

تغییرات یکساله میزان تنفس کل خاک، میکروبی و ریشه در توده آمیخته راش - ممرز (مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان)

فاطمه رفیعی^{۱*}، هاشم حبشی^۲، رامین رحمانی^۲

۱. دکتری بیولوژی خاک جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۳

چکیده

تنفس خاک که سهم مهمی از تنفس بوم‌سازگان خشکی را به خود اختصاص می‌دهد، اولین مسیر بازگشت دی‌اکسید کربن تثبیت‌شده در پوشش گیاهی به اتمسفر است. این پژوهش ضمن به‌کارگیری سیستم چمبر دینامیکی بسته و روش خروج ریشه، با هدف بررسی الگوی تغییرات ماهانه و فصلی تنفس خاک و اجزای آن (تنفس میکروبی و ریشه) در یک توده راش آمیخته از جنگل‌های هیرکانی طراحی شده است. به این منظور، شش قطعه نمونه ۹ متر مربعی (۳ × ۳ متر) در روشنه‌های طبیعی ۴۰۰ متر مربعی و منطقه زیر تاج‌پوشش مجاور روشنه‌ها در جنگل شصت کلاته گرگان مستقر شد. اندازه‌گیری میزان تنفس خاک، تنفس میکروبی و تنفس ریشه و دیگر عوامل محیطی طی یک سال (از مهر ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۶) و به‌صورت ماهانه انجام گرفت. براساس اندازه‌گیری‌های یکساله، در توده تحت بررسی، دامنه تغییرات تنفس خاک ۴/۸۱-۰/۶۶، تنفس میکروبی ۳/۴۱-۰/۳ و تنفس ریشه ۱/۴۳-۰/۳۶ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه بود. بیشترین مقادیر تنفس خاک، میکروبی و ریشه در فصل تابستان (به ترتیب ۴/۲۹، ۲/۸۶ و ۱/۳۴ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و کمترین آنها در فصل زمستان (به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۵۴ و ۰/۴۱ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) اندازه‌گیری شد. میزان تنفس میکروبی در قطعه نمونه روشنه بیشتر از زیر تاج‌پوشش بود، حال آنکه تنفس ریشه در زیر تاج‌پوشش بیشتر از روشنه بود. رابطه تنفس خاک و اجزای آن با عوامل محیطی بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار ویژگی‌های زیستی خاک با دمای خاک و همبستگی منفی و معنی‌دار با محتوای رطوبت خاک بود. تغییرات دما و رطوبت خاک سبب بروز تغییر در ویژگی‌های زیستی خاک و متعاقب آن خصوصیات شیمیایی و حاصلخیزی خاک خواهد شد. از این رو پیشنهاد می‌شود که در روشنه‌های مصنوعی با ابعاد مختلف نیز اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی انجام گیرد تا فرایند تغییرات خصوصیات خاک در روشنه مدلسازی شود.

واژه‌های کلیدی: پویایی زمانی، تنفس اتوتروفیک، تنفس هتروتروفیک، جنگل هیرکانی، دی‌اکسید کربن خاک.

مقدمه

خاک‌ها به‌طور تقریبی ۱۵۰۰ پتاگرم (هر پتاگرم معادل ۱۰^{۱۵} گرم) از کربن آلی جهان را در بر می‌گیرند که این مقدار بیشتر از کربن ذخیره‌شده در ساختار پوشش گیاهی و اتمسفر است [۱]. تنفس خاک بزرگ‌ترین جریان کربن از بوم‌سازگان خشکی به اتمسفر است که نشان‌دهنده کل دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک است [۲]. این فرایند، بخش بسیار مهمی از چرخه کربن به شمار می‌رود [۳] و اثر مهمی در تعادل کربن بوم‌سازگان جنگلی دارد [۴]. تنفس خاک از دو بخش تنفس هتروتروفیک (میکروبی) و تنفس اتوتروفیک (ریشه) تشکیل می‌شود. تنفس هتروتروفیک از تجزیه میکروبی مواد مترشحه ریشه در ریزوسفر، لاشریزه‌های رو و زیر زمینی و ماده آلی خاک حاصل می‌شود [۵]. تنفس اتوتروفیک نیز دی‌اکسید کربن متصاعدشده از ریشه است که به‌منظور رشد و بیوستتز اجزای ساختاری ریشه یا بقای سلول‌های زنده انجام می‌گیرد [۵]. پژوهش‌ها در مقیاس جهانی، بیانگر افزایش سالانه ۰/۱ پتاگرمی مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک در نتیجه فرایند تغییر اقلیم است [۲]. دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک که حاصل فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌های خاک است، تحت تأثیر عوامل چندگانه محیطی قرار دارد. با توجه به حساسیت متفاوت تنفس میکروبی و ریشه به تغییرات دمایی در طی زمان و در اقلیم‌ها و بوم‌سازگان مختلف، افزایش اطلاعات در زمینه عوامل زیستی و غیرزیستی کنترل‌کننده این فرایند مهم هر یک از بوم‌سازگان جنگلی، به‌منظور پیش‌بینی نقش مهم آن در واکنش به گرمایش جهانی ضروری است. تشریح تأثیرات فصلی تغییرات محتوای رطوبت خاک بر میزان تنفس خاک، حاکی از افزایش دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک در فصل بارش و کاهش آن در طول فصل خشک در جنگل‌های گرمسیری در شرق آمازون بود [۶]. این در حالی است که براساس یافته‌های محققان (۲۰۰۵)،

شرایط رطوبتی مطلوب برای رشد گیاهان و جمعیت‌های میکروبی سبب افزایش تنفس خاک در فصل مرطوب می‌شود. همچنین افزایش دما و روند معکوس رطوبت خاک در فصل خشک، کاهش نرخ تنفس خاک در فصل تابستان را به‌همراه داشته است. از این گذشته، در سراسر طول سال، میزان تنفس خاک در مناطق باز از مناطق زیر تاج‌پوشش کمتر بود [۷]. براساس نتایج پژوهشگران (۲۰۰۹) در مراتع معتدله ژاپن، همبستگی تنفس میکروبی با دمای خاک از یک تابع نمایی افزایشی پیروی کرد. در این پژوهش، دمای خاک، عامل اصلی کنترل‌کننده تغییرات فصلی دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک در علفزارهای معتدله مرطوب معرفی شد [۳]. بیشترین مقدار گزارش‌شده تنفس خاک در تحقیقی (۲۰۱۴) به ترتیب در فصول بارش، تابستان و زمستان بود [۸]. در پژوهشی (۲۰۱۶) یافته‌های منتشرشده حاکی از نبود رابطه معنی‌دار بین تنفس ریشه با درجه حرارت و محتوای رطوبت خاک بود [۹]. این در حالی است که برخی محققان همبستگی مثبت و معنی‌دار میزان تنفس خاک با دمای خاک را در بوم‌سازگان مختلف جنگلی گزارش کردند [۱۰-۱۲]. در عین حال بر اساس نتایج مشاهده‌شده مقدار تنفس کل خاک و اجزای آن در فصل رویش نسبت به فصل غیررویش افزایش یافت [۱۳]. تأثیر وقوع بارش به‌ویژه بعد از یک دوره خشکی بر افزایش معنی‌دار میزان تنفس خاک موضوعی است که در تحقیق لی و همکاران به اثبات رسید [۱۴]. در آخرین تحقیقات در علفزارهای آلپ (۲۰۲۰) نیز تغییرات معنی‌داری از نرخ تنفس خاک در مقاطع زمانی ماهانه و فصلی به ثبت رسید [۱۵]. توصیف سطح پویایی ویژگی‌های زیستی خاک می‌تواند شاخص مهم و ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و دستیابی به اهداف تعریف‌شده در مدیریت پایدار جنگل باشد. در این راستا کمی‌سازی مقدار تصاعد دی‌اکسید کربن خاک و آزمون ناهمگنی مکانی و زمانی از ضروریات و مقدمات تعیین

دخالت‌نشده واقع در پارسل ۳۲ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (جنگل شصت‌کلاته گرگان) در نظر گرفته شد. این پارسل در محدوده طول جغرافیایی $39^{\circ} 30' 54''$ تا $41^{\circ} 09' 54''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 07' 07''$ تا $36^{\circ} 02' 02''$ شمالی و در ارتفاع ۹۲۰ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). جهت عمومی منطقه، شمال غربی-غربی، شیب منطقه صفر تا ۶۰ درصد و توده غالب این پارسل توده راش-ممرز و ساختار توده، دوآشکوبه است. از لحاظ موجودی سرپا، توده تحت مطالعه درجه یک است و تعداد و حجم درختان آن با قطر بیش از ۱۲/۵ سانتی‌متر، به ترتیب ۱۶۷ اصله و ۴۵۸/۵ مترمکعب در هکتار است. دو گونه درختی غالب منطقه، راش (*Fagus orientalis*) و ممرز (*Carpinus betulus*) هستند و از گیاهان همراه می‌توان به گونه‌های کوله‌خاص، سرخس، همیشهک، کارکس و تمشک اشاره کرد. میانگین بارش سالانه ۶۴۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین براساس طبقه‌بندی دومارتین، منطقه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب است.

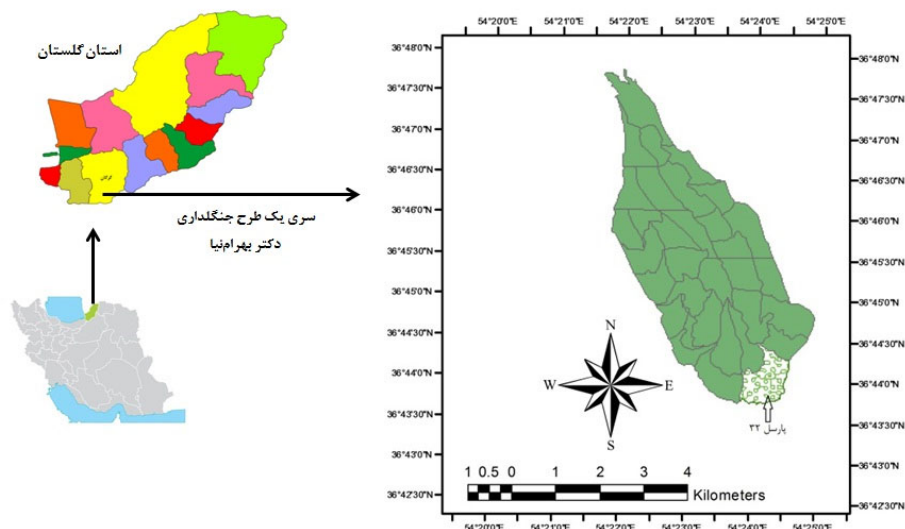
روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی، ۱۰ روشنه (سطحی در یک منطقه باز شده از تاج که وسعت آن تا پایه یا لبه تاج درختان اطراف در منطقه باز شده ادامه یافته است) سه‌ساله به مساحت تقریبی ۴۰۰ متر مربع و با شرایط محیطی یکسان (شیب ۳۰ درصد)، جهت عمومی منطقه (شمال غربی)، بافت خاک (رسی)، میانگین بارش سالانه (۶۴۹ میلی‌متر) تعیین و براساس اهداف تحقیق از بین آنها سه روشنه به صورت تصادفی انتخاب شد. در جدول ۱ به برخی از ویژگی‌های خاک توده در دو بخش روشنه و زیر تاج‌پوشش (بدون اختلاط آماری معنی‌دار) اشاره شده است.

سطح پویایی خاک در بوم‌سازگان خشکی است، چراکه حتی تغییرات کوچک در میزان تنفس خاک ممکن است سبب تغییرات زیادی در غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری شود. چنانکه ایجاد روشنه‌های طبیعی یا مصنوعی در بوم‌سازگان جنگلی، میکرواقایم‌های متفاوتی را در توده جنگلی ایجاد خواهد کرد که می‌تواند به لحاظ کمی در مقدار سالانه دی‌اکسید کربن متصاعد شده از این بوم‌سازگان تأثیر شگرفی داشته باشد. بنابراین بدون ارزیابی مقدار کل دی‌اکسید کربن متصاعد شده از سطح خاک و از هر یک از بخش‌های آن، بی‌تردید ارزیابی مقدار ترسیب کربن خاک و بررسی تعادل چرخه کربن بوم‌سازگان جنگلی با چالش‌های زیادی مواجه خواهد شد. اما از آنجا که تغییرات مکانی و زمانی تنفس خاک زیاد است، تکمیل بانک اطلاعاتی چرخه کربن در مقیاس، جهانی نیازمند کسب اطلاعات جزئی‌تر در مقیاس محلی است. جنگل‌های شمال ایران، مهم‌ترین جنگل‌های کشور و البته بخش بسیار مهمی از جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شوند. اما با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینه بررسی الگوی تغییرات زمانی مقدار دی‌اکسید کربن متصاعد شده از خاک توده‌های جنگلی جهان، تاکنون هیچ گزارش علمی‌ای در این زمینه از خاک توده‌های جنگلی ایران ارائه نشده است. این پژوهش اولین بار ضمن معرفی الگویی از تغییرات ماهانه و فصلی تنفس خاک و اجزای آن (تنفس میکروبی و تنفس ریشه) در یکی از مهم‌ترین توده‌های جنگلی ایران (توده راش آمیخته، واقع در جنگل شصت‌کلاته گرگان)، به کمی‌سازی ماهانه این ویژگی‌های زیستی و مقایسه تغییرات احتمالی آنها در دو بخش روشنه و زیر تاج‌پوشش، در طی یک دوره زمانی یکساله می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه پژوهش: برای اجرای این تحقیق، یک توده



شکل ۱. نقشه پارسل ۳۲ از سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا

جدول ۱. میانگین (\pm اشتباه معیار) برخی از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توده

زیر تاج پوشش	روشنه	مشخصه
$5/45 \pm 2/24$	$5/93 \pm 0/29$	اسیدیته
$0/1488 \pm 6/8$	$0/1392 \pm 9/9$	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
$0/83 \pm 0/06$	$1/03 \pm 0/07$	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
$4/04 \pm 0/09$	$4/13 \pm 0/11$	کربن آلی خاک (درصد)

پس از خارج کردن لایه لاشریزی و گیاهان رویش یافته در درون استوانه‌ها [۷، ۹] و پس از گذشت ۱ تا ۳ دقیقه از زمان قرار دادن چمبر بر روی استوانه‌های بزرگ [۶]، اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسید کربن در محفظه درون چمبر هر ۶۰ ثانیه یک‌بار و در مدت ۵ دقیقه انجام گرفت. تنفس میکروبی خاک (تنفس هتروتروفیک) نیز براساس روش خروج ریشه به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری شد. به این صورت که یک ماه قبل از زمان اندازه‌گیری، نمونه‌برداری خاک با استوانه‌های کوچک‌تری انجام گرفت [۱۶]. به‌منظور جلوگیری از نفوذ ریشه‌های جدید به داخل استوانه‌های نمونه‌برداری، انتهای استوانه‌های مذکور با استفاده از ورقه‌هایی با منافذ ۳۸ میکرومتری بسته شد [۱۶، ۱۷]. پس از این کار، استوانه‌ها دوباره در همان محل نمونه‌برداری تعبیه شدند و در ماه آینده با استفاده از چمبر دینامیکی بسته

در هر روشنه یک قطعه‌نمونه به ابعاد ۳ در ۳ متر مستقر و سه نقطه تصادفی (سه تکرار) در هر یک از قطعه‌نمونه‌ها در نظر گرفته شد. در کنار هر یک از روشنه‌های انتخاب‌شده و با فاصله حدود ۲۵ متری در جنگل مجاور (زیر تاج پوشش)، یک قطعه‌نمونه ۳ در ۳ متر با سه نقطه تصادفی در هر قطعه‌نمونه استقرار داده شد. یک ماه قبل از شروع دوره تحقیق، در هر یک از نقاط انتخاب‌شده، استوانه‌ای از جنس پلی‌اتیلن به قطر ۱۵/۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک تعبیه شد و طی دوره یکساله (از مهر ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۶) میزان ماهانه تنفس کل خاک در این استوانه‌ها با روش چمبر دینامیکی بسته اندازه‌گیری شد. این چمبر مجهز به حسگر اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک با دقت ۰/۱ بخش در میلیون و با قابلیت اندازه‌گیری دما و رطوبت بود.

(۲۰۱۷) میانگین گروه‌ها با آزمون کونور ایمان مقایسه شد. همچنین در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴، از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی روابط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده با عوامل محیطی استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییرات دما و محتوای رطوبت خاک: براساس نتایج، در قطعه‌نمونه‌های روشنه بیشترین دمای خاک در مرداد ۱۳۹۶ ($24 \pm 0/12$) درجه سانتی‌گراد) و کمترین آنها در بهمن ۱۳۹۵ ($13/5 \pm 0/10$) درجه سانتی‌گراد) ثبت شد. به همین ترتیب، در قطعه‌نمونه‌های زیر تاج‌پوشش نیز بیشترین دمای خاک در مرداد ۱۳۹۶ ($21/3 \pm 0/06$) درجه سانتی‌گراد) و کمترین آنها در بهمن ۱۳۹۵ ($1/2 \pm 0/11$) درجه سانتی‌گراد) ثبت شد (شکل ۲). الگوی تغییرات ماهانه محتوای رطوبتی خاک در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش مشابه بود. چنانکه در بخش روشنه، بیشترین محتوای رطوبت خاک در اردیبهشت ۱۳۹۶ ($58/49 \pm 1/60$) درصد) و کمترین محتوای رطوبت در شهریور ۱۳۹۶ ($5/7 \pm 0/49$) درصد) به ثبت رسید. در قطعه‌نمونه‌های واقع در زیر تاج‌پوشش نیز بیشترین محتوای رطوبت در بهمن ۱۳۹۵ ($52/91 \pm 1/49$) درصد) و کمترین محتوای رطوبت در شهریور ۱۳۹۶ ($5/10 \pm 0/38$) درصد) بود (شکل ۲).

(Dynamic Closed Chamber)، مدل Q-Box SR1LP، مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده از استوانه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان تنفس ریشه (تنفس اتوتروفیک) از رابطه زیر برحسب واحد میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه محاسبه شد.

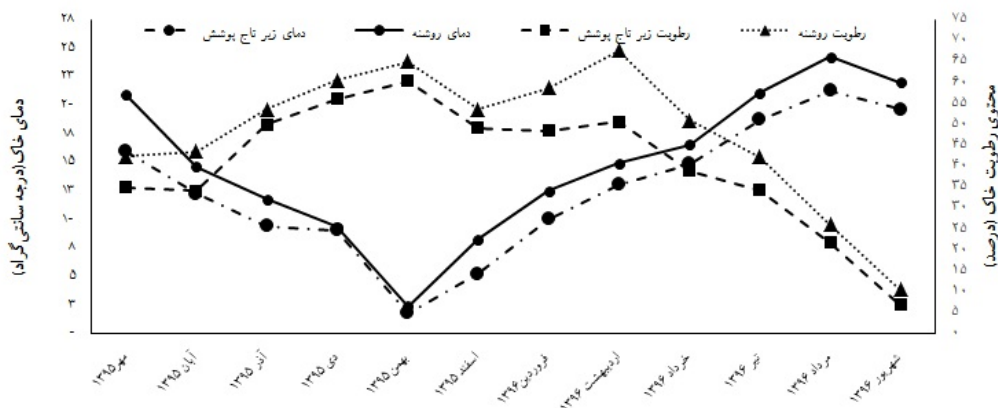
$$SR=MR+RR \quad (1)$$

که در آن SR تنفس خاک، MR تنفس میکروبی و RR تنفس ریشه است.

دمای خاک در نقاط نمونه‌برداری، با قرار دادن حسگر دماسنج دیجیتال مخصوص اندازه‌گیری دمای خاک (Luster Leaf 1625 Digital Soil Thermometer) در عمق ۱۰ سانتی‌متری ثبت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مقدار رطوبت خاک به روش وزنی [۱۸] تعیین شد.

روش آماری

نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-ویلک و کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. نتیجه این آزمون‌ها بیانگر تبعیت نکردن داده‌های ثبت شده از توزیع نرمال است. بنابراین، در تحلیل داده‌ها آزمون‌های ناپارامتری به کار گرفته شد. پس از تأیید معنی‌داری اختلاف بین گروه‌ها با آزمون کروسکال والیس (در سطح احتمال ۹۵ درصد)، با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۱.۴.۳



شکل ۲. الگوی تغییرات ماهانه درجه حرارت و محتوای رطوبت خاک در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش

احتمال ۹۹ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تنفس خاک، میکروبی و ریشه با درجه حرارت خاک و همبستگی منفی با محتوای رطوبت خاک برقرار شد (جدول ۲).

روابط همبستگی بین تنفس کل خاک و اجزای آن با دو عامل محیطی دما و رطوبت خاک بیانگر وجود رابطه معنی‌دار بین این مشخصه‌هاست. چنانکه براساس نتایج، در سطح

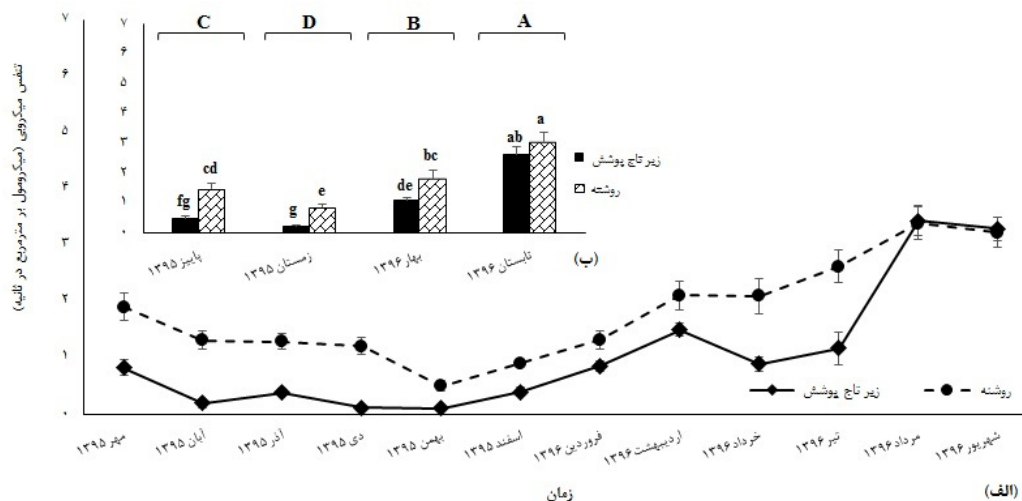
جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین اجزای تنفس خاک با مشخصه‌های محیطی

مشخصه خاک	تنفس خاک	تنفس میکروبی	تنفس ریشه
دمای خاک (درجه سانتی‌گراد)	۰/۷۶۸***(۰/۰۰)	۰/۷۳۷***(۰/۰۰)	۰/۲۸۶***(۰/۰۰)
رطوبت خاک (درصد)	-۰/۶۲۶***(۰/۰۰)	-۰/۳۹۹***(۰/۰۰)	-۰/۴۷۴***(۰/۰۰)

تغییرات تنفس میکروبی

براساس نتایج، بیشترین تنفس میکروبی در هر دو بخش روشنه (۰/۲۶ ± ۳/۳۹ میکرومول بر متر مربع در ثانیه) و زیر تاج پوشش (۰/۲۸ ± ۳/۴۴ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) در مرداد ۱۳۹۶ و کمترین مقدار در بهمن ۱۳۹۵ (۰/۰۹ ± ۰/۵۰ و ۰/۱۰ ± ۰/۰۵ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه به ترتیب در قطعه‌نمونه‌های واقع در روشنه و زیر تاج پوشش) ثبت شد

(شکل ۳ الف). در عین حال نتایج آزمون کونور ایمان بیانگر اختلاف معنی‌دار میزان تنفس میکروبی در فصل‌های مختلف سال است. به گونه‌ای که بیشترین مقدار این متغیر در تابستان و کمترین مقدار در زمستان اندازه‌گیری شد. همچنین مقایسه میزان تنفس میکروبی در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج پوشش نشان داد که این متغیر در همه فصل‌های سال، در روشنه‌ها از زیر تاج پوشش بیشتر بوده است (شکل ۳ ب).



شکل ۳. الگوی تغییرات ماهانه (الف) و فصلی (ب) تنفس میکروبی در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج پوشش طی یک سال (حروف متفاوت انگلیسی کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۹۵ درصد) فصلی بین قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج پوشش، حروف متفاوت انگلیسی بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار مجموع قطعه‌نمونه‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و میله‌های خطا نشان‌دهنده اُنستباه معیار است).

الگوی فصلی تنفس میکروبی می‌تواند به دلیل حساسیت دمایی متفاوت تنفس خاک در طول سال باشد [۲۰]. چراکه میزان حساسیت دمایی مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح خاک به تجزیه کربن خاک و سازش فیزیولوژیکی میکروبی از طریق تغییر ترکیبات لیپیدی خود، سنتز پروتئین‌های جدید و تغییر در تخصیص منابع از بخش سازوکار رشد به سازوکار بقا مرتبط است [۴].

تغییرات تنفس ریشه

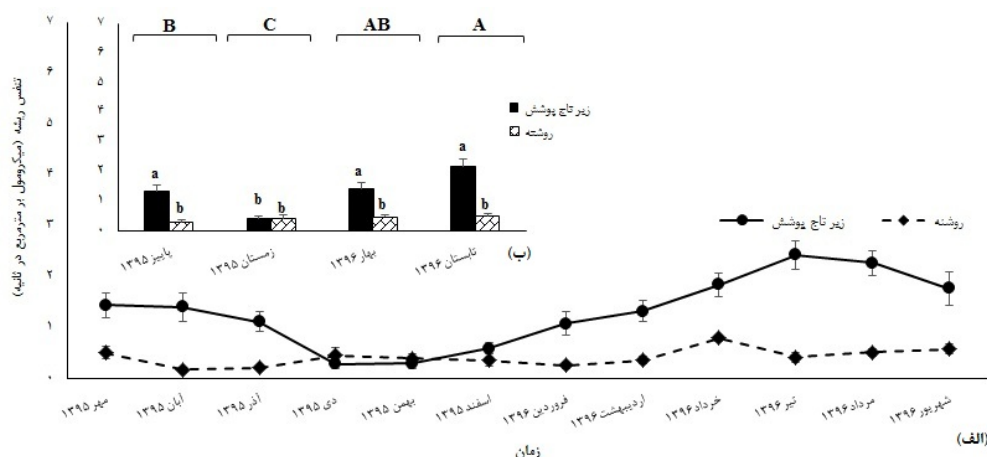
بیشینه میزان تنفس ریشه در زیر تاج پوشش ($0/11 \pm$ و $2/44$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و روشنه ($0/09 \pm 0/58$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) به ترتیب در تیر و شهریور ۱۳۹۶ ثبت شد. کمینه مقدار این پارامتر نیز در زیر تاج پوشش ($0/10 \pm$ و $0/60$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و روشنه ($0/03 \pm 0/18$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) به ترتیب در اسفند و آبان ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد (شکل ۴ الف). رتبه‌بندی صورت گرفته بر پایه آزمون کونور ایمان نیز حاکی از افزایش معنی‌دار این ویژگی زیستی خاک در بخش زیر تاج پوشش نسبت به روشنه در همه فصل‌های سال است (شکل ۴ ب). همچنین مقایسه‌های فصلی نشان داد که احتمالاً به دلیل تبعیت تنفس ریشه از زمان شروع یا خاتمه فعالیت‌های فیزیولوژیکی پوشش گیاهی، تنها دو سطح معنی‌داری برای این متغیر تفکیک‌پذیر است (شکل ۴ ب).

بررسی الگوی تغییرات ماهانه تنفس ریشه در این پژوهش همانند نتایج پژوهش یانگ و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که همزمان با افزایش دمای خاک، تنفس ریشه افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در فصل تابستان که زمان اوج فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاهی است، تنفس ریشه به بیشترین حد می‌رسد [۲۱]. افزون‌بر این، فعالیت‌های فیزیولوژیک مرتبط با رشد ریشه که به سنتز بافت‌های جدید ریشه اشاره دارد نیز ممکن است در افزایش تنفس ریشه تأثیر

براساس نتایج پژوهش حاضر، تنفس میکروبی خاک که شاخصی از پویایی جمعیت‌های میکروبی محسوب می‌شود، در دو بخش روشنه و زیر تاج پوشش در طی سال متفاوت بود. براساس پژوهش‌های پیشین، دما، رطوبت و کربن آلی خاک مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در فعالیت‌های میکروبی خاک هستند [۶، ۸، ۱۹]. با توجه به نزدیک بودن مقدار کربن آلی خاک در روشنه‌ها و زیر تاج پوشش ($4/10$ و $4/13$ درصد، به ترتیب در روشنه و زیر تاج پوشش) به نظر می‌رسد افزایش دمای خاک و انطباق یا نزدیک بودن درصد رطوبت خاک به حد رطوبت بهینه (حد ظرفیت مزرعه) در روشنه‌ها نسبت به زیر تاج پوشش شرایط مطلوبی برای فعالیت ریز جانداران خاک فراهم می‌کند. الگوی تغییرات ماهانه تنفس میکروبی خاک بیانگر آن است که با وجود افزایش درصد رطوبت خاک در فصل زمستان نسبت به دیگر فصل‌ها، به دلیل کاهش شدید دمای خاک، تنفس میکروبی خاک نیز به شدت کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی‌دار تنفس میکروبی با دمای خاک (جدول ۲) نشان‌دهنده غالب بودن اثر این عامل محیطی بر فعالیت میکروبی خاک است که با یافته‌های سایر محققان (۲۰۱۹) مطابقت دارد [۱۳]. چنانکه به‌رغم کاهش رطوبت خاک در فصل تابستان، روند صعودی دمای خاک در این فصل سبب افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی خاک شده است. در این زمینه نتایج تحقیق محققان (۲۰۰۹) نیز که در دوره شش ماهه فصل رویش انجام گرفت، حاکی از افزایش تنفس میکروبی در فصل تابستان نسبت به بهار است [۳]. در عین حال، وابستگی فعالیت جمعیت‌های میکروبی به فرایند فتوسنتز می‌تواند زمینه تغییرات ماهانه مقدار دی‌اکسید کربن متصاعدشده را در طول سال، به‌ویژه در توده خزان‌کننده راش آمیخته فراهم آورد. چنانکه براساس اظهارات ماکیتا و همکاران (۲۰۱۸)، انتشار مواد جدید فتوسنتزی به ناحیه ریزوسفر، ممکن است موجب شتاب معنی‌داری در فعالیت جمعیت‌های میکروبی این ناحیه شود [۴]. همچنین تغییر در

زی توده ریشه‌های موین و ورودی لاشریزه [۱۹]، همچنین با توجه به تراکم بیشتر ریشه‌های زنده در زیر تاج پوشش [۲۲]، کمتر بودن زی توده ریشه‌ها و ورودی کمتر لاشریزه در روشن‌ها موجب شد این افزایش تنها در قطعه‌نمونه‌های زیر تاج پوشش دیده شود. به این ترتیب الگوی تغییرات تنفس ریشه در روشن‌ها در طول سال روند تقریباً ثابتی را دنبال کرد. در فصل زمستان که دوره استراحت پوشش گیاهی در جنگل‌های معتدله است، فعالیت ریشه درختان نیز همانند دیگر فعالیت‌های زیستی به حداقل مقدار خود می‌رسد. بنابراین بیشترین تشابه در میزان تنفس ریشه در قطعه‌نمونه‌های روشن و زیر تاج پوشش در این فصل مشاهده شد.

بسیاری داشته باشد [۳، ۴]. در تحقیقی (۲۰۰۹) بیشترین همبستگی بین تنفس ریشه با تولید ریشه به دست آمد [۳]. با افزایش رشد ریشه که به افزایش تولید برگ درختان منجر می‌شود، تنفس بافت ریشه و انتشار دی‌اکسید کربن از این بافت‌ها نیز همزمان افزایش می‌یابد [۴]. به این ترتیب حداکثر تنفس ریشه که در فصل تابستان در این پژوهش مشاهده شد، همسو با یافته‌های دیگر محققان (۲۰۰۹) است [۳]. همچنین براساس اظهارات ماکیتا (۲۰۱۸)، محدودیت سوبسترا در ناحیه ریزوسفر در فصل زمستان، ممکن است موجب کاهش رشد ریشه و تنفس ریشه شود [۴]. همچنین کاهش مکانی تنفس ریشه در فضای باز اصولاً به دلیل فقدان ریشه درختان است [۷]. با توجه به همبستگی مثبت تنفس ریشه با

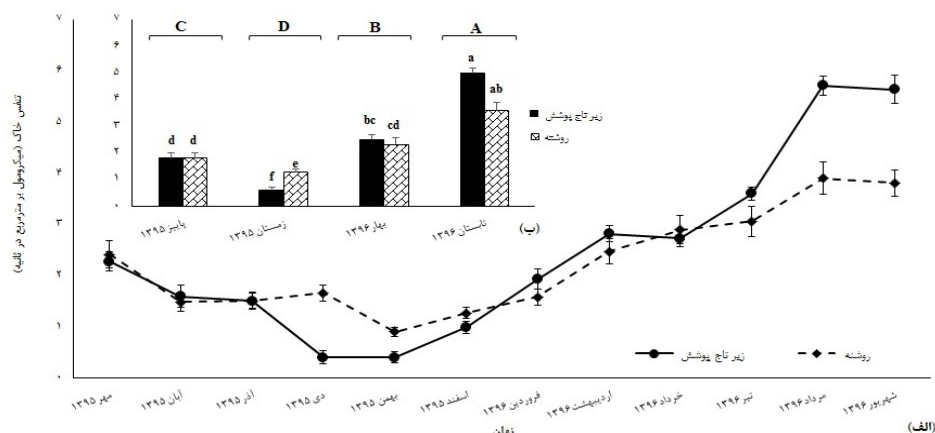


شکل ۴. الگوی تغییرات ماهانه (الف) و فصلی (ب) تنفس ریشه در قطعه‌نمونه‌های روشن و زیر تاج پوشش طی یک سال (حروف متفاوت انگلیسی کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۹۵ درصد) فصلی بین قطعه‌نمونه‌های روشن و زیر تاج پوشش، حروف متفاوت انگلیسی بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار مجموع قطعه‌نمونه‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و میله‌های خطا نشان‌دهنده اشتباه معیار است).

تغییرات تنفس کل خاک
براساس الگوی تغییرات ماهانه میزان تنفس خاک، بیشترین مقدار این شاخص در هر دو بخش روشن (۳/۹۱ ± ۰/۲۹) میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و زیر تاج پوشش (۵/۷۲ ± ۰/۱۶) میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) به مرداد ۱۳۹۶ اختصاص یافت. همچنین کمترین تنفس خاک در روشن

۰/۰۹ ± ۰/۹۲ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و زیر تاج پوشش (۰/۰۶ ± ۰/۴۱ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) در بهمن ۱۳۹۵ ثبت شد (شکل ۵ الف). براساس نتایج آزمون کونور ایمان رتبه‌بندی داده‌های فصلی این ویژگی خاک به ایجاد چهار سطح معنی‌داری (براساس چهار فصل سال) منجر شد (شکل ۵ ب).

تغییرات تنفس کل خاک
براساس الگوی تغییرات ماهانه میزان تنفس خاک، بیشترین مقدار این شاخص در هر دو بخش روشن (۳/۹۱ ± ۰/۲۹) میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) و زیر تاج پوشش (۵/۷۲ ± ۰/۱۶) میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) به مرداد ۱۳۹۶ اختصاص یافت. همچنین کمترین تنفس خاک در روشن



شکل ۵. الگوی تغییرات ماهانه (الف) و فصلی (ب) تنفس کل خاک در قطعه نمونه‌های روشنه و زیر تاج پوشش طی یک سال (حروف متفاوت انگلیسی کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۹۵ درصد) فصلی بین قطعه نمونه‌های روشنه و زیر تاج پوشش، حروف متفاوت انگلیسی بزرگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار مجموع قطعه نمونه‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و میله‌های خطا نشان‌دهنده اشتباه معیار است)

شده است، موجب شکل‌گیری الگویی مشابه با الگوی تغییرات ماهانه تنفس میکروبی و تنفس ریشه شد. بیشترین و کمترین میزان تنفس خاک به ترتیب به ماه‌های مرداد و بهمن اختصاص یافت که با نتایج تحقیق سان و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد [۱۰]. با افزایش دمای خاک در بهار و تابستان، فعالیت موجودات خاکی افزایش می‌یابد و رشد ریشه‌ها نیز آغاز می‌شود و انتشار دی‌اکسید کربن از سطح خاک روندی افزایشی پیدا می‌کند. براساس برخی از مشاهدات (۲۰۱۴) نیز بیشترین و کمترین میزان تنفس خاک به ترتیب در فصل‌های تابستان و زمستان بوده است، در حالی که لی و همکاران (۲۰۰۲) روند افزایشی تنفس خاک بعد از بارش و دی‌اکسید سون و همکاران (۲۰۰۰) نیز افزایش تنفس خاک در دوره بارشی و کاهش آن در دوره خشک را گزارش کردند. همچنین در تحقیقی (۲۰۲۰) بیشترین تنفس خاک به فصل تابستان اختصاص داشت [۱۵]. تشخیص دقیق چگونگی اثرهای توأم دمای کم و رطوبت زیاد در فصل‌هایی چون زمستان بسیار دشوار است [۵]. در پژوهش حاضر همبستگی و رابطه منفی تنفس خاک با محتوای رطوبت خاک (جدول ۲) موجب شد از فصل پاییز تا پایان زمستان با شروع بارش‌ها و مرطوب شدن مجدد خاک، میزان تنفس خاک روندی کاهشی را طی کند. کاهش تنفس خاک در فصل

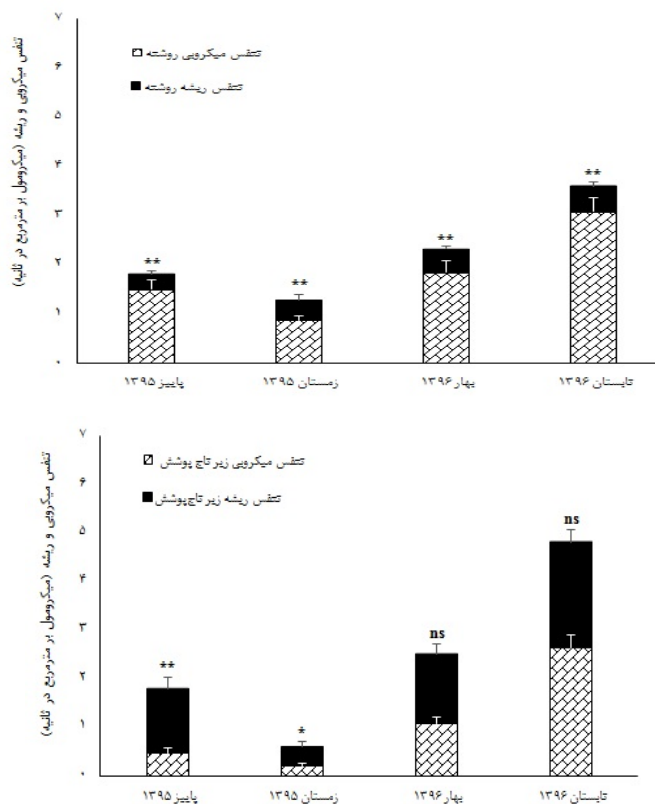
تغییرات مکانی تنفس خاک در دو بخش روشنه و زیر تاج پوشش به گونه‌ای بود که اختلاف معنی‌داری در این دو بخش مشاهده نشد. با وجود این، در بیشتر ماه‌های سال میزان تنفس خاک در زیر تاج پوشش بیشتر از روشنه بوده است. این نتیجه منطبق بر نتایج پژوهش تانگ و همکاران (۲۰۰۵) است [۷]. بنابراین الگوهای فنولوژی گیاهان ممکن است سبب تغییر در فراهمی سوبسترا و تجمع کربن زیرزمینی و موجب بخشی از تغییرات تنفس خاک شود [۴]. چنانکه عوامل مهمی چون تنفس ریشه، تراوش‌های ریشه، جمعیت میکروبی و فعالیت‌های مرتبط با متابولیسم درخت تفاوت تنفس خاک در زیر تاج پوشش درختان و مناطق باز (روشنه‌ها) را تشریح می‌کند [۷]. تولید ریشه موئین با تأثیرگذاری بر تغییر شکل اجزای کربن آلی خاک و مراحل اولیه معدنی شدن مواد آلی خاک به صورت غیرمستقیم بر تنفس خاک تأثیرگذار است [۱۹]. به این ترتیب عملکرد متفاوت اجزای تنفس خاک (هتروتروفیک و اتوتروفیک) و سهم مشارکت آنها از تنفس خاک، ناهمگنی پوشش گیاهی، توزیع ریشه، جمعیت میکروبی خاک و شرایط میکروکلیمایی می‌توانند موجب تغییرات مکانی تنفس خاک شوند [۷]. همبستگی معنی‌دار تنفس خاک با دمای خاک (جدول ۲) که در پژوهش‌های محققان دیگر [۴، ۱۱، ۱۲، ۱۳] نیز گزارش

بیشتر بود (شکل ۶- پایین). همچنین در مقیاس سالانه نیز در قطعه‌نمونه‌های زیر تاج‌پوشش، میانگین میزان تنفس میکروبی و ریشه به ترتیب $۱/۰۹$ و $۱/۳۳$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه بود. این در حالی است که در قطعه‌نمونه‌های واقع در روشنه، در همه مقاطع فصلی سال، تنفس میکروبی نسبت به تنفس ریشه افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۶- بالا). همچنین میانگین سالانه میزان تنفس میکروبی و ریشه در قطعه‌نمونه‌های روشنه به ترتیب $۱/۸۲$ و $۰/۴۳$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه ثبت شد. براساس نتایج این پژوهش، میانگین سالانه دی‌اکسید کربن متصاعدشده از سطح کل خاک، فعالیت جمعیت‌های میکروبی خاک و سیستم ریشه‌ای پوشش گیاهی توده راش آمیخته، به ترتیب $۰/۲۰ \pm ۲/۳۴$ ، $۰/۱۳ \pm ۱/۴۶$ و $۰/۰۶ \pm ۰/۸۸$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه بود.

زمستان احتمالاً به دلیل اثر توأم محتوای رطوبت زیاد و دمای کم خاک [۵]، اشباع شدن خاک از آب، محدودیت انتشار اکسیژن در منافذ خاک و ایجاد شرایط غیرهوازی در لایه‌های سطحی [۹] است. همچنین گزارش شده است که در دماهای کمتر از ۱۶ درجه سانتی‌گراد، افزایش محتوای رطوبت خاک سبب کاهش میزان تنفس خاک خواهد شد [۲۳]. این در حالی است که با توجه به اثر مثبت دمای زیاد در میزان تنفس خاک، در صورت بهبود شرایط رطوبتی خاک، افزایش تنفس خاک در فصل تابستان مورد انتظار است [۵].

مقایسه قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش

مقایسه فصلی میزان تنفس اجزای خاک (میکروبی و ریشه) نسبت به یکدیگر در هر یک از قطعه‌نمونه‌ها، حاکی از آن است که در قطعه‌نمونه‌های زیر تاج‌پوشش در همه فصل‌ها به جز تابستان، میزان تنفس ریشه از تنفس میکروبی خاک



شکل ۶. مقایسه تغییرات فصلی تنفس میکروبی و تنفس ریشه در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش (ns, **, *) به ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد بین قطعه‌نمونه‌ها در هر فصل).

نتیجه گیری

سطح فعالیت خاکزیان در مدت زمان کوتاه پس از ایجاد ریشه، می تواند سبب رهاسازی عناصر غذایی زیاد در کوتاه مدت، نبود فرصت کافی برای پوشش گیاهی در استفاده از این عناصر، آبشویی و هدررفت آنها و کاهش حاصلخیزی بوم سازگان خاکی شود. براساس نتایج این پژوهش، می توان گفت اگر سطح ریشه در اثر اجرای نادرست عملیات جنگل شناسی افزایش یابد، تعادل چرخه کربن، ورودی و خروجی عناصر و فرایند معدنی شدن به هم خواهد خورد که کاهش باروری خاک را در پی خواهد داشت. بنابراین بر لزوم توجه به پیامدهای اکولوژیکی ناشی از اجرای عملیات مدیریت جنگل تأکید می شود.

کمی سازی تغییرات مکانی و زمانی تنفس خاک و اجزای آن، در توده های جنگلی ایران ممکن است موجب افزایش سطح دانش و اطلاعات ما در زمینه تغییرات بودجه کربن این بوم سازگان در واکنش به گرمایش جهانی و تغییرات محیطی و مدیریتی شود. براساس نتایج این پژوهش، ضمن مشاهده تغییرات معنی دار فصلی در الگوی مقدار دی اکسید کربن متصاعد شده از دو بخش ریشه و میکروبی خاک، شاهد تغییرات معنی دار تنفس میکروبی و ریشه که شاخص مهمی از سطح فعالیت های زیستی میکروبی و گیاهی اند، در ریشه ها نسبت به مناطق دست نخورده (زیر تاج پوشش) بودیم. بدین ترتیب تسریع فرایند تجزیه در ریشه (به واسطه افزایش دما و به تبع آن افزایش صعودی

References

- [1]. Scharlemann, J.P.W., Tanner, E.V.J., Hiederer, R., and Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Manage*, 5(1): 81-91.
- [2]. Bond-Lamberty, B., and Thomson, A. (2010). Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, 464(7288): 579-582.
- [3]. Wei, W., Jiang, F., and Oikawa, T. (2009). Contribution of Root and Microbial Respiration to Soil CO₂ Efflux and Their Environmental Controls in a Humid Temperate Grassland of Japan. *Pedosphere*, 19(1): 31-39.
- [4]. Makita, N., Yoshiko Kosugi, Y., Sakabe, A., Kanazawa, A., Ohkubo, Sh., and Tani, M. (2018). Seasonal and diurnal patterns of soil respiration in an evergreen coniferous forest: Evidence from six years of observation with automatic chambers. *PLoS One*, 13(2): 1-16.
- [5]. Luo, Y., and Zhou, X. (2006). *Soil Respiration and the Environment*. Academic Press is an imprint of Elsevier.
- [6]. Davidson, E.A., Verchot, L.V., Cattanio, J.H., Ackerman, I.L., and Carvalho, J.E.M. (2000). Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48(1): 53-69.
- [7]. Tang, J., and Baldocchi, D.D. (2005). Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak-grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components. *Biogeochemistry*, 73(1): 183-207.
- [8]. Thokchom, A., and Yadava, P.S. (2014). Soil CO₂ flux in the different ecosystems of North East India. *Current science*, 107(1): 99-105.
- [9]. Schwendenmann, L., and Macinnis-NG, C. (2016). Soil CO₂ efflux in an old-growth southern conifer forest (*Aganthis asutralis*)- magnitude, components and controls. *Soil*, 2(3): 403-419.
- [10]. Sun, L., Teramoto, M., Liang, N., Yazaki, T., and Hirano, T. (2017). Comparison of litter-bag and chamber methods for measuring CO₂ emissions from leaf litter decomposition in a temperate forest. *Journal of Agricultural Meteorology*, 73(2): 68-76.
- [11]. Raich, J.W. (2017). Temporal variability of soil respiration in experimental tree plantations in Lowland Costa Rica. *Forests*, 8(40): 1-21.

- [12]. Eom, J.Y., Jeong, S.H., Chun, J.H., Lee, J.H., and Lee, J.S. (2018). Long-term characteristics of soil respiration in a Korean cool-temperate deciduous forest in a monsoon climate. *Animal Cells And Systems*, 22(2): 100-108.
- [13]. Jiao, Zh., and Wang, X. (2019). Contrasting rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration during growing and non-growing seasons in a temperate deciduous forest. *Forests*, 10(8): 1-14.
- [14]. Lee, S.M., Nakane, K., Nakatsubo, T., Mo, W-H., and Korzumi, H. (2002). Effects of rainfall events on soil CO₂ flux in a cool temperate deciduous broad-leaved forest. *Ecological Research*, 17(3): 401-409.
- [15]. Wu, J. (2020). Temporal variations in soil CO₂ efflux in an alpine meadow site on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Grassland Science*, 66(1): 3-15.
- [16]. Suseela, V., Conant, R., Wallenstein, M., and Dukes, J. (2012). Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. *Global Change Biology*, 18(1): 336-348.
- [17]. Ruehr, N.K., Offermann, C.A., Gessler, A., Winkler, J.B., Ferrio, J.P., Buchmann, N., and Barnard, R.L. (2009). Drought effects on allocation of recent carbon: from beech leaves to soil CO₂ efflux. *New Phytologist*, 184(4): 950-961.
- [18]. Jafari Haghighi, M. (2003). *Methods of soil analysis sampling and important physical*, Nedaye Zoha Press, Theran.
- [19]. Zhang, H., Liu, Y., Zhou, Zh., and Zhang, Y. (2019). Inorganic nitrogen addition affects soil respiration and belowground organic Carbon Fraction for a *Pinus tabuliformis*. *Forest*, 10(5): 1-15.
- [20]. Rafiee.f., Habashi. H., Rahmani, R., and Sagheb-Talebi, Kh. (2019). Temperature sensitivity of soil carbon dioxide efflux in beech-hornbeam stand (Case study: Shast-kalateh Forest, Gorgan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27(1): 112-123.
- [21]. Ying, L., Shi-jie, H., and Lu, L. (2009). Sesonal change of soil respiration in *Betulla platyphylla* forest in Changbai Mountain, China. *Journal Of Forestry Research*, 20(4): 367-371.
- [22]. 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.
- [23]. Cui, Y-B., Feng, J-G., Liao, L-G, Rui, Y., Zhang, X., Liu, Y-H., Yang, L-Y., Zhao, J-F., and Tan, Zh-H. (2020). Controls of temporal variations on soil respiration in a tropical lowland rainforst in Hainan Island, China. *Tropical Conservation Science*, 13(1): 1-14.

Annual variability of soil, microbial, and root respiration rates in a mixed oriental beech-hornbeam stand (Case study: Shast-Kalateh forest of Gorgan)

F. Rafiee*; Ph.D. of Forest Soil Biology, 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.

(Received: 19 April 2020, Accepted: 24 July 2020)

ABSTRACT

Soil respiration is the first way to return the carbon dioxide fixed in the vegetation into the atmosphere and plays an important role in the respiration of terrestrial ecosystems. This study aims to investigate the monthly and seasonal variability of soil respiration and its components (microbial and root respiration) rates in a mixed oriental beech stand located at Hyrcanian forests using a dynamic closed chamber system and root exclusion method. A total number of six locations with an area of 400 square meters were selected randomly at the canopy gaps and its adjacent closed canopy at Shast-kalateh forest, Gorgan. One sample plot with an area of 9 square meters (3×3) was installed at each location. Soil, microbial, and root respiration rates and some environmental factors were monthly measured during one year (from October 2016 to September 2017). The amount of soil, microbial, and root CO₂ efflux ranges were 0.66-4.81, 0.3-3.41, and 0.36-1.43 μmol m⁻² s⁻¹, respectively. The highest increase in the soil, microbial, and root respiration rates were in summer (4.29, 2.86 and 1.34 μmol m⁻² s⁻¹, respectively), while the lowest rates were observed in winter (0.94, 0.54 and 0.41 μmol m⁻² s⁻¹, respectively). We found that the microbial respiration rate in the canopy gaps was greater than that of the closed canopy, but the rate of root respiration under the closed canopy was higher. Soil respiration rate had a positive significant correlation with soil temperature but had a negative significant correlation with soil moisture content. Variation in soil moisture content and soil temperature could change the soil biological characteristics, consequently soil fertility, and chemical properties. Therefore, we suggest the measurement of soil biological properties in the artificial gap with different areas for modeling the process of soil characteristics changes in the gap.

Keywords: Heterotrophic respiration, autotrophic respiration, temporal variability, soil carbon dioxide, Hyrcanian forests.

* Corresponding Author, Email: rafiee.f@gmail.com, Tel: + 98-911-1751073