۲ بر تغییرات ماهانه و فصلی کربن زی توده و سهم میکروبی در توده راش آمیخته انجام گرفت. به این منظور دو توده دخالت‌نشده (توده شاهد) و مدیریت‌شده به شیوه تک‌گزینی از جنگل آموزشی-پژوهشی دکتر بهرام‌نیا گرگان انتخاب شد. در هر یک از توده‌ها، شش قطعه نمونه (سه قطعه نمونه در زیر تاج‌پوشش و سه قطعه نمونه در روشنیهایی با مساحت حدود ۴۰۰ متر مربع) با ابعاد ۳ در ۳ متر مستقر شد. نمونه‌برداری از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک به صورت ماهانه و به مدت یک سال در سه نقطه تصادفی از قطعات نمونه انجام گرفت و برای هر نمونه کربن زی توده میکروبی، کربن آلی، دما و رطوبت خاک تعیین شد. نتایج نشان داد با وجود تغییرات اندک در کربن آلی خاک (۴/۵۵-۳/۰۱ درصد در توده شاهد و ۴/۵۱-۳/۴ درصد در توده مدیریت‌شده)، کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی در فصول و ماه‌های مختلف سال نوسان زیادی داشتند. در فصول پاییز و بهار بیشینه و در زمستان و تابستان کمینه کربن زی توده میکروبی مشاهده شد. میانگین سالانه کربن زی توده میکروبی در توده‌های شاهد (۲۲/۶۶ ± ۹۳۳/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) و مدیریت‌شده (۲۲/۹۲ ± ۹۴۰/۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) از نظر آماری مشابه بود. نتایج بیانگر پتانسیل توده مدیریت‌شده در حفظ تعادل پس از اجرای شیوه تک‌گزینی و موفقیت در اجرای صحیح این شیوه براساس این شاخص‌های زیستی است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات ماهانه و فصلی، توده راش-ممرز، روشنه، شیوه تک‌گزینی، کربن زی توده میکروبی.

### مقدمه

ناشی از اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی، موجب ایجاد خرداقلیم‌های متفاوت خواهد شد که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و در نهایت چرخه جهانی کربن تأثیر خواهند گذاشت [۲]. اهمیت این موضوع توجه پژوهشگران را به بررسی تأثیر آشفته‌گی‌های طبیعی و مصنوعی مانند روشنه‌ها، بر ویژگی‌های خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی جلب کرده است. روشنه یک

جنگل‌ها بیشترین قابلیت ذخیره‌سازی کربن هواسپهر را در مقایسه با دیگر بوم‌سازگان‌های خشکی دارند و تأثیرگذارترین اکوسیستم در برقراری تعادل در چرخه جهانی کربن به‌شمار می‌روند [۱]. قطع درختان و آشفته‌گی

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۳۷۰۱۰۷۰

بازشدگی در تاج پوشش است که در نتیجه مرگ دست کم یک درخت ایجاد می‌شود؛ با ایجاد روشنه، رژیم رطوبتی، حرارتی و نوری فضای داخل آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد و شرایط محیطی برای تغییر رویش گیاهی ایجاد می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم خاک، مقدار کربن آلی است که به دلیل تأثیر آن در رشد گیاهان و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک محسوب می‌شود [۳]، اما اندازه‌گیری آن به تنهایی برای نشان دادن تغییرات کیفیت خاک کافی نیست؛ بنابراین تعیین سطح پویایی خاک با استفاده از مشخصه‌های زیستی مرتبط با کربن آلی، کارایی مناسب‌تری در تعیین کیفیت خاک در کوتاه‌مدت دارد. زی توده میکروبی بخش زنده کربن آلی خاک است. سهم میکروبی شاخص حساسی برای بررسی کیفیت خاک است. این مشخصه که از نسبت کربن میکروبی و کربن آلی خاک حاصل می‌شود، می‌تواند بیانگر شرایط دینامیک کربن در خاک باشد [۴]. کربن زی توده میکروبی که حدود ۱ تا ۵ درصد کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد [۵]، به دلیل برگشت‌پذیری سریع، منبع مهم تغذیه گیاهی محسوب می‌شود [۶]. با توجه به موارد مذکور، تاکنون اطلاعات ارزشمندی در زمینه زی توده میکروبی که در گروه مهم‌ترین شاخص‌های پویایی وضعیت زیستی خاک قرار می‌گیرد، در بوم‌سازگان‌های مختلف جنگلی گزارش شده است [۲، ۳، ۵]. از طرفی تغییرات سالانه بارش، دما و رطوبت هوا، تبخیر، تعرق و دیگر عوامل آب‌وهوایی، موجب شکل‌گیری فصل‌های اقلیمی متفاوتی در عرض‌های جغرافیایی مختلف کره زمین می‌شود و بنابراین تغییر شرایط دمایی و رطوبتی زیستگاه خاک‌زیان طی سال بر فعالیت و حضور جمعیت‌های میکروبی و زی توده میکروبی خاک تأثیر چشمگیری دارد [۷]. این موضوع برخی محققان را بر آن داشت تا به بررسی تغییرات زمانی فعالیت جمعیت‌های میکروبی در بوم‌سازگان‌های مختلف گیاهی بپردازند. در سال ۲۰۰۰، Arunachalam و همکاران در جنگل‌های نیمه‌استوایی شمال

شرق هند، تغییرات فصلی مشخصی در کربن زی توده میکروبی روشنه‌ها و زیراشکوب مشاهده کردند. در این تحقیق، کربن زی توده میکروبی در فصل بارش (اردیبهشت تا شهریور) به کمترین و در فصل زمستان (اسفند تا فروردین) به بیشترین مقدار رسید [۸]. نتایج تحقیق یکساله Patel و همکاران (۲۰۱۰) در سه کاربری جنگل آمیخته، جنگلکاری و زمین مرتعی-کشاورزی نمایانگر تغییرات معنی‌دار کربن زی توده میکروبی در ماه‌های مختلف سال است. در این تحقیق، بیشترین سهم میکروبی به فصل بارش (اواسط خرداد تا شهریور) و کمترین سهم به فصل زمستان اختصاص یافت [۷]. در توده جنگل مدیریت شده و جنگلکاری شده در شمال شرق چین، بررسی الگوی تغییرات فصلی نشان داد که مقدار کربن زی توده میکروبی در هر دو توده در فصل تابستان بیشتر از بهار و پاییز بود [۹]. علاوه بر تغییر شرایط رطوبتی و دمایی ناشی از تغییرات فصلی، تغییر مقدار بارش سالانه و تب توده نیز از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کربن زی توده میکروبی به‌شمار می‌روند. چنانچه افزایش بارش موجب افزایش ۱۹ و ۲۴ درصدی کربن زی توده میکروبی به ترتیب در توده آمیخته با ترکیب گونه‌ای کاج-پهن‌برگ و توده کاج در جنوب چین شد، در حالی که تغییر معنی‌داری در توده خالص پهن‌برگ مشاهده نشد [۱۰]. Zhou و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تغییرات فصلی کربن زی توده میکروبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک شمال چین، اذعان کردند که مقدار این مشخصه تا عمق ۵ سانتی‌متری خاک در فصل پاییز بیشتر از بهار و تابستان است [۱۱]. Rangel-Vasconcelos و همکاران (۲۰۱۵) نیز تنش ایجاد شده در سلول‌های میکروبی در ماه‌های خشکی را که پس از دوره‌های بارش به وقوع می‌پیوندد، دلیل افزایش معنی‌دار کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی بیان کردند [۱۲]. Shah و همکاران (۲۰۱۷) در نواحی معتدله هند، بیشتر بودن کربن زی توده میکروبی را در فصل رویش نسبت به فصل غیررویش گزارش کردند [۱۳]. این در حالی است که در تحقیق Xu و همکاران (۲۰۱۷)

در جنگل آموزشی-پژوهشی شصت کلاته گرگان انجام گرفت. مساحت سری ۱۷۱۳/۳ هکتار است و در محدوده طول جغرافیایی "۲۶° ۲۱' ۵۴" تا "۲۴° ۵۷' ۵۴" شرقی و عرض جغرافیایی "۲۷° ۴۳' ۳۶" تا "۲۶° ۴۸' ۳۶" شمالی و محدوده ارتفاعی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر واقع شده است. براساس آمار نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه هاشم آباد گرگان) که در فاصله هشت کیلومتری شمال حوزه قرار دارد، این منطقه با میانگین دمای سالانه ۱۵/۴ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه ۶۴۹ میلی متر بر مبنای طبقه بندی اقلیمی آمبرژه، اقلیم مرطوب معتدل دارد. از نظر مشخصات زمین شناسی، سنگ مادری منطقه از سنگ آهکی ضخیم خاکستری روشن تشکیل شده است و نفوذپذیری مناسبی دارد. تیپ خاک منطقه، کرومیک کامبی سول و کرومیک لوئیسول و بافت آن اغلب رسی است. جهت عمومی منطقه، شمال غربی و شیب آن به طور متوسط ۳۰ درصد است. تیپ غالب درختی منطقه، راش-سمرز به همراه گونه های انجیلی، افرا و به ندرت توسکا و گیاهان همراه آن کوله خاص، سرخس، تمشک و کارکس است. تراکم توده ۱۶۵ اصله درخت در هکتار و از نظر سنی، توده دانه زاد جوان تا مسن است. اجرای شیوه تک‌گزینی در طرح از سال ۱۳۶۶ شروع شد و آخرین سال اجرای برش های این شیوه، در سال ۱۳۹۳ بود [۱۵].

#### شیوه اجرای پژوهش

این تحقیق در پارسل های ۳۲ و ۳۱ (به ترتیب به عنوان توده شاهد و توده مدیریت شده به شیوه جنگل شناسی گزینشی) واقع در محدوده ارتفاعی ۹۰۰ متر از سطح دریا و در توده راش آمیخته ناهمسال انجام گرفت. پس از جنگل گردشی در پارسل ها، ۱۰ روشنه سه ساله با مساحت تقریبی ۴۰۰ متر مربع با شرایط محیطی یکسان (شیب، جهت عمومی منطقه، بافت خاک) مشخص شد. در مرحله بعد، از میان روشنه های تعیین شده، سه روشنه طبیعی در پارسل شاهد و سه روشنه مصنوعی در پارسل مدیریت شده به صورت تصادفی انتخاب شد. به منظور بررسی اهداف در نظر گرفته شده در این پژوهش،

کمترین مقدار کربن زی توده میکروبی به فصل رویش اختصاص یافت [۱۴].

نوسان زی توده میکروبی در طول فصل رشد از عوامل مهم در برگشت پذیری کربن خاک [۷] و بیانگر اهمیت بررسی تغییرات فصلی زی توده میکروبی است. با وجود تحقیقات ارزشمند درباره تغییرات فصلی زی توده میکروبی در بوم سازگان های جنگلی جهان [۹، ۱۰]، چگونگی تغییرات زمانی این متغیر مهم زیستی در اکوسیستم های جنگلی شمال ایران شناخته نشده است. در عین حال تغییرات زمانی زی توده میکروبی در توده های مدیریت شده با شیوه های جنگل شناسی موضوع مهمی است که حتی در جهان نیز به ندرت به آن پرداخته شده است [۸]. با شناخت تغییرات زمانی و مکانی زی توده میکروبی در توده های مدیریت شده، علاوه بر درک بهتر تبادلات عناصر غذایی خاک و دسترسی گیاهان و جمعیت های میکروبی به این عناصر، امکان برنامه ریزی مبتنی بر حفظ و افزایش حاصلخیزی برای این توده ها فراهم می شود. توده راش آمیخته در شمال ایران از توده های بارز باقی مانده از جنگل های هیرکانی است و در حال حاضر جزء مهم ترین توده های جنگلی کشور محسوب می شود. در تحقیق حاضر، برای اولین بار الگوی تغییرات ماهانه و فصلی کربن زی توده میکروبی در بخشی از این توده ها بررسی شد. بررسی تغییرات سهم میکروبی که نشان دهنده بخشی از کربن آلی خاک است که به راحتی در چرخه سوخت و ساز مصرف می شود، نیز از اهداف دیگر این پژوهش است. در عین حال به منظور ارزیابی تأثیر اجرای شیوه جنگل شناسی گزینشی (تک‌گزینی پایه ای) بر کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی، تغییرات ماهانه و فصلی این مشخصه های مهم از چرخه کربن در یک توده مدیریت شده نیز بررسی شد.

#### مواد و روش ها

##### مشخصات منطقه تحقیق

این پژوهش در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا واقع

بررسی شد. کلیه مقایسه‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۱.۴.۳ (۲۰۱۷) انجام گرفت.

### نتایج و بحث

بیشترین مقدار کربن زی‌توده میکروبی در مجموع قطعات نمونه اندازه‌گیری شده در دوره یکساله، در فصل پاییز و کمترین مقدار در فصول تابستان و زمستان مشاهده شد (شکل ۱). عوامل غیرزیستی همانند تفاوت در رطوبت [۹]، دما [۷، ۸] و کربن آلی خاک [۸] در ماه‌های مختلف بر تغییرات این متغیر تأثیرگذارند؛ بنابراین افزایش معنی‌دار رطوبت خاک در فصل پاییز نسبت به فصل خشک تابستان می‌تواند از مهم‌ترین دلایل اختلافات مشاهده‌شده در این دو فصل باشد. چنانکه براساس نتایج Xu و همکاران (۲۰۱۷)، همبستگی مثبت کربن زی‌توده میکروبی و رطوبت خاک موجب کاهش این مشخصه در فصل رویش و افزایش آن در فصول دیگر شد. براساس نتایج تحقیق zhou و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار ورودی کربن آلی در واحد زمان نیز از دیگر عوامل افزایش‌دهنده کربن زی‌توده میکروبی است. به‌این ترتیب به‌احتمال زیاد مقدار شایان توجه لاشریزی نیز از عوامل تأثیرگذار در افزایش این مشخصه زیستی در فصل پاییز است. با توجه به همبستگی مثبت کربن زی‌توده میکروبی با دمای خاک (جدول ۱)، انتظار می‌رود مقدار این مشخصه در تابستان افزایش یابد. اما به اوج رسیدن رویش گیاهی در فصل رویش موجب می‌شود فرصت کمتری به‌منظور افزایش زی‌توده میکروبی در اختیار میکروارگانیسم‌های خاک قرار گیرد [۱۹]. به‌این ترتیب در فصل تابستان که مصادف با حداکثر رویش گیاهی در منطقه مورد پژوهش است، فعالیت بسیار زیاد پوشش درختی و علفی در جذب عناصر غذایی به کاهش کربن زی‌توده میکروبی خاک منجر شد. کاهش معنی‌دار این متغیر در قطعات نمونه زیر تاج‌پوشش نسبت به روشنه در فصل تابستان مؤید این مطلب است. براساس همبستگی مثبت

در مرکز هر روشنه یک قطعه نمونه به ابعاد ۳ در ۳ متر در نظر گرفته شد. سپس در کنار هر یک از روشنه‌های انتخاب‌شده و با فاصله حدود ۲۵ متری در جنگل مجاور (زیر تاج‌پوشش) یک قطعه نمونه ۳ در ۳ متر نیز در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری خاک در سه نقطه تصادفی از هر قطعه نمونه در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، در یک دوره یکساله، از مهرماه ۱۳۹۵ تا پایان شهریور ۱۳۹۶ به‌صورت ماهانه انجام گرفت. کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر [۱۶] و کربن زی‌توده میکروبی با روش انکوباسیون-تدخین [۱۷] اندازه‌گیری و سپس سهم میکروبی (نسبت کربن زی‌توده میکروبی به کربن آلی خاک) محاسبه شد. همچنین محتوای رطوبتی خاک با استفاده از روش تفاوت وزنی [۱۸]، دمای خاک با استفاده از دماسنج خاک و قرار دادن میله سنجش‌گر دستگاه Luster Leaf 1625 Digital Soil Thermometer در عمق ۱۰ سانتی‌متری به‌صورت ماهانه ثبت شد.

### روش‌های تحلیل داده‌ها

از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و از روش‌های تبدیل باکس-کاکس و جانسون به‌منظور تبدیل داده‌های با توزیع غیرنرمال استفاده شد. با توجه به آنکه هیچ‌یک از روش‌های تبدیل یا حذف مشاهدات بی‌قواره در نرمال کردن توزیع داده‌ها مؤثر واقع نشد، از آزمون‌های ناپارامتری برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. از آزمون کروسکال والیس به‌منظور مقایسه گروه‌های مستقل و از آزمون کونور ایمان<sup>۱</sup> برای مقایسه‌های چندگانه میانگین استفاده شد. همچنین از ضریب بونفرونی<sup>۲</sup> به‌منظور تعدیل سطح معنی‌داری استفاده شد. رابطه بین کربن زی‌توده میکروبی و متغیرهای محیطی از طریق رگرسیون ساده و همبستگی بین آنها با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴

1. Conover Iman  
2. Bonferroni

(۲۰۱۳) نیز حاکی از آن است که مقدار کربن زی توده میکروبی در عمق پنج سانتی متری خاک در فصل پاییز بیشتر از فصول بهار و تابستان است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت کامل دارد.

روند تغییرات ماهانه کربن زی توده میکروبی در هر دو توده شاهد و مدیریت شده، حاکی از افزایش معنی دار این مشخصه در مهرماه و کاهش معنی دار آن در بهمن ماه نسبت به دیگر ماه های سال است (شکل ۲). بررسی یکساله مقادیر کربن زی توده میکروبی نشان داد که کمترین مقدار ثبت شده برای این متغیر در توده شاهد و مدیریت شده به ترتیب ۳۰۳/۲۲ و ۳۳۱/۹۷ واحد و بیشترین مقدار ۱۵۰۱/۷۸ و ۱۴۹۷/۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک بوده است. اگرچه Rangel و Vasconcelos و همکاران (۲۰۱۵)، بیشترین مقدار زی توده میکروبی را در آبان ماه گزارش کردند، در تحقیق Petal و همکاران (۲۰۱۰)، بیشینه کربن زی توده میکروبی در تیرماه و کمترین مقدار در اسفندماه مشاهده شد. گزارش های منتشر شده در زمینه تغییرات ماهانه کربن زی توده میکروبی با نتایج پژوهش حاضر همسوست، ولی مطابقت کامل ندارد (شکل ۲). افزایش معنی دار کربن زی توده میکروبی در مهرماه می تواند به اثرهای توأم جهش ایجاد شده در فعالیت میکروبی به واسطه افزایش ۱۱ و ۱۵ درصدی رطوبت خاک به ترتیب در توده شاهد و مدیریت شده پس از خشکی تابستانه، شروع لاشریزی و افزایش ورودی کربن آلی به خاک و همچنین روند نزولی رویش گیاهی مرتبط باشد [۱۱]. با وجود مناسب بودن مقدار کربن آلی و شرایط رطوبت خاک مقدار این مشخصه در بهمن ماه به حداقل رسید. این نتیجه منعکس کننده کاهش سطح رشد و فعالیت جمعیت های میکروبی خاک است که در نتیجه افت ۱۶۳۰ درجه ای دمای خاک نسبت به مهرماه و نامساعد شدن شرایط زیست خاکزیان به وقوع می پیوندد.

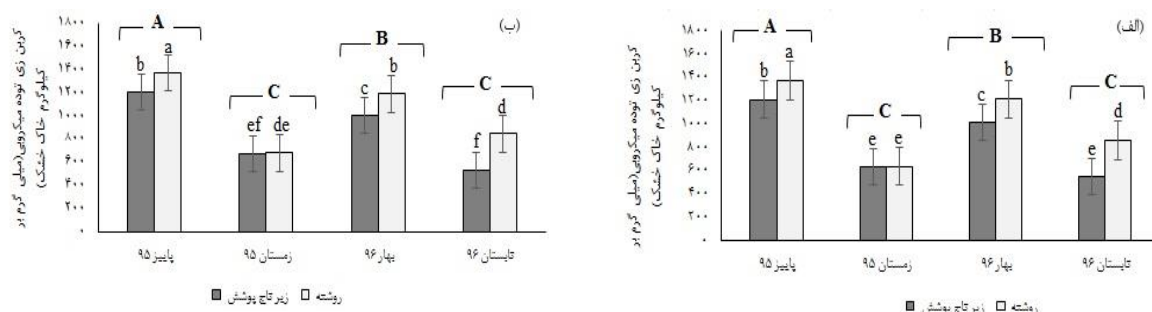
براساس رتبه بندی انجام گرفته توسط آزمون Conover- Iman، افزایش کربن زی توده میکروبی در روشنه های توده های شاهد و مدیریت شده نسبت به زیر تاج پوشش در

کربن زی توده میکروبی با رطوبت خاک (جدول ۱)، روند نزولی و معنی دار رطوبت خاک در تابستان نیز تأثیر بسزایی در کاهش کربن زی توده در این فصل دارد. همچنین اگرچه تغییرات درصد کربن آلی خاک طی سال اندک است (شکل ۴)، مقدار آن به واسطه حداکثر شدن روند تجزیه در فصل تابستان به حداقل خواهد رسید. وابستگی زی توده میکروبی با کربن آلی خاک (جدول ۱) و به حداقل رسیدن کربن آلی از دیگر عواملی است که زمینه کاهش این مشخصه را در این فصل فراهم می کند.

براساس نتایج به دست آمده، تفاوت آماری معنی داری در کربن زی توده میکروبی تابستان و زمستان مشاهده نشد (شکل ۱). با توجه به حذف عامل رویش گیاهی در فصل زمستان و افزایش رطوبت خاک در این فصل، افزایش کربن زی توده میکروبی مورد انتظار است. لیکن به دلیل کاهش معنی دار دمای خاک در فصل زمستان که بر کاهش رشد، فعالیت های فیزیولوژیک و حضور جمعیت های میکروبی مؤثر است [۷، ۸]، مجدداً شاهد کاهش کربن زی توده میکروبی در این فصل هستیم. تغییرات فصلی مشاهده شده با نتایج تحقیق برخی محققان مغایر است. چنانکه در تحقیق Arunachalam و همکاران (۲۰۰۰)، بیشترین کربن زی توده میکروبی در فصل زمستان و کمترین در فصل تابستان گزارش شد. همچنین Petal و همکاران (۲۰۱۰)، بیشترین کمترین مقدار را به ترتیب در فصول بارش و زمستان و Yang و همکاران (۲۰۱۰)، نیز بیشترین مقدار کربن زی توده میکروبی را در فصل تابستان گزارش کردند. نتایج تحقیق Shah و همکاران (۲۰۱۷)، نیز بیان کننده کاهش معنی دار این متغیر در فصل استراحت نسبت به فصل رویش بود. تفاوت در شرایط اقلیمی پژوهش های مذکور که به تغییرات دما و رطوبت خاک [۹]، الگو و مقدار بارش [۷، ۱۱] و کیفیت لاشریزی [۷] منجر می شود، سبب شکل گیری الگویی متفاوت از تغییرات فصلی کربن زی توده میکروبی در این پژوهش ها شده است. نتایج تحقیق Zhou و همکاران

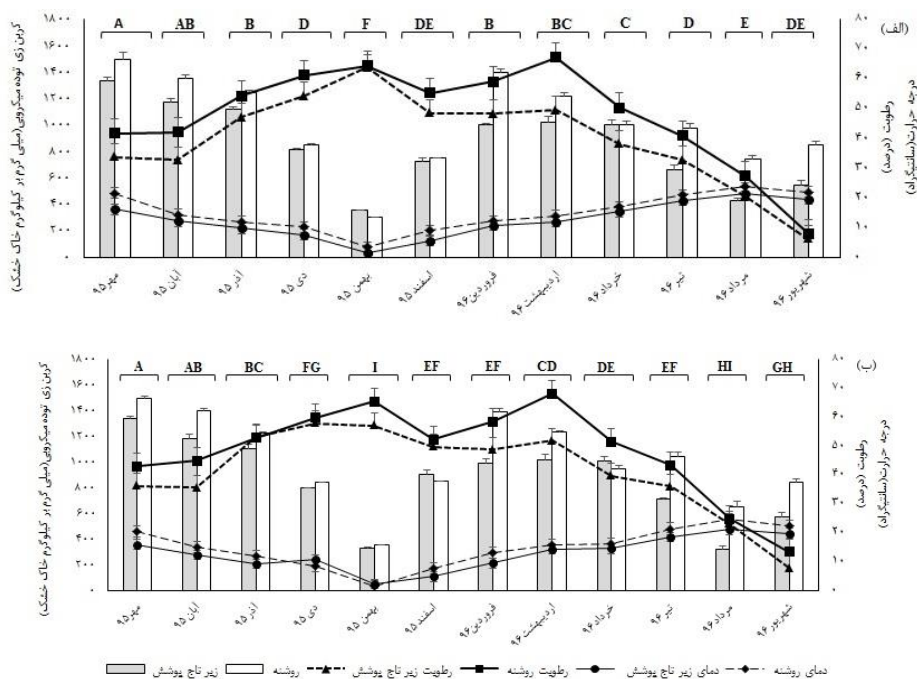
یافته‌های Arunachalam و همکاران (۲۰۰۰) و Deng و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت ندارد که ممکن است به علت الگوی متفاوت تغییرات رطوبت خاک در خرداقلیم روشن و زیر تاج پوشش در مطالعات مذکور نسبت به پژوهش حاضر باشد. براساس همبستگی مثبت بین کربن زی توده میکروبی و رطوبت خاک که از نتایج پژوهش حاضر است (جدول ۲)، بخشی از اختلاف‌های مشاهده شده بین روشن و زیر تاج پوشش احتمالاً به دلیل افزایش معنی دار رطوبت خاک در اغلب ماه‌های سال در روشن‌هاست (شکل ۲).

شش ماه از سال (فروردین، اردیبهشت، آبان، تیر، مرداد و شهریور) موجب شکل‌گیری رتبه‌های مجزا در این دو بخش شد (جدول ۱). پویایی زی توده میکروبی خاک به وسیله عامل‌های زیستی و غیرزیستی که در واحد مکان و زمان در اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی متغیرند، تعیین می‌شود. اختلاف کربن زی توده میکروبی در روشن و زیر تاج پوشش در فصول بهار، تابستان و پاییز معنی دار است، در حالی که در تمام ماه‌های فصل زمستان تفاوت آماری معنی داری بین این دو بخش مشاهده نشد (شکل ۲). نتیجه به دست آمده با



شکل ۱. الگوی تغییرات فصلی کربن زی توده میکروبی در توده شاهد (الف) و توده مدیریت شده (ب)

حروف متفاوت انگلیسی کوچک نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار بین روشن و زیر تاج پوشش، حروف متفاوت انگلیسی بزرگ بیانگر اختلاف بین فصول در سطح احتمال ۹۵ درصد و میله‌های خط نشان دهنده اشتباه معیار است.



شکل ۲. الگوی تغییرات ماهانه کربن زی توده میکروبی در توده شاهد (الف) و مدیریت شده (ب)

حروف متفاوت انگلیسی نشان دهنده اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و میله‌های خط نشان دهنده اشتباه معیار است.

جدول ۱. مقایسه ماهانه کربن زی توده میکروبی (میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک) در توده‌های شاهد و مدیریت شده

میانگین کربن زی توده میکروبی ± اشتباه معیار (میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک)		موقعیت	زمان
توده مدیریت شده (میانگین سالانه: ۲۲/۹۲ ± ۹۴۰/۴۴ <sup>a</sup> )	توده شاهد (میانگین سالانه: ۲۲/۶۶ ± ۹۳۳/۵۶ <sup>a</sup> )		
۱۴۹۷/۸۵ <sup>a</sup> ± ۱۳/۸۹	۱۵۰۱/۷۷ <sup>a</sup> ± ۵۱/۶۳	روشنه	مهر ۱۳۹۵
۱۳۳۷/۸۸ <sup>abc</sup> ± ۱۸±/۲۵	۱۳۳۴/۹۵ <sup>ab</sup> ± ۳۱/۷۹	زیر تاج پوشش	
۱۴۰۲/۹۹ <sup>ab</sup> ± ۱۵/۹۳	۱۳۵۷/۴۸ <sup>ab</sup> ± ۲۲/۱۶	روشنه	آبان ۱۳۹۵
۱۱۸۱/۴۲ <sup>de</sup> ± ۳۳۴/۳۷	۱۱۷۲/۸۱ <sup>c</sup> ± ۳۰/۹۷	زیر تاج پوشش	
۱۲۲۷/۱۶ <sup>cd</sup> ± ۱۰/۲۵	۱۲۴۶/۱۹ <sup>bc</sup> ± ۱۶/۲۳	روشنه	آذر ۱۳۹۵
۱۱۰۶/۹۲ <sup>def</sup> ± ۳۱/۴۳	۱۱۱۶/۹۴ <sup>cd</sup> ± ۲۱/۶۹	زیر تاج پوشش	
۸۴۲/۳۹ <sup>e</sup> ± ۴/۳۱	۸۵۱/۳۸ <sup>e</sup> ± ۴/۳۱	روشنه	دی ۱۳۹۵
۷۹۷/۹۴ <sup>ef</sup> ± ۲/۸۷	۸۱۸/۰۴ <sup>ef</sup> ± ۳/۲۱	زیر تاج پوشش	
۳۵۲/۸۱ <sup>i</sup> ± ۴/۸۳	۳۰۳/۲۳ <sup>j</sup> ± ۲/۷۵	روشنه	بهمن ۱۳۹۵
۳۳۱/۹۷ <sup>i</sup> ± ۵/۶۳	۳۵۲/۷۶ <sup>i</sup> ± ۵/۴۰	زیر تاج پوشش	
۸۴۹/۴۹ <sup>e</sup> ± ۲/۳۲	۷۵۲/۵۶ <sup>fg</sup> ± ۳/۳۰	روشنه	اسفند ۱۳۹۵
۹۰۱/۹۹ <sup>e</sup> ± ۳۳/۴۰	۷۲۷/۲۳ <sup>fg</sup> ± ۲۸/۵۴	زیر تاج پوشش	
۱۳۸۹/۶۳ <sup>ab</sup> ± ۳۳/۸۹	۱۳۹۶/۰۰ <sup>ab</sup> ± ۳۱/۹۸	روشنه	فروردین ۱۳۹۶
۹۹۴/۳۵ <sup>d</sup> ± ۳۱/۳۹	۱۰۰۸/۰۰ <sup>d</sup> ± ۲۰/۲۸	زیر تاج پوشش	
۱۲۳۴/۶۴ <sup>c</sup> ± ۱۳/۸۴	۱۲۲۲/۲۳ <sup>c</sup> ± ۲۱/۵۹	روشنه	اردیبهشت ۱۳۹۶
۱۰۱۴/۶۲ <sup>d</sup> ± ۵۰/۲۵	۱۰۲۵/۷۷ <sup>d</sup> ± ۴۱/۳۴	زیر تاج پوشش	
۹۵۰/۱۶ <sup>d</sup> ± ۲۶/۲۳	۱۰۰۷/۶۱ <sup>d</sup> ± ۲۴/۰۶	روشنه	خرداد ۱۳۹۶
۱۰۰۲/۲۰ <sup>d</sup> ± ۳۳/۳۰	۱۰۰۲/۸۳ <sup>d</sup> ± ۳۷/۵۰	زیر تاج پوشش	
۱۰۴۶/۷۶ <sup>d</sup> ± ۳۰/۰۶	۹۷۶/۱۱ <sup>d</sup> ± ۳۲/۳۴	روشنه	تیر ۱۳۹۶
۷۰۸/۳۰ <sup>fg</sup> ± ۱۴/۵۰	۶۶۴/۲۳ <sup>gh</sup> ± ۳۶/۶۲	زیر تاج پوشش	
۶۵۲/۰۵ <sup>gh</sup> ± ۴۳/۰۵	۷۴۴/۷۷ <sup>fg</sup> ± ۲۷/۰۴	روشنه	مرداد ۱۳۹۶
۳۲۲/۱۴ <sup>i</sup> ± ۲۱/۴۸	۴۲۷/۲۳ <sup>hi</sup> ± ۲۱/۰۸	زیر تاج پوشش	
۸۴۳/۸۶ <sup>c</sup> ± ۲۸/۱۱	۸۵۰/۲۸ <sup>e</sup> ± ۲۵/۳۸	روشنه	شهریور ۱۳۹۶
۵۷۶/۶۹ <sup>gh</sup> ± ۳۴/۷۶	۵۴۴/۲۳ <sup>ghi</sup> ± ۳۴/۶۲	زیر تاج پوشش	
۱۰۲۴/۱۵ <sup>*</sup> ± ۳۱/۱۵	۱۰۱۷/۵۲ <sup>*</sup> ± ۳۲/۳۴	روشنه	میانگین سالانه
۸۵۶/۷۴ <sup>*</sup> ± ۳۰/۷۵	۸۴۹/۵۹ <sup>*</sup> ± ۳۹/۷۶	زیر تاج پوشش	میانگین سالانه

\* نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بین میانگین سالانه روشنه و زیر تاج پوشش است.

حروف متفاوت انگلیسی بزرگ نشان دهنده اختلاف سالانه و حروف متفاوت انگلیسی کوچک بیانگر اختلاف ماهانه معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

همبستگی مثبت و معنی دار این متغیر زیستی با مشخصه‌های دما، رطوبت خاک و کربن آلی خاک (در سطح احتمال ۹۵ درصد) است. همچنین علی‌رغم نبود رابطه معنی دار بین سهم میکروبی با رطوبت خاک، این مشخصه با دما و کربن آلی خاک همبستگی معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد نشان داد (جدول ۲).

افزایش کربن زی توده میکروبی در روشنه‌ها را احتمالاً می‌توان به بیشتر بودن زی توده ریشه‌های موین در زیر تاج پوشش نسبت به روشنه نیز مرتبط دانست [۲۰]. در زیر تاج پوشش، تقاضای بیشتر پوشش‌های گیاهی در جذب عناصر غذایی موجب محدودیت دسترسی میکروارگانیسم‌های خاک به این عناصر می‌شود. بررسی رابطه کربن زی توده میکروبی با ویژگی‌های حاکی از

جدول ۲. همبستگی اسپیرمن کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی خاک با مشخصه‌های محیطی

مشخصه خاک	دمای خاک (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت خاک (درصد)	کربن آلی خاک (درصد)	سهم میکروبی (درصد)
کربن زی توده میکروبی (میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک)	۰/۱۱۹* (۰/۰۱)	۰/۱۱۹* (۰/۰۱)	۰/۰۹* (۰/۰۳)	۰/۶۷۷** (۰/۰۰)
سهم میکروبی (درصد)	۰/۳۹۲** (۰/۰۰)	-۰/۰۸۷ (۰/۰۷۲)	-۰/۰۵۹۵** (۰/۰۰)	-----

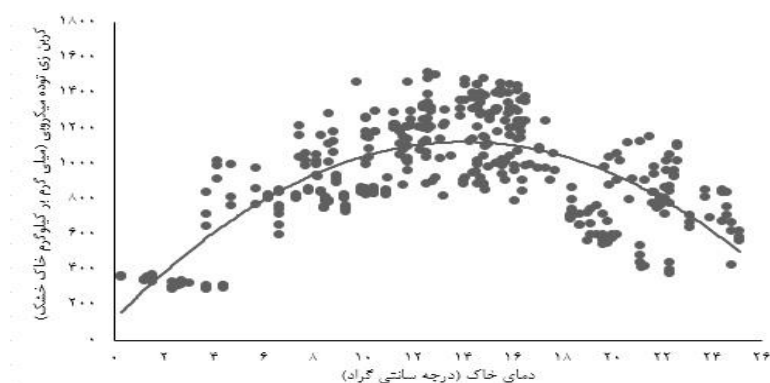
\* و \*\* به ترتیب نشان دهنده معنی دار در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

می‌شود (شکل ۱). رابطه کربن زی توده میکروبی و دمای خاک از یک تابع سهمی پیروی کرد. بهترین مدل رگرسیونی یک متغیره، ضریب تبیین و سطح معنی داری برای پیش بینی کربن زی توده میکروبی در توده‌های مورد پژوهش در رابطه ۱ ارائه شده است. در این رابطه  $Y$  معادل کربن زی توده میکروبی و  $x$  معادل درجه حرارت خاک است.

$$Y = 116/7 + 143/2x - 5/0.9x^2 \quad (1)$$

$(r^2 = 0/56, p = 0/005)$

دامنه تغییرات یکساله دمای خاک در توده‌های شاهد و مدیریت شده از ۰/۳ تا ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد بود. نمودار پراکنش نقاط نشان می‌دهد ایتیم کربن زی توده میکروبی در دامنه حرارتی ۱۰ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۳). بنابراین انتظار می‌رود در این دامنه دمای خاک مقدار کربن زی توده میکروبی حداکثر باشد که در شکل ۲ به راحتی ملاحظه می‌شود. از سوی دیگر، در الگوی تغییرات فصلی این متغیر، دو نقطه اوج در فصل‌های پاییز و بهار دیده



شکل ۳. رابطه کربن زی توده میکروبی و دمای خاک

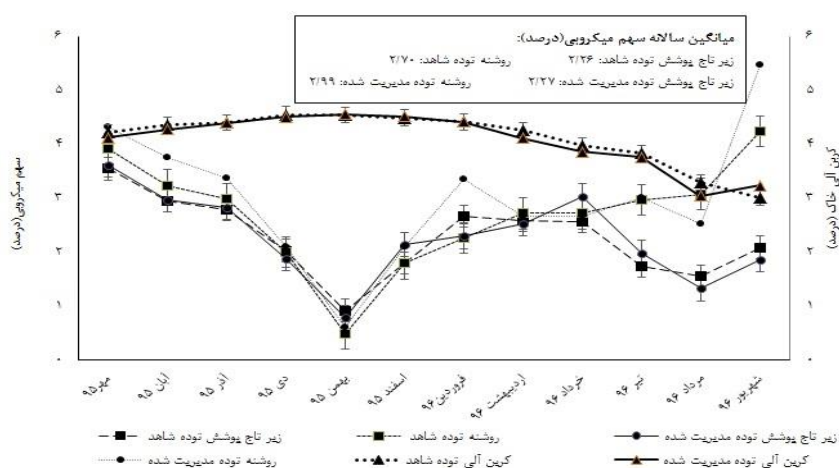
با وجود تغییرات اندک کربن آلی خاک، تغییرات ماهانه و فصلی کربن زی توده میکروبی موجب شد تا سهم این بخش فعال از کربن آلی خاک در بازه زمانی این تحقیق متغیر باشد. در هر دو توده شاهد و مدیریت شده، کربن زی توده میکروبی در مهرماه بیشترین (به ترتیب ۳/۷۳ و ۳/۹۶ درصد) و در بهمن ماه کمترین (به ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۹ درصد) سهم از کربن آلی خاک را به خود اختصاص داد (شکل ۴). همچنین میانگین سالانه سهم میکروبی که شاخصی از سطح دسترسی به عناصر غذایی خاک است [۹]، به ترتیب در توده‌های شاهد

و مدیریت شده ۲/۴۸ و ۲/۶۳ درصد به دست آمد که بیشتر از مقدار گزارش شده در تحقیق Yang و همکاران (۲۰۱۰)، است. نسبت کربن زی توده میکروبی از کربن آلی خاک همزمان با پایان یافتن فصل رویش در فصول پاییز و زمستان روندی کاهشی را دنبال می‌کند. به حداقل رسیدن سهم میکروبی در فصل زمستان بر افزایش ذخیره کربن آلی خاک و ترسیب آن در این فصل دلالت دارد. یافته تحقیق با نتایج تحقیق Petal و همکاران (۲۰۰۰) و Yang و همکاران (۲۰۱۰)، همسوست. با وجود مساعد شدن شرایط محیطی



محسوسی به ویژه در قطعات نمونه واقع در زیر تاج پوشش در مردادماه مشاهده شد (شکل ۴). همچنین اختلاف معنی دار سهم میکروبی خاک در دو بخش روشن و زیر تاج پوشش در فصل تابستان، احتمالاً به دلیل افزایش معنی دار سرعت تجزیه در روشن‌ها نسبت به زیر تاج پوشش در این فصل است.

به منظور افزایش فعالیت‌های میکروبی در فصل تابستان، احتمالاً به دلیل پیشی گرفتن پوشش گیاهی در جذب عناصر غذایی [۱۹] در این فصل نسبت به جمعیت‌های میکروبی و در نتیجه کاهش فرایند غیرمتحرک شدن کربن خاک در سلول‌های میکروبی [۹]، درصد کمتری از کربن آلی خاک در اختیار جمعیت‌های میکروبی قرار می‌گیرد. به این ترتیب افت



شکل ۴. روند تغییرات ماهانه کربن آلی خاک و سهم میکروبی در توده شاهد و مدیریت شده

بخش روشن و زیر تاج پوشش مشاهده شد، مقادیر ماهانه، فصلی و سالانه کربن زی توده میکروبی در دو توده بررسی شده تفاوت آماری معنی داری را در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان نداد. کربن زی توده میکروبی و سهم میکروبی از مهم‌ترین مشخصه‌های زیستی به منظور بیان وضعیت پویایی خاک در بازه زمانی کوتاه مدت محسوب می‌شوند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و براساس قابلیت خودتنظیمی بوم‌سازگان‌های جنگلی روند بازسازی توده مدیریت شده به گونه‌ای پیش رفت که پس از گذشت سه سال از آخرین زمان بهره‌برداری، سطح پویایی خاک به شرایط متعادل موجود در توده شاهد بسیار نزدیک شده است. براساس نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود در دستورالعمل تهیه طرح‌های حفاظتی مرتبط با تنفس جنگل، استفاده از این مشخصه‌های بیولوژیک برای ارزیابی پتانسیل توده گنجانده شود.

## نتیجه گیری

تغییرات زمانی کربن زی توده میکروبی در روشن‌های طبیعی و مصنوعی فاقد اختلاف آماری معنی داری بود که گویای تشابه شرایط روشن‌های طبیعی و مصنوعی (روشن‌های ایجادشده ناشی از قطع درخت در شیوه تک‌گزینی) و تأییدی بر صحت نزدیک به طبیعت بودن روش نشانه‌گذاری براساس این مشخصه است. کربن زی توده میکروبی همبستگی معنی - داری با دو عامل دما و رطوبت خاک نشان داد. با توجه به عدم تفاوت معنی دار ماهانه دو متغیر محیطی دما و رطوبت خاک در دو توده شاهد و مدیریت شده، عدم اختلاف معنی دار کربن آلی خاک در این دو توده و یکسان بودن دیگر شرایط محیطی که شرط اولیه اجرای این پژوهش بوده است، تشابه الگوی تغییرات ماهانه و فصلی کربن زی توده میکروبی در دو توده شاهد و مدیریت شده دور از ذهن به نظر نمی‌رسد. اگرچه در ماه‌های خرداد، بهمن و اسفند تفاوت‌های اندکی در

## References

- [1]. Luyssaert, S., Janssens, I. A., Sulkava, M., Papale, D., Dolman, A.J., Reichstein, M., Hollmén, N., Martin, J. G., Suni, T., Vesala, T., Loustau, D., Law, B. E., and Moors, E. J. (2007). Photosynthesis drives anomalies in net carbon-exchange of pine forests at different latitudes. *Global Change Biology*, 13(10): 2110-2127.
- [2]. Muscolo, A., Sidari, M., and Mercurio, R. (2007). Variations in soil chemical properties and microbial biomass in artificial gaps in silver fir stands. *European Journal Forest Research*, 126(1): 59-65.
- [3]. Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek D.F., and Stewart, B.A. (1994). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy Press, USA.
- [4]. Shirzadeh, N., Ali-Asgharzad, N., and Najafi, N. (2013). Changes in microbial biomass carbon, ecophysiological indices, basal induced respiration of soil after incubation with -respiration and substrate levels different lead. *Water and Soil Science*, 23(2): 111-124.
- [5]. Kaschuk, G., Alberton, O., and Hungria, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1): 1-13.
- [6]. Oyedele, A. O., Olayungbo, A. A., Denton, O. A., Ogunrewo, O. M., and Momodu, F. O. (2015). Assessment of the microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in relation to physico-chemical properties of Acric Lubisols in Ibadan South West, Nigeria. *Journal of agriculture and environment for international development*, 109(2): 179-187.
- [7]. Patel, K., Nirmal Kumar, J. I., kumar, R. N., and Bhoi, R. K. (2010). Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land used of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. *Applied Ecology and Environmental Research*, 8(4): 377-390.
- [8]. Arunachalam, A., and Arunachalam, K. (2000). Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and Soil*, 223(1): 187-193.
- [9]. Yang, K., Zhu, J., Zhang, M., Yan, Q., and Sun, O. J. (2010). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, 3(3): 175-182.
- [10]. Deng, Q., Hui, D., Zhang, D., Zhou, G., Liu, J., Liu, Sh., Chu, G., and Li, J. (2012). Effects of precipitation increase on soil respiration: A three-year field experiment in subtropical forest in China. *PloS One*, 7(10): 1-9.
- [11]. Zhou, Y., Zhang, X., Jia, X. H., Ma, J. Q., and Gao, Y. H. (2013). Seasonal variation in soil microbial biomass carbon and nitrogen in an artificial sand-binding vegetation area in Shapotou, Northern China. *Sciences in cold and arid regions*, 5(6): 733-738.
- [12]. Rangel-Vasconcelos, L.G.T., Zarin, D.J., Oliveria, F.D.A., Vasconcelos, S.S., Carvalho, C.J.R., and Silva Santos, M.M.D.L. (2015). Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in Eastern Amazonia. *Brazilian Society of Soil Science*, 39(2): 377-384.
- [13]. Murtaza, M., Massodi, T.H., Zafar, S.N., Baba, Z.A., Gato, A.A., Wani, A.A., and Wani, J.A. (2017). Variation in microbial biomass carbon under the canopy of *Salix alba* plantations in temperate regions of Kashmir (India). *SKUAST Journal of Research*, 19(2): 246-250.
- [14]. Xu, B., Wang, J., Wu, N., Yan, W., and Shi, F. (2017). Seasonal and interannual dynamics of soil microbial biomass and available nitrogen in an alpine meadow in the eastern part of Qinghai-Tibet Plateau, China. *Biogeosciences Discuss*, 66: 1-32.
- [15]. Forest Management Plan. (1995). District 1 Dr. Bahramnia forest, Watershed 85, Gorgan University of Agricultural sciences and Natural Resources, 252p. (In Persian)
- [16]. Walkley, A. and Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- [17]. Jenkinson, D. S., and Powelson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in Soil-V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(3): 209-213.

- [18]. Jafari Haghghi, M. (2003). *Methods of soil analysis sampling and important physical*, Nedaye Zoha Press, Sari, Iran.
- [19]. Fierer, N., and Schimel, J. P. (2003). A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. *Soil Science Society of America Journal*, 67(3): 798-805.
- [20]. Suchewaboripont, V., Ando, M., Iimura, Y., Yoshitake, S., and Ohtsuka, T. (2015). The effect of canopy structure on soil respiration in an old-growth beech-oak forest in central Japan. *Ecological Research*, 30(5): 867-877.

## Temporal variation of microbial biomass carbon and microbial quotient in a mixed beech stand (Case study: Dr. Bahramnia forestry plan, Gorgan)

**F. Rafiee;** Ph.D. Student of Silvicultural and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

**H. Habashi\*;** Assoc. Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

**R. Rahmani;** Assoc. Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

**Kh. Sagheb-Talebi;** Assoc. Prof., Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, I.R. Iran

(Received: 7 October 2017, Accepted: 17 December 2017)

### ABSTRACT

Microbial biomass carbon (MBC) and microbial quotient has been utilized as sensitive indicators to changes in ecosystems that are considered in soil quality studies. This study aimed to investigate the effects of selection system on the seasonal and monthly variations of MBC and microbial quotient in mixed beech stand which was performed in 2013. For this purpose, two stands including control and forest managed by selection system in Dr. Bahramnia educational and research forest in Gorgan province, Iran. We selected 6 (3×3 meters) sample plots within each stand (3 sample plots under closed canopy and 3 sample plots under the canopy gap with an area about 400 square meters). Three soil samples were taken from 0-10 cm depth at three random points within sample plots. For each soil sample, MBC, organic carbon, soil temperature and moisture were measured monthly in each sample plots within one year. Results showed that there were many fluctuations in MBC and microbial quotient in different seasons and months through the year despite the inconsiderable variation of soil organic carbon (3.01-4.55 percent in control stand and 3.04-4.51 percent in the managed stand). The highest and least amount of these two parameters were in autumn and winter, respectively. MBC mean in control stands ( $933.56 \pm 22.66 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) were statistically similar with managed stand ( $940.44 \pm 22.92 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) through the year. The results indicate the potential of managed stand in maintaining the balance after implementing the selection system method and the success of the implementation of this method based on these biological indicators.

**Keywords:** Monthly and seasonal variations, Beech-hornbeam stands, Gap, Selection system method, Microbial biomass carbon

---

\* Corresponding Author, Email: habashi@gau.ac.ir, Tel: +989113701070