

تأثیر اندازه روشنه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های خالص و آمیخته راشستان های حوزه آبخیز رودخانه تجن

چکیده

روشنه‌ها با تأثیر بر میزان نور داخل جنگل بر خاک و سایر ویژگی‌های اکولوژیکی تأثیرگذار هستند. در این تحقیق تأثیر روشنه‌های طبیعی و مصنوعی توده‌های آمیخته و خالص راش بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شد. بدین منظور تعداد ۲۴ روشنه در تیپ آمیخته و ۲۴ روشنه در تیپ خالص راش در طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی از حوزه آبخیز رودخانه تجن در سال ۱۳۹۴ برداشت شد. روشنه‌ها در سه کلاسه روشنه‌های کوچک (کمتر از ۱۵۰ مترمربع)، متوسط (بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ مترمربع) و بزرگ (۳۵۰ تا ۵۰۰ مترمربع) طبقه‌بندی شده‌اند. در هر روشنه، تعداد ۵ قطعه نمونه بر روی قطره‌های روشنه پیاده شد. در داخل هر قطعه نمونه، یک نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت و یک نمونه ترکیبی آماده شد. علاوه بر این، در خارج از هر روشنه یک نمونه شاهد خاک نیز تهیه گردید. نتایج نشان داد که مساحت روشنه بر EC، pH، پتاسیم، کربن، نیتروژن و نوع توده بر ماده آلی و نیتروژن اثر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). همچنین اثرات متقابل روشنه و نوع توده بر نیتروژن، ماده آلی و شن نیز معنی‌دار بود ($P < 0.05$). بیشترین میزان پتاسیم در روشنه‌های بزرگ (با مساحت ۳۵۰-۵۰۰ مترمربع) در توده راش خالص و کمترین آن در توده‌های آمیخته مشاهده شد. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش اندازه حفره میزان کربن، ماده آلی، نیتروژن و پتاسیم افزایش می‌یابد. در روشنه‌های حاصل از قطع (مصنوعی)، بالاترین میزان نیتروژن در روشنه‌های بزرگ توده خالص راش مشاهده شد. ماده آلی در روشنه‌های بزرگ بیشتر از روشنه‌های کوچک بود. همچنین مساحت روشنه و نوع توده تأثیری بر میزان فسفر خاک نداشت؛ بنابراین می‌توان گفت که در توده‌های آمیخته به‌ویژه در روشنه‌های بزرگ نسبت به روشنه‌های کوچک در توده‌های خالص میزان حاصلخیزی خاک بیشتر است.

واژگان کلیدی: بهره‌برداری، جنگل آمیخته، توده خالص، ماده آلی، جنگل‌های هیرکانی.

مقدمه

روشنه‌های تاج‌پوشش می‌تواند تأثیر بسیار مهمی در ترکیب عواملی مانند نور، پوشش لاش برگی، رطوبت خاک، مواد غذایی و غیره در یک رویشگاه جنگلی داشته باشد (Dupuy and Chazdon, 2008). روشنه‌ها به دلیل اینکه باعث تغییرات خرد اقلیمی در جنگل می‌شوند، به اصلاح و تعدیل خاک نیز کمک می‌کنند و شرایط مناسبی را برای فعالیت ریزاندامگان فراهم می‌کنند (Ott and Juday, 2002; Qiu et al., 2023; Niu et al., 2023). روشنه‌ها نه تنها به حفظ ویژگی طبیعت ناهمسال جنگل کمک می‌کنند بلکه بر چرخه عناصر غذایی و حفاظت خاک نیز تأثیرگذارند (Schliemann and Bockheim, 2011; Chen et al., 2023). بیشتر تحقیقات ساختار روشنه‌ها بر روابط اندازه سطح روشنه و میزان نور در دسترس متمرکز است، درحالی‌که هم‌زمان با تغییرات در سطح زمین و رقابت رستنی‌ها، محیط در خاک نیز تغییر می‌کند؛ بنابراین مسائل مربوط به روابط بین خاک و پوشش گیاهی همواره از موضوعاتی بوده است که در علم مدیریت جنگل و علوم مربوط به خاک موردتوجه قرار می‌گیرد (میردار هریجانی و همکاران، ۱۳۹۰).

شیرزاد گرایلی^۱

جواد میرزایی^{۲*}

مهدی حیدری^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲، ۳. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*مسئول مکاتبات: j.mirzaei@ilam.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۴۱۰۴۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

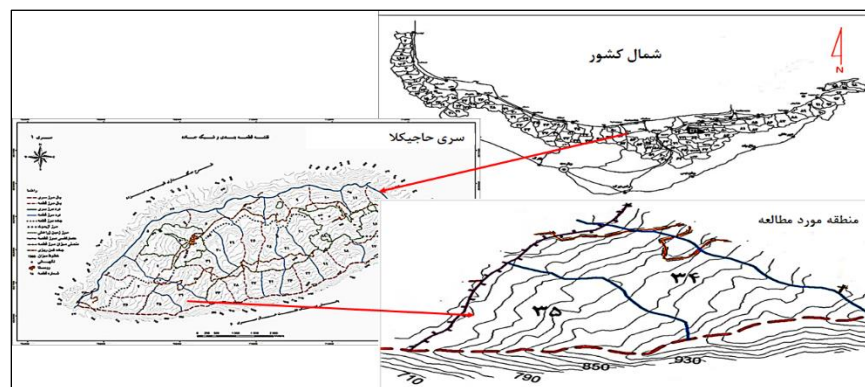
این مقاله پژوهشی و برگرفته رساله دکتری است.



پژوهش‌های Bockheim و Scharenbroch (۲۰۰۷) در رابطه با تأثیر روشنه روی خصوصیات خاک در جنگل‌های آمیخته افرای قندی و تسوگا در آمریکا نشان داد که میزان نور، رطوبت و دمای خاک در روشنه‌ها به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از تاج‌پوشش بسته مجاور بوده است. Muscolo و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی تأثیر اندازه روشنه بروی خصوصیات خاک، بیوماس میکروبی و عناصر غذایی در توده *Pinus laricio Poiret* در جنوب ایتالیا نشان دادند که بیشینه مقدار رطوبت در روشنه‌های کوچک وجود داشته است. همچنین، بیشینه مقدار مواد آلی، زی‌توده میکروبی، مقدار فسفر و نرخ $C:N$ در روشنه‌های کوچک مشاهده شد. Muscolo و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای دیگر در خصوص تغییر خصوصیات خاک و زادآوری طبیعی *Abies alba Mill* ثابت کردند که رطوبت خاک و مواد آلی در روشنه‌های متوسط نسبت به روشنه‌های کوچک کمتر بود. مطالعاتی در زمینه تأثیر روشنه بر خصوصیات خاک در جنگل‌های شمال کشور نیز انجام‌شده است که می‌توان به مطالعه کیلاشکی و همکاران (۱۳۸۹) باهدف بررسی خصوصیات خاک‌های جنگلی در حفرة‌های با اندازه‌های مختلف در جنگل‌های سرچشمه چالوس یافت و نتیجه گرفته شد که با افزایش اندازه روشنه از میزان فسفر در مرکز روشنه کاسته شده و بیشینه مقدار آن در روشنه‌های خیلی کوچک و مناطق شاهد وجود داشت. طاعتی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی نقش اندازه روشنه و شدت نور بر فعالیت آنزیم فسفاتاز خاک در راشستان کلاردشت به این نتیجه رسیدند که فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در اندازه‌های روشنه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما در سه‌طبقه اول شدت نور (شدت کم تا متوسط)، کاهش فعالیت آنزیم‌ها مشاهده شد، درحالی‌که در طبقه چهارم (شدت نسبتاً زیاد) فعالیت آنزیم‌ها افزایش یافت. از سایر مطالعات انجام‌شده در ایران می‌توان به مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در زمینه تأثیر شکل و اندازه حفرة بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک در جنگل شصت کلاته گرگان و اصغری سرخی و همکاران (۱۳۹۴) در خصوص تأثیر ترکیب تاج‌پوشش بر خصوصیات خاک در توده‌های خالص و آمیخته راش در جنگل الندان ساری اشاره کرد؛ اما با این حال تاکنون در خصوص تأثیر ابعاد روشنه‌های مختلف طبیعی و مصنوعی در توده‌های خالص و آمیخته راش بر ویژگی‌های خاک مطالعه انجام نگرفته است. با توجه به اهمیت روابط بین خاک و پوشش گیاهی و محدودیت مطالعات انجام‌شده در این خصوص مطالعه حاضر باهدف بررسی تأثیر اندازه روشنه‌های پوشش تاجی حاصل از قطع و بادافتادگی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های خالص و آمیخته راشستان های شمال کشور انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سری یک طرح حاجیکلا- تیرانکلی انجام شد. سری حاجیکلا (روستای مجاور طرح)، بخشی از حوزه آبخیز رودخانه تجن بوده که در فاصله ۳۷ کیلومتری جنوب غربی شهرستان ساری قرار دارد (شکل ۱).



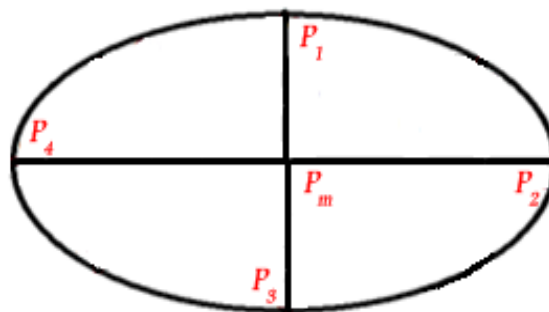
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های شمال کشور (طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی)

(سال بررسی ۱۳۹۴).

بر اساس اطلاعات اقلیمی موجود، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۶۱۸/۸ میلی‌لیتر است. رطوبت نسبی هوا بین ۷۸ تا ۸۴ درصد در نوسان می‌باشد. متوسط حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال و متوسط حداقل دما در سردترین ماه سال به ترتیب ۲۹/۲ و صفر درجه سانتی‌گراد است. نوع سنگ مادری منطقه مورد مطالعه آهک ماسه‌ای، ماسه‌سنگ آهکی و مارن از دوره میوسن- نوژن دوران سوم است. تیپ خاک در قسمت‌های میانی و شمال عرصه، قهوه‌ای شسته شده با افق کلسیک و جنوب عرصه، راندزین تیپیک، پایداری زمین متوسط تا ضعیف، بافت خاک کمی سنگین (رسی-لومی) و در عمق زیرین بسیار سنگین (رسی)، عمق خاک در جنوب جنگل مورد مطالعه، کم و حدود ۵۰-۵۵ سانتیمتر و در قسمت‌های میانی و شمال عرصه، عمیق و حدود ۱۱۰ سانتی‌متر است. نفوذپذیری خاک در جنوب عرصه مورد مطالعه خوب و در قسمت‌های میانی و شمالی متوسط تا ضعیف است. ساختمان خاک در سطح، دانه‌ای ریز و در عمق زیرین کوبیده و بدون شکل مشخص است (طرح جنگلداری حاجیکلا-تیرانکلی، ۱۳۸۹).

روشنه‌ها در سه سطح شامل تا ۱۵۰ مترمربع (روشنه کوچک)، ۱۵۰-۳۵۰ مترمربع (روشنه متوسط)، ۳۵۰-۵۰۰ مترمربع (روشنه بزرگ) در دو قطعه ۳۴ و ۳۵ سری یک طرح مذکور و در عرصه‌ای به مساحت تقریبی ۸۰ هکتار و با فواصل متفاوت (به‌منظور یافتن روشنه‌های تقریباً هم‌سن و نیز هم‌گن (از لحاظ جهت، دامنه، توپوگرافی و ساختار عمودی و افقی جنگل اطراف روشنه‌ها) انتخاب و کلاسه‌بندی شدند. از هر کلاس یادشده، هشت تکرار در عرصه به‌صورت انتخابی شناسایی شد و با توجه به دو نوع مبدأ ایجاد روشنه، در مجموع ۴۸ روشنه برای این تحقیق، شناسایی و انتخاب گردید. روشنه‌ها در زمان آماربرداری چهار سال سن داشته‌اند (Anonymous, 2010). برای برداشت مساحت روشنه بزرگ‌ترین قطر روشنه (L) و عمود بر آن کوچک‌ترین قطر روشنه (W) توسط متر نواری برداشت (شکل ۲) و با استفاده از فرمول ریاضی بیضی به‌عنوان شکل غالب در روشنه‌ها مساحت هر یک از روشنه‌ها اندازه‌گیری شد (Negel et al., 2010; Kenderes et al., 2008).

در هر روشنه، تعداد پنج پلات بر روی قطرهای روشنه و مطابق شکل زیر پیاده شد (شکل ۱) (Haghvordi et al., 2011). در داخل هر پلات یک نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و باهم مخلوط و یک نمونه ترکیبی آماده شد. علاوه بر این در خارج هر روشنه یک نمونه شاهد از خاک نیز تهیه شد. به‌عبارت‌دیگر در مجموع ۹۶ نمونه خاک برداشت گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه مورد آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قرار گرفتند. اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲) و برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت اشباع به روش وزنی (صالحی و همکاران، ۱۳۸۴)، اسیدیته به‌وسیله دستگاه pH متر هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، نیتروژن خاک به روش کج‌دال (Bremmer and Mulvaney, 1982) و برحسب درصد، کربن آلی و ماده آلی به روش والکی و بلک (Walkley and Black, 1934)، فسفر به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و با استفاده از دستگاه اسپکت و برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم قابل جذب (Moreno et al., 2007) توسط دستگاه FlamePhotometry و برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و برحسب درصد و آهک با روش تیتراسیون برگشتی (Page et al., 2004) انجام شد.



شکل ۲: روش نمونه‌برداری از خاک در داخل حفره تاج پوشش.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در ابتدا همه داده‌های به لحاظ نرمال بودن با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس به‌منظور بررسی اختلاف اثرات مساحت روشنه و نوع توده بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در توده مصنوعی و طبیعی از آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. برای مقایسه این خصوصیات در توده مصنوعی و طبیعی از مقایسه میانگین دانکن در سطح اطمینان ۰/۰۵ استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثرات مساحت روشنه و نوع توده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده مصنوعی اختلاف معنی‌داری را از نظر میزان درصد شن، pH، پتاسیم، نیتروژن، کربن و ماده آلی را در مساحت‌های مختلف روشنه نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج آنالیز واریانس اثرات مساحت روشنه و نوع توده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده مصنوعی طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

پارامترهای خاکی	مساحت روشنه		نوع توده		مساحت روشنه × نوع توده	
	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری
رطوبت اشباع (%)	۵/۳۵	۰/۷۹۵	۲۲/۸۵	۰/۳۳۳	۱۲/۱۳	۰/۶۰۰ ns
آهک (%)	۵/۵۳	۰/۴۹۹	۰/۰۷۳	۰/۹۲۴	۲۶/۷۱	۰/۰۵۲ ns
pH	۶/۲۳	۰/۰۰۰	۱/۱۶	۰/۱۲۴	۰/۴۱	۰/۴۱۱ ns
EC (ds/m)	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲	۰/۶۲۱	۰/۰۰۳	۰/۷۲۸ ns
جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۰/۰۱۶	۰/۵۸۴	۰/۰۲۳	۰/۳۸۵	۰/۰۳۴	۰/۳۳۵ ns
فسفر (mg/kg)	۳۸/۱۲	۰/۱۰۲	۴۳/۴۵	۰/۱۰۳	۱/۷۲	۰/۸۹۰ ns
پتاسیم (mg/kg)	۲۸۰۷۱	۰/۰۳۹	۲۴۹۸۲	۰/۰۷۹	۶۲۶/۸	۰/۹۱۷ ns
کربن (%)	۵/۱۵	۰/۰۱۳	۲/۱۱	۰/۱۴۷	۲/۱۱	۰/۱۳۰ ns
نیتروژن (%)	۰/۴۳	۰/۰۰۰	۰/۰۹۹	۰/۰۴۷	۰/۰۸۰	۰/۰۴۶ *
ماده آلی (%)	۳/۵۲	۰/۲۳۰	۳۵/۲۷	۰/۰۰۱	۵/۹۶	۰/۰۹۴ ns
شن (%)	۳/۹۲	۰/۷۸۷	۲۲/۵۹	۰/۲۵۳	۶۵/۹۵	۰/۰۳۵ *
رس (%)	۲۱/۵۹	۰/۴۸۹	۲/۳۹	۰/۷۷۷	۴۹/۳۵	۰/۲۱۰ ns
سیلت (%)	۳/۰۵	۰/۸۳۰	۱۵/۷۸	۰/۳۳۷	۴۶/۳۲	۰/۰۸۳ ns

نتایج نشان داد که روشنه بزرگ در توده راش خالص بیشینه میزان اسیدیته و کمترین مقدار آن در روشنه کوچک در توده راش خالص و توده آمیخته مشاهده شد. بیشینه میزان پتاسیم در روشنه با کلاسه مساحت بزرگ در توده راش خالص و کمترین میزان آن در کلاسه کوچک و متوسط در توده آمیخته وجود داشت. بیشینه میزان کربن آلی در روشنه بزرگ در توده راش خالص مشاهده شد. از نظر میزان نیتروژن نیز روشنه بزرگ در توده راش خالص بیشینه مقدار را داشت. کمترین میزان نیتروژن نیز در روشنه‌های متوسط در توده راش خالص و آمیخته مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشینه میزان ماده آلی در روشنه‌های بزرگ توده راش خالص و کمینه آن در روشنه‌های متوسط توده آمیخته بود (جدول ۲). علاوه بر این بیشینه و کمینه میزان درصد شن به ترتیب در توده آمیخته و توده راش خالص در روشنه‌های متوسط مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲: نتایج مقایسه میانگین تأثیر وسعت روشنه و تیپ توده بر ویژگی‌های شیمیایی در روشنه‌های حاصل از قطع (میانگین $\pm$ اشتباه معیار) طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

تیمار	آهک (%)	اسیدیته	هدایت الکتریکی	فسفر (mg/kg)	یتاسیم (mg/kg)	کربن (%)	نیتروژن (%)	ماده آلی (%)
کمتر از ۱۵۰	۶/۸±۰/۸ ^a	۴/۹±۰/۳ ^c	۰/۲۲±۰/۱۰ ^a	۱۵/۱±۱/۷ ^a	۴۰/۴±۳۱ ^{ab}	۳/۹±۰/۶ ^{ab}	۰/۳۹±۰/۰۶ ^{bc}	۶/۵±۰/۹ ^{bc}
۱۵۰-۳۵۰	۹/۰±۰/۸ ^a	۵/۸±۰/۶ ^{bc}	۰/۱۴±۰/۰۳ ^a	۱۵/۵±۳/۸ ^a	۴۳/۳±۴۵ ^{ab}	۲/۷±۰/۵ ^b	۰/۳۰±۰/۰۵ ^c	۸/۰±۰/۶ ^{ab}
۳۵۰-۵۰۰	۷/۹±۱/۴ ^a	۷/۱±۰/۱ ^a	۰/۱۷±۰/۰۳ ^a	۱۹/۹±۰/۷ ^a	۵۰/۴±۱۹ ^a	۵/۳±۰/۵ ^a	۰/۹۱±۰/۱۰ ^a	۹/۳±۰/۴ ^a
شاهد	۶/۲±۰/۸ ^a	۴/۸±۰/۳ ^{۲c}	۰/۱۹±۰/۱۰ ^a	۱۶/۱±۱/۱ ^a	۳۸/۰±۴۰ ^b	۲/۹±۰/۲ ^b	۰/۳۸±۰/۰۶ ^{bc}	۴/۵±۰/۹ ^c
کمتر از ۱۵۰	۹/۷±۱/۳ ^a	۴/۹±۰/۴ ^c	۰/۲۲±۰/۱۰ ^a	۱۳/۰±۱/۰ ^a	۳۳/۵±۴۲ ^b	۳/۷±۰/۲ ^{ab}	۰/۳۸±۰/۰۲ ^{bc}	۶/۱±۰/۶ ^{bc}
۱۵۰-۳۵۰	۵/۰±۱/۹ ^a	۵/۳±۰/۳ ^{bc}	۰/۱۴±۰/۰۲ ^a	۱۳/۳±۰/۷ ^a	۳۵/۳±۴۹ ^b	۲/۹±۰/۷ ^b	۰/۲۹±۰/۰۷ ^c	۴/۸±۱/۳ ^c
۳۵۰-۵۰۰	۹/۳±۱/۵ ^a	۶/۲±۰/۱ ^{ab}	۰/۲۳±۰/۰۳ ^a	۱۶/۱±۱/۴ ^a	۴۵/۹±۵۵ ^{ab}	۳/۵±۰/۳ ^{ab}	۰/۵۶±۰/۱ ^b	۵/۷±۰/۳ ^{bc}
شاهد	۷/۷±۱/۳ ^a	۵/۱±۰/۴ ^c	۰/۲۰±۰/۱۵ ^a	۱۵/۵±۱/۴ ^a	۳۵/۰±۷۵ ^b	۳/۱±۰/۳ ^b	۰/۲۸±۰/۱۲ ^c	۴/۱±۰/۵ ^c

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری است.

جدول ۳: نتایج مقایسه میانگین تأثیر وسعت روشنه و تیپ توده بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در روشنه‌های حاصل از قطع درختان (میانگین $\pm$ اشتباه معیار) طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

توده	تیمار	رطوبت اشباع (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)
کمتر از ۱۵۰	۴۴/۴±۳/۳ ^a	۱/۶±۰/۰۶ ^a	۴۷/۷±۲/۴ ^{ab}	۲۹/۹±۳/۵ ^a	۲۲/۴±۱/۶ ^a	
۱۵۰-۳۵۰	۴۰/۵±۲/۵ ^a	۱/۶±۰/۰۵ ^a	۴۴/۸±۰/۵ ^b	۲۶/۹±۳/۸ ^a	۲۸/۱±۴/۱ ^a	
۳۵۰-۵۰۰	۴۱/۶±۱/۱ ^a	۱/۴±۰/۱۳ ^a	۵۰/۰±۲/۳ ^{ab}	۲۴/۴±۲/۸ ^a	۲۵/۰±۰/۸ ^a	
شاهد	۴۴/۱±۱/۳ ^a	۱/۵±۰/۱۶ ^a	۴۹/۶±۲/۱ ^{ab}	۲۸/۱±۴/۵ ^a	۲۳/۱±۵/۶ ^a	
کمتر از ۱۵۰	۳۹/۶±۱/۱ ^a	۱/۶±۰/۰۷ ^a	۴۷/۷±۱/۱ ^{ab}	۲۶/۷±۰/۹ ^a	۲۵/۹±۳/۴ ^a	
۱۵۰-۳۵۰	۴۰/۱±۳/۰ ^a	۱/۵±۰/۱۲ ^a	۵۳/۲±۳/۲ ^a	۲۳/۱±۲/۵ ^a	۲۲/۰±۱/۲ ^a	
۳۵۰-۵۰۰	۴۰/۹±۱/۸ ^a	۱/۶±۰/۰۲ ^a	۴۷/۵±۱/۲ ^{ab}	۲۹/۴±۱/۶ ^a	۲۲/۸±۰/۳ ^a	
شاهد	۳۸/۶±۴/۱ ^a	۱/۴±۰/۱۷ ^a	۴۸/۷±۱/۶ ^{ab}	۲۵/۶±۲/۹ ^a	۲۳/۱±۴/۴ ^a	

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری است.

نتایج تجزیه واریانس در توده طبیعی نشان داد که از نظر میزان رطوبت اشباع، آهک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر، یتاسیم، نیتروژن، درصد شن، رس و سیلت اختلاف معنی‌داری در مساحت‌های مختلف روشنه‌های تاج پوشش در توده راش خالص و آمیخته وجود نداشت، اما از نظر جرم مخصوص ظاهری، کربن و ماده آلی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج آنالیز واریانس اثرات مساحت روشنه و نوع توده بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در روشنه‌های طبیعی طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

پارامترهای خاکی	مساحت روشنه		نوع توده		مساحت روشنه × نوع توده	
	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری
رطوبت اشباع (%)	۴۳/۵۸	۰/۲۳۳	۷/۷۹	۰/۶۰۱	۲۶/۹۵	۰/۳۹۵
آهک (%)	۱۶/۹۱	۰/۱۶۴	۲۰/۰۹	۰/۱۴۰	۱۶/۳۰	۰/۱۷۵
اسیدیته	۱/۱۵	۰/۲۰۹	۱/۷۵	۰/۱۲۴	۱/۵۳	۰/۱۳۱
هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۰۰۶	۰/۲۱۹	۰/۰۰۳	۰/۳۸۹	۰/۰۰۵	۰/۲۵۹
جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۰/۳۱۵	۰/۰۰۵	۰/۱۱۲	۰/۱۲۴	۰/۱۹۹	۰/۰۲۴
فسفر (mg/kg)	۵۰/۵۸	۰/۳۴۵	۲۱/۵۲	۰/۴۹۷	۴۳/۸۸	۰/۳۹۵
پتاسیم (mg/kg)	۵۱۰۲/۲	۰/۴۶۶	۱۸۱۰/۶	۰/۶۰۱	۱۳۲۱۴/۱	۰/۱۵۶
کربن (%)	۳/۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۳	۰/۹۴۷	۴/۵۸	۰/۰۰۳
نیترژن (%)	۰/۰۳۵	۰/۱۰۷	۰/۰۲۴	۰/۲۰۶	۰/۰۲۴	۰/۱۹۶
ماده آلی (%)	۱۰/۰۲	۰/۰۰۲	۲/۵۱	۰/۱۴۰	۸/۲۲	۰/۰۰۴
شن (%)	۱۵/۱۳	۰/۲۸۱	۱/۸۴	۰/۶۸۸	۹/۶	۰/۴۳۸
رس (%)	۱/۴۹	۰/۹۱۸	۱۵/۷۱	۰/۳۵۵	۱۱/۶۵	۰/۵۲۴
سیلت (%)	۲۳/۹۶	۰/۱۷۴	۲۶/۳۹	۰/۱۶۲	۷/۲۹	۰/۵۶۶

بر اساس نتایج از نظر میزان کربن و ماده آلی اختلاف معنی‌داری در مساحت‌های مختلف روشنه و در توده راش خالص و آمیخته وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان در روشنه‌های بزرگ در توده راش خالص مشاهده شد (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد که بالاترین میزان جرم مخصوص ظاهری در روشنه‌های بزرگ در توده راش خالص و کمترین میزان آن در روشنه‌های کوچک در توده راش خالص وجود داشت (جدول ۶).

جدول ۵: نتایج مقایسه میانگین تأثیر وسعت روشنه و تیپ توده بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در روشنه‌های حاصل از بادافتادگی (میانگین ± اشتباه معیار) طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

توده	تیمار	اسیدیته	هدایت الکتریکی	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	کربن (%)	نیترژن (%)	ماده آلی (%)
30	کمتر از ۱۵۰	۴/۸±۰/۳ ^a	۰/۱۸±۰/۰۵ ^a	۱۳/۲±۰/۷ ^a	۴۸۳±۱۷ ^a	۲/۷±۰/۲ ^c	۰/۳۴±۰/۰۴ ^a	۵/۶±۰/۰۶ ^b
	۱۵۰-۳۵۰	۵/۹±۰/۵ ^a	۰/۱۸±۰/۰۳ ^a	۱۳/۸±۱/۷ ^a	۳۵۴±۱۹ ^a	۳/۹±۰/۴ ^b	۰/۴۲±۰/۰۱ ^a	۷/۰±۰/۴ ^{ab}
	۵۰۰-۳۵۰	۶/۴±۰/۷ ^a	۰/۱۲±۰/۰۳ ^a	۱۳/۹±۰/۳ ^a	۴۰۵±۴۵ ^a	۵/۵±۰/۷ ^a	۰/۵۷±۰/۱۲ ^a	۹/۷±۰/۸ ^a
40	شاهد	۴/۹±۰/۳ ^a	۰/۱۵±۰/۰۴ ^a	۱۳±۱/۷ ^a	۳۸۰±۵۰ ^a	۲/۶±۰/۳ ^c	۰/۳۴±۰/۰۸ ^a	۴/۷±۱/۶ ^c
	کمتر از ۱۵۰	۶/۴±۰/۳ ^a	۰/۲۲±۰/۰۳ ^a	۱۲/۴±۰/۴ ^a	۴۱۱±۲۹ ^a	۴/۰±۰/۱ ^b	۰/۳۵±۰/۰۵ ^a	۶/۸±۰/۱ ^b
	۱۵۰-۳۵۰	۶/۰±۰/۳ ^a	۰/۱۴±۰/۰۱ ^a	۲۱/۱±۷/۹ ^a	۴۳۹±۶۱ ^a	۴/۲±۰/۳ ^b	۰/۴۱±۰/۰۳ ^a	۶/۶±۰/۰۶ ^b
50	۳۵۰-۵۰۰	۶/۴±۰/۳ ^a	۰/۱۸±۰/۰۳ ^a	۱۳/۱±۱/۱ ^a	۴۴۴±۵۱ ^a	۳/۸±۰/۲ ^{bc}	۰/۳۸±۰/۰۳ ^a	۷/۰±۰/۱ ^{ab}
	شاهد	۴/۹±۱/۳ ^a	۰/۲۷±۰/۰۵ ^a	۱۲/۷±۱/۵ ^a	۴۰۰±۶۳ ^a	۲/۷±۰/۴ ^c	۰/۳۶±۰/۰۳ ^a	۵/۱±۰/۰۹ ^b

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری است.

جدول ۶: نتایج مقایسه میانگین تأثیر وسعت روشنه و تیپ توده بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در روشنه‌های حاصل از بادافتادگی درختان (میانگین $\pm$ اشتباه معیار) طرح جنگلداری حاجیکلا- تیرانکلی (سال بررسی ۱۳۹۴).

توده	تیما	رطوبت اشباع (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)
توده ۱	کمتر از ۱۵۰	۳۹/۷ $\pm$ ۲/۷ ^a	۱/۲ $\pm$ ۰/۰۹ ^c	۴۶/۵ $\pm$ ۱/۱ ^a	۲۶/۰ $\pm$ ۲/۳ ^a	۲۵/۵ $\pm$ ۲/۸ ^a
	۳۵۰-۱۵۰	۳۹/۰ $\pm$ ۳/۷ ^a	۱/۵ $\pm$ ۰/۱۸ ^{bc}	۴۷/۵ $\pm$ ۲/۷ ^a	۲۳/۴ $\pm$ ۳/۲ ^a	۲۹/۲ $\pm$ ۲/۱ ^a
	۵۰۰-۳۵۰	۴۱/۶ $\pm$ ۰/۹ ^a	۱/۹ $\pm$ ۰/۰۹ ^a	۵۰/۹ $\pm$ ۰/۹ ^a	۲۴/۷ $\pm$ ۰/۱ ^a	۲۴/۴ $\pm$ ۱/۹ ^a
توده ۲	شاهد	۴۷/۱ $\pm$ ۴/۷ ^a	۱/۲۱ $\pm$ ۰/۰۸ ^c	۴۹/۱ $\pm$ ۲/۷ ^a	۲۵/۱ $\pm$ ۳/۳ ^a	۲۷/۲ $\pm$ ۴/۴ ^a
	کمتر از ۱۵۰	۴۴/۸ $\pm$ ۱/۳ ^a	۱/۷ $\pm$ ۰/۰۶ ^{ab}	۴۹/۳ $\pm$ ۰/۹ ^a	۲۴/۹ $\pm$ ۰/۵ ^a	۲۴/۹ $\pm$ ۰/۸ ^a
	۳۵۰-۱۵۰	۳۶/۹ $\pm$ ۲/۳ ^a	۱/۶ $\pm$ ۰/۰۹ ^{ab}	۴۷/۹ $\pm$ ۱/۷ ^a	۲۶/۸ $\pm$ ۳/۰ ^a	۲۴/۹ $\pm$ ۱/۹ ^a
توده ۳	۵۰۰-۳۵۰	۴۱/۹ $\pm$ ۳/۴ ^a	۱/۸ $\pm$ ۰/۰۷ ^{ab}	۴۹/۴ $\pm$ ۱/۹ ^a	۲۷/۳ $\pm$ ۱/۱ ^a	۲۲/۹ $\pm$ ۰/۸ ^a
	شاهد	۴۴ $\pm$ ۴ ^a	۱/۳ $\pm$ ۰/۰۷ ^c	۴۶/۱ $\pm$ ۱/۷ ^a	۲۶/۱ $\pm$ ۶ ^a	۲۵/۱ $\pm$ ۵ ^a

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری است.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اندازه روشنه بر مشخصه‌های خاک تأثیر داشت، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری از نظر مشخصه‌های فیزیکی (جرم مخصوص ظاهری و درصد شن) و شیمیایی مانند کربن، نیتروژن، ماده آلی، پتاسیم، نیتروژن و pH خاک در سطوح مختلف روشنه‌ها دیده شد. روشنه‌ها با تأثیر بر نوسانات دمایی (Horváth et al., 2023) باعث تغییر میکروکلیمایی در جنگل می‌شوند و بنابراین در تعدیل و اصلاح خصوصیات خاک نقش دارند و این اثر ارتباط نزدیکی با مساحت روشنه به‌عنوان ویژگی بنیادی روشنه‌ها دارد (Lan and Ding, 2022; Xiao et al., 2022). روشنه‌های با مساحت مختلف، خرد اقلیم‌های در جنگل ایجاد می‌کنند که شرایط متنوعی از نظر میزان نور، دما و رطوبت دارند (Horváth et al., 2023). این تغییرات مرتبط با سطح روشنه بر فعالیت زیستی خاک، نرخ تجزیه و آزادسازی عناصر غذایی اثر می‌گذارند (Fei et al., 2023). علاوه بر این، روشنه‌ها با تأثیر میزان نور ورودی بر جنگل، بر دمای خاک، رطوبت خاک، فعالیت آنزیم فسفاتاز تأثیرگذار است (Wang et al., 2021). Kooch و همکاران (۲۰۱۲) اثر روشنه‌های پوشش تاجی بر مشخصه‌های خاک در جنگل‌های شمال ایران را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که اختلاف معنی‌داری در برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی وجود داشت که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. علاوه بر این Latterini و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که میزان نور ورودی به کف جنگل عامل مهمی در تغییر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از باز شدن جنگل در اثر بهره‌برداری است.

بر اساس نتایج مساحت روشنه و نوع توده تأثیری بر میزان فسفر خاک نداشت که همسو با مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص تأثیر شکل و اندازه حفره بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک در جنگل شصت کلاته گرگان می‌باشد که به این نتیجه رسیدند که بین اندازه روشنه با مقدار فسفر قابل جذب ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار از نظر فسفر می‌تواند به این علت باشد که عنصر فسفر کمتر دچار آبشویی می‌شود (روحی مقدم و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین بیشترین میزان پتاسیم در روشنه با مساحت ۵۰۰-۳۵۰ در توده خالص مشاهده شد که همسو با نتایج عباسی و همکاران (۱۳۸۹) است که در مطالعه آن‌ها نیز میزان پتاسیم قابل‌دسترس در حفرات بزرگ‌تر بیشتر از حفرات کوچک و متوسط بود. بر اساس نتایج Tang و همکاران (۲۰۱۹) با باز شدن تاج درختان، تجزیه لاش برگ سرعت گرفته و مواد آلی، نیتروژن و فسفر در خاک سطحی داخل روشنه‌ها افزایش می‌یابد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد با افزایش اندازه حفره میزان کربن، ماده آلی، نیتروژن و پتاسیم افزایش می‌یابد. اندازه روشنیه بر فعالیت‌های زیستی خاک، مواد مغذی میکروبی و سهم آن‌ها در عناصر غذایی در دسترس اثر دارد (Arunachalam and Arunachalam, 2000)؛ بنابراین به نظر می‌رسد در جنگل‌های مورد مطالعه با افزایش مساحت روشنیه شرایط مناسب‌تر دمایی و رطوبتی برای تجزیه مواد آلی و آزادسازی عناصر غذایی فراهم شده است. این نتیجه در تحقیقات Tang و همکاران (۲۰۱۹) نیز دیده شده است. Chen و همکاران (۲۰۲۲ و ۲۰۲۳) نیز نشان دادند که با افزایش میزان نور ورودی به کف جنگل در اثر روشنیه، میزان ماده آلی و پتاسیم افزایش می‌یابد. این در حالی است که مطالعه کیالاشکی و شعبانی (۱۳۸۹) نشان داد که با افزایش اندازه حفره و در مناطق مرکزی حفره‌ها از میزان رطوبت خاک، کربن، نسبت کربن به نیتروژن و فسفر کاسته می‌شود که مغایر با نتایج مطالعه حاضر بود. یکی از دلایل مغایرت نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات صورت گرفته ناشی از تفاوت در تقسیم‌بندی کلاسه وسعت روشنیه‌ها در تحقیقات مختلف است.

با افزایش سطح روشنیه، ممکن است به دلیل تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، تغییرات مشخصی در فعالیت و زی توده کربن و نیتروژن به وجود آید (Muscolo et al., 2014). بر طبق نتایج در توده مصنوعی بالاترین میزان نیتروژن در توده خالص و روشنیه با وسعت ۵۰۰-۳۵۰ مشاهده شد که همسو با مطالعه میردار هریجانی و همکاران (۱۳۹۰) در خصوص تأثیر اندازه حفره‌های طبیعی تاج پوشش بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی جنگل در سری جمند استان مازندران است. نتیجه مطالعه آن‌ها نیز نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن کل خاک در کلاسه با بیشترین اندازه سطح روشنیه (۶۰۰-۸۰۰ مترمربع) وجود داشت. از آنجایی که حفره‌های دارای اندازه بزرگ دارای تنش‌های نوری و دمایی بیشتری هستند (میردار هریجانی و همکاران، ۱۳۹۰) و از طرفی دما، تناوب رطوبت و خشکی در آن‌ها زیاد بوده که عوامل مؤثری در تجزیه لاش برگ هستند و سبب آزادسازی نیتروژن از لاش برگ، افزایش غلظت نیتروژن در حین تجزیه و در نتیجه پوسیدگی سریع لاش برگ‌ها می‌شوند (Liao et al., 2009; Youkhana and Idol, 2009).

بیشترین مقدار کربن نیز در روشنیه با وسعت ۵۰۰-۳۵۰ مترمربع در توده خالص مشاهده شد که مغایر با مطالعات کیالاشکی و شعبانی (۱۳۸۹) و همسو با نتایج تحقیق کوچ و بیرانوند (۱۳۹۵) می‌باشد. اصغری سرخی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که درصد کربن آلی در روشنیه‌های توده خالص به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر موقعیت‌ها بود. با افزایش سطح روشنیه و شدت نور نسبی، مقدار کربن و نیتروژن معدنی در لایه بالایی خاک به دلیل تسریع در معدنی شدن مواد آلی افزایش پیدا می‌کند که این خود در نتیجه افزایش فعالیت‌های میکروبی با افزایش دما است (Li et al., 2022; Muscolo et al., 2014).

بر اساس نتایج تحقیق حاضر بیشترین میزان ماده آلی در روشنیه بزرگ (۵۰۰-۳۵۰ مترمربع) وجود داشت در حالی که Muscolo و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای در ارتباط با تغییر خصوصیات خاک و زادآوری طبیعی *Abies alba* Mill. ثابت کردند که مواد آلی در روشنیه‌های متوسط نسبت به روشنیه‌های کوچک کمتر بود که بر اساس نتایج این تحقیق میزان ماده آلی در روشنیه متوسط کمتر از روشنیه کوچک بود و بیشترین میزان آن در روشنیه‌های بزرگ مشاهده شد. بیشتر بودن میزان ماده آلی در روشنیه بزرگ می‌تواند به این علت باشد که روشنیه در جنگل سبب ورود نور به کف جنگل شده که سبب تغییراتی در اجزای خاک می‌شود. افزایش نور در جنگل، افزایش دما، تجزیه لاش برگ و کربن آلی و در نهایت افزایش ماده آلی خاک را در پی دارد (Buchholz and Wienck, 2015).

همچنین نتایج نشان داد که در توده مصنوعی اختلاف معنی‌داری از نظر جرم مخصوص ظاهری بین توده خالص و آمیخته و روشنیه‌هایی با وسعت مختلف وجود نداشت که همسو با نتایج اصغری سرخی و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد که نشان از وضعیت مشابه فشردگی خاک در دو توده بوده و برداشت درخت به‌عنوان یک عامل منفی تلقی نمی‌شود (ابرداری و جاری، ۱۳۹۰). در این راستا، Jourgholami و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که با افزایش سطح روشنیه، خاک فشرده شده و وزن مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد.

با توجه به نتیجه حاصل از روشنیه‌های موجود در توده مصنوعی می‌توان گفت که روشنیه با کلاسه وسعت ۵۰۰-۳۵۰ مترمربع به دلیل دارا بودن بیشترین میزان عناصر غذایی (نیتروژن، کربن و ماده آلی و پتاسیم) از شرایط مناسب‌تری برخوردار است. طاعتی و همکاران (۱۳۹۴) اندازه

مطلوب روشنه را با در نظر گرفتن شرایط مناسب بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ مترمربع مناسب می‌بینند. Parhizkar و همکاران (۲۰۱۱) روشنه‌های ۵۰۰-۲۰۰ مترمربعی را مناسب می‌دانند. این در حالی است که Shabani و همکاران (۲۰۱۱) اندازه مطلوب و متوسط روشنه ۴۰۰ تا ۶۰۰ مترمربع را مناسب برنامه مدیریتی می‌دانند.

در این مطالعه به بررسی تأثیر اندازه روشنه‌های پوشش تاجی حاصل از قطع و بادافتادگی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های خالص و آمیخته راشتستان‌های شمال کشور پرداخته شد. عناصر غذایی مهم خاک نظیر کربن آلی، ماده آلی، پتاسیم و نیتروژن مقادیر متفاوتی را در توده‌های خالص و آمیخته با سطح روشنه متفاوت در توده‌های طبیعی و مصنوعی نشان دادند که میزان این عناصر در روشنه‌های بزرگ (۵۰۰-۳۵۰ مترمربع) بیشترین میزان را در بین روشنه‌هایی با مساحت کمتر داشت. این نتایج حاکی از این مسئله است که اندازه روشنه‌ها می‌تواند سبب ایجاد تغییر و تحول در خصوصیات خاک شود. مطالعه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌منظور مدیریت و پرورش هرچه بهتر جنگل‌ها مؤثر است؛ بنابراین انجام چنین مطالعاتی می‌تواند به‌منظور انتخاب سیستم‌های جنگل‌شناسی مناسب به‌منظور کسب اطلاعات بوم‌شناختی در اکوسیستم‌های جنگلی مفید باشد. در بررسی اثر روشنه و مساحت آن بر خاک در نظر گرفتن تحولات زمانی و فازهای تحولی توده‌ها بسیار اهمیت دارد و درواقع سطح عناصر غذایی به‌عنوان معیاری از کیفیت رویشگاه باید در دوره‌های زمانی مختلف بعد از ایجاد روشنه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- ابراهی و اجاری، ک.، ۱۳۹۰. خصوصیات جنگل‌شناسی روشنه‌های تاج پوشش در یک جنگل تک گزیده راش شرقی. پایان‌نامه دکتری رشته جنگلداری، دانشگاه ساری، ۱۳۰ ص.
- اصغری سرخی، آ.، حجتی، س. م.، جلیلود، ح. و مجری، م.، ۱۳۹۴. تأثیر ترکیب تاج‌پوشش بر خصوصیات خاک در توده‌های خالص و آمیخته راش (مطالعه موردی: جنگل الندان - ساری). مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۶ (۳): صفحات ۱۰-۱.
- روحی‌مقدم، ع.، حسینی، س. م.، ابراهیمی، ع.، رحمانی، ا.، طبری، م. و مهدوی، ر.، ۱۳۹۰. بررسی برخی از ویژگی‌های خاک در جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته بلندمازو. مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب‌و‌خاک)، ۲۵ (۱): صفحات ۴۸-۳۹.
- عباسی، ا.، حبشی، ه.، رحمانی، ر. و معیری، م.، ۱۳۸۹. تأثیر شکل و اندازه حفره بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در جنگل شصت کلاته گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده جنگلداری و فناوری چوب.
- میرداهریجانی، م.، پورمجیدیان، م.، ا.، جلیلود، ح. و زاهدی امیری، ق.، ۱۳۹۰. تأثیر اندازه حفره‌های طبیعی تاج پوشش بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی جنگل در سری جمند استان مازندران. مجله تحقیقات علوم و مهندسی جنگل، ۱ (۳): صفحات ۳۲-۲۳.
- کوچ، ی. و بیرانوند، م.، ۱۳۹۵. اثر اندازه روشنه‌های پوشش تاجی بر فعالیت‌های زیستی و اجزای ماده آلی خاک در یک توده جنگلی راش. مجله جنگل ایران، ۸ (۴): صفحات ۵۴۶-۵۳۳.
- طاعتی، س.، رحمانی، ر.، ثاقب طالبی، خ.، متینی‌زاده، م. و حبشی، ه.، ۱۳۹۴. تأثیر ایجاد روشنه بر فعالیت آنزیم‌های خاک در یک جنگل راش شرقی (مطالعه موردی: قطعه شاهد لنگا). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۳ (۲): صفحات ۳۴۱-۳۳۲.
- Arunachalam, A. and Arunachalam, A., 2000. Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and Soil*, 223: 185-193.
- Bouyoucos, G. J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464- 465.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S., 1982. Nitrogen total, In page, A.L., Miller, R.H., Keeney, R.R. (Eds), *Methods of Soil Analysis*, Part 2 Second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.595-624.
- Buchholz, C. M. and Wiencke, C., 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.
- Chen, J., Zhu, J., Wang, Z., Xing, C., Chen, B., Wang, X. and Xu, D., 2023. Canopy gaps control litter decomposition and nutrient release in subtropical forests. *Forests*, 14(4): 673.

- Chen, S., Jiang, C., Bai, Y., Wang, H., Jiang, C., Huang, K. And Wang, S., 2022.** Effects of Forest Gap on Soil Microbial Communities in an Evergreen Broad-Leaved Secondary Forest. *Forests*, 13(12): 2015.
- Fei, F., Chen, X. and Guan, Q., 2023.** Short-term effects of forest gap size on soil enzyme activity in a *Platycladus orientalis* plantation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11: 1122796.
- Horváth, C. V., Kovács, B., Tinya, F., Locatelli, J. S., Németh, C., Crecco, L. and Ódor, P., 2023.** A matter of size and shape: Microclimatic changes induced by experimental gap openings in a sessile oak–hornbeam forest. *Science of the Total Environment*, 873: 162302.
- Jourholami, M., Feghhi, J., Tavankar, F., Latterini, F., Venanzi, R. and Picchio, R., 2021.** Short-term effects in canopy gap area on the recovery of compacted soil caused by forest harvesting in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 14(4): 370.
- Kooch, Y., Hosseini, S. M., Mohammadi, J. and Hojjati, S. M., 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.
- Lan, X. and Ding, G., 2022.** Effects of Gaps on Soil Nutrients and Soil Microbial Carbon in a *Pinus massoniana* Forest, Southwestern China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(4): 3653-3666.
- Latterini, F., Venanzi, R., Picchio, R. and Jagodziński, A. M., 2023.** Short-term physicochemical and biological impacts on soil after forest logging in Mediterranean broadleaf forests: 15 years of field studies summarized by a data synthesis under the meta-analytic framework. *Forestry*, cpac060.
- Li, H., Du, T., Chen, Y., Zhang, Y., Yang, Y., Yang, J. and Wu, Q., 2022.** Effects of forest gaps on *Abies faxoniana* Rehd. leaf litter mass loss and carbon release along an elevation gradient in a subalpine forest. *Forests*, 13(8): 1201.
- Liao, J. H., Wang, H. H., Tsai, C. C. and Hseu, Z. Y., 2006.** Litter production, decomposition and nutrient return of uplifted coral reef tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 235:174-185.
- Moreno, G., Obrador, J. J. and Garcia, A., 2007.** Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 270–280.
- Muscolo, A., Bagnato, S., Sidari, M. and Mercurio, R., 2014.** A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research*, 25 (4): 725-736.
- Niu, Y., Liang, W., Wei, X. and Han, Y., 2023.** Forest Gaps Modulate the Composition and Co-Occurrence Network of Soil Bacterial Community in *Larix principis-rupprechtii* Mayr Plantation. *Agronomy*, 13(1): 1-16.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A., 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*, 939: 1-19.
- Page, S. E., Wust, R. A. J., Wriss, D., Rieley, J. O., Shotyky, W. and Limin, S., 2004.** A record of late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and implication for past, present and features carbon dynamics. *Jornal of Quaternary Science*, 19: 625-635.
- Parhizkar, P., Sagheb-Talebi, Kh., Mataji, A. and Namiranian, M., 2011.** Influence of gap size and development stages on the silvicultural characteristics of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) regeneration. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 9(1): 55-65.
- Qiu, Z., Shi, C., Zhang, M. and Shi, F., 2023.** Effects of close-to-nature management of plantation on the structure and ecological functions of soil microorganisms with different habitat specialization. *Plant and Soil*, 482(1-2): 347-367.
- Shabani, S., Akbarnia, M. and Jalali, Gh. A., 2011.** Assessment of relation between soil characteristics and wood species biodiversity in several size gaps. *Annals of Biological Research*, 2(5): 75-82.
- Tang, F., Quan, W., Li, C., Huang, X., Wu, X., Yang, Q. and Gu, Y., 2019.** Effects of small gaps on the relationship among soil properties, topography, and plant species in subtropical *Rhododendron* secondary forest, southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11): 1919.
- Walkley, A. and Black, I. A., 1934.** An examination of the Degetiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

Wang, X., Liu, J., He, Z., Xing, C., Zhu, J., Gu, X. and Zhu, D., 2021. Forest gaps mediate the structure and function of the soil microbial community in a *Castanopsis kawakamii* forest. *Ecological Indicators*, 122: 107288.

Xiao, T., Wang, C., Yuan, X., Tao, L., Li, P., Deng, W. and Liu, Y., 2022. Effects of Different Forest Gap Ages on Soil Physical Properties and Stoichiometric Characteristics in *Cryptomeria japonica* plantations (Lf) D. Don, 1839. *Forests*, 13(10): 1708.

Youkhana, A. and Idol, T., 2009. Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(12): 2527-2534.

