مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۷
ص ۸۹-۱۰۰

بررسی فعالیت جانداران خاک‌زی و میکروبی خاک در زیرآشکوب توده‌های خالص و آمیختهٔ پهن‌برگ جنگل‌های خزری

یحیی کوچ[1*] و محمود توکلی فیض‌آبادی[2]

[1]استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
[2]دانشجوی کارشناسی‌ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳)

چکیده

فعالیت ارگانیسم‌های خاک‌زی و جمعیت آنها شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت و سلامت خاک در اکوسیستم‌های جنگلی است که هم‌راستا با حاصلخیزی و باروری رویشگاه است. در پژوهش حاضر، مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک در چهار تودهٔ جنگلی با ترکیب‌های مختلف درختان شامل راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی (دامنهٔ ارتفاعی ۷۰۰-۶۰۰ متری)، راش/ ممرز/ توسکا (دامنهٔ ارتفاعی ۱۲۰۰-۱۱۰۰ متری)، راش/ ممرز (دامنهٔ ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۶۰۰ متری) و راش خالص (دامنهٔ ارتفاعی ۲۲۰۰-۲۱۰۰ متری) در حوزهٔ گلبند نوشهر بررسی شد. در هر یک از توده‌ها، هشت نمونه از لایه‌های آلی و معدنی (در سطح ۲۵ × ۲۵ تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک) برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای بررسی وجود یا نبود تفاوت مقادیر مشخصه‌های مورد نظر در توده‌های مختلف جنگلی از تجزیهٔ واریانس یکطرفه استفاده شد و آزمون چنددامنه‌ای دانکن نیز برای مقایسهٔ میانگین‌ها به‌کار گرفته شد. مشخصه‌های کیفی لاشبرگ (کربن و نیتروژن)، رطوبت، pH، کربن آلی، نیتروژن کل و همچنین مشخصه‌های زیستی خاک شامل تعداد و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی، تعداد نماتدها و فعالیت‌های میکروبی خاک سنجیده شد. براساس نتایج، بیشترین فعالیت کرم‌های خاکی (با سهم بیشتر اپی‌ژئیک‌ها) و نماتدهای خاک‌زی در خاک سطحی تودهٔ جنگلی راش آمیخته با ممرز، توسکا و خرمندی مشاهده شد. همچنین تنوع گونه‌های درختی در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی به بهبود شاخص‌های میکروبی (تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته، زی‌تودهٔ میکروبی کربن، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن، ضریب میکروبی، ضریب متابولیکی و قابلیت دسترسی به کربن) خاک در مقایسه با دیگر توده‌های جنگلی بررسی‌شده منجر شد. تجزیهٔ مؤلفه‌های اصلی حاکی از تأثیرات برجستهٔ مشخصه‌های لایهٔ آلی و معدنی خاک بر تغییرپذیری مشخصه‌های زیستی خاک است. نتیجهٔ این تحقیق نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت تنوع گونه‌های درختی در بهبود مشخصه‌های کیفی و سلامت خاک است.

واژه‌های کلیدی: راش، شاخص‌های میکروبی، کرم خاکی، نماتد خاک‌زی.

مقدمه

خاک، غنی‌ترین و متنوع‌ترین جامعهٔ زنده هر اکوسیستم طبیعی را در خود جای داده است. در خاک جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کنندهٔ مناطق معتدل، جانداران بی‌شماری وجود دارند که از مواد آلی کف جنگل تغذیه می‌کنند و در بهبود حاصلخیزی خاک و پایداری اکوسیستم تأثیر اساسی دارند (Szlavecz et al., 2011). همچنین، بخش بزرگی از کارکردهای اکوسیستم همچون گردش مواد آلی، معدنی شدن عناصر غذایی، جریان انرژی و رشد گیاهان به‌شکل

* نویسندهٔ مسئول
شماره تماس: ۰۹۸۹۱۱۲۹۳۲۳۱۳+
ایمیل: yahya.kooch@modares.ac.ir

مستقیم و غیرمستقیم توسط این موجودات کنترل و هدایت می‌شود (Brevault et al., 2007). بسیاری از تغییرات شیمیایی و بیوشیمیایی خاک بدون حضور و فعالیت جانداران خاک‌زی امکان‌پذیر نیست. با وجود این، اگرچه تا به امروز خاک‌ها به‌طور گسترده از نظر فیزیکی و شیمیایی بررسی و ارزیابی شده‌اند، به مطالعهٔ زیستی در آنها کمتر توجه شده است که این غفلت، ناشی از نادیده گرفتن تأثیر موجودات زنده در تعیین ویژگی‌ها و عملکرد خاک است (Binkley & Fisher, 2012). جامعهٔ زندهٔ خاک، دامنهٔ وسیعی از موجودات شامل ماکروفون‌ها، مزوفون‌ها، میکروفون‌ها و میکروفلور را در بر می‌گیرد که در ارتباطی مستمر با یکدیگر، شبکهٔ غذایی پیچیده خاک را تشکیل می‌دهند. در این میان ماکروفون خاک به‌عنوان گروه مهمی از جانداران خاک‌زی، چرخهٔ مواد غذایی و انرژی اهمیت زیادی داشته و تأثیرات مهمی بر پویایی و تجزیهٔ مواد آلی در خاک دارند (Mathieu et al., 2004).

کرم‌های خاکی، مهم‌ترین ماکروفون خاک و جزء اصلی‌ترین موجودات خرده‌ریزخوار در اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شوند و بیشترین مقدار زی‌تودهٔ بی‌مهرگان را به خود اختصاص می‌دهند. کرم‌های خاکی با توجه به محل زندگی‌شان در خاک، تغذیه، حفار بودن و رفتارشان، به سه گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک دسته‌بندی می‌شوند (Moghimian et al., 2013). اپی‌ژئیک با قطر ۱ تا ۲/۵ میلی‌متر، در لایه‌های سطحی خاک زندگی می‌کنند، به‌ندرت حفارند و تأثیر زیادی بر ساختمان خاک ندارند. آنسئیک با قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر، در لایه‌های بالایی خاک زندگی کرده و از باقی‌ماندهٔ مواد آلی تغذیه می‌کنند. این گروه کرم‌های خاکی لانه‌های نیمه‌دائمی در خاک ایجاد می‌کنند. اندوژئیک‌ها با قطر ۲ تا ۴/۵ میلی‌متر، در لایه‌های پایینی خاک زندگی می‌کنند و با حفاری زیاد در خاک، سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب‌وهوا در خاک، حرکت املاح و مواد به عمق‌های پایین‌تر می‌شوند و نفوذ ریشه را در خاک تسهیل می‌کنند (Bayranvand & Kooch, 2016). درختان نیز با تغییر ویژگی‌های خاک از طریق تغییر کمیت و کیفیت شیمیایی لاشبرگ، مواد آلی، نسبت کربن به نیتروژن، رطوبت و اسیدیته، بر فراوانی و ساختار جمعیت کرم خاکی تأثیر می‌گذارند (Moghimian et al., 2013).

مزوفون به گروهی از موجودات خاک‌زی گفته می‌شود که اندازهٔ آنها ۰/۲ تا ۴ میلی‌متر است و در فضاهای بین خاک زندگی می‌کنند. نماتدها، به‌عنوان فراوان‌ترین بی‌مهرگان از گروه مزوفون خاک، در منافذ پرآب خاک و نیز لایه‌های نازک آب اطراف ذرات خاک فعال‌اند و فراوانی آنها در بعضی رویشگاه‌ها به بیشتر از ۳ میلیون در هر متر مربع می‌رسد (Sun et al., 2013). پژوهش‌ها حاکی از آن است که جمعیت نماتدها را می‌توان شاخص ساختاری و عملکردی شبکهٔ غذایی خاک دانست. بسیاری از پارامترها مانند گونهٔ درختی، مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ضخامت لاشبرگ و مدیریت جنگل، تأثیر تعیین‌کننده‌ای در توزیع و فراوانی نماتدهای خاک‌زی در اکوسیستم‌های جنگلی دارند (Zhang et al., 2012). میکروارگانیسم‌های خاک نیز بخش مهمی از جانداران خاک‌زی‌اند که فرایندهای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این موجودات، تأثیر اساسی در تجزیهٔ بقایای گیاهی دارند (Osono et al., 2014). گونه‌های درختی مختلف در اکوسیستم‌های جنگلی، لاشبرگ‌هایی با ویژگی‌های متفاوت تولید می‌کنند و تنوع مشخصه‌های لاشبرگ ممکن است در ترکیب و عملکرد جوامع میکروبی خاک تفاوت ایجاد کند. همچنین شرایط محیطی ایجادشده زیر تاج‌پوشش درختان جنگل جوامع میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Burton et al., 2010). ازآنجا که جوامع میکروبی اهمیت بسزایی در فرایندهای خاک دارند، شدت فعالیت این موجودات، شاخص خوبی برای ارزیابی اکوسیستم‌های جنگلی به‌شمار می‌رود

(Norton et al., 2003). با درک این موضوع که خاک، به‌عنوان منبع استفاده از سرزمین و حلقهٔ ارتباط اقلیم و سیستم‌های بیوژئوشیمیایی، به‌شدت تحت تأثیر نوع گونهٔ درختی قرار دارد، توجه به نوع گونه و اثر آن بر مشخصه‌های کیفی خاک به‌عنوان راهکار مدیریتی، موجب حفظ کمیت و پایداری طولانی‌مدت عرصه‌های جنگلی می‌شود. در همین زمینه، مطالعهٔ پیش‌رو، با هدف شناخت اثر ترکیب درختان در توده‌های جنگلی واقع در دامنه‌های ارتفاعی مختلف، بر تغییرپذیری جمعیت کرم‌های خاکی، فراوانی نماتدهای خاک‌زی و فعالیت‌های میکروبی خاک صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

محدودهٔ تحقیق در حوضهٔ آبخیز ۴۵ منطقهٔ گلبند نوشهر، در عرض جغرافیایی ″۳۵ ˝۲۷ °۳۶ تا ″۳۰ ˝۳۵ °۳۶ و طول جغرافیایی ″۲۵ ˝۱۷ °۵۱ تا ″۰۳ ˝۴۶ °۵۱ قرار دارد. مساحت کلی حوضه، ۳۶۸۵۵ هکتار، حداقل ارتفاع از سطح دریای آزاد ۱۲۰ متر و حداکثر آن ۲۴۰۰ متر است. میانگین بارندگی سالانه حدود ۸۹۰ میلی‌متر، عمق خاک منطقه عمیق در حدود ۱۲۰سانتی‌متر، نوع خاک قهوه‌ای جنگلی و بافت خاک متوسط تا کمی سنگین است. گونه‌های درختی راش، ممرز، توسکا، خرمندی، پلت و انجیلی پوشش‌های غالب چوبی در منطقه‌اند که دامنه‌های ارتفاعی مختلف را اشغال کرده‌اند (Shabani, 2016).

شیوهٔ اجرای پژوهش

در تحقیق حاضر چهار تودهٔ جنگلی با ترکیب‌های مختلف درختان شامل راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی (دامنهٔ ارتفاعی ۷۰۰- ۶۰۰ متری)، راش/ ممرز/ توسکا (دامنهٔ ارتفاعی ۱۲۰۰- ۱۱۰۰ متری)، راش/ ممرز (دامنهٔ ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۶۰۰ متری) و راش خالص (دامنهٔ ارتفاعی ۲۲۰۰- ۲۱۰۰ متری) در منطقهٔ تحقیق مدنظر قرار گرفت. از هر یک از توده‌های ذکرشده، مساحت چهار هکتار، که از نظر درصد شیب (۳۰- ۲۰ درصد) و جهت دامنه (شمالی) مشابه بودند، انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱- توده‌های جنگلی بررسی‌شده با ترکیب‌های مختلف درختان

نام تودهٔ جنگلی	ترکیب گونه‌ها (درصد حضور)	شیب (درصد)	طبقه ارتفاعی (متر)
راش/ ممرز/ توسکا / خرمندی	راش (۳۳٪)، ممرز (۲۵٪)، توسکا (۲۰٪)، خرمندی (۱۵٪)، سایر گونه‌ها (۷٪)	۳۰- ۲۲	۷۰۰- ۶۰۰
راش/ ممرز/ توسکا	راش (۴۹٪)، ممرز (۳۱٪)، توسکا (۱۴٪)، سایر گونه‌ها (۶٪)	۳۰- ۲۵	۱۲۰۰- ۱۱۰۰
راش/ ممرز	راش (۵۵٪)، ممرز (۴۰٪)، سایر گونه‌ها (۵٪)	۲۸- ۲۱	۱۷۰۰- ۱۶۰۰
راش خالص	راش (۹۴٪)، سایر گونه‌ها (۶٪)	۳۰- ۲۰	۲۲۰۰- ۲۱۰۰

توده‌های جنگلی بررسی‌شده در جهت جغرافیایی شمالی مستقر بوده‌اند. سایر گونه‌ها شامل بلندمازو، پلت، شیردار، زبان‌گنجشک، نمدار و انجیلی است.

در هر تودهٔ مورد نظر، هشت نقطه به‌روش تصادفی- سیستماتیک انتخاب و در یک سطح مربع به ابعاد ۲۵ × ۲۵ سانتی‌متر، نمونه‌های لاشبرگ و خاک (عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری) برداشت و سپس به آزمایشگاه انتقال داده شدند (Kooch & Bayranvand, 2017). یک بخش از نمونه‌های خاک برای اجرای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از خشک شدن در هوای آزاد از الک

دو میلی‌متری عبور داده شد و بخش دوم نمونه ها برای اجرای آزمایش های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. ضخامت لایهٔ آلی (لاشبرگ) در عرصه (Kooch & Bayranvand, 2017)، مقدار کربن آلی لاشبرگ به روش احتراق و مقدار نیتروژن آن به روش معدنی‌سازی نمونه‌ها و سپس با عمل تقطیر در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. رطوبت خاک به روش وزنی، pH به‌روش پتانسیومتری با دستگاه pHمتر الکتریکی، کربن آلی به‌روش والکلی‌بلاک و نیتروژن کل به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Ghazanshahi, 2006). همزمان با نمونه‌برداری خاک، کرم‌های خاکی به‌روش دستی جمع‌آوری (در سطح ۲۵ × ۲۵ تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک) و براساس ویژگی‌های ظاهری آنها، گروه‌های اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک شناسایی شدند. زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی به تفکیک هر گروه با توجه به وزن آنها بعد از ۴۸ ساعت خشک شدن روی کاغذهای فیلتر در آزمایشگاه مشخص شد (Kooch et al., 2014). برای شمارش تعداد نماتدهای خاک، ۱۰۰ گرم از نمونهٔ خاک تازه وزن شد و با استفاده از تکنیک قیف بیرمن و سانتریفیوژ، نماتدهای خاک جداسازی و شمارش شدند و براساس وزن خشک خاک تعداد آنها در ۱۰۰ گرم خاک خشک محاسبه شد (Neher et al., 2005). برای اندازه‌گیری مشخصه‌های میکروبی، از نمونه‌های تازه خاک استفاده شد. مقدار تصاعد دی‌اکسید کربن (تنفس پایه) به‌روش بطری دربسته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته، ۸۰ میلی‌گرم گلوکز به ۲۰ گرم خاک اضافه شد و نمونه‌ها به‌مدت ۱۴ ساعت درون ظروف سربسته (همانند اندازه‌گیری تنفس پایه) انکوباسیون شدند و مقدار دی‌اکسیدکربن آزادشده بر اثر تنفس ریزجانداران خاک محاسبه شد. اندازه‌گیری زی‌تودهٔ میکروبی کربن و نیتروژن به‌روش تدخین- استخراج انجام گرفت و مشخصهٔ ضریب متابولیکی، از تقسیم دی‌اکسیدکربن (میلی‌گرم کربن) آزادشده در هر ساعت از هر گرم خاک (در تنفس میکروبی) بر زی‌تودهٔ میکروبی کربن خاک (گرم) محاسبه و گزارش شد. ضریب میکروبی از تقسیم مقدار زی‌تودهٔ میکروبی کربن به کربن آلی خاک محاسبه شد (Ali Asgharzad, 2010). برای برآورد شاخص دسترسی به کربن (CAI)، تنفس پایه (مقدار CO_2-C به‌دست‌آمده از یک روز تنفس میکروبی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در یک روز) بر مقدار CO_2-C به‌دست‌آمده از تنفس برانگیخته با سوبسترا (برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز) تقسیم شد (Weixin et al., 1993).

روش تحلیل

داده‌های جمع‌آوری‌شده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شدند. سپس به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ داده‌ها، ابتدا نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای بررسی وجود یا نبود تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف لاشبرگ و خاک در ارتباط با توده‌های مختلف جنگلی از تجزیهٔ واریانس یکطرفه استفاده شد. آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($P <$ ۰/۰۵) نیز برای مقایسهٔ میانگین‌ها به‌کار گرفته شد. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بستهٔ نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. همچنین به‌منظور تجزیه‌وتحلیل چندمتغیره و تعیین ارتباط مقادیر مشخصه‌های لاشبرگ، فیزیکی و شیمیایی خاک با شاخص‌های زیستی در توده‌های جنگلی تحت بررسی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصل در برنامهٔ PC - ORD تحت ویندوز صورت گرفت.

نتایج

مشخصه‌های لایهٔ آلی و معدنی خاک

مقایسهٔ مشخصه‌های لایهٔ آلی و معدنی خاک حاکی از وجود تفاوت آماری معنی‌دار در بین

توده‌های جنگلی بررسی‌شده است. بیشترین مقادیر کربن، نسبت کربن به نیتروژن و ضخامت لاشبرگ به تودهٔ راش خالص اختصاص داشت، درحالی که بیشترین مقدار نیتروژن و کمترین ضخامت لاشبرگ در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی مشاهده شد. برپایهٔ نتایج به‌دست‌آمده در بین مشخصه‌های لایهٔ معدنی خاک، بیشترین مقدار رطوبت، کربن و نسبت کربن به نیتروژن خاک به تودهٔ راش خالص تعلق داشت و تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی، بیشترین مقادیر نیتروژن و pH را به خود اختصاص داد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک در ارتباط با توده‌های جنگلی

مشخصه‌های لاشبرگ و خاک		راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی	راش/ ممرز/ توسکا	راش/ ممرز	راش خالص	مقدار F	معنی‌داری
مشخصه‌های لاشبرگ	کربن آلی (درصد)	۳۳/۷۹ ±۳/۶۲c	۴۴/۰۸ ±۳/۳۵b	۴۴/۷۹ ±۴/۷۱b	۵۵/۶۹ ±۱/۸۳a	۶/۴۲۲	۰/۰۰۲
	نیتروژن کل (درصد)	۲/۰۶ ±۰/۰۶ a	۰/۹۲ ±۰/۰۳ bc	۱/۰۳ ±۰/۰۴b	۰/۸۱ ±۰/۰۴c	۱۳۲/۷۴	۰/۰۰۰
	نسبت کربن به نیتروژن	۱۶/۵۶ ±۱/۹۶c	۴۸/۰۸ ±۳/۵۳b	۴۲/۹۶ ±۴/۰۶b	۶۹/۱۰ ±۳/۰۳a	۴۴/۵۲۹	۰/۰۰۰
	ضخامت (سانتی‌متر)	۵/۶۱ ±۰/۴۹c	۸/۴۸ ±۰/۳۵b	۹/۰۸ ±۰/۳۲b	۱۲/۱۱ ±۰/۳۵a	۴۷/۲۱۶	۰/۰۰۰
مشخصه‌های خاک	رطوبت خاک (درصد)	۳۰/۸۱ ±۰/۵۹c	۳۸/۰۸ ±۲/۶۱ab	۳۷/۵۶ ±۳/۲۱ab	۴۳/۸۷ ±۴/۴۲a	۳/۰۷۰	۰/۰۴۴
	pH	۷/۰۷ ±۰/۰۱a	۶/۸۶ ±۰/۰۲ab	۶/۶۹ ±۰/۰۷b	۶/۱۴ ±۰/۱۲c	۲۹/۱۱۳	۰/۰۰۰
	کربن خاک (درصد)	۱/۴۲ ±۰/۰۸b	۱/۶۹ ±۰/۱۱b	۱/۵۹ ±۰/۱۵ab	۲/۰۲ ±۰/۰۹a	۴/۸۲۲	۰/۰۰۸
	نیتروژن خاک (درصد)	۰/۳۴ ±۰/۰۰۹a	۰/۲۷ ±۰/۰۱b	۰/۲۵ ±۰/۰۲b	۰/۱۵ ±۰/۰۱c	۲۲/۳۱۳	۰/۰۰۰
	نسبت کربن به نیتروژن	۴/۱۲ ±۰/۱۸c	۶/۲۷ ±۰/۲۰b	۶/۶۶ ±۰/۲۱b	۱۳/۶۷ ±۰/۹۲a	۷۰/۲۹	۰/۰۰۰

گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی

در بررسی گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی در ارتباط با توده‌های جنگلی تحت بررسی، نتایج حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی است، به‌طوری که بیشترین تعداد و زی‌تودهٔ کل کرم‌های خاکی به تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی و کمترین آن به تودهٔ راش خالص تعلق داشت. تراکم و زی‌تودهٔ کرم‌های خاکی گروه‌های اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسئیک در خاک تحتانی تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی دارای بیشترین مقادیر بودند، درحالی که کمترین مقادیر این گروه‌های اکولوژیک در خاک تحت تودهٔ راش خالص مشاهده شد. کرم‌های اندوژئیک در هیچ یک از توده‌های بررسی‌شده مشاهده نشد (شکل ۱).

فعالیت نماتدهای خاک‌زی و میکروبی خاک

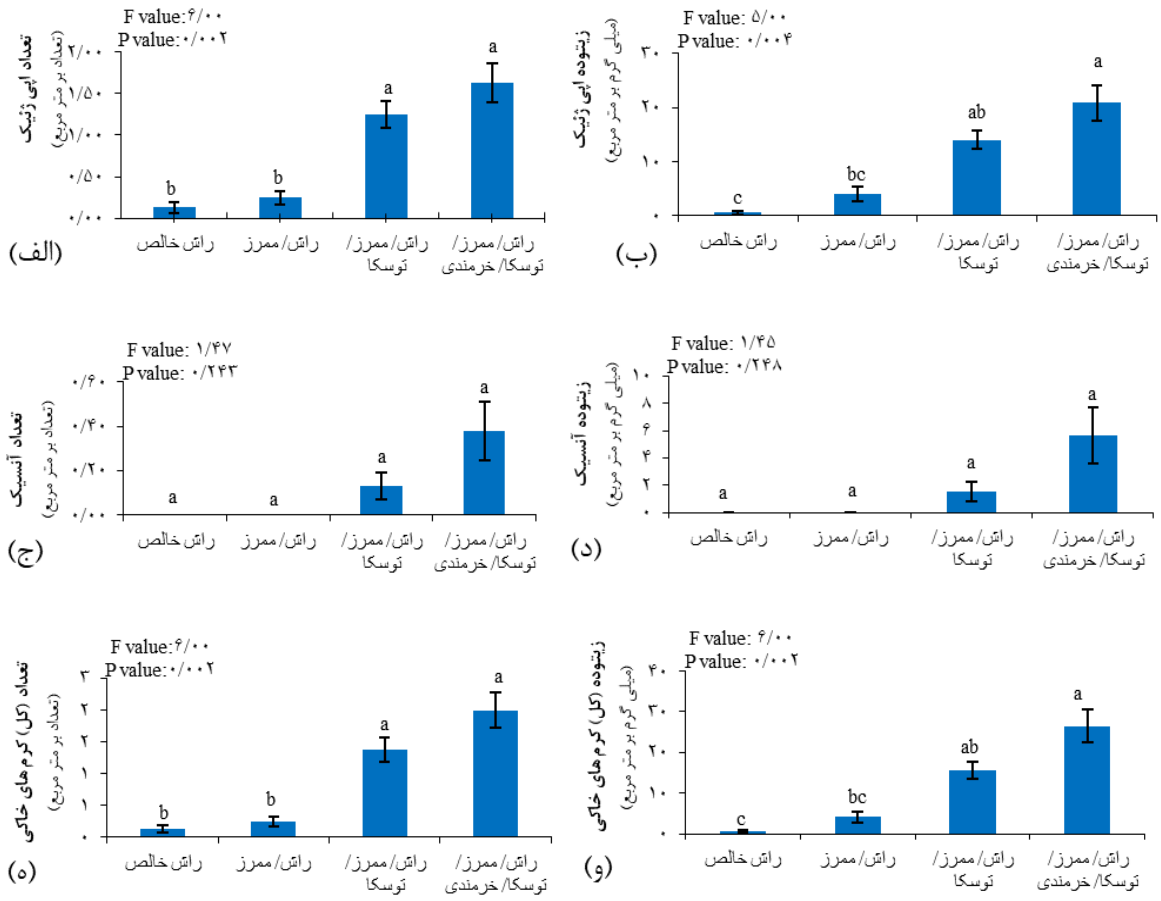
نتایج حاکی از آن است که تراکم نماتدهای خاک‌زی و دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در خصوص فعالیت‌های میکروبی خاک، به‌جز زی‌تودهٔ میکروبی کربن، در بین توده‌های جنگلی مختلف دارای تفاوت آماری معنی‌دارند. براساس نتایج، بیشترین تعداد نماتدهای خاک‌زی به تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی تعلق داشت و تفاوت آماری معنی‌داری را با توده‌های دیگر نشان داد. بیشترین مقادیر تنفس پایه و تنفس برانگیخته در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی مشاهده شد. کمترین تعداد نماتدها و دیگر مشخصه‌های میکروبی خاک، به‌جز زی‌تودهٔ میکروبی کربن، به تودهٔ راش خالص اختصاص داشت (شکل ۲). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز حاکی از آن است که

بیشترین فعالیت‌های میکروبی و نماتدهای خاک در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی بود که در ارتباط مستقیم با مقادیر نیتروژن لاشبرگ و خاک و همچنین قلیایی‌تر بودن خاک است. همچنین بیشترین فعالیت گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی در توده‌های آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی و راش/ ممرز/ توسکا مشاهده شد که با مقادیر زیاد نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ و خاک رابطهٔ منفی نشان داده‌اند. تودهٔ راش خالص دارای بیشترین مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ و خاک، ضخامت لاشبرگ و رطوبت خاک‌اند و با فعالیت‌های میکروبی رابطهٔ عکس دارند (شکل ۳).

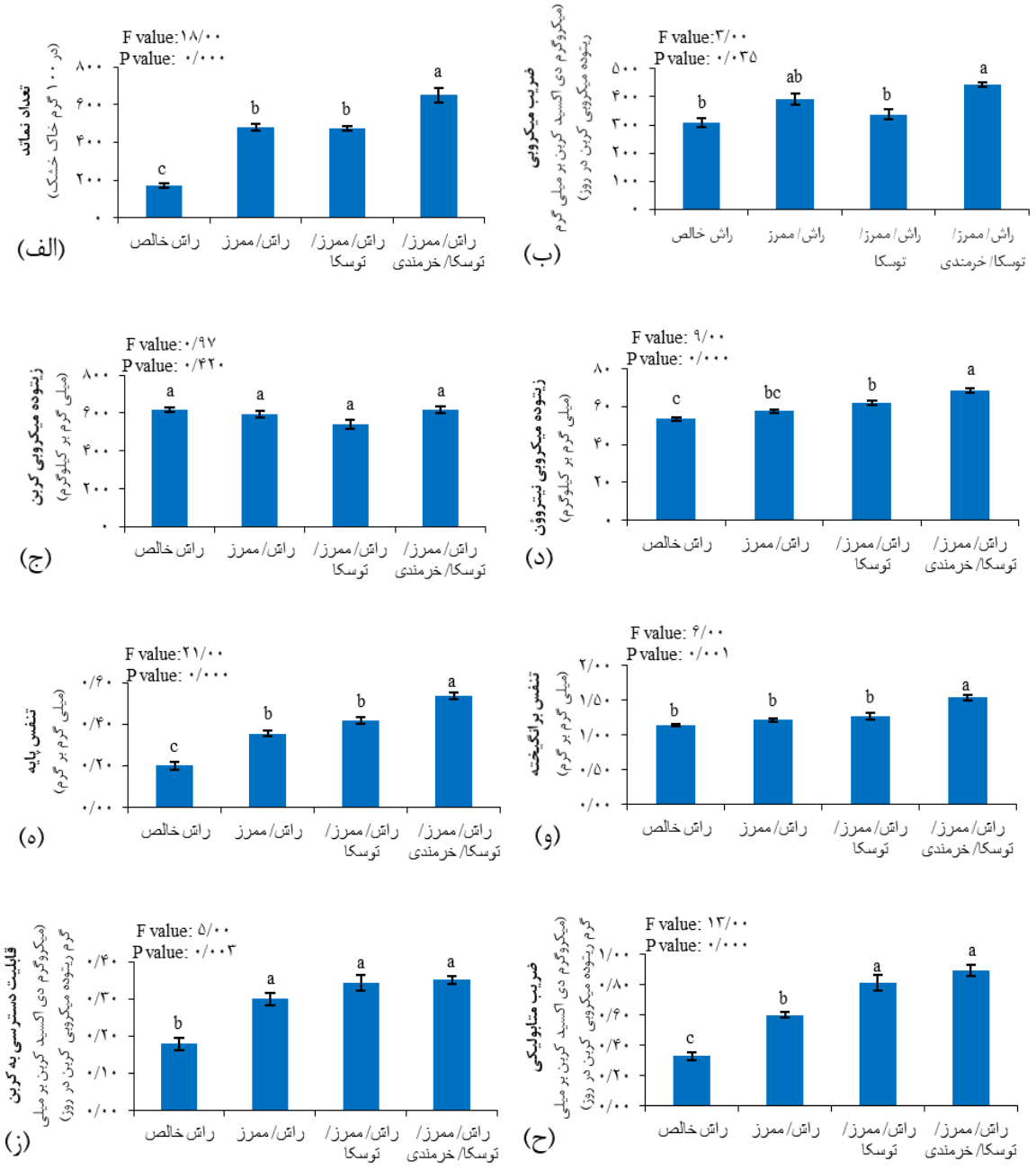
بحث

گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی

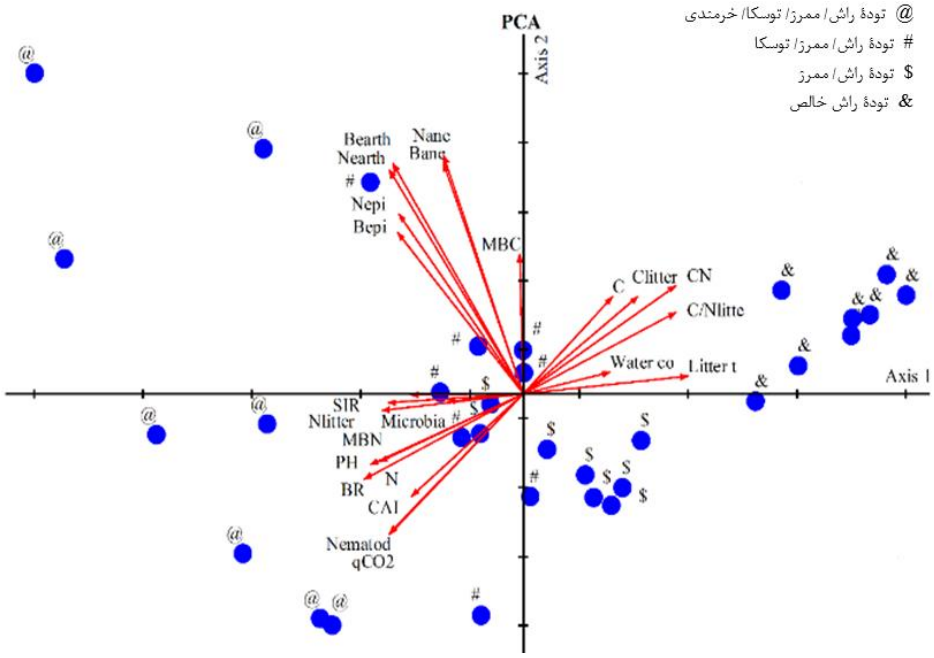
در اکوسیستم‌های جنگلی، حد فعالیت کرم‌های خاکی تا حد زیادی به کیفیت لاشبرگ گونه‌های درختی مرتبط است (Bayranvand & Kooch, 2016). در پژوهش حاضر نیز تفاوت کیفیت لاشبرگ موجود در توده‌های جنگلی با ترکیب مختلف تغییرات معنی‌داری را در فعالیت کرم‌های خاکی به‌وجود آورد. به‌طور کلی، بیشتر کرم‌های خاکی محیط‌هایی با مواد غذایی غنی و لاشبرگ‌هایی با نسبت کربن به نیتروژن کمتر را ترجیح می‌دهند (Kooch et al., 2017).



شکل ۱- میانگین (± اشتباه معیار) تعداد و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی در ارتباط با توده‌های جنگلی



شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) تعداد نماتدهای خاک‌زی و مشخصه‌های میکروبی خاک در ارتباط با توده‌های جنگلی



شکل ۳- توزیع مکانی توده‌های جنگلی، مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک و مشخصه‌های زیستی خاک در تحلیل PCA

براساس نتایج بررسی حاضر، تودهٔ راش خالص با بیشترین مقادیر نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ، کمترین تراکم و زی‌تودهٔ گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی را به خود اختصاص داده است، درحالی که تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی با دارا بودن کمترین مقادیر کربن به نیتروژن لاشبرگ، شرایط مطلوبی را برای فعالیت انواع کرم خاکی فراهم آورده است. ازآنجا که تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی در ارتفاعات پایین‌تر نسبت به توده‌های دیگر قرار دارد، شرایط آب‌وهوایی برای فعالیت ماکروفون خاک مناسب‌تر است؛ در نتیجه سرعت تجزیهٔ لاشبرگ افزایش می‌یابد که می‌توان علت ضخامت کمتر لاشبرگ در این توده را این‌گونه توجیه کرد (Shabani, 2016). در پژوهشی، Moghimian et al. (2013) بیان کردند که مناطق دارای خاک‌های مرطوب‌تر و منابع غذایی بیشتر، برای فعالیت موجودات خاک‌زی به‌خصوص کرم‌های خاک‌زی مناسب‌اند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، بیشترین مقدار رطوبت در خاک تحتانی تودهٔ راش خالص مشاهده شد، درحالی که کمترین فراوانی کرم‌های خاکی در این توده ثبت شد که با نتایج پژوهش‌های پیشین (Moghimian et al., 2013; Kooch et al., 2017) مغایرت دارد. به‌دلیل حضور این تودهٔ جنگلی در ارتفاعات بالا و کم بودن دما که یکی از عوامل مهم حضور کرم‌های خاکی است، این مغایرت را می‌توان توجیه کرد. در همین زمینه، Kooch et al., (2017) بیان کردند که دما و رطوبت خاک از عوامل اصلی در فعالیت کرم‌های خاکی است. کرم‌های اپی‌ژئیک در لایه‌های سطحی خاک فعالیت می‌کنند و قدرت حفاری چندانی ندارند؛ بنابراین قادر به حفاری خاک و مهاجرت به بخش‌های عمیق‌تر خاک نیستند. با توجه به اینکه در این تحقیق نمونه‌های خاک از عمق سطحی لایهٔ معدنی گرفته شد، دلیل فراوانی بیشتر کرم‌های اپی‌ژئیک در توده‌های مختلف نسبت به کرم‌های آنسئیک و اندوژئیک را می‌توان این‌گونه بیان کرد. همچنین نبود کرم‌های اندوژئیک در این پژوهش، ممکن است به‌دلیل قدرت زیاد حفاری این‌گونه کرم‌ها باشد که به

لایه‌های عمیق‌تر خاک مهاجرت می‌کنند (Bayranvand & Kooch, 2016). از طرفی، مقدار کم کربن، مقدار زیاد نیتروژن و شرایط قلیایی‌تر خاک (Moghimian et al., 2013) در بخش تحتانی تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی فعالیت انواع کرم‌های خاکی را بهبود بخشید.

فعالیت نماتدهای خاک‌زی

در پژوهش حاضر، تعداد کمتر نماتدهای خاک‌زی در خاک تحت تودهٔ راش خالص، احتمالاً به‌دلیل کیفیت کم لاشبرگ در این توده است (Zhang et al., 2012). فعالیت بیشتر نماتدهای خاک‌زی در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی ممکن است در ارتباط با مقدار کم کربن و نسبت کربن به نیتروژن و همچنین محتوای بیشتر نیتروژن در لاشبرگ و خاک توجیه‌پذیر باشد (Sun et al., 2013). درحالی که تودهٔ خالص راش به‌دلیل نبود شرایط مناسب کیفی لاشبرگ و خاک، تأثیرات منفی بر فعالیت این موجودات خاک‌زی داشته است. نتایج پژوهش Kooch et al., (2017) بیانگر آن است که تغییر مقدار رطوبت خاک نیز می‌تواند بر مشخصه‌های بیوشیمیایی خاک و ارگانیسم‌های خاک‌زی اثرگذار باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین رطوبت در خاک تحتانی تودهٔ خالص راش یافت شد، درحالی که کمترین تعداد نماتدهای خاک‌زی به این توده اختصاص داشت. با توجه به اینکه عامل دما نیز یکی از عوامل مهم در حضور و فعالیت ارگانیسم‌های خاک‌زی است می‌توان گفت حضور تودهٔ راش خالص در ارتفاعات بالا و کاهش دما در این مناطق سبب کاهش تعداد و فعالیت نماتدهای خاک‌زی شده است. در یک بررسی، Neher et al., (2005) اذعان داشتند که pH خاک تأثیر مثبتی در فعالیت نماتدهای خاک‌زی دارد، به‌طوری‌که pH اسیدی موجب کاهش فعالیت این موجودات می‌شود. در همین زمینه، با توجه به نتایج، زیاد بودن pH در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی را می‌توان در افزایش جمعیت نماتدهای خاک‌زی در این توده مؤثر دانست. در پژوهشی، Zhang et al., (2012) اشاره داشتند که فعالیت نماتدهای خاک‌زی تحت تأثیر کربن آلی، نیتروژن کل و pH خاک تغییرات متفاوتی را نشان می‌دهند. نتایج تحقیق ما نشان داد که مقدار زیاد نیتروژن و مقدار اندک کربن خاک می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش فعالیت نماتدهای خاک‌زی در تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی نسبت به دیگر توده‌ها باشد (Kooch et al., 2017).

فعالیت‌های میکروبی خاک

مقادیر مختلف شاخص‌های میکروبی خاک در مناطق تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مقدار و کیفیت لاشبرگ تحت توده‌های مختلف بسیار متغیرند (Singh et al., 2012). بر همین اساس، خاک تحتانی تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی و تودهٔ راش خالص به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر شاخص‌های میکروبی را نشان دادند. همسو با نتایج این تحقیق، Kooch et al., (2017) بیان کردند که رابطه‌ای منفی بین نسبت کربن به نیتروژن و فعالیت‌های میکروبی خاک وجود دارد. علاوه‌بر این، بنابر یافته‌های Norton et al., (2003) محدودیت نیتروژن نیز می‌تواند فعالیت میکروبی را در نسبت‌های زیاد کربن به نیتروژن کاهش دهد که در تودهٔ راش خالص مشاهده می‌شود. همچنین، pH خاک نیز تأثیر تعیین‌کننده‌ای در شدت فعالیت میکروبی خاک دارد، به‌طوری که pH نزدیک به ۷ در خاک تحتانی تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی برای فعالیت‌های میکروبی بسیار مناسب است (Singh et al., 2012). به‌علاوه قابلیت دسترسی مواد غذایی، به‌عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کنندهٔ تغییرات فعالیت‌های میکروبی (Osono et al., 2014)، تحت تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی، شاخص‌های میکروبی را بهبود می‌بخشد. نتایج پژوهش حاضر بیانگر این است

که زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن و کربن در خاک تحتانی تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/ خرمندی نسبت به دیگر توده‌های جنگلی مقادیر بیشتری را نشان داد. در این توده به‌دلیل کیفیت مطلوب لاشبرگ‌ها و بیشتر بودن نرخ تجزیه، زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن افزایش پیدا کرد (Burton et al., 2010). در تحقیق Norton et al., (2003) بیان کردند که گونه‌های غنی از نیتروژن سبب افزایش زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن خاک تحت این گونه‌ها می‌شوند. پارامترهای بسیاری بر زی‌تودهٔ میکروبی خاک اثرگذارند، به‌طوری که نتایج بسیاری از پژوهش‌ها حاکی از آن است که افزایش رطوبت، سرعت زیاد تجزیه، افزایش نیتروژن در لاشبرگ و خاک و کاهش نسبت کربن به نیتروژن خاک، سبب افزایش زی‌تودهٔ میکروبی می‌شود (Osono et al., 2014). به‌طوری که در تحقیق حاضر نیز نتایج حاصل از PCA نشان‌دهندهٔ همبستگی زیاد فعالیت‌های میکروبی خاک با مشخصه‌های لاشبرگ و خاک تحت تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی است. Burton et al., (2010) در مقایسهٔ جنگل‌های بومی استرالیا با جنگلکاری سوزنی‌برگ گزارش دادند که زی‌تودهٔ میکروبی نیتروژن همبستگی زیادی با نیتروژن، تنفس میکروبی و pH خاک دارد که با نتایج این تحقیق همسوست.

بررسی جمعیت و زی‌تودهٔ جانداران خاک‌زی، از بهترین روش‌های ارزیابی کیفیت و سلامت خاک مناطق جنگلی محسوب می‌شود که باید به آن توجه خاصی شود. نتایج این تحقیق بیانگر تأثیر توده‌های درختی در گرادیان‌های ارتفاعی بر فعالیت جانداران خاک‌زی و میکروبی خاک است. در دامنه‌های ارتفاعی بالاتر که تودهٔ راش خالص حضور دارد، کمترین تعداد موجودات خاک‌زی و فعالیت‌های میکروبی مشاهده شد. درحالی که تودهٔ آمیختهٔ راش/ ممرز/ توسکا/خرمندی، مستقر در دامنه‌های ارتفاعی پایین‌تر، شرایط مناسب‌تری از لحاظ کیفیت لاشبرگ و مشخصه‌های خاک برای فعالیت جانداران و میکروارگانیسم‌ها فراهم آورد. نتیجهٔ این تحقیق نشان داد که تنوع گونه‌های درختی می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل بهبود مشخصه‌های کیفی و سلامت خاک، تأثیر مثبتی داشته است.

References

Ali Asgharzad, N. (2010). *Laboratory methods in soil biology*, Tabriz University Publications, 522 p.

Barajas-Guzmán, G., & Alvarez-Sánchez, J. (2003). The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. *Applied Soil Ecology*, *24*(1), 91-100.

Bayranvand, M, & Kooch, Y. (2016). Effect of broadleaf species on the frequency and diversity of earthworms in plain forest ecosystem. *Iranian Journal of Soil Biology*, *4* (1), 15-27.

Binkley, D., & Fisher, R. (2012). *Ecology and Management of Forest Soils*. John Wiley & Sons.

Brevault, T., Bikay, S., Maldes, J.M., & Naudin, K. (2007). Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macro fauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research*, *97* (2), 140-149.

Burton, J., Chen, C., Xu, Z., & Ghadiri, H. (2010). Soil microbial biomass, activity and community composition in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments*, *10* (7), 1267-1277.

Ghazanshahi, J. (2006*). Soil and plant analysis*, Hooma Publications, 272p.

Kooch, Y., & Bayranvand, M. (2017). Composition of tree species can mediate spatial distribution of C and N cycles in mixed beech forests. *Forest Ecology and Management*, *401*(3), 55-64.

Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S.M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, *150* (3), 223-229.

Kooch, Y., Zaccone, C., Lamersdorf, N., & Tonon, G. (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.

Mathieu, J., Rossi, J.P., Grimaldi, M., Mora, A., Lavelle, P., & Rouland, C. (2004). A multi-scale study of soil macro fauna biodiversity in Amazonian pastures. *Biology and Fertility of Soils*, *40* (5), 300-305.

Moghimian, N., Habashi, H., & Kheiri, M. (2013). Comparison of soil macro fauna biodiversity in broad leaf and needle leaf afforested stands. *Molecular Soil Biology*, *4* (1), 212-222.

Neher, D. A., Wu, J., Barbercheck, M. E., & Anas, O. (2005). Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, *30* (1), 47-64.

Norton, J.B., Sandor, J. A. & White, C.S. (2003). Hillslope soils and organic matter dynamics within a native American agro ecosystem on the Colorado Plateau. *Soil Science Society of America Journal*, *67* (1), 225-234.

Osono, T., Azuma, J. I., & Hirose, D. (2014). Plant species effect on the decomposition and chemical changes of leaf litter in grassland and pine and oak forest soils. *Plant and Soil*, *376* (1-2), 411-421.

Shabani, M. (2016). Relationship between tree types and physiographic conditions of the habitat in the northern profile of the forests, north of Iran (Case study: Golband region of Noshahr). M. Sc. thesis of Forestry, Sari University, 89p.

Singh, K., Singh, B., & Singh, R.R. (2012). Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena*, *96* (4), 57-67.

Sun, X., Zhang, X., Zhang, S., Dai, G., Han, S., & Liang, W. (2013). Soil nematode responses to increases in nitrogen deposition and precipitation in a temperate forest. *PloS one*, *8* (12), e82468.

Szlavecz, K., McCormick, M., Xia, L., Saunders, J., Morcol, T., Whigham, D., Filley, T., & Csuzdi, C. (2011). Ecosystem effects of non-native earthworms in Mid-Atlantic deciduous forests. *Biological Invasions*, *13* (5), 1165-1182.

Weixin, C., Coleman, D.C., Carroll, C.R., & Hoffman, C.A. (1993). In situ measurement of root respiration and soluble C concentrations in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, *25* (9), 1189-1196.

Zhang, M., Liang, W.J., & Zhang, X.K. (2012). Soil nematode abundance and diversity in different forest types at Changbai Mountain, China. *Zoological Studies*, *51* (5), 619-626.

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 1, Spring 2018
pp. 89-100

Study on soil detritivors and microbial activity in understory of broad-leaved pure and mixed stands in Caspian forests

Y. Kooch[1*], and M. Tavakoli Feizabadi[2]

[1]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran
[2]M. Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran

(Received: 24 December 2017, Accepted: 23 January 2018)

Abstract

The activity of terrestrial organisms and their populations is an appropriate index for assessing the quality and health of the soil in forest ecosystems, which related to the fertility, and reproduction of the habitat. Current research studied the effect of four forest stands with different composition of *Fagus*/*Carpinus*/ *Alnus*/*Diospyros* (600 -700 m), *Fagus*/*Carpinus*/*Alnus* (1100 - 1200 m), *Fagus*/*Carpinus* (1600 -1700 m) and pure *Fagus* (2100 - 2200 m) located in Golband district of Noushahr, on litter and soil qualitative characters. In each of forest stands, eight organic and mineral samples (25×25 area to 30 cm soil depth) were taken and transferred to the laboratory. To investigate the difference and or non-difference the studied characteristics among different forest stands, one-way ANOVA and the Duncan multiple tests were employed. The litter (carbon and nitrogen contents) and soil (water content, pH, organic C, total N, earthworm density/biomass, nematode density and microbial activities) properties were measured. According to results, the maximum of soil earthworms (with higher ratio of epigeic) and nematodes recorded under *Fagus* mixed with *Carpinus*, *Alnus* and *Diospyros*. In addition, tree diversity in mixed stand of *Fagus*/*Carpinus*/*Alnus*/*Diospyros* improved microbial activities (i.e. basal respiration, substrate induced respiration, microbial biomass C and N, microbial and metabolic quotients and carbon availability index) compared to the other studied forest stands. PCA is indicating the outstanding effects of soil organic and mineral layers on the variation of soil biological properties. The result of this research shows the positive role of tree species diversity in improving qualitative and soil health.

Keywords: Beech, earthworm, nematode, microbial indicators.

∗Corresponding author Tel: +98 9112932313 Email: yahya.kooch@modares.ac.ir