اثر اندازه روشنه‌های پوشش تاجی بر فعالیت‌های زیستی و اجزای مادهٔ آلی خاک در یک تودهٔ جنگلی راش

یحیی کوچ[1*] و محمد بیرانوند[2]

[1] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
[2] دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۴)

چکیده

در اکوسیستم‌های جنگلی، روشنه‌های پوشش تاجی اهمیت زیادی در چرخهٔ عناصر غذایی دارند. در پژوهش حاضر، ارتباط سطوح مختلف روشنه‌ها (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و >۶۰۰ مترمربع) با مشخصه‌های زیستی (زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی، تنفس میکروبی، معدنی شدن نیتروژن، زی‌تودهٔ میکربی کربن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای) و فیزیکوشیمیایی (وزن مخصوص ظاهری، بافت، رطوبت، اسیدیته، کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم قابل‌جذب) خاک (عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری) در جنگل‌های راش سردآبرود کلارآباد بررسی شد. نمونه‌برداری خاک از سه نقطه در بخش مرکزی هر روشنه و همچنین زیر تاج‌پوشش بسته صورت گرفت و یک نمونهٔ ترکیبی از هر موقعیت برای بررسی به آزمایشگاه انتقال داده شد. مطابق با یافته‌ها، مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک (به‌جز محتوای سیلت و کلسیم قابل جذب) به‌طور معنی‌داری متأثر از سطوح مختلف روشنه‌ها بود. همچنین بیشترین تجمع کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش بسته بود و با افزایش سطح روشنه‌ها از جمعیت آنها کاسته شد. مقادیر مشخصه‌های تنفس میکربی، معدنی شدن نیتروژن، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای با افزایش سطح روشنه‌ها دارای روند افزایشی بود. زی‌تودهٔ میکروبی کربن در زیر تاج‌پوشش بسته نسبت به سطوح مختلف روشنه‌ها مقادیر بیشتری را نشان داد، درحالی که بیشترین مقدار زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن به روشنه‌های با سطح ۴۰۰ مترمربع اختصاص داشت. مطابق پژوهش حاضر، بیشترین مقادیر مشخصه‌های زیستی و شیمیایی خاک به روشنه‌های تاجی با سطح ۴۰۰ مترمربع اختصاص داشت و در روشنه‌های بزرگ‌تر به دلیل تجزیهٔ زیاد و آبشویی‌های فراوان کاهش عناصر غذایی خاک مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: زی‌تودهٔ میکروبی کربن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، سطح روشنه، کربن آلی ذره‌ای، نیتروژن آلی ذره‌ای.

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۹۳۲۳۱۳ ایمیل: yahya.kooch@modares.ac.ir

مقدمه و هدف

روشنه‌های پوشش تاجی تأثیر زیادی در تحول و پویایی جنگل‌های نواحی معتدله دارند. سطوح مختلف این روشنه‌ها سبب تغییراتی در فراوانی و توزیع عوامل زنده و غیرزندهٔ خاک می‌شوند (Kooch *et al.*, 2012) و اهمیت زیادی در توالی جنگل دارند (Muscolo *et al.*, 2014; He *et al.*, 2015). ایجاد روشنهٔ پوشش تاجی با افزایش شدت نور نسبی، افزایش دما، کاهش رطوبت و تغییر در جوامع میکروبی سبب تغییر در تجزیهٔ لاشبرگ‌ها و همچنین چرخش عناصر غذایی به خاک می‌شود (Ni *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016). در پی بازشدگی تاج‌پوشش بسیاری از مشخصه‌های خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرند و تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهند (Kooch *et al.*, 2012) که در این بین، تغییرپذیری مشخصه‌های زیستی خاک برجسته‌تر به‌نظر می‌رسد (خیری و همکاران، ۱۳۹۱). کرم‌های خاکی به‌عنوان مهم‌ترین ماکروفون خاک، به‌شدت تحت تأثیر آشفتگی حاصل از روشنه‌های پوشش تاجی قرار می‌گیرند (Blouin *et al.*, 2013). در این زمینه Kooch *et al.* (2012) اشاره داشته‌اند که با ایجاد روشنه‌های پوشش تاجی شرایط نامساعدی برای زیست کرم‌های خاکی ایجاد شده و از جمعیت آنها کاسته می‌شود.

تغییر در مشخصه‌هایی نظیر دما و رطوبت خاک، در نتیجهٔ باز شدن تاج‌پوشش، تغییراتی را در میزان فعالیت میکروبی و معدنی شدن عناصر غذایی خاک در پی خواهد داشت (Rosier *et al.*, 2015). در یک پژوهش، Muscolo *et al.* (2014) اذعان کردند که میزان تجزیهٔ مواد آلی، معدنی شدن کربن و نیتروژن خاک، بین روشنهٔ تاج و تاج‌پوشش بسته بسیار متفاوت است که بر تنفس میکروبی و انتشار دی‌اکسید کربن اثر فراوانی دارند. با توجه به اینکه زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن خاک از منابع اصلی ذخیره، انتقال و چرخش مواد مغذی قابل‌جذب هستند و تأثیر مهمی در تحول مواد مغذی اکوسیستم‌های خاکی دارند (Liu *et al.*, 2012)، هر گونه آشفتگی در جنگل اثرهای متفاوتی بر زی‌توده و فعالیت‌های میکروبی خاک به‌جای خواهد گذاشت (Bockheim, 2008). در این زمینه Li *et al.* (2016) اظهار داشتند که با افزایش سطح روشنهٔ پوشش تاجی، زی‌تودهٔ میکروبی و عناصر غذایی خاک کاهش و سرعت تجزیهٔ لاشبرگ افزایش می‌یابد. علاوه بر این با افزایش سطح روشنه، تغییرات زیادی در فعالیت و زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن خاک به‌وجود خواهد آمد که ممکن است به‌واسطهٔ تغییر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باشد (Muscolo *et al.*, 2014). در مرور منابع، محمدی و همکاران (۱۳۹۳) ضمن مطالعهٔ مشخصه‌های کمّی زادآوری در روشنه‌های ناشی از بهره‌برداری و طبیعی در جنگل آمیختهٔ راش اذعان داشتند که ایجاد روشنه و مشخصه‌های ساختاری آن باید به‌عنوان عوامل مؤثر در استقرار نهال‌های گونه راش مدنظر قرار گیرند. Nachtergale *et al.* (2002) تغییرات دمایی، رطوبت و شدت نور نسبی حاصل از روشنه‌های جنگلی را بر مشخصه‌های خاک بررسی کردند. عوامل مذکور، خود سبب تغییر در عناصر قابل جذب، فراوانی و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی شدند، به‌طوری که با افزایش سطح روشنه‌ها فعالیت کرم‌های خاکی کاهش چشمگیری یافت. در پژوهشی، Sefidi *et al.* (2011) به مطالعهٔ مشخصه‌ها و اندازهٔ روشنه‌های پوشش تاجی طبیعی بر روی زادآوری گونهٔ راش در جنگل آموزشی پژوهشی خیرود پرداختند و بیان کردند که روشنه‌های با سطوح کمتر از ۲۰۰ متر مربع دارای بیشترین وفور بودند. روشنه‌های با سطوح کوچک‌تر از ۴۰۰ متر مربع، شکل هندسی نامنظمی داشتند و مطابق با نتایج آنها روشنه‌های پوشش تاجی با سطوح کوچک و متوسط، شرایط مناسب‌تری برای استقرار زادآوری نهال‌های راش فراهم آوردند. همچنین Kooch *et al.* (2012) اثر روشنه‌های پوشش تاجی بر

مشخصه‌های خاک در جنگل‌های شمال ایران را مطالعه کردند. یافته‌های آنها بیانگر تأثیر معنی‌دار روشنه‌ها بر مشخصه‌های فیزیکی مانند جرم مخصوص ظاهری، درصد رطوبت و شیمیایی مانند درصد کربن، نیتروژن و عناصر غذایی قابل جذب خاک است و در سطوح مختلف روشنه‌ها تغییرپذیری متفاوتی را نشان دادند. در یک پژوهش، He *et al.* (2015) نقش روشنه‌های تاج‌پوشش را بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بررسی کردند. آنها اظهار داشتند که با افزایش سطح روشنه‌های پوشش تاجی در جنگل‌های طبیعی، عناصر غذایی قابل جذب کاهش و سرعت تجزیهٔ مواد آلی تا حد زیادی افزایش می‌یابد و همچنین انتشار دی‌اکسید کربن در زیر تاج‌پوشش بسته به‌مراتب کمتر از روشنه‌های با سطح پوشش تاجی بزرگ بوده است.

ازآنجا که هر گونه تغییر در مقادیر زی‌تودهٔ کربن و نیتروژن می‌تواند بر روند تجزیهٔ مواد آلی، فعالیت میکروبی، تغییرات عناصر غذایی و بهره‌وری خاک اثرگذار باشد (Yang *et al.*, 2010)، کسب اطلاعات در مورد تغییرات زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن خاک تحت اندازه‌های مختلف روشنه‌های پوشش تاجی برای اعمال مدیریت صحیح مواد مغذی خاک ضروری است. در اکوسیستم‌های جنگلی با تاج‌پوشش بستهٔ مواد آلی محلول، عناصر غذایی ماکرو و مواد آلی ذره‌ای از طریق تاج‌بارش و ساقاب به داخل خاک دستخوش تغییر می‌شوند، درحالی که با حضور روشنه‌های پوشش تاجی با افزایش شدت بارندگی، عناصر غذایی خاک و همچنین محتوای مواد آلی ذره‌ای (کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای) خاک بر اثر آبشویی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Li *et al.*, 2016). اگرچه برخی پژوهش‌های محدود به تأثیر روشنه‌های پوشش تاجی جنگلی بر مشخصه‌های مختلف خاک اشاره داشته‌اند، بیشتر آنها فقط بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأکید کرده‌اند. این در حالی است که مطالعه و بررسی تغییرپذیری مشخصه‌های زیستی با توجه به حساسیت‌پذیری بیشتر و واکنش به آشفتگی‌ها را می‌توان معیار مناسب‌تری برای ارزیابی کیفیت خاک در اکوسیستم‌های جنگلی قلمداد کرد که کمتر به آن توجه شده است. در تحقیق پیش رو، علاوه بر مطالعهٔ تغییرپذیری مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی، برخی از مهم‌ترین مشخصه‌های زیستی (زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی، تنفس میکروبی، معدنی شدن نیتروژن، زیتوده میکربی کربن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای) خاک در واکنش به سطوح مختلف بازشدگی تاج‌پوشش بررسی شد که تاکنون چندان مورد توجه نبوده‌اند. بنابراین موضوع حاضر می‌تواند در افزایش دقت در خصوص میزان اثرگذاری روشنه‌های پوشش تاجی بر مشخصه‌های مختلف خاک به‌منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های جنگلی مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

این تحقیق در جنگل‌های سردآبرود، سری اول از حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های تیله‌کنار و جیا و در محدودهٔ آبخیز شمارهٔ ۳۸ واقع در عرض جغرافیایی ″۳۰ ′۳۷ °۳۶ تا ″۵۲ ′۴۰ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ″۵۰ ′۷ °۵۱ تا ″۵۱ ′۱۲ °۵۱ شرقی انجام گرفت. حداقل و حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا به‌ترتیب ۵۰ و ۱۴۰۰ متر است. جنگل‌های سردآبرود با مساحت ۲۳۴۷ هکتار در قسمت جنوبی توابع شهر کلارآباد واقع شده است. خاک‌های محدودهٔ سری اغلب از تیپ راندزین تکامل‌نیافته، قهوه‌ای جنگلی با pH اسیدی و قهوه‌ای شسته‌شده با افق آرجلیک تشکیل یافته‌اند. بیشتر سطح سری را خاک‌های با بافت سنگین تا کمی سنگین (سیلتی رسی و رسی لومی) پوشانده و تحت‌الارض در مناطقی که سنگ‌های مادری آهک و مارن تظاهر می‌کند ناپایدار است. وجود درختان بادافتاده و نیز بیرون‌زدگی‌های ریشهٔ درختان نشانهٔ محدودیت ریشه‌دوانی و بافت

سنگین خاک است. در قطعهٔ حفاظتی این جنگل درصد آمیختگی گونه‌ها به‌صورتی است که راش با ۸۰/۷ درصد بیشترین، و ملج و گیلاس وحشی هر کدام با ۰/۳۴ درصد کمترین سطح منطقه را دربرگرفته‌اند و سایر گونه‌های درختی شامل پلت، شیردار، توسکا، ممرز و نمدار هستند (حاجی میرزا آقایی و همکاران، ۱۳۹۰).

شناسایی و ثبت روشنه‌های تاج‌پوشش

برای اجرای این پژوهش، محدوده‌ای ۳۲ هکتاری از قطعهٔ حفاظتی جنگل مذکور مورد پیمایش صددرصد قرار گرفت. در عرصهٔ مورد نظر، کلیهٔ روشنه‌های پوشش تاجی با سطح حداقل ۳۰ مترمربع (Bockheim, 2008) ثبت شدند. سپس حدود آنها از طریق روش چندضلعی‌ها و قرار گرفتن در مرکز روشنه و اندازه‌گیری آزیموت از مرکز روشنه تا حاشیه تعیین شد. با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، شکل حفره‌ها ترسیم و مساحت آنها اندازه‌گیری شد. برای مطالعهٔ تأثیر سطوح مختلف روشنه‌ها بر مشخصه‌های مختلف خاک، ۱۶ روشنه با سطح تقریبی ۲۰۰ (۲۰۹- ۱۹۲ متر مربع)، ۴۰۰ (۴۱۰- ۳۹۵ مترمربع)، ۶۰۰ (۶۱۲-۵۸۹ مترمربع) و بیشتر از ۶۰۰ متر مربع (۸۳۹-۷۱۷ متر مربع) و از هر سطح روشنه چهار تکرار مدنظر قرار گرفت. ازآنجا که شرایط فیزیوگرافی روشنه‌ها در بررسی‌های علمی از اهمیت زیادی برخوردار است، روشنه‌هایی مورد توجه قرار گرفتند که شرایط فیزیوگرافی یکسانی داشتند. میزان نور نسبی به‌وسیلهٔ دستگاه نورسنج (LI 250A, Li-core, USA) در فاصلهٔ یک متری از سطح زمین و در موقعیت‌های مرکز روشنه، زیر تاج‌پوشش بسته و در محلی کاملاً باز اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در طول فصل رویش و در روز آفتابی رأس ساعت ۱۲:۰۰ انجام گرفت. میزان نور نسبی با استفاده از رابطهٔ [۱۰۰ × (نور محیط باز / نور موقعیت‌ها) = نور نسبی (درصد)] محاسبه شد (Albanesi *et al.*, 2005).

نمونه‌برداری خاک و تجزیهٔ آزمایشگاهی

نمونه‌برداری خاک به کمک استوانه‌ای مدور با سطح مقطع ۸۱ سانتی‌متر مربع (Kooch *et al.*, 2012) و از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری از سه نقطه در بخش مرکزی هر روشنه برداشت شد و یک نمونهٔ ترکیبی برای بررسی به آزمایشگاه انتقال یافت. همچنین نمونه‌برداری از زیر تاج‌پوشش بسته در مجاورت هر یک از روشنه‌ها انجام پذیرفت. یک بخش از نمونه‌های خاک برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و بخش دوم نمونه‌ها برای آزمایش‌های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. وزن مخصوص ظاهری به روش سیلندر، بافت خاک (درصد اجزای تشکیل‌دهندهٔ خاک) با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت خاک به روش توزین، اسیدیته به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، کربن آلی به روش والکلی‌بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر به روش اولسن، پتاسیم و کلسیم با استفاده از روش جذب اتمی (غازان‌شاهی، ۱۳۸۵) در محیط آزمایشگاه سنجیده شد. همچنین همزمان با نمونه‌برداری خاک، کرم‌های خاکی به روش دستی جمع‌آوری (در سطح ۳۰×۳۰ سانتی‌متری و از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری) و زی‌توده با توجه به وزن آنها بعد از ۴۸ ساعت خشک شدن روی کاغذهای فیلتر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد (Kooch *et al.*, 2014). میزان تنفس میکروبی با استفاده از روش بطری بسته (علی اصغرزاد، ۱۳۸۹)، معدنی شدن نیتروژن با اندازه‌گیری نیترات و آمونیوم به روش تقطیر با بخار آب (Keeny and Nelson, 1982)، زی‌تودهٔ میکربی کربن و نیتروژن به روش تدخین - استخراج (علی اصغرزاد، ۱۳۸۹) محاسبه شد و جداسازی اجزای مواد آلی ذره‌ای (کربن و نیتروژن) با دستورالعمل Six *et al.* (1998) انجام گرفت.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری‌شده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شد. سپس به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و همچنین مقایسهٔ داده‌ها، ابتدا نرمالیتهٔ آنها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون بررسی شد. به‌منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک و نور نسبی در ارتباط با سطوح مختلف روشنه‌ها، از تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسهٔ چندگانهٔ میانگین به‌کار گرفته شد. کلیهٔ تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخهٔ ۲۰ انجام پذیرفت. همچنین به‌منظور آنالیز چندمتغیره و تعیین ارتباط مشخصه‌های زیستی و اجزای مادهٔ آلی با مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک در سطوح مختلف روشنه‌ها، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصل در برنامهٔ PC - ORD تحت Windows صورت گرفت.

نتایج

مشخصهٔ نور نسبی و فیزیکوشیمیایی خاک

براساس نتایج، میزان نور نسبی بین روشنه‌های پوشش تاجی دارای تغییرات معنی‌داری بود، به‌طوری که با افزایش سطح روشنه‌ها، میزان نور نسبی به‌طور مشخصی افزایش یافت (جدول ۱). جرم مخصوص ظاهری خاک در بین سطوح مختلف روشنه‌های پوشش تاجی با تاج‌پوشش بسته تفاوت آماری معنی‌داری را نشان داد و بیشترین مقادیر مشخصهٔ مذکور به تاج‌پوشش بسته اختصاص داشت (جدول ۱). درصد اجزای تشکیل‌دهندهٔ بافت خاک (به‌جز محتوای سیلت) نیز تفاوت آماری معنی‌داری را در بین سطوح مختلف روشنه‌ها و تاج‌پوشش بسته نشان داد، درحالی که نوع بافت خاک تغییر پیدا نکرد و برای سطوح مختلف روشنه‌های پوشش تاجی و تاج‌پوشش بسته از نوع رسی ـ لومی است. مقادیر شن در سطوح مختلف روشنه‌ها، بیشتر از تاج‌پوشش بسته مشاهده شد، درحالی که مقادیر درصد رس تحت تاج‌پوشش بسته بیشتر از روشنه‌ها بود (جدول ۱). بیشترین مقادیر محتوای رطوبت خاک به تاج‌پوشش بسته و سطوح کوچک روشنه‌ها اختصاص داشت، به‌طوری که با افزایش سطح روشنه، مقدار رطوبت خاک روند کاهشی نشان داد (جدول ۱).

سطوح ۲۰۰ و ۴۰۰ متر مربعی روشنهٔ تاج، دارای شرایط قلیایی‌تری نسبت به سایر سطوح دیگر بودند، درحالی که سطوح تاج‌پوشش بسته، pH کمتری نسبت به روشنه‌ها داشتند (جدول ۱). بیشترین مقدار کربن آلی خاک به سطوح خیلی بزرگ روشنهٔ تاج‌پوشش اختصاص داشت و تفاوت آماری معنی‌داری با تاج‌پوشش بسته نشان داد (جدول ۱). محتوای نیتروژن خاک روند متفاوت‌تری داشت، به‌طوری که مقادیر آن در زیر تاج‌پوشش بسته و روشنهٔ ۲۰۰ متر مربعی کمتر از ۴۰۰ متر مربعی بود و با افزایش سطوح روشنه‌ها، میزان آن کاهش یافت (جدول ۱). کمترین مقادیر مشخصهٔ نسبت کربن به نیتروژن، به تاج‌پوشش بسته و درون روشنه‌های کوچک و متوسط روشنه‌های پوشش تاجی تعلق داشت و با افزایش سطح روشنه‌ها، مقادیر این مشخصه افزایش پیدا کرد (جدول ۱). بیشترین مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب به سطوح روشنهٔ تاج‌پوشش ۴۰۰ متر مربعی اختصاص داشت، درحالی که با افزایش سطح روشنه‌ها مقادیر این مشخصه‌ها کاهش یافت. همچنین با افزایش روشنهٔ پوشش تاجی، این مقادیر روند کاهشی نشان داد (جدول ۱). مقادیر کلسیم قابل جذب در بین روشنه‌های مختلف پوشش تاجی و تاج‌پوشش بسته تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۱).

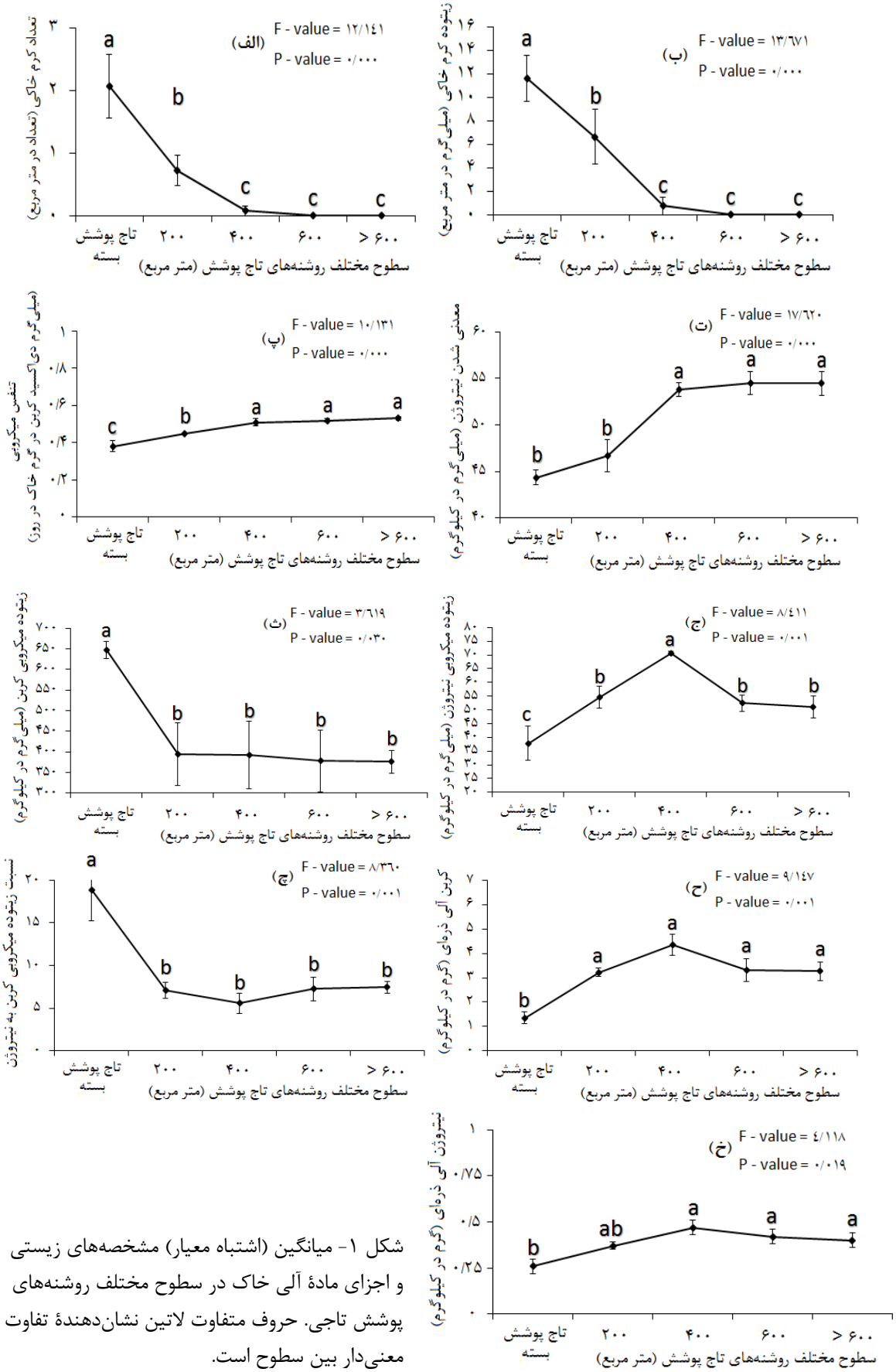
جدول ۱- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سطوح مختلف روشنه‌ها

مشخصهٔ مورد بررسی	تاج‌پوشش بسته	سطوح روشنه‌های تاج‌پوشش (متر مربع)				مقدار F	معنی‌داری
		۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	>۶۰۰		
نور نسبی (درصد)	-	d۱۱/۵۰±۱/۹۳	۲۱/۰۰±۱/۵۸c	۳۲/۲۵±۱/۱۰ b	۴۸/۲۵±۱/۴۹ a	۱۰۲/۸۸۴	۰/۰۰۰
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۵۰±۱/۹۳ b	۱/۱۱±۰/۰۰ a	۱/۱۱±۰/۰۱ a	۱/۱۱±۰/۰ a	۱/۱۱±۰/۰۱ a	۵/۳۱۶	۰/۰۰۷
شن (درصد)	۲۸/۰۴±۲/۵۴ b	۳۳/۸۹±۰/۶۳ a	۳۵/۱۸±۰/۶۶ a	۳۴/۸۶±۰/۷۷ a	۳۴/۳۹±۱/۳۲ a	۴/۵۱۷	۰/۰۱۴
سیلت (درصد)	۳۵/۶۶±۰/۲۸ ns	۳۶/۴۴±۰/۳۳ ns	۳۵/۸۳±۰/۱۴ ns	۳۵/۴۹±۰/۵۰ ns	۳۵/۷۳±۰/۲۴ ns	۱/۲۴۸	۰/۳۳۳
رس (درصد)	۳۶/۲۸±۲/۳۳ a	۲۹/۶۶±۰/۳۰ b	۲۸/۹۸±۰/۵۶ b	۲۹/۶۴±۰/۷۷ b	۲۹/۸۷±۱/۵۳ b	۵/۱۹۹	۰/۰۰۸
بافت خاک	رسی - لومی	رسی - لومی	رسی - لومی	رسی - لومی	رسی - لومی	-	-
رطوبت (درصد)	۴۱/۱۵±۲/۷۲ a	۳۵/۱۷±۰/۸۱ b	۲۹/۰۹±۱/۰۷ c	۲۰/۱۵±۰/۱۲ d	۱۹/۸۲±۰/۸۴ d	۱۴۲/۰۶۳	۰/۰۰۰
pH	۵/۲۲±۰/۳۹ b	۶/۵۵±۰/۱۱ a	۶/۹۶±۱/۱۵ a	۶/۱۴±۰/۳۶ ab	۶/۱۱±۰/۴۹ ab	۳/۶۱۶	۰/۰۳۰
کربن (درصد)	۱/۴۳±۰/۰۱ b	۲/۲۱±۰/۲۳ a	۲/۳۸±۰/۱۳ a	۲/۶۰±۰/۱۶ a	۲/۶۹±۰/۳۲ a	۶/۰۶۴	۰/۰۰۴
نیتروژن (درصد)	۰/۱۳±۰/۰۱ b	۰/۱۷±۰/۰۱ b	۰/۲۲±۰/۰۱ a	۰/۱۶±۰/۰۱ b	۰/۱۶±۰/۰۱b	۵/۵۹۵	۰/۰۰۶
نسبت کربن به نیتروژن خاک	۱۱/۲۶±۰/۹۰ b	۱۲/۷۳±۱/۳۰ ab	۱۰/۸۵±۱/۰۵ b	۱۵/۹۵±۱/۴۹ a	۱۶/۸۳±۲/۲۲ a	۳/۴۳۳	۰/۰۳۵
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۴/۸۰±۱/۰۱ b	۲۹/۲۲±۰/۴۰ ab	۳۲/۲۹±۰/۴۰ a	۲۶/۷۱±۳/۰۱ b	۲۵/۶۷±۰/۶۱b	۴/۲۶۴	۰/۰۱۷
پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۲۷/۲۱±۰/۵۲ b	۱۳۴/۱۸±۰/۷۳ b	۱۵۳/۷۷±۱۰/۴۴a	۱۲۷/۶۶±۴/۶۶ b	۱۲۴/۹±۲/۴۹ b	۵/۰۶۰	۰/۰۰۹
کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۴۶/۵±۲۰/۲۸ns	۲۵۸/۵±۱۶/۴۵ns	۳۱۲/۵۰±۱/۹۳ns	۲۵۱/۷±۴۳/۶۲ns	۲۵۲±۲۷/۳۴ns	۱/۱۱۷	۰/۳۸۵

ns نبود تفاوت معنی‌دار؛ حروف متفاوت در هر ستون وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد ($P<۰/۰۱$) را نشان می‌دهد.

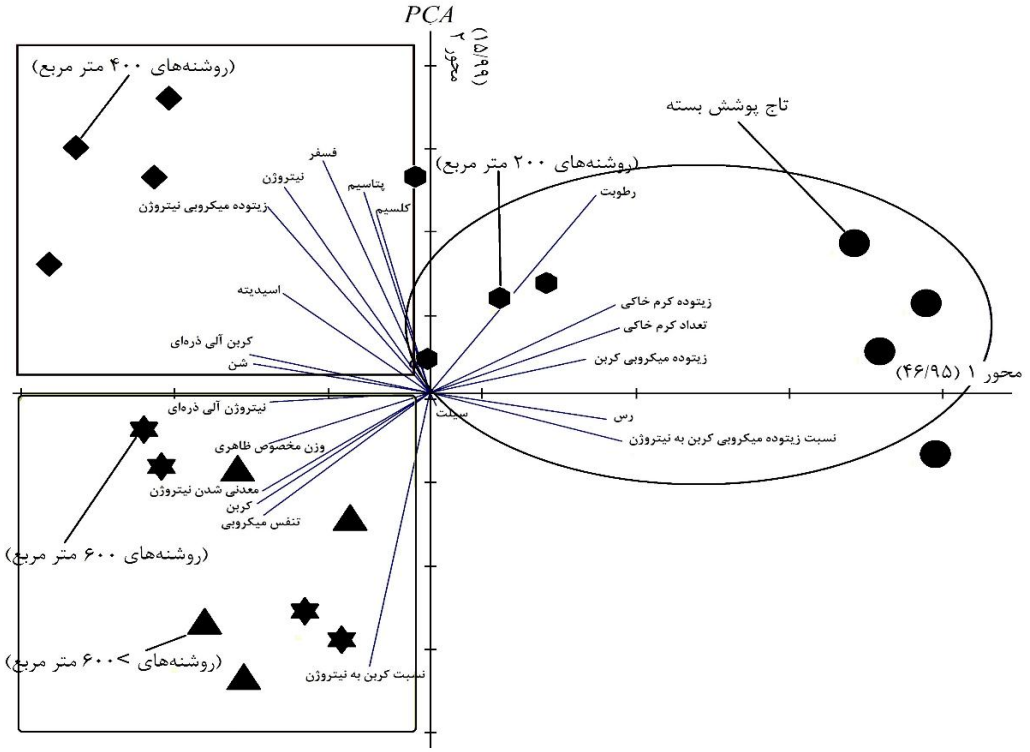
مشخصه‌های زیستی و اجزای مادهٔ آلی خاک

نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس حاکی از آن است که مشخصه‌های زیستی و اجزای مادهٔ آلی خاک، تفاوت آماری معنی‌داری در سطوح مختلف روشنه‌های پوشش تاجی دارند (شکل ۱). بیشترین تعداد و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی به تاج‌پوشش بسته و روشنه‌های کوچک پوشش تاجی تعلق داشت و کمترین مقادیر مشخصه‌های مذکور نیز در روشنه‌های بزرگ مشاهده شد (شکل ۱ الف و ب). بیشترین مقادیر تنفس میکربی و معدنی شدن نیتروژن خاک به روشنه‌های خیلی بزرگ پوشش تاجی اختصاص داشت و کمترین مقادیر مشخصه‌های مذکور نیز در روشنه‌های کوچک و زیر تاج‌پوشش بسته مشاهده شد و با افزایش سطح روشنه، روند این مشخصه‌ها افزایشی بود (شکل ۱ پ و ت). زی‌تودهٔ میکروبی کربن زیر تاج‌پوشش بسته نسبت به سطوح مختلف روشنه مقادیر بیشتری را نشان داد، درحالی که بیشترین مقدار زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن به روشنه‌های پوشش تاجی متوسط با سطح ۴۰۰ مترمربع اختصاص داشت و کمترین مقادیر آن در زیر تاج بسته مشاهده شد (شکل ۱ ث و ج). نسبت زی‌تودهٔ میکروبی کربن به نیتروژن زیر تاج‌پوشش بسته، به‌مراتب بزرگ‌تر از سطوح مختلف روشنه‌ها بود (شکل ۱ چ). مقایسهٔ کربن آلی ذره‌ای و نیتروژن آلی ذره‌ای بین تاج‌پوشش بسته و سطوح مختلف روشنه‌ها نتایج مشابهی را نشان داد، به‌طوری که مقادیر مشخصه‌های مذکور با افزایش سطح حفره افزایش یافت (شکل ۱ ح و خ).



شکل ۱- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های زیستی و اجزای مادهٔ آلی خاک در سطوح مختلف روشنه‌های پوشش تاجی. حروف متفاوت لاتین نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین سطوح است.

نتایج تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی در ارتباط با سطوح مختلف روشنه‌های تاج‌پوشش و مشخصه‌های خاک نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در مجموع ۶۲/۹۴ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه می‌کنند (شکل ۲). رطوبت خاک و زی‌تودهٔ میکروبی کربن در ربع‌های اول و چهارم محورهای اصلی حاکی از مساعد بودن شرایط ادافیکی برای کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش بسته و سطوح کوچک حفره‌های تاج‌پوشش (۲۰۰ متر مربعی) است (شکل ۲). روشنه‌های با سطوح متوسط (۴۰۰ متر مربعی) ربع دوم محور را به خود اختصاص داده‌اند و با نیتروژن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، کربن آلی ذره‌ای، عناصر غذایی قابل جذب (فسفر، پتاسیم و کلسیم) و اسیدیته در یک گروه قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده حاصلخیزی خاک در زیر حفره‌های با سطوح متوسط است (شکل ۲). حفره‌های بزرگ (۶۰۰ و >۶۰۰ متر مربعی) ربع سوم محور را اشغال کرده‌اند و شرایطی متفاوت با دیگر روشنه‌ها دارند، به‌طوری که ارتباط تنگاتنگی با مشخصه‌های مختلف خاک از جمله کربن، تنفس میکروبی، معدنی شدن نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن و وزن مخصوص ظاهری نشان می‌دهند (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت مکانی روشنه‌های پوشش تاجی و مشخصه‌های مختلف خاک در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

بحث

تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی

براساس یافته‌های پژوهش حاضر، بیشترین تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش بسته و روشنه‌های کوچک پوشش تاجی است که با یافته‌های خیری و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. مهم‌ترین عوامل تجمع کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش بسته و روشنه‌های کوچک پوشش تاجی می‌تواند رطوبت زیاد و حرارت کمتر خاک باشد (Prevost and Raymond, 2012). تاج‌پوشش بسته با دارا بودن شرایط مساعدتر نسبت

به روشنه‌های بزرگ، محل تجمع کرم‌های خاکی بیشتری است و در نهایت شرایط خاکی مرطوب و خنک‌تر زیر تاج‌پوشش بسته، شرایط مناسب‌تری را برای تجمع کرم‌های خاکی ایجاد کرده و بنابراین زی‌تودهٔ بیشتری از کرم‌های خاکی را به خود اختصاص داده است (Suthar, 2012). همچنین Heydari *et al.* (2014) در مطالعهٔ خود اذعان داشتند که تجمع کرم‌های خاکی رابطهٔ مثبت و نزدیکی با محتوای رس خاک دارد، به‌طوری که زیاد بودن مقدار رس سبب جلوگیری از هدررفت رطوبت خاک می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. علاوه بر این ایجاد روشنه‌های پوشش تاجی جرم مخصوص ظاهری خاک را افزایش داده است که خود شرایط زندگی را برای فعالیت کرم‌های خاکی دشوار می‌سازد. از طرفی فشردگی و تراکم بیشتر خاک در زیر روشنه‌ها نسبت به تاج‌پوشش بسته می‌تواند بر اثر کاهش رطوبت و زیاد بودن درصد شن در زیر روشنه‌ها باشد (Blouin *et al*. 2013).

تنفس میکروبی و معدنی شدن نیتروژن خاک

وجود رطوبت و هوادهی مناسب، درجهٔ حرارت زیاد و همچنین pH نزدیک به خنثی در خاک شرایط فعالیت انواع میکروب را به‌وجود می‌آورد (Liu *et al.*, 2012; Rosier *et al.*, 2015). در تحقیق حاضر نیز چنین شرایطی در سطوح بزرگ‌تر روشنه، مهیاتر به‌نظر می‌رسد که سبب تجمع بیشتر انواع میکروب در این موقعیت‌ها شده و افزایش مقادیر تنفسی خاک را در پی شده است. در همین زمینه، Muscolo *et al.* (2014) اشاره داشته‌اند که مقدار تجزیهٔ مواد آلی و معدنی شدن کربن و نیتروژن خاک، در روشنهٔ پوشش تاجی بیشتر از تاج‌پوشش بسته است که خود سبب افزایش تنفس میکروبی و انتشار دی‌اکسید کربن در جو می‌شود. همچنین، Kooch *et al.* (2016) بیان داشتند که سرعت تجزیهٔ لاشبرگ و افزایش کربن از مؤثرترین عوامل افزایش تنفس میکروبی خاک است. به‌طوری که نتایج تحقیق حاضر نشان داد با افزایش سطح روشنه مقادیر کربن خاک و به‌تبع آن تنفس میکروبی روند افزایشی چشمگیری داشته و ادعای فوق را تأیید می‌کند. پژوهش‌های متعددی (Ritter and Vesterdal, 2006; Bockheim, 2008; Kooch *et al.*, 2012) نشان داده‌اند که تجزیهٔ مواد آلی و معدنی شدن نیتروژن در داخل روشنه‌ها بیشتر از زیر تاج‌پوشش بسته است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. به‌سبب تجزیهٔ کم، نسبت کربن به نیتروژن زیاد و pH کم، لاشبرگ زیادی در راشستان‌ها روی هم انباشته می‌شود. با ایجاد روشنه‌های پوشش تاجی میزان زیادی از نیتروژن لاشبرگ به‌وسیلهٔ تجزیهٔ مواد آلی و pH بیشتر در اختیار افق‌های زیرین خاک قرار می‌گیرد (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابر یافته‌های این پژوهش، بیشترین مقدار معدنی شدن نیتروژن به سطوح خیلی بزرگ روشنهٔ پوشش تاجی اختصاص داشت و کمترین مقادیر مشخصهٔ مذکور نیز در سطوح کوچک روشنه پوشش تاجی و تاج‌پوشش بسته مشاهده شد. تصور بر آن است که شرایط رطوبتی و گرمای مناسب در روشنه‌ها با اندازهٔ ۴۰۰ مترمربع و بیشتر به‌گونه‌ای بوده که فعالیت میکروبی بیشتر سبب تسریع معدنی شدن نیتروژن شده است (Muscolo *et al.*, 2014). به‌عبارت دیگر، تبدیل نیتروژن آلی به معدنی در روشنه‌های بزرگ با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد (Muscolo *et al.*, 2007). همچنین Muscolo *et al.* (2014) در مطالعهٔ مروری خود بیان داشتند که با افزایش سطح روشنه و شدت نور نسبی، مقادیر کربن و نیتروژن معدنی در لایهٔ بالایی خاک بر اثر تسریع در معدنی شدن مواد آلی افزایش پیدا می‌کند که دلیل اصلی آن افزایش فعالیت‌های میکروبی با افزایش دماست. در تحقیق حاضر نیز مقادیر کربن و نیتروژن شرایطی را ایجاد کرد که سبب افزایش معدنی شدن نیتروژن در سطوح خیلی بزرگ روشنهٔ پوشش تاجی شد. در هر حال اگر

سطوح روشنهٔ تاج‌پوشش بیش از اندازه باز شود، به‌دلیل آبشویی، غلظت عناصر غذایی در خاک کاهش معنی‌داری پیدا خواهد کرد (Bockheim, 2008) که در پژوهش حاضر نیز بازشدگی تاج‌پوشش از اندازهٔ ۴۰۰ متر مربع، کاهش معنی‌داری را در غلظت عناصر غذایی نشان داد که با پژوهش Kooch *et al.* (2012) همخوانی دارد. همچنین بیشترین مقادیر مشخصه‌های فسفر و پتاسیم به سطوح روشنهٔ پوشش تاجی متوسط اختصاص داشت. به‌طور کلی با افزایش سطح روشنه‌ها فضای خالی برای نفوذ تشعشعات خورشیدی و سرعت تجزیهٔ لاشبرگ‌های کف جنگل افزایش می‌یابد که به افزایش عناصر غذایی فسفر و پتاسیم خاک منجر می‌شود. در یک مطالعه، Bockheim (2008) نیز آبشویی خاک را مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در کاهش کاتیون‌های تبادلی پتاسیم و کلسیم خاک در فضای روشنه‌های پوشش تاجی بزرگ عنوان کردند.

زی‌تودهٔ میکروبی خاک

عوامل زیادی از جمله کیفیت و کمیت لاشبرگ، کربن آلی، رطوبت و pH خاک در اکوسیستم‌های جنگلی بر زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن خاک جنگلی تأثیر می‌گذارند (Feng *et al.*, 2009). بنابر پژوهش Yang *et al.* (2010) در جنگل‌های مناطق معتدله، زی‌تودهٔ میکروبی خاک تا حد زیادی به درجهٔ حرارت و رطوبت خاک وابسته است. در اکثر مواقع افزایش دما سبب افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود و این در حالی اتفاق می‌افتد که رطوبت کافی در اختیار میکروب‌های تجزیه‌کنندهٔ کربن آلی به معدنی باشد (Pang *et al.*, 2016). در تحقیق حاضر زی‌تودهٔ میکروبی کربن در زیر تاج‌پوشش معنی‌داری بیشتری نسبت به سطوح روشنه‌های پوشش تاجی داشت. با افزایش سطح روشنهٔ پوشش تاجی و تشعشعات خورشیدی به کف جنگل، دمای خاک افزایش می‌یابد و رطوبت خاک را به‌شدت کاهش می‌دهد. این موضوع نشان‌دهندهٔ آن است که دما تنها عامل مؤثر بر افزایش فعالیت میکروبی نیست، بلکه در این مطالعه رطوبت زیاد خاک زیر تاج‌پوشش بسته عامل افزایش زی‌تودهٔ میکروبی کربن است که با نتایج پژوهش Liu *et al.* (2012) مطابقت دارد. همچنین تجمع کرم‌های خاکی در زیر تاج‌پوشش بسته، به‌واسطهٔ محتوی بیشتر رس و رطوبت خاک، می‌تواند در افزایش زی‌تودهٔ میکروبی کربن خاک مؤثر باشد (Dijkstra *et al.*, 2012). نتایج بیانگر آن است که بیشترین مقدار زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن به روشنه‌های پوشش تاجی متوسط با سطح ۴۰۰ مترمربع تعلق داشت و کمترین مقادیر آن در زیر تاج بسته مشاهده شد. عموماً زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن با افزایش دما روند افزایشی به خود می‌گیرد، اما گاهی به‌واسطهٔ تغییرپذیری منابع نیتروژن خاک، با افزایش دما از حد معینی، مقدار زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن نیز کاهش می‌یابد (Yang *et al.*, 2010) که چنین شرایطی در پژوهش حاضر در روشنه‌های بیشتر از ۴۰۰ مترمربع مشاهده شده است. مطابق یافته‌های این تحقیق، Muscolo *et al.* (2014) اذعان کردند که وجود روشنهٔ پوشش تاجی در اکوسیستم‌های جنگلی، سبب افزایش زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن خاک نسبت به تاج‌پوشش بسته می‌شود. به‌عبارت دیگر Arunachalam and Arunachalam (2000) در پژوهشی بیان کردند که زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن و فسفر همبستگی زیادی با نیتروژن، فسفر و عناصر غذایی قابل جذب دارند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش سطح روشنه تا اندازه‌ای (حدود ۴۰۰ مترمربع) دمای مناسب برای تجزیهٔ لاشبرگ فراهم می‌آید که سبب افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن، کربن، فسفر و پتاسیم در خاک می‌شود. عوامل مذکور، خود متأثر از pH و تنفس میکروبی خاک هستند (Kooch *et al.* 2012) که با نتایج این تحقیق همسوست.

مواد آلی ذره‌ای خاک

آشفتگی و روشنه در جنگل سبب افزایش ورود نور به کف جنگل می‌شود که تغییرپذیری اجزای مادهٔ آلی خاک را در پی دارد. مطابق یافته‌های Buchholz and Wienck (2015)، افزایش شدت نور نسبی در جنگل موجب افزایش دما، تجزیهٔ لاشبرگ، کربن آلی و در پی آن افزایش مواد آلی ذره‌ای خاک می‌شود. در پژوهش حاضر نیز مقادیر کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای افزایش معنی‌داری در داخل سطوح روشنه تاج‌پوشش نسبت به تاج‌پوشش بسته به داشت. براساس یافته‌های Condon (2013) و Srinivasarao *et al.* (2014) بین مشخصه‌های حاصلخیزی و تجمع مواد آلی ذره‌ای خاک رابطهٔ مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین Nciizah and Wakindiki (2012) در تحقیق خود اظهار داشتند که مقادیر مواد آلی ذره‌ای کربن و نیتروژن رابطهٔ مثبت معنی‌داری با افزایش کربن آلی، نیتروژن و pH خاک دارند. Condon (2013) نیز بیان کرد که با افزایش سطح روشنه‌ها در جنگل، مواد آلی ذره‌ای به‌دلیل افزایش کربن و نیتروژن روند افزایشی به خود می‌گیرند. در همین زمینه، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مواد آلی ذره‌ای خاک در سطوح روشنهٔ ۴۰۰ مترمربعی دارای بیشترین مقدار بوده و در واقع بیشترین عناصر غذایی خاک نیز به این سطح روشنه اختصاص داشته است.

امروزه مفهوم جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت از جمله مباحث مهمی است که در کشورهای مختلف مورد توجه قرار گرفته است. بر همین اساس، شناخت وضعیت روشنه‌هایی که بدون هیچ‌گونه دخالت و مدیریتی در عرصهٔ جنگلی طبیعی ایجاد می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر بیشترین مقادیر مشخصه‌های زیستی و شیمیایی خاک به روشنه‌های تاجی ۴۰۰ متر مربعی اختصاص داشت و شرایط ایده‌آل از نظر مشخصه‌های کیفی خاک دیده شد. در سطوح بزرگ‌تر روشنه‌ها به‌دلیل تجزیهٔ شدید و آبشویی‌های فراوان، کاهش حاصلخیزی خاک مشاهده شد. براساس این پژوهش به نشانه‌گذاران پیشنهاد می‌شود که به‌منظور جلوگیری از کاهش مشخصه‌های کیفی خاک از ایجاد سطوح روشنه با ابعاد بزرگ‌تر از ۴۰۰ متر مربع در اکوسیستم‌های جنگلی راش خودداری کنند.

منابع

حاجی میرزاآقایی، سمانه، جلیلوند، حمید، محمد رضا پورمجیدیان و یحیی کوچ، ۱۳۹۰. تنوع گونه‌های گیاهی در ارتباط با عامل اکولوژیک ارتفاع از سطح دریا در جنگل‌های سردآبرود چالوس، مجلهٔ زیست‌شناسی ایران، ۲۴(۳): ۴۰۰-۴۱۱.

خیری، مریم، هاشم حبشی، سیدمحمد واعظ موسوی و نگار مقیمیان، ۱۳۹۱. اثر روشنه بر ماکروفون خاک در راشستان آمیخته (مطالعهٔ موردی: جنگل شصت کلاته)، فصلنامهٔ انسان و محیط زیست،۲۰: ۱۰۱-۱۰۷.

شعبانی، سعید، مسلم اکبری‌نیا، سید غلامعلی جلالی و علی‌رضا علی‌عرب، ۱۳۹۰. رابطهٔ بین عوامل خاکی و تراکم زادآوری گونهٔ راش در روشنه‌های تاج‌پوشش با اندازه مختلف، مجلهٔ پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۸ (۳): ۶۳- ۸۷.

علی اصغرزاد، ناصر، ۱۳۸۹. روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک، انتشارات دانشگاه تبریز، ۵۲۲ ص.

غازان‌شاهی، جواد، ۱۳۸۵. آنالیز خاک و گیاه، انتشارات هما، ۲۷۲ ص.

محمدی، لیلا، محمدرضا مروی مهاجر، وحید اعتماد و کیومرث سفیدی، ۱۳۹۳. مشخصه‌های کمی زادآوری در روشنه‌های ناشی از بهره‌برداری و طبیعی در جنگل آمیختهٔ راش (مطالعهٔ موردی: بخش نم‌خانهٔ جنگل خیرود). مجلهٔ جنگل ایران، ۶: ۴۵۷-۴۷۰.

Albanesi, E., O.I. Gugliotta, I. Mercurio, and R. Mercurio, 2005. Effects of gap size and within-gap position on seedlings establishment in silver fir stands, *Society of Silviculture and Forest Ecology*, 2 (4): 358-366.

Arunachalam, A., and K. Arunachalam, 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): 187-195.

Blouin, M., M. Hodson, E. Delgado, E.A. Baker, G. Brussaard, L. Butt, K.R. Dai, J. Dendooven, L. Pérès, G. Tondoh, J.E., and D. Cluzeau, 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services, *European Journal of Soil Science*, 64 (2): 161-182.

Bockheim, 2008. Functional diversity of soils along environmental gradients in the Ross sea region, Antarctica, *Geoderma*, 144 (1): 32–42.

Buchholz, C.M., and C. Wiencke, 2015. Working on a baseline for the Kongsfjorden food web: production and properties of macro algal particulate organic matter (POM), *Polar Biology*, pp.1-12.

Condon, K.E. 2013. Quantifying catchment-scale particulate organic matter (POM) loss following fire, relative to background POM fluxes. M. Sc. thesis, University of Arizona, USA.

Dijkstra, F.A., Prior, S.A. Runion, G.B. Torbert, H.A. Tian, H. Lu, C. and R.T. Venterea, 2012. Effects of elevated carbon dioxide and increased temperature on methane and nitrous oxide fluxes: evidence from field experiments, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10 (10): 520-527.

Feng, W.T., Zou X.M. and D. Schaefer 2009. Above- and belowground carbon inputs affect seasonal variations of soil microbial biomass in a subtropical monsoon forest of southwest China, *Soil Biology and Biochemistry*, 41 (5): 978-83.

He, J., W. Yang, L. Xu, X. Ni, H. Li, and F. Wu, 2015. Copper and zinc dynamics in foliar litter during decomposition from gap center to closed canopy in an alpine forest, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1-13.

Heydari, M., H. Poorbabaei, M. Bazgir, A. Salehi, J. Eshaghirad, 2014. Earthworms as indicators for different forest management types and human disturbance in Ilam oak forest, Iran, *Folia Forestalia Polonica*, 56 (3): 121-134.

Keeney, D.R., and D.W. Nelson, 1982. Nitrogen-inorganic forms, PP. 643-698, In A. L. Page et al., (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI. USA.

Kooch, Y., S.M. Hosseini, J. Mohammadi, and S.M. Hojjati, 2012. Determination of the best canopy gap area on the basis of soil characteristics using the Analytical Hierarchy Process (AHP), *Folia Forestalia Polonica*, 54 (1): 15 – 24.

Kooch, Y., C. Zaccone, N.P. Lamersdorf, and G. Tonon, 2014. Pit and mound influence on soil features in an Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest, *European Journal of Forest Research*, 133 (2): 347-354.

Kooch, Y., F. Rostayee, and S.M. Hosseini, 2016. Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran, *Catena*, 144: 65-73.

Li, H., L. Xu, F. Wu, W. Yang, X. Ni, J. He, B. Tan, and Y. Hu, 2016. Forest Gaps Alter the Total Phenol Dynamics in Decomposing Litter in an Alpine Fir Forest, *PloS one*, 11(2), p.e0148426.

Liu, L., P. Gundersen, T. Zhang, and J. Mo, 2012. Effects of phosphorus addition on soil microbial biomass and community composition in three forest types in tropical China, *Soil Biology and Biochemistry*, 44 (1): 31-38.

Muscolo, A., Sidari, M., and Mercurio, R., 2007. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. *Forest Ecology and Management*, 242: 412-418.

Muscolo, A., S. Bagnato, M. Sidari, and R. Mercurio, 2014. A review of the roles of forest canopy gaps, *Journal of Forestry Research*, 25 (4): 725-736.

Nachtergale, L., K. Ghekiere, A. De Schrijver, B. Muys, S. Luyssaert, and N. Lust, 2002. Earthworm biomass and species diversity in windthrow sites of a temperate lowland forest. *Pedobiologia*, 46: 440-451.

Nciizah, A., and D. Wakindiki, I.I.C. 2012. Particulate organic matter, soil texture and mineralogy relations in some Eastern Cape ecotopes in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 29 (1): 39-46.

Ni, X., W. Yang, B. Tan, H. Li, J. He, L. Xu, and F. Wu, 2016. Forest gaps slow the sequestration of soil organic matter: a humification experiment with six foliar litters in an alpine forest, *Scientific Reports*, 6 (6):19744.

Pang, X., B. Hu, W. Bao, T. de Oliveira Vargas, and G. Tian, 2016. Effect of thinning-induced gap size on soil CO 2 efflux in a reforested spruce forest in the eastern Tibetan Plateau, *Agricultural and Forest Meteorology*, 220: 1-9.

Prevost, M., and P. Raymond, 2012. Effect of gap size, aspect and slope on available light and soil temperature after patch-selection cutting in yellow birch–conifer stands, Quebec, Canada, *Forest Ecology and Management*, 274: 210-221.

Ritter, E., and L. Vesterdal. 2006. Gap formation in Danish beech (*Fagus sylvatica*) forests of low management intensity: soil moisture and nitrate in soil solution, *European Journal of Forest Res*earch, 125 (2): 139 –150.

Rosier, C.L., L.D. Moore, T. Wu, and J.T. Van Stan, 2015. Forest canopy precipitation partitioning: an important plant trait influencing the spatial structure of the symbiotic soil microbial community. *Advances in Botanical Research*, 75: 215–240.

Sefidi, K., M.R. Marvie Mohadjer, R. Mosand, and C.A. Copenheaver, 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, northern Iran, *Forest Ecology and Management*, 262: 1094–1099.

Six, J., E.T. Elliott, K. Paustion, and J.W. Doran, 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils, *Soil Science Society of America Journal*, 62 (5): 1367-7377.

Srinivasarao, C.H., B. Venkateswarlu, R. Lal, A.K. Singh, S. Kundu, K.P. Vittal, J.J Patel, and M.M. Patel, 2014. Long-term manuring and fertilizer effects on depletion of soil organic carbon stocks under pearl millet-cluster bean-castor rotation in western India, *Land Degradation and Development*, 25 (2): 173-183.

Suthar, S., 2012. Seasonal dynamics in earthworm density, casting activity and soil nutrient cycling under Bermuda grass (Cynodon dactylon) in semiarid tropics, India, *The Environmentalist*, 32 (4): 503-511

Yang, K., J. Zhu, M. Zhang, Q. Yan, and O.J. Sun, 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*, p.rtq022.

Effect of canopy gaps area on soil biological activities and organic matter fractions in a Beech forest stand

Y. Kooch[1*], and M. Bayranvand[2]

[1]Assistant prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran
[2]PhD student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

(Received: 29 June 2016; Accepted: 15 December 2016)

Abstract

In forest ecosystems, canopy gaps play an essential role in soil nutrient cycling. In this study, the relationship among different areas of canopy gaps (200, 400, 600 and > 600 m^2), biological (*e.g.*, earthworm biomass, microbial respiration, N mineralization, C microbial biomass, N microbial biomass and particulate organic matter of C and N) and also physico-chemical (*e.g.*, bulk density, texture, moisture, pH, organic C, total N and available P, K and Ca) properties, from the top 15 cm of soil, was studied in Beech forests of Sardabrood located in Kelarabad. Three points were considered in center of each canopy gap and also closed canopy, soil samples were taken and mixed due to transferring to laboratory for analysis. According to findings, whole of soil physico-chemical properties (except for silt content and available Ca) were significantly affected by different canopy gaps areas. Also, the highest earthworm's assemblage was under closed canopy and the population was decreased with increasing of canopy gap areas. The characters of microbial respiration, N mineralization and particulate organic of C and N showed ascending trend with increasing of canopy gap areas. Carbon microbial biomass was significantly higher under closed canopy than in different canopy gap areas, whereas the highest amount of N microbial biomass was found within 400 m^2 gap areas. According to our data, the highest values of soil chemical and biological properties were related to 400 m^2 gap areas. In larger canopy gap areas, soil nutrient elements are decreased due to high decomposition and leaching.

Keywords: Canopy gap area, C microbial biomass, N microbial biomass, Particulate organic of C, Particulate organic of N.

*Corresponding author Tel: +98 1144553101 Email: yahya.kooch@modares.ac.ir