نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۷ شماره ۳، صفحه ۳۴۸-۳۳۵، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2019.127005.1850
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1398.27.335.77.3.1578.1607

تأثیر شبیه‌سازی کاهش بارش بر کربن آلی و کربن زی‌توده میکروبی خاک در جنگل مدیریت‌شده و جنگل دخالت‌نشده

فاطمه رفیعی [۱*]، هاشم حبشی [۲] و رامین رحمانی [۲]

۱*- نویسنده مسئول، دکتری بیولوژی خاک جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

پست الکترونیک: rafiee.f@gmail.com

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۹

چکیده

کاهش بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای ناشی از پدیده تغییر اقلیم در آینده است. پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی پویایی زمانی کربن آلی و کربن زی‌توده میکروبی خاک در شرایط شبیه‌سازی کاهش بارش در یک توده راش- ممرز مدیریت‌شده با شیوه تک‌گزینی و مقایسه آن با یک توده دخالت‌نشده انجام شد. پس از انتخاب توده‌های مذکور در سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا (جنگل شصت‌کلاته گرگان)، در هریک از آن‌ها، ۲۴ ریزقطعه‌نمونه در سطوح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کاهش بارش درنظر گرفته شد. مقایسه الگوی تغییرات زمانی این دو مشخصه مهم خاک بیانگر تغییرپذیری بیشتر بخش میکروبی کربن خاک نسبت به تغییر شرایط محیطی بود. علاوه‌بر تغییرات زمانی معنی‌دار که برای کربن زی‌توده میکروبی خاک در طول دوره یک‌ساله مشاهده شد، تغییرات در دو بخش روشنه و زیر تاج‌پوشش نیز متفاوت بود. نتایج این پژوهش بیانگر تأثیر معنی‌دار کاهش ۵۰ و ۷۵ درصدی بارش بر کربن میکروبی و آلی خاک و تشابه این مشخصه در دو تیمار ۲۵ درصد و شاهد بود. همچنین، در هر دو توده دخالت‌نشده و مدیریت‌شده با شیوه تک‌گزینی، الگوی تغییرات ایجادشده در این مشخصه‌ها در شرایط کنونی و شبیه‌سازی کاهش بارش، مشابه و بدون اختلاف معنی‌دار بود. براساس نتایج این پژوهش، در صورت تحقق پیش‌بینی‌های گزارش‌شده درمورد کاهش بارش در شرایط اقلیمی آینده، ادامه طرح‌های جنگل‌داری و عملیات بهره‌برداری به‌شیوه گزینشی در توده راش آمیخته به ایجاد تغییرات معنی‌دار در مقدار و الگوی زمانی کربن آلی و زی‌توده میکروبی خاک منجر نخواهد شد. بنابراین، اجرای شیوه گزینشی در مدیریت جنگل‌های راش شرقی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی، تغییر اقلیم، تک‌گزینی، راش شرقی.

مقدمه

تغییر اقلیم با تغییر در عملکرد و فرایندهای بوم‌سازگان، اثر قابل‌توجهی بر پویایی کربن بوم‌سازگان‌های زمینی دارد. براساس سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش میانگین دمای سالانه، کاهش بارش و نیز خشک‌سالی برای اقلیم آینده پیش‌بینی شده است (Salmani *et al.*, 2014; Ghorbani, 2015). در اثر تنش خشکی، عملکرد، ساختار و بهره‌وریِ خاک بوم‌سازگان تغییر می‌کند، چراکه خشکی بر زی‌توده، فعالیت و ترکیب جمعیت‌های میکروبی که نقش مهمی در

عملکرد بوم‌سازگان و فرایندهای بیوژئوشیمیایی خاک ایفا می‌کنند، تأثیرگذار است (Ochoa-Hueso *et al.*, 2018). همچنین، عملیات مدیریتی در جنگل نیز که به‌منظور بهبود عملکرد بوم‌سازگان طراحی می‌شوند، بسته به اقلیم، زمان و مشخصه‌های توده بر ویژگی‌های خاک اثرگذار هستند (Dang *et al.*, 2018). به‌عنوان مثال، تنک کردن با ایجاد یک میکرواقلیم به تغییراتی در تراکم تاج‌پوشش و جمعیت‌های گیاهی منجر می‌شود. تغییرات به‌وجودآمده در جمعیت‌های گیاهی به‌واسطه واکنش‌های متقابل جمعیت‌های روزمینی و زیرزمینی بر کیفیت و کمیت ماده آلی و عناصر غذایی خاک (Dang *et al.*, 2018) و جمعیت‌های میکروبی (Curiel Yuste *et al.*, 2014) اثر می‌گذارند، به‌نوعی‌که روند تغییرات ماده آلی خاک برای ارزیابی اثر روشنه بر حاصلخیزی جنگل بررسی می‌شود. در این راستا، Arunachalam و Arunachalam (۲۰۰۰) عدم وجود اختلاف معنی‌دار کربن آلی بین روشنه‌ها و زیر تاج‌پوشش و بیشتر بودن کربن زی‌توده میکروبی در روشنه‌ها نسبت به زیر تاج‌پوشش را گزارش کردند. Gou و همکاران (۲۰۱۵) نیز شاهد تغییرات کربن زی‌توده میکروبی خاک در دامنه‌های ارتفاعی و دوره‌های انجماد و ذوب‌شدن خاک بودند. Suchewaboripont و همکاران (۲۰۱۵) افزایش معنی‌دار نسبت کربن آلی به نیتروژن خاک را در روشنه نسبت به زیر تاج‌پوشش گزارش کردند، درحالی‌که Abrari Vajari (۲۰۱۶) اظهار داشت ایجاد روشنه تأثیری بر تغییر ماده آلی خاک توده‌های راش هیرکانی ندارد. در پژوهش Geng و همکاران (۲۰۱۵) با افزایش استرس خشکی، روند تغییرات کربن زی‌توده میکروبی کاهش یافت. کربن زی‌توده میکروبی در پژوهش Yue و همکاران (۲۰۱۷) که در شمال‌غربی چین انجام شد، نسبت به مقادیر گزارش‌شده در پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق معتدله، نیمه‌استوایی و استوایی کمتر بود. پژوهشگران مذکور این اختلاف را به فقر عناصر غذایی در خاک‌های شنی نسبت دادند. همچنین، Bastida و همکاران (۲۰۱۹) ضمن اثبات اثر متقابل و معنی‌دار مدیریت جنگل (تنک کردن) و خشکی بر جمعیت میکروبی خاک در بوم‌سازگان بلوط مدیترانه‌ای نشان دادند که تنک کردن می‌تواند تحمل به خشکی را در جمعیت میکروبی خاک افزایش دهد. Yue و همکاران (۲۰۱۷) افزایش معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی را در ابتدای شروع فصل پاییز در هر چهار تیپ *Pinus sylvestris* L. var. *mongholica* Litv، *P. tabulaeformis* Carr.، *Salix Cheilophila* و *Caragana microphylla* Lam گزارش کردند.

در بوم‌سازگان جنگلی، تنوع پوشش گیاهی و ترکیب جمعیت‌های گیاهی به تفاوت در اثرات خشکی ناشی از کاهش بارش منجر می‌شود، بنابراین بی‌شک هم عملیات مدیریتی جنگل و هم تغییر اقلیم از عامل‌های تأثیرگذار در پایداری بوم‌سازگان جنگلی هستند (Bastida *et al.*, 2019). در این بین، انتخاب شاخص‌های مناسب برای تعیین اثر خشکی‌های وسیع بر خاک و مطالعه پایداری خاک بوم‌سازگان جنگلی تحت مدیریت شیوه‌های جنگل‌شناسی، بسیار مهم است. ماده آلی، مهم‌ترین مخزن عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر است که در تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مؤثر است. از سوی دیگر، کربن زی‌توده میکروبی نیز از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که به‌شدت به تغییر اقلیم و شرایط ادافیکی، واکنش نشان می‌دهد. از آنجایی‌که رشد و تولیدمثل میکروبی خاک تحت تأثیر تغییر اقلیم و دخالت‌های مدیریتی است، کربن زی‌توده میکروبی، شاخصی حساس و هشداردهنده سریعی برای بررسی میزان آشفتگیِ ایجادشده در خاک محسوب می‌شود. باتوجه به توقف طرح‌های جنگل‌داری و اجرای شیوه تک‌گزینی در جنگل‌های هیرکانی، این پژوهش با مطالعه تغییرات زمانی دو بخش مهم از کربن بوم‌سازگان خاک در توده راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky)، به‌بررسی درستی یا نادرستی این تصمیم در زمان حال و شرایط شبیه‌سازی‌شده از کاهش بارش در آینده پرداخت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا با مساحت ۱۷۱۳/۳ هکتار در جنگل شصت‌کلاته گرگان به‌منظور پژوهش پیش‌رو درنظر گرفته شد. این سری در محدوده طول جغرافیایی ″۲۶ ′۲۱ °۵۴ تا ″۵۷ ′۲۴ °۵۴ شرقی، عرض جغرافیایی ″۲۷ ′۴۳ °۳۶ تا ″۶ ′۴۸ °۳۶ شمالی و محدوده ارتفاعی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین دما و بارش سالانه به‌ترتیب ۱۵/۶ درجه سانتیگراد و ۶۴۹ میلی‌متر است که براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، این منطقه جزء اقلیم مرطوب معتدله محسوب می‌شود (Rafiee *et al.*, 2019).

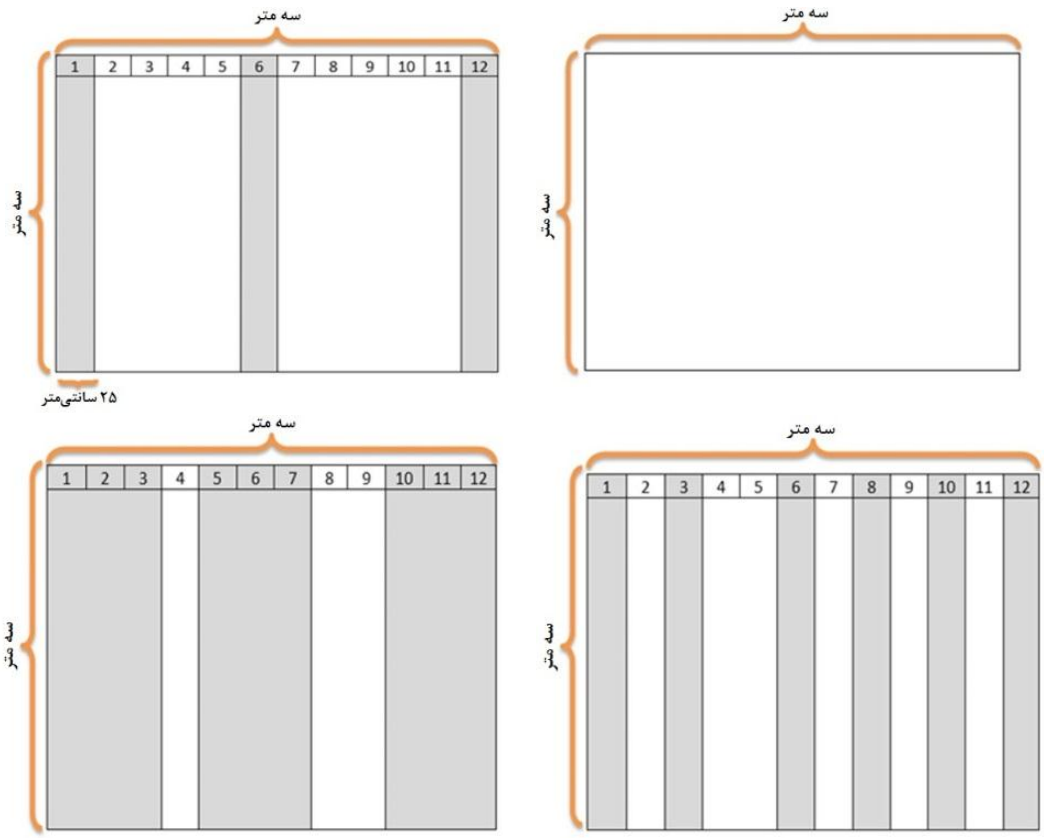
روش پژوهش

این پژوهش در دو توده شاهد (دخالت‌نشده) و مدیریت‌شده به‌شیوه تک‌گزینی انجام شد. این دو توده با غالبیت راش شرقی در ارتفاع حدود ۹۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند. پس از جنگل‌گردشی، ۱۰ روشنه با مساحت ۴۰۰ متر مربع و شرایط محیطی یکسان (سنگ بستر، شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) در هریک از توده‌های شاهد و مدیریت‌شده (به‌ترتیب پارسل‌های ۳۲ و ۳۱) مشخص شد. از ۱۰ روشنه منتخب در هر پارسل، سه روشنه سه‌ساله به‌صورت تصادفی انتخاب شد. در هر روشنه، چهار ریزقطعه‌نمونه نه متر مربعی (۳ × ۳ متر مربع) پیاده شد. روشنه‌های طبیعی در اثر بادافتادگی و رسیدن به سن دیرزیستی و روشنه‌های مصنوعی درنتیجه برداشت درخت به‌صورت تک‌پایه ایجاد شده بودند. در فاصله حدود ۲۵ متری از حاشیه هر روشنه (Muscolo *et al.*, 2007)، قطعه‌نمونه‌های زیر تاج‌پوشش درنظر گرفته شد و چهار ریزقطعه‌نمونه با همان ابعاد (۳ × ۳ متر مربع) مستقر شد. به‌منظور اعمال تیمارهای کاهش بارش در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب از سه، شش و نه قاب چوبی با ابعاد ۰/۲۵ × ۳ متر مربع که پلاستیک شفافی روی آن نصب شده بود، استفاده شد. قاب‌ها در ارتفاع ۱/۳ متری از زمین و با شیب حدود سه درصد مستقر شدند (شکل ۱؛ Borken *et al.*, 2006). ریزقطعه‌نمونه‌های شاهد فاقد قاب‌های مذکور بودند. به‌منظور برابری در سوبسترای ورودی در هریک از ریزقطعه‌نمونه‌های کاهش بارش با تیمار شاهد، لاش‌برگ‌های جمع‌شده در روی قاب‌های پلاستیکی به زیر آن در محدوده ریزقطعه‌نمونه منتقل شد. همچنین، برای جلوگیری از ورود رواناب احتمالی به داخل ریزقطعه‌نمونه‌ها، اطراف هر ریزقطعه‌نمونه گودالی به‌عمق ۵۰ سانتی‌متر حفر شد و با پلاستیک پوشانده شد (Sardans & Peñuelas, 2005). در هر ریزقطعه‌نمونه پس از انتخاب سه نقطه تصادفی در هر ماه، نمونه‌برداری طی یک دوره یک‌ساله (از مهر ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۶) در عمق ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. کربن زی‌توده میکروبی با روش انکوباسیون- تدخین (Jenkinson & Powelson, 1976)، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در عصاره آب و خاک با نسبت یک به ۲/۵ (Jafari Haghighi, 2003)، محتوی رطوبت خاک با استفاده از روش تفاوت وزنی (Jafari Haghighi, 2003)، نیتروژن کل با روش کجلدال (Jafari Haghighi, 2003) و دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری با استفاده از قرار دادن میله سنجش‌گر دستگاه Luster Leaf 1625 Digital Soil Thermometer به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری و ثبت شد (درمجموع ۱۷۲۸ نمونه = دو توده × شش قطعه‌نمونه × چهار ریزقطعه‌نمونه × سه تکرار × ۱۲ ماه).

تحلیل آماری داده‌ها

در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴، نرمال بودن توزیع داده‌ها، یکنواختی واریانس‌ها، فرضیه کروی بودن ماتریس واریانس- کوواریانس و مقایسه‌های چندگانه به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های کولموگروف- سمیرنوف، لیون، موخلی و دانکن انجام شد. همچنین، طرح اندازه‌های تکراری به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف کاهش بارش در مقاطع زمانی بر کربن آلی و

کربن زی‌توده میکروبی خاک در دو توده استفاده شد. به‌دلیل تأیید نشدن فرض کروی بودن ماتریس واریانس- کوواریانس کربن آلی و کربن زی‌توده میکروبی خاک، از آزمون هونت- فلت با پیش‌فرض عدم کرویت استفاده شد.



شکل ۱- طرح شماتیک تیمارها (بالا) و تیمار ۷۵ درصد کاهش بارش (پایین)

نتایج

یافته‌های مربوط به اثر متقابل زمان، مدیریت و تیمارهای کاهش بارش بیانگر عدم وابستگی هر دو بخش کربن خاک به‌شیوه مدیریتی تک‌گزینی بود، اما اختلاف معنی‌دار این مشخصه‌ها در مقاطع مختلف زمانی در سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد. همچنین، اثرات متقابل زمان و سطوح تیمارهای کاهش بارش بر دو بخش کربن خاک، معنی‌دار بود (جدول ۱).

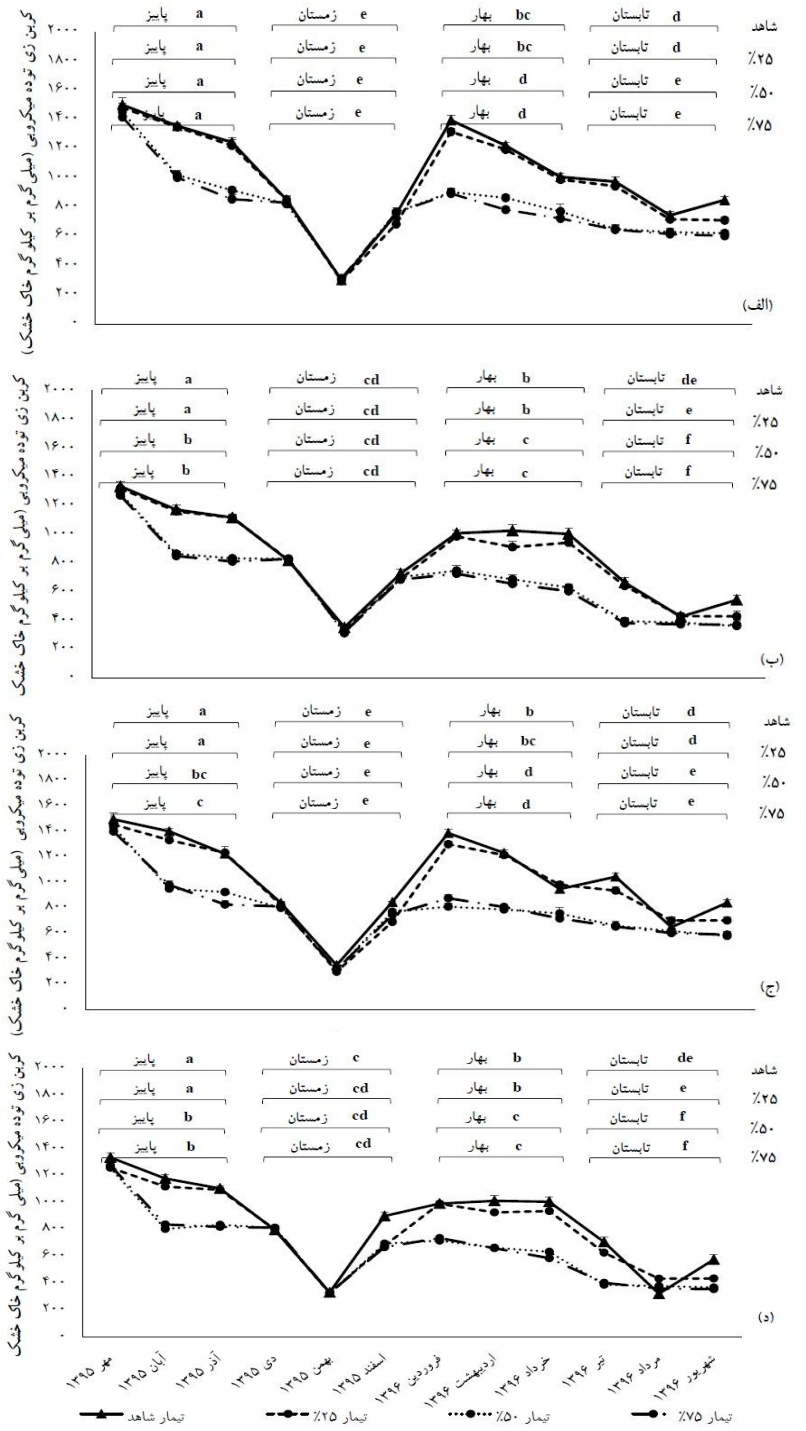
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کاهش بارش و مدیریت بر کربن خاک (آلی و زی‌توده میکروبی) در واحد زمان

متغیر	منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	F	معنی‌داری
کربن زی‌توده میکروبی	زمان	۱۲۷۶۲۱۱۷۳/۴	۸/۷	۱۲۶۰/۴۹**	۰/۰۰
کربن آلی		۲۸۲/۷۳	۱۰/۶۶	۲۱/۱۷**	۰/۰۰
کربن زی‌توده میکروبی	زمان × ریزقطعه‌نمونه	۴۶۰۱۶۹۲/۸۹	۸/۷	۷۱/۳۱**	۰/۰۰
کربن آلی		۷/۷۴	۱۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۸۶
کربن زی‌توده میکروبی	زمان × تیمارهای مدیریت	۱۱۸۰۵۲/۷۲	۸/۷	۱/۱۷	۰/۰۶
کربن آلی		۱/۱۱	۱۰/۶۶	۰/۸۴	۱/۰
کربن زی‌توده میکروبی	زمان × تیمارهای کاهش بارش	۹۷۸۳۷۸۴/۴۳	۲۶/۱	۳۲/۲۱**	۰/۰۰
کربن آلی		۳۰۹/۸۳۸	۳۱/۹۹	۷/۷۳**	۰/۰۰
کربن زی‌توده میکروبی	زمان × تیمارهای مدیریت × تیمارهای کاهش بارش	۲۸۴۰۲۷/۲۵	۲۶/۱	۰/۹۳	۰/۰۶
کربن آلی		۷/۴۸	۳۱/۹۹	۰/۱۸	۱/۰

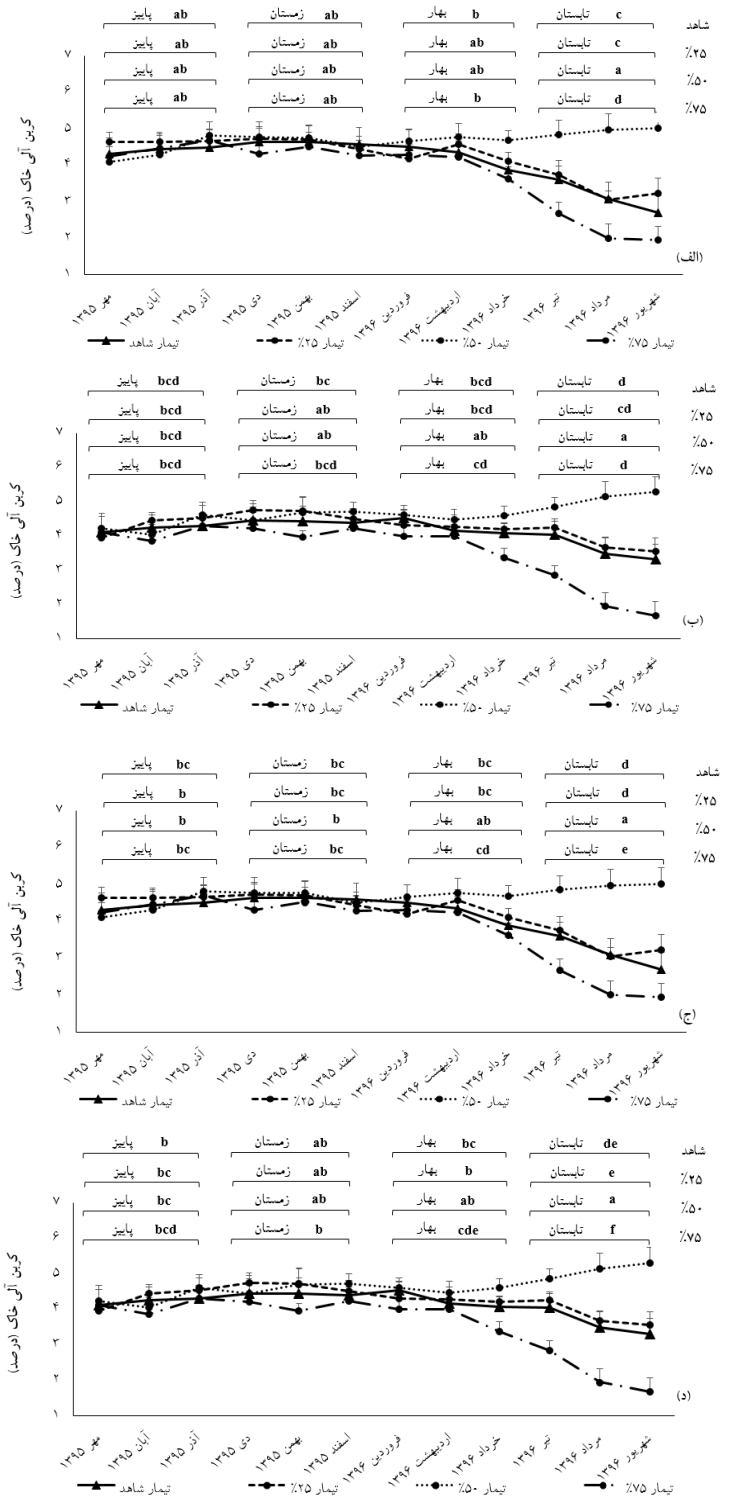
** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

الگوی تغییرات زمانی (فصلی) کربن زی‌توده میکروبی در توده‌های شاهد و مدیریت‌شده مشابه بود، اما الگوی متفاوتی در سطوح کاهش بارش مشاهده شد. در هر دو توده، بیشترین و کمترین میانگین کربن زی‌توده میکروبی در تمام تیمارها به‌ترتیب در فصل‌های پاییز و زمستان مشاهده شد. همچنین، بین سطوح مختلف کاهش بارش در روشنه‌ها و زیر تاج‌پوشش، بیشترین کربن زی‌توده میکروبی خاک در مهرماه و در تیمار شاهد (۳۱/۷۸ ± ۱۳۳۴/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک برای توده شاهد (شکل‌های ۲- الف و ب) و ۳۰/۳۹ ± ۱۳۳۷/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک برای توده مدیریت‌شده (شکل‌های ۲- ج و د) اندازه‌گیری شد.

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، الگوی تغییرات فصلی کربن آلی خاک در ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش مشابه بود. همچنین، در سطوح مختلف کاهش بارش، روند تغییرات کربن آلی خاک در سه فصل پاییز، زمستان و بهار مشابه و در فصل تابستان متفاوت بود. بااین‌حال، الگوی تغییرات این عامل در سطوح تیمارهای شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در فصل تابستان متفاوت بود. در این فصل، بیشترین مقدار کربن آلی در تیمار ۵۰ درصد ثبت شد. این مقدار به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای شاهد، ۲۵ و ۷۵ درصد کاهش بارش بود (شکل ۳- الف، ب، ج و د).



شکل ۲- الگوی تغییرات ماهانه و مقایسه‌های فصلی برای اثر تیمارهای کاهش بارش بر کربن زی‌توده میکروبی خاک در ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش توده شاهد (الف و ب) و توده مدیریت‌شده (ج و د) (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین فصل‌های سال و تیمارهای کاهش بارش هستند.)

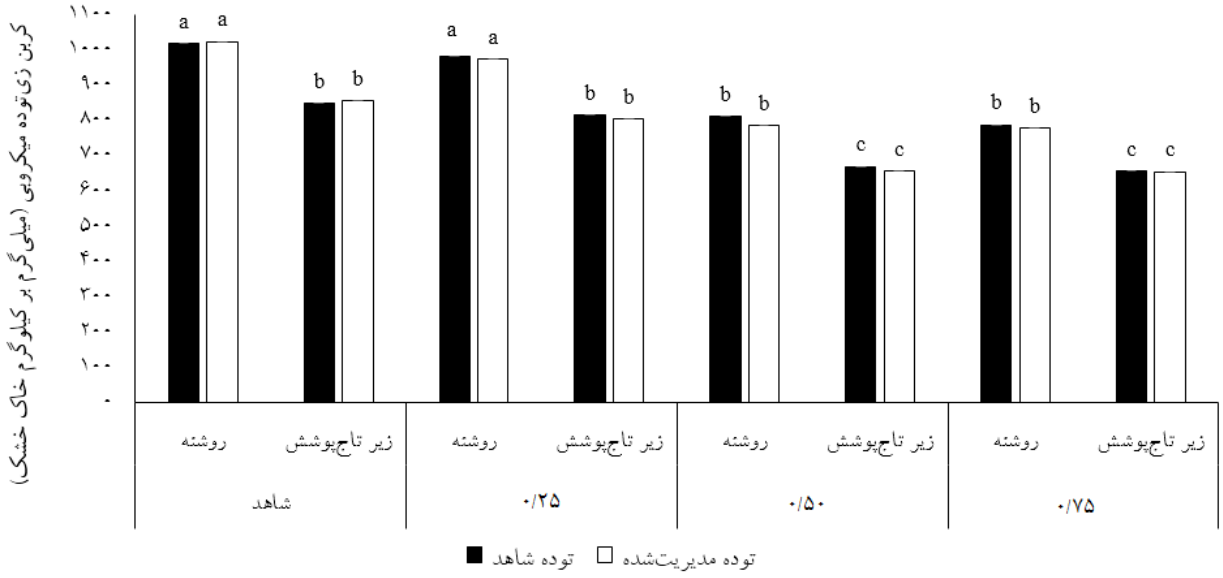


شکل ۳- الگوی تغییرات ماهانه و مقایسه‌های فصلی برای اثر تیمارهای کاهش بارش بر کربن آلی خاک در ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش توده شاهد (الف و ب) و توده مدیریت‌شده (ج و د) (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین فصل‌های سال و تیمارهای کاهش بارش هستند.)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر دو توده مورد مطالعه در تمام سطوح تیمارهای کاهش بارش، میانگین کربن آلی خاک بین ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد نداشتند (جدول ۱). همچنین، در هر دو توده شاهد و مدیریت‌شده در تمامی تیمارهای کاهش بارش، میانگین سالانه کربن زی‌توده میکروبی خاک در ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه، افزایش معنی‌داری نسبت به ریزقطعه‌نمونه‌های واقع در زیر تاج‌پوشش نشان داد (شکل ۴).

در جدول ۲، نتایج مربوط به مقایسه میانگین سالانه کربن آلی و کربن زی‌توده میکروبی و برخی ویژگی‌های دیگر در دو توده شاهد و مدیریت‌شده آمده است. در همه این ویژگی‌ها (به‌استثنای دما و اسیدیته خاک)، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کاهش بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد.

به‌طور کلی، الگوی تغییرات زمانی و میانگین سالانه کربن زی‌توده میکروبی در تیمار ۲۵ درصد کاهش بارش در سطح اطمینان ۹۹ درصد، اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان نداد، درحالی‌که کاهش ۵۰ و ۷۵ درصدی بارش به‌ترتیب موجب کاهش ۲۱/۹ و ۱۹/۵ درصدی کربن زی‌توده میکروبی در این دو تیمار نسبت به تیمارهای شاهد و ۲۵ درصد کاهش بارش شد (شکل‌های ۲- الف، ب، ج و د). باتوجه به کاهش معنی‌دار محتوی رطوبت خاک و همبستگی مثبت و معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی با محتوای رطوبت خاک در توده‌های شاهد ($0/21^{**}$، sig=۰/۰۰) و مدیریت‌شده ($0/26^{**}$، sig=۰/۰۰)، زمینه کاهش این پارامتر در سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد کاهش بارش فراهم شد.



شکل ۴- مقایسه میانگین سالانه کربن زی‌توده میکروبی در ریزقطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش در توده‌های شاهد و مدیریت‌شده در سطوح تیمارهای شاهد و کاهش بارش (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد هستند.)

جدول ۲- مقایسه میانگین سالانه ویژگی‌های خاک در توده‌های شاهد و مدیریت‌شده تحت تیمارهای شاهد و کاهش بارش

ویژگی خاک	توده	تیمار کاهش بارش (میانگین ± اشتباه‌معیار)			
		شاهد	٪۲۵	٪۵۰	٪۷۵
کربن زی‌توده میکروبی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک)	شاهد	۹۳۳/۶^{a} ± ۲۲/۶۵	۸۹۸/۱^{a} ± ۲۲/۹۳	۷۴۰/۴^{b} ± ۱۹/۳۸	۷۲۲/۳^{b} ± ۱۹/۰۱
	مدیریت‌شده	۹۴۰/۴۵^{a} ± ۲۲/۹۱	۸۸۹/۲۸^{a} ± ۲۲/۵۲	۷۲۲/۲۷^{b} ± ۱۸/۷۲	۷۱۷/۲۸^{b} ± ۱۸/۷۱
کربن آلی (درصد)	شاهد	۴/۱^{b} ± ۰/۰۸	۴/۲^{b} ± ۰/۰۷	۴/۷^{a} ± ۰/۰۸	۳/۷^{c} ± ۰/۰۹
	مدیریت‌شده	۴/۰۶^{b} ± ۰/۰۸	۴/۱۳^{b} ± ۰/۰۷	۴/۷۲^{a} ± ۰/۰۸	۳/۶^{c} ± ۰/۱
نیتروژن کل (درصد)	شاهد	۱/۷۱^{a} ± ۰/۰۵	۱/۶^{a} ± ۰/۰۳	۱/۷۷^{a} ± ۰/۰۳	۰/۹۲^{b} ± ۰/۰۸
	مدیریت‌شده	۱/۶۹^{a} ± ۰/۰۱	۱/۵۹^{a} ± ۰	۱/۷۷^{a} ± ۰/۰۴	۰/۸۳^{b} ± ۰/۰۳
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	شاهد	۰/۳۲^{b} ± ۰/۰۲	۰/۳۴^{b} ± ۰/۰۳	۰/۳۶^{b} ± ۰/۰۲	۰/۴۶^{a} ± ۰/۰۱
	مدیریت‌شده	۰/۳۲^{b} ± ۰/۰۳	۰/۲۹^{b} ± ۰/۰۵	۰/۲۹^{b} ± ۰/۰۲	۰/۴۸^{a} ± ۰/۰۲
اسیدیته	شاهد	۵/۷^{a} ± ۰/۱۹	۵/۷۶^{a} ± ۰/۲۲	۵/۸۱^{a} ± ۰/۱۵	۵/۹۷^{a} ± ۰/۲۵
	مدیریت‌شده	۵/۵۶^{a} ± ۰/۲۷	۵/۴۸^{a} ± ۰/۲۸	۶/۰۱^{a} ± ۰/۱۵	۵/۹۶^{a} ± ۰/۱۹
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	شاهد	۱۴۴/۰۶^{cd} ± ۷/۳۱	۱۴۹/۸۷^{bcd} ± ۶/۲۷	۱۷۳/۳۰^{a} ± ۷/۲۲	۱۵۶/۸۴^{abc} ± ۶/۳
	مدیریت‌شده	۱۳۹/۳۵^{cd} ± ۷/۸۹	۱۳۵/۶^{d} ± ۶/۵۱	۱۶۷/۶۹^{ab} ± ۵/۷۶	۱۵۶/۹۶^{abc} ± ۵/۳
محتوی رطوبت (درصد)	شاهد	۴۳/۸۹^{a} ± ۱/۱۶	۴۱/۰۶^{ab} ± ۱/۱۳	۳۴/۸۸^{c} ± ۰/۹۵	۳۱/۴۸^{d} ± ۰/۹۱
	مدیریت‌شده	۴۵/۰۵^{ab} ± ۱/۱۳	۴۲/۰۶^{b} ± ۱/۱	۳۵/۵^{c} ± ۱	۳۱/۰۹^{d} ± ۰/۸۸
دما (درجه سانتیگراد)	شاهد	۱۳/۷^{a} ± ۰/۴۲	۱۳/۸^{a} ± ۰/۴۱	۱۳/۶^{a} ± ۰/۴	۱۳/۷^{a} ± ۰/۴۱
	مدیریت‌شده	۱۳/۷۲^{a} ± ۰/۴۲	۱۳/۵۹^{a} ± ۰/۴۲	۱۳/۵۷^{a} ± ۰/۴۲	۱۳/۶۷^{a} ± ۰/۴۱

حروف متفاوت انگلیسی نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف خشکی در قطعه‌نمونه‌های شاهد و مدیریت‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

بحث

پژوهش پیش‌رو نشان داد که کاهش ۵۰ و ۷۵ درصدی بارش موجب کاهش معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی نسبت به تیمارهای شاهد و ۲۵ درصد کاهش بارش می‌شود. براساس نتایج Xu و همکاران (۲۰۱۸) همبستگی مثبت کربن زی‌توده میکروبی و رطوبت خاک باعث کم شدن کربن زی‌توده میکروبی در فصل رویش و افزایش آن در فصل‌های دیگر می‌شود. پژوهشگرانی مانند Chen و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی در تیمار بدون بارش را نسبت به تیمار شاهد گزارش کردند. کاهش معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد کاهش بارش در پژوهش پیش‌رو با کاهش ۳۹ و ۱۳/۵ درصدی این مشخصه که به‌ترتیب در پژوهش‌های Jensen و همکاران (۲۰۰۳) و Li و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شد، همخوانی دارد. این نتایج به کم شدن سطح فعالیت و تراکم جمعیت‌های میکروبی که به‌واسطه محدود شدن امکان دسترسی به آب در تیمارهای خشکی ایجاد می‌شود (Miao *et al.*, 2017)، نسبت داده شده است. همچنین، این کاهش تاحدود زیادی می‌تواند به‌دلیل مرگ میکروارگانیسم‌های حساس به خشکی به‌ویژه باکتری‌های با دیواره سلولی هیدروفیلی باشد. توزیع ناهمگن و کاهش انتشار عناصر غذایی، کاهش تحرک میکروبی و قابلیت دسترسی به سوبسترای خاک که همگی درنتیجه خشکی اتفاق می‌افتد (Bastida *et al.*, 2015; Bastida *et al.*, 2019) و عدم سازگاری میکروارگانیسم‌های خاک به این

شرایط، به‌صورت جدی فعالیت و ساختار جمعیت میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hueso *et al.*, 2012). گزارش شده است که شور شدن خاک نیز باعث شتاب منفی رشد میکروبی می‌شود. چنانچه براساس گزارش Singh و همکاران (۲۰۱۳)، خشکی خاک با تأثیر افزایشی بر غلظت نمک محلول در خاک باعث کاهش زی‌توده میکروبی شد. نتایج پژوهش پیش‌رو نیز بیانگر افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک در مقیاس سالانه در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد کاهش بارش بود. از سو دیگر، شور شدن خاک که باعث کند شدن فعالیت برخی از آنزیم‌های خاک مانند بتاگلوکزیداز و دهیدروژناز در شرایط خشکی خاک می‌شود، زی‌توده میکروبی را کاهش می‌دهد و فعالیت آن‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Tejada *et al.*, 2006). همبستگی منفی کربن زی‌توده میکروبی با وزن مخصوص ظاهری خاک توسط Yang و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. براین‌اساس، به‌نظر می‌رسد علاوه‌بر دلایل فوق، روند افزایشی وزن مخصوص ظاهری خاک در تیمارهای کاهش بارش بررسی‌شده در پژوهش پیش‌رو، زمینه کم شدن حضور جمعیت‌های میکروبی را فراهم کرده است. به‌این‌ترتیب، کاهشی معنی‌دار در کربن زی‌توده میکروبی مشاهده شد.

روند افزایشی کربن زی‌توده میکروبی در فصل بهار در تیمارهای شاهد و کاهش بارش می‌تواند به‌دلیل روند افزایشیِ معنی‌دار دمای هوا و تأثیر آن بر ذوب شدن برف‌ها باشد. چنانچه ورود سوبسترای غنی از ذوب برف‌ها، زمینه رشد میکروارگانیسم‌های خاک را فراهم می‌کند. براین‌اساس، در این فصل اگرچه در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد کاهش بارش، همچنان کاهش معنی‌دار کربن زی‌توده میکروبی به‌دلیل ورود حجم کمتری از بارش‌ها نسبت به تیمارهای شاهد و ۲۵ درصد کاهش بارش مشاهده شد، اما تغییر افزایشی این متغیر در تمام تیمارها نسبت به فصل زمستان قابل مشاهده بود.

براساس همبستگی مثبت کربن زی‌توده میکروبی با رطوبت خاک و روند نزولی رطوبت خاک در تابستان، کاهش معنی‌دار این مشخصه در تمام تیمارها (شاهد و کاهش بارش) در این فصل، مورد انتظار بود. در فصل تابستان عواملی مانند محدودیت رطوبت خاک و فاصله گرفتن از حد رطوبت ظرفیت مزرعه، افزایش رقابت در جذب عناصر غذایی بین ریشه‌ها و میکروب‌های خاک موجب خنثی شدن اثر مثبت گرما بر مقدار زی‌توده و فعالیت میکروبی می‌شود. همچنین، افزایش روند تجزیه در فصل تابستان و کمبود کربن قابل دسترس می‌تواند به محدود شدن رشد زی‌توده میکروبی خاک نسبت به فصل بهار و فرصت کمتر میکروب‌ها برای رشد و افزایش زی‌توده میکروبی منجر شود (Gou *et al.*, 2015)، چراکه بیشتر انرژی زی‌توده میکروبی در فصل تابستان صرف فرایند تجزیه می‌شود و مقدار کمتری از آن به افزایش زی‌توده اختصاص می‌یابد. در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد، تأثیر تجمعی کاهش رطوبت خاک در سه فصل پاییز، زمستان و بهار موجب تداوم کاهش معنی‌دار این مشخصه نسبت به تیمارهای شاهد و ۲۵ درصد در فصل تابستان شد. با این‌حال، این نتایج در اختلاف با نتایج پژوهشگرانی مانند Schindlbacher و همکاران (۲۰۱۲) و Lu و همکاران (۲۰۱۷) است که اثر تیمارهای خشکی بر مقدار کربن زی‌توده میکروبی خاک را غیرمعنی‌دار گزارش کردند. تفاوت شرایط محیطی (میانگین دما، رطوبت نسبی و بارش سالانه) در بوم‌سازگان‌های مختلف، سطوح تیمارهای کاهش بارش، تنوع جمعیت‌های میکروبی و مقدار حساسیت آن‌ها به خشکی می‌تواند به تفاوت در نتایج منجر شود. چنانچه Gou و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که وجود لایه حفاظتی برف روی خاک باعث افزایش کربن زی‌توده میکروبی خاک در فصل زمستان شد.

الگوی تغییرات فصلی کربن آلی نسبت به کربن زی‌توده میکروبی، نوسان کمتری داشت که بیانگر حساسیت بیشتر بخش میکروبی خاک نسبت به تغییر شرایط محیطی است. به‌رغم تشابه الگوی تغییرات زمانی کربن آلی خاک در هر دو توده مورد مطالعه و در تیمارهای شاهد و کاهش بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار، الگوی متفاوتی از تغییرات در فصل تابستان مشاهده شد. کاهش بارش، کم

شدن محتوی رطوبت خاک، افزایش احتمالی شوری خاک و اثرات متفاوت آن بر گروه‌های مختلف جمعیت‌های میکروبی می‌تواند موجب کاهش کربن آلی خاک در این فصل شود. در تیمارهای کاهش بارش، کاهش احتمالی تراکم ریشه‌های موئین که از مهم‌ترین منابع زیرزمینی کربن خاک به‌شمار می‌روند (Chen *et al.*, 2015)، دلیل مهمی برای کم شدن کربن آلی خاک در تیمار ۷۵ درصد نسبت به تیمار شاهد بود که با نتایج Chen و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. با این‌حال، دلایل احتمالی روند افزایش معنی‌دار این متغیر در تیمار ۵۰ درصد کاهش بارش، نیازمند بررسی سایر اجزای کربن همانند کربن فعال خاک است.

در تمام تیمارها، کربن زی‌توده میکروبی در قطعه‌نمونه‌های زیر تاج‌پوشش، کاهش معنی‌داری نسبت به روشنه نشان داد که منطبق با تغییرات محتوی رطوبت خاک در این دو بخش است. به‌نظر می‌رسد اثر توأم رطوبت بهینه (بیشتر) و دمای بیشتر، شرایط مناسب‌تری برای حضور میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش کربن زی‌توده میکروبی در قطعه‌نمونه‌های روشنه نسبت به زیر تاج‌پوشش فراهم کرده است، به‌طوری‌که حتی در تیمارهای کاهش بارش نیز مقدار کربن زی‌توده میکروبی در روشنه‌ها، افزایش معنی‌داری نسبت به زیر تاج‌پوشش نشان داد. این یافته با نتایج Arunachalam و Arunachalam (۲۰۰۰) مطابقت ندارد که می‌تواند به‌دلیل تفاوت در اندازه و سن روشنه‌های بررسی‌شده بین پژوهش پیش‌رو و پژوهش مذکور و تغییرات ایجادشده در دما و محتوی رطوبت خاک باشد. با افزایش سطح خشکی با وجود اختلاف معنی‌دار این مشخصه در این دو بخش، روند نزولی در اختلاف مقادیر کمی کربن زی‌توده میکروبی مشاهده شد. برخی میکروارگانیسم‌های مقاوم به خشکی پیش از رسیدن به سطوح زیاد خشکی به شرایط استرس ناشی از خشک شدن خاک سازگار می‌شوند (Geng *et al.*, 2015). همچنین، باتوجه به افزایش استرس خشکی، محدودیت حضور برای دامنه وسیع‌تری از میکروارگانیسم‌های خاک فراهم خواهد شد (Geng *et al.*, 2015). علاوه‌بر عامل‌های فوق، کاهش نرخ تولیدمثل در چنین شرایطی موجب می‌شود که دامنه تغییرات کربن زی‌توده میکروبی کم شود و اثر افزایشی استرس خشکی بر این مشخصه به اثر کاهنده تبدیل شود.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که اگرچه کربن آلی خاک در روشنه نسبت به زیر تاج‌پوشش بیشتر است، اما این تفاوت در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار نبود. این نتیجه هم‌راستا با نتایج Muscolo و همکاران (۲۰۰۷) است که درون روشنه‌های کوچک شاهد، مقدار بیشتری از ماده آلی خاک نسبت به زیراشکوب مجاور مشاهده شد. در روشنه طبیعی که در اثر کهولت یا بادافتادگی درختان ایجاد شده است، به‌رغم کاهش ورودی منبع کربن (لاش‌ریزی)، وجود خشکه‌دارهای افتاده که به‌عنوان منبعی سرشار از مواد آلی محسوب می‌شوند، می‌توانند موجب افزایش کربن آلی خاک در روشنه نسبت به نواحی زیر تاج‌پوشش شوند. اگرچه در روشنه‌های مصنوعی انتظار کاهش کربن آلی خاک نسبت به زیر تاج‌پوشش می‌رود، اما ممکن است قطع فقط یک پایه درخت که به ایجاد روشنه‌هایی با مساحت ۴۰۰ مترمربع در توده مدیریت‌شده با شیوه تک‌گزینی منجر شود و همچنین، ورودی لاشریزی از درختان واقع در محیط روشنه موجب عدم اختلاف این مشخصه در قطعه‌نمونه‌های روشنه و زیر تاج‌پوشش شده باشد.

محیط (بارش سالانه، دما، رطوبت نسبی هوا و ارتفاع از سطح دریا)، خاک (دما، محتوی رطوبت، کربن آلی، نیتروژن کل، بافت، عمق، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی) و عملیات مدیریتی (تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری و شیوه‌های جنگل‌شناسی) از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر بخش آلی و میکروبی کربن خاک هستند. براساس نتایج این پژوهش، پدیده کاهش بارش که از پیش‌بینی‌های گزارش‌شده در سناریوهای تغییر اقلیم است، به تغییرات معنی‌داری در کربن خاک منجر شد. با این‌حال، توان بوم‌شناختی مناسب در بوم‌سازگان خاکی این توده باعث بازسازی کوتاه‌مدت و برگشت‌پذیری سریع تغییرات احتمالی ایجادشده در روشنه‌های ۴۰۰ متر مربعی طبیعی و مصنوعی شد. به‌همین دلیل در شرایط کنونی و شرایط

شبیه‌سازی‌شده از کاهش بارش، الگوی تغییرات ماهانه این دو مشخصه مهم خاک در توده مدیریت‌شده با شیوه تک‌گزینی، مشابه توده شاهد بود. این نتیجه به‌نوعی بیانگر پایداری بستر اصلی استقرار بوم‌سازگان توده آمیخته راش شرقی تحت اجرای شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی است، بنابراین باتوجه به پیامدهای وسیع اجتماعی و اقتصادی طرح تنفس جنگل (توقف بهره‌برداری و اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی) و براساس نتایج این پژوهش، این طرح مردود است و برنامه‌ریزی مدیریتی و دخالت‌های گزینشی در توده جنگلی راش شرقی توصیه می‌شود. با این‌حال، ارائه نقطه‌نظرات دقیق‌تر، جامع‌تر و با قطعیت بیشتر نیازمند بررسی همه‌جانبه اثر تیمارهای کاهش بارش بر ویژگی‌های بخش‌های مختلف بوم‌سازگان جنگلی (روزمینی و زیرزمینی) در بازه‌های زمانی طولانی‌مدت و همچنین، در مقیاس مکانی وسیع است. براین‌اساس پیشنهاد می‌شود بررسی اثر تیمارهای آزمایشی کاهش بارش بر جنبه‌های مختلف زیستی برای انواع بوم‌سازگان جنگلی ایران در دستور کار پژوهشگران قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است.

منابع مورد استفاده

- Abrari Vajari, K., 2016. Interactions between canopy gaps created by single-tree selection method and humus layer thickness (Case study: Alandan forest, Sari, Mazandaran province). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 24(3): 541-548.
- 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(1-2): 185-193.
- Bastida, F., García, C., von Bergen, M., Moreno, J.L., Richnow, H.H. and Jehmlich, N., 2015. Deforestation fosters bacterial diversity and the cyanobacterial community responsible for carbon fixation processes under semiarid climate: a metaproteomics study. Applied Soil Ecology, 93: 65-67.
- Bastida, F., López-Mondéjar, R., Baldrianb, P., Andrés-Abellán, M., Jehmlich, N., Torres, I.F., …. and López-Serrano, F.R., 2019. When drought meets forest management: Effects on the soil microbial community of a Holm oak forest ecosystem. Science of The Total Environment, 662: 276-286.
- Borken, W., Savage, K., Davidson, E.A. and Trumbore, S.E., 2006. Effects of experimental drought on soil respiration and radiocarbon efflux from a temperate forest soil. Global Change Biology, 12(2): 177-193.
- Chen, X., Zhang, D., Liang, G., Qiu, Q., Liu, J., Zhou, G., …. and Yan, J., 2015. Effects of precipitation on soil organic carbon fractions in three subtropical forests in southern China. Journal of Plant Ecology, 9(1): 10-19.
- Curiel Yuste, J., Fernandez-Gonzalez, A.J., Fernandez-Lopez, M., Ogaya, R., Penuelas, J., Sardans, J. and Lloret, F., 2014. Strong functional stability of soil microbial communities under semiarid Mediterranean conditions and subjected to long-term shifts in baseline precipitation. Soil Biology and Biochemistry, 69: 223-233.
- Dang, P., Gao, Y., Liu, J., Yu, S. and Zhao, Z., 2018. Effects of thinning intensity on understory vegetation and soil microbial communities of a mature Chinese pine plantation in the Loess Plateau. Science of the Total Environment, 630: 171-180.
- Geng, S.M., Yan, D.H., Zhang, T.X., Weng, B.S., Zhang, Z.B. and Qin, T.L., 2015. Effects of drought stress on agriculture soil. Natural Hazards, 75(2): 1997-2011.
- Ghorbani, Kh., 2015. Spatial and seasonal pattern in climate change, temperatures across Iran. Journal of Water and Soil Conservation, 21(5): 257-270 (In Persian).
- Gou, X., Tan, B., Wu, F., Yang, W., Xu, Z., Li, Z. and Zhang, X., 2015. Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N along an elevational gradient on the eastern Tibetan Plateau, China. PLoS One, 10(7): e0132443.
- Hueso, S., García, C. and Hernández, T., 2012. Severe drought conditions modify the microbial community structure, size and activity in amended and unamended soils. Soil Biology and Biochemistry, 50: 167-173.
- Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis. Nedaye Zoha Press, Sari, 240p (In Persian).
- 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.
- Jensen, K.D., Beier, C., Michelsen, A. and Emmett, B.A., 2003. Effects of experimental drought on microbial processes in two temperate heathlands at contrasting water conditions. Applied Soil Ecology, 24(2): 165-176.
- Li, G., Kim, S., Park, M. and Son, Y., 2017. Short-term effects of experimental warming and precipitation manipulation on soil microbial biomass, substrate utilization patterns, and community composition. Pedosphere, 27(4): 714-724.
- Lu, H., Liu, S., Wang, H., Luan, J., Schindlbacher, A., Liu, Y. and Wang, Y., 2017. Experimental throughfall reduction barely affects soil carbon dynamics in a warm-temperate oak forest, central China. Scientific Reports, 7: 15099.
- Miao, Y., Han, H., Du, Y., Zhang, Q., Jiang, L., Hui, D. and Wan, S., 2017. Nonlinear responses of soil respiration to precipitation changes in a semiarid temperate steppe. Scientific Reports, 7: 45782.
- Muscolo, A., Sidari M. and Mercurio, R., 2007. Variation in soil chemical properties and microbial biomass in artificial gaps in silver fir stands. European Journal Forest Research, 126(1): 59-65.
- Ochoa-Hueso, R., Collins, S.L., Delgado-Baquerizo, M., Hamonts, K., Pockman, W.T., Sinsabaugh, R.L., …. and Power, S.A., 2018. Drought consistently alters the composition of soil fungal and bacterial communities in grasslands from two continents. Global Change Biology, 24(7): 2818-2827.
- Rafiee, F., Habashi H., Rahmani, R., 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 (In Persian).
- Salmani, H., Rostami Khalaj, M., Saber Chenari, K., Rouhani, H. and Zare, M., 2014. Investigating the impacts of climate change on extreme events: A case study of the upper Gorganrood watershed, Golestan province, northern Iran. International Bulletin of Water Resources and Development, 2(1): 41-53 (In Persian).
- Sardans, J. and Peñuelas, J. 2005. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. Soil Biology and Biochemistry, 37(3): 455-461.
- Schindlbacher, A., Wunderlich, S., Borken, W., Kitzler, B., Zechmeister-Boltenstern, S. and Jandl, R., 2012. Soil respiration under climate change: prolonged summer drought offsets soil warming effects. Global Change Biology, 18(7): 2270-2279.
- Singh, K., Singh, B. and Singh, R.R., 2013. Effect of land rehabilitation on physicochemical and microbial properties of a sodic soil. Catena, 109: 49-57.
- 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.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L. and Hernandez, M.T., 2006. Use of organic amendments a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. Soil Biology and Biochemistry, 38(6): 1413-1421.
- Xu, B., Wang, J., Wu, N., Wu, Y. and Shi, F., 2018. 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, 15(2): 567-579.
- Yang, N., Zou, D., Yang, M. and Lin, Z., 2016. Variations in soil microbial biomass carbon and soil dissolved organic carbon in the re-vegetation of hilly slopes with purple soil. PLoS One, 11(12): e0166536.
- Yue, W., Xu, L., Ding, G.D., Guanglei, G., Yuanyuan, Z. and Minghan, Y., 2017. Seasonal changes in soil microbial biomass carbon and nitrogen of different vegetation types in the Mu Us Sandland, northwestern China. Nature Environment and Pollution Technology, 16(4): 1051-1058.

The effect of simulation of rainfall reduction on soil organic carbon and microbial biomass carbon in managed and unmanaged forest

F. Rafiee [1*], H. Habashi [2] and R. Rahmani [2]

1*- Corresponding author, Ph.D. of Forest Soil Biology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rafiee.f@gmail.com
2- Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 11.07.2019 Accepted: 01.10.2019

Abstract

One of the most important consequences of climate change is the anticipated reduction of rainfall in the future. This study aimed to investigate the dynamics of organic carbon and microbial biomass carbon in the simulated condition of the rainfall reduction in the beech-hornbeam managed stands, followed by its comparison with unmanaged stand. Following site selection of district one of Dr. Bahramnia Forest Management Plan (Shastkalate experimental Forest), 24 sub-samples in each stand were considered as the control treatments as well as treatments of 25, 50 and 75 percent decrease in precipitation. A comparison of the temporal variation of these two important soil characteristics indicated that the soil microbial carbon was more variable to changing environmental conditions. In addition to the significant temporal variations of soil microbial biomass carbon, annual changes in the gaps and below-canopy were also different. The results showed that the effects of 50 and 75 percent of precipitation reduction on soil organic and microbial carbon were significantly different from both 25% and control treatments that showed similar conditions. Changes in these markers in the current condition and the decrease shown by simulated rainfall revealed no significant difference and were similar in the control and managed stands with the selection system. Therefore, and provided the decrease of precipitation in future climatic conditions, forestry plans and harvesting operations with selection systems in mixed beech stands would not lead to significant changes in the amount and temporal pattern of soil organic carbon and microbial biomass carbon. Therefore, it is recommended to apply the selection system for the management of the eastern beech forests of Iran.

Keywords: Climate change, oriental beech, selection system, temporal variations.