



تغییرپذیری تراکم و زیست توده کرم‌های خاکی با مشخصه‌های خاک بعد از تغییر کاربری اراضی جنگلی

منا مازوجی^۱، کیومرث محمدی سمانی^{۲*} و وحید حسینی^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج
^۲ استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی، بانه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۱)

چکیده

کرم‌های خاکی، از مهم‌ترین شاخص‌های اکولوژیک در ارزیابی کیفیت خاک اکوسیستم‌های خاکی قلمداد می‌شوند. در این پژوهش، با هدف ارزیابی تغییر کاربری اراضی جنگلی بر تراکم و زیست توده کرم‌های خاکی و برخی مشخصه‌های خاک، در چهار کاربری مختلف جنگل کمتر دست‌خورده، جنگل بهره‌برداری شده، زراعت آبی (یونجه) و باغ (سیب و گلابی) در منطقه‌ای در اطراف روستای یعقوب‌آباد در جنگل‌های بانه، ۴۰ پروفیل خاک به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و نمونه‌های خاک و کرم خاکی از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری برداشت شد. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی سبب کاهش کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف نسبت به کاربری جنگل کمتر دست‌خورده (۲/۹۵ درصد) شده است. کاربری جنگل بهره‌برداری شده نسبت به دیگر کاربری‌ها کمترین مقادیر فسفر و هدایت الکتریکی را به خود اختصاص داد. در سایر فاکتورهای خاک نیز از جمله نیتروژن، C/N، پتاسیم، pH، درصد رطوبت و درصد سنگریزه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین، بیشترین تراکم کرم‌های خاکی به کاربری جنگل کمتر دست‌خورده (۲۰۴/۸ در مترمکعب) و کمترین مقدار آن به کاربری جنگل بهره‌برداری شده (۴۴/۸ در متر مکعب) تعلق داشت. در مجموع تراکم کرم‌های خاکی با زیست توده آنها و همچنین با درصد تاج‌پوشش درختان همبستگی مثبت معنی‌دار و با درصد سنگریزه و درصد بیرون‌زدگی خاک همبستگی منفی معنی‌داری نشان داد. همچنین افزایش زیست توده کرم‌های خاکی همبستگی مثبت معنی‌داری با کربن آلی، نیتروژن کل و رطوبت خاک و همبستگی منفی معنی‌داری با درصد بیرون‌زدگی خاک نشان داد. در نهایت می‌توان گفت تغییر کاربری اراضی جنگلی و بهره‌برداری در جنگل، می‌تواند سبب کاهش تراکم کرم‌های خاکی شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری، جنگل زاگرس، شاخص زیستی، فاکتورهای غیرزیستی خاک.

مقدمه

درب‌گیرنده مواد آلی، معدنی و میکروارگانیزم‌هاست. همچنین زیستگاه تعداد زیادی از حشرات، جانوران و محل رویش انواع گیاهان و درختان است که مجموعه‌ای از این عوامل کمک شایانی به بهبود و حاصلخیزی خاک زیست‌بوم‌های طبیعی می‌کند

خاک، از مهم‌ترین ارکان زیست‌بوم‌ها و انعکاس‌دهنده سازوکار آنهاست و در داخل آن، جهانی درونی از اشکال مختلف زندگی وجود دارد. از این رو، می‌توان گفت خاک یک زیست‌بوم طبیعی و فعال و

(Jourgholami et al., 2019).

به منظور شناسایی خاک و پی بردن به رخدادهای گوناگونی که در آن اتفاق می‌افتد، بررسی جانداران خاکریزی و مطالعه عملکرد آنها در اکوسیستم خاک حائز اهمیت است (Ahmadi & Bali, 2004)، زیرا این موجودات به‌عنوان کلیدی‌ترین اجزای اکوسیستم مطرح‌اند و تأثیر زیادی بر زنجیره مواد غذایی و حاصلخیزی خاک دارند. در این میان کرم‌های خاکی، از مهم‌ترین ماکروفون‌های خاک هستند که جزء اصلی‌ترین موجودات پوده‌خوار (detritivore) در اکوسیستم‌های خاکی محسوب می‌شوند و بیش از نیمی از زیست‌توده خاکریزان را تشکیل می‌دهند (Kooch & Tavakoli Feizabadi, 2018; Moghimian et al., 2013) که می‌توانند بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیرگذار باشند (Salehi et al., 2013).

جمعیت کرم‌های خاکی به‌صورت تراکم و زیست‌توده (Density & Biomass) نشان داده می‌شود که در رویشگاه‌های مختلف از یک تا بیش از ۲۰۰۰ عدد در متر مربع متغیر است (Edwards & Bohlen, 1996). تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی از جمله شاخص‌های بارز منعکس‌کننده پتانسیل فعالیت‌های حیاتی و کیفیت خاک محسوب می‌شوند (Rahmani & Saleh Rastin, 2000). کرم‌های خاکی با بلعیدن اجزای خاک و دفع مجدد آنها به‌صورت کاست (Earthworm casts)، حفر دالان‌ها و مخلوط کردن خاک‌های سطحی و عمقی، به بهبود ظرفیت نگهداری آب و تهویه خاک، تشکیل خاکدانه‌های پایدار، افزایش مواد مغذی در دسترس گیاهان و افزایش فعالیت و فراوانی میکروارگانیسم‌های خاک منجر می‌شوند (Chauhan, 2014; Edwards & Bohlen, 1996).

گونه‌های کرم خاکی براساس تفاوت در محل زندگی در خاک، تغذیه، حفر بودن و رفتار به سه گروه اکولوژیکی مختلف اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک

طبقه‌بندی می‌شوند (Coleman et al., 2004). اپی‌ژئیک‌ها با قطر ۱ تا ۲/۵ میلی‌متر، در لایه‌های سطحی خاک (افق AO_1) زندگی کرده و از لاشریزه تغذیه می‌کنند، به‌ندرت حفراند و تأثیر زیادی بر ساختار خاک ندارند. آنسئیک‌ها با قطر ۴ تا ۸ میلی‌متر، قادر به حفاری دالان‌های عمودی عمیق دائمی و نیمه‌دائمی در خاک هستند که در لایه‌های معدنی خاک امتداد دارند (افق‌های A_2 و B)، اما اغلب برای تغذیه از لاشریزه به سطح خاک می‌آیند. اندوژئیک‌ها با قطر ۲ تا ۴/۵ میلی‌متر، در لایه‌های پایینی خاک (بین افق‌های A_1 و AO_2) زندگی کرده و بیشتر از سایر گونه‌ها از خاک و مواد هوموسی شده تغذیه می‌کنند، قدرت حفاری زیادی دارند و اغلب قادر به حفاری دالان‌های افقی در خاک هستند (Kooch & Tavakoli Feizabadi, 2018). در اکوسیستم‌های مختلف، تغییرات فراوانی (تراکم و زیست‌توده) کرم‌های خاکی از متغیرهای متعددی همچون بافت خاک، واکنش، نسبت C/N و درصد رطوبت و عمق خاک اثر می‌پذیرد (Habashi et al., 2017; Rahmani & Saleh Rastin, 2000). کاربری‌های مختلف با پوشش گیاهی و شیوه‌های مدیریتی متفاوت، به‌طور مستقیم با ورود لاشبرگ از طریق تفاوت در محتوای مواد آلی خاک، اثر بر خاکشویی و کیفیت زیستگاه (مقدار رطوبت، واکنش و عناصر غذایی در دسترس) و به‌طور غیرمستقیم با تغییر ویژگی‌های خاک بر ساختار جمعیت و تراکم کرم‌های خاکی تأثیرگذارند. در این زمینه پژوهش‌ها حاکی از آن است که تراکم و تنوع کرم‌های خاکی در اکوسیستم‌های طبیعی نسبت به نواحی مدیریت‌شده، بیشتر است (Schwarz et al., 2015). در پژوهشی Sankar & Patnaik (2018) به بررسی اثر مشخصه‌های خاک بر توزیع جمعیت کرم‌های خاکی در الگوهای مختلف اراضی در هند پرداختند. نتایج نشان داد که توزیع و تراکم کرم‌های خاکی ابتدا در اراضی جنگلی و پس از آن در اراضی زراعی که

2019). بدین‌سان با توجه به شدت آشفتگی‌های طبیعی و گوناگونی عوامل تخریب و همچنین در راستای پایش طرح‌های احیا و بازسازی در این جنگل‌ها، به‌نظر می‌رسد استفاده از کرم‌های خاکی، به‌عنوان عامل زیستی مؤثر بر حاصلخیزی و تولید زیست‌بوم‌های جنگلی و مدیریت جمعیت آنها به‌عنوان یک روش کاربردی و جدید (Singh et al., 2016)، می‌تواند نقش مهمی در بررسی و موفقیت این طرح‌ها، ایفا کند.

به‌طور کلی جمعیت کرم‌های خاکی در مقایسه با سایر متغیرهای خاک، به‌دلیل حساس بودن به کوچک‌ترین آشفتگی‌های ایجادشده تحت تأثیر کاربری‌های مختلف، می‌تواند به‌عنوان شاخصی بسیار پویا و حساس در کیفیت خاک مورد توجه باشد، زیرا این موجودات انعکاس‌دهنده جنبه‌های متفاوتی از عملکرد مدیریتی مختلف بر کیفیت خاک در ترکیب و تراکشان هستند. همچنین با توجه به نقش بالقوه این موجودات در تنظیم واکنش‌های خاک، پاسخ آنها نسبت به تغییرات مدیریت مختلف اراضی سریع و متفاوت خواهد بود (Edwards & Bohlen, 1996; Coleman et al., 2004; Chauhan, 2014; Briones & Schmidt, 2017). بنابراین بررسی جمعیت کرم خاکی در خاک کاربری‌های مختلف می‌تواند اطلاعات مفیدی را از چگونگی تغییرات خصوصیات خاک و متعاقباً تراکم کرم‌های خاکی در اثر بهره‌برداری از جنگل و همچنین تغییر کاربری اراضی جنگلی به کاربری‌های زراعی و باغی در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار دهد تا بتوانند به صورت شفاف‌تری، نحوه و مقدار این تغییرات را بعد از آشفتگی‌های مختلف اراضی جنگلی واقع در زاگرس شمالی، بررسی کنند و نسبت به هر گونه تغییر و یا استفاده از این جنگل‌ها، تصمیم‌های مناسب را اتخاذ فرمایند. پرسش‌هایی که این پژوهش در پی پاسخگویی به آنهاست: ۱. تغییرات خصوصیات خاک با بهره‌برداری از جنگل و تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی و باغی

کوددهی و آبیاری شده بودند، افزایش یافته و نیز بیان کردند که تراکم کرم‌های خاکی همبستگی معنی‌داری با کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر به‌ویژه در اراضی جنگلی داشت. در تحقیقی دیگر (Nanganoa et al., 2019) اثر کاربری‌های مختلف اراضی (جنگل ثانویه، باغ نخل، مزارع موز، مزارع نیشکر و مزارع درخت کائوچو) را بر برخی مشخصه‌های خاک در ارتباط با تراکم ماکروفون در مناطق گرمسیری کامرون بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مقدار ماده آلی خاک و تراکم ماکروفون‌ها در جنگل از سایر کاربری‌ها بیشتر بود. همبستگی منفی معنی‌داری نیز بین جمعیت مورچه‌ها و وزن مخصوص خاک (۰/۸۸۲۸-) و مقدار اسیدیته و جمعیت کرم خاکی (۰/۹۰۷۲-) مشاهده شد.

جمعیت کرم‌های خاکی نسبت به هر نوع تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی حساس‌اند، به‌طوری‌که اندازه تغییر به نوع، شدت و طول مدت تخریب وابسته است. تغییر کاربری اراضی که به‌عنوان قدیمی‌ترین مداخلات زیست‌محیطی در طول تاریخ زندگی بشر و یک جنبه از تغییر جهانی شناخته شده است، سبب تغییر شرایط بوم‌شناختی و تغییر در مشخصه‌های خاک اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود و مهم‌ترین عاملی است که حفاظت از آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cegielska et al., 2018).

جنگل‌های زاگرس جزو غنی‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی کشور به لحاظ تنوع زیستی و حفاظت آب و خاک هستند. مساحت این جنگل‌ها در گذشته بیش از ۱۰ میلیون هکتار بوده است که از دیرباز مورد استفاده انسانی قرار گرفته‌اند و این بهره‌برداری‌ها به شکل‌های مختلف از جمله چرای بی‌رویه دام، زراعت در زیر اشکوب جنگل و قطع شاخه و برگ درختان زمینه تخریب آنها را فراهم آورده، به‌طوری‌که امروزه به حدود ۵ میلیون هکتار کاهش پیدا کرده است (Marvi Mohajer, 2005; Mohammadi Samani et al., 2020; Sadeghi et al,

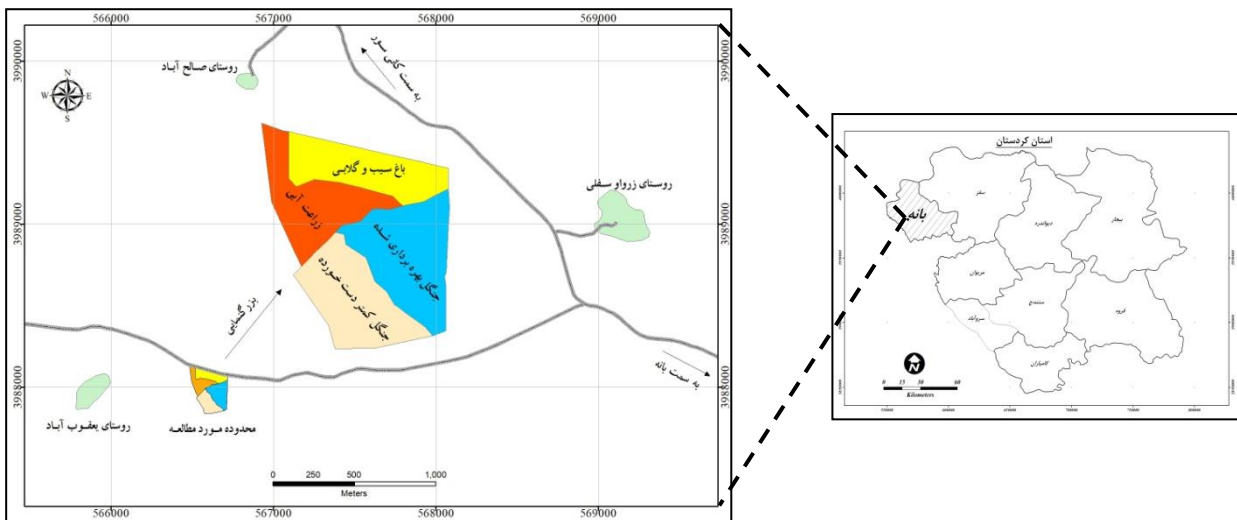
دست‌خورده با ۵۷ درصد تاج‌پوشش، جنگل بهره‌برداری‌شده با ۳۱/۵ درصد تاج‌پوشش، زراعت آبی و باغ) کاملاً مشابه است. عناصر درختی غالب منطقه بلوط مازودار (*Quercus infectoria* Oliv.) و بلوط ویول (*Quercus libani* Oliv.) به‌همراه تک‌درختانی از بلوط برودار (*Quercus brantii* Oliv.) است. این منطقه از گذشته تحت تأثیر دخالت‌های انسان بوده و در بعضی نقاط به کاربری‌های دیگری مانند زراعت (مربوط به ۲۵ سال اخیر) و باغ (مربوط به ۱۵ سال اخیر) تبدیل شده است. محصولات عمده اراضی تغییر کاربری‌یافته به‌صورت زراعت یونجه و باغ‌های سیب و گلابی است (Mazouji, 2020). در این منطقه مردم محلی برای حل مشکل کمبود علوفه و تغذیه دام‌ها در فصل زمستان از شاخ و برگ‌های بلوط برای تغلیف دام استفاده می‌کنند و در اواخر تابستان و اوایل پاییز سرشاخه‌های برگ‌دار بلوط را قطع و به‌سرعت آنها را روی درختان بلوط و گاهی روی زمین ذخیره می‌کنند که به این فرایند گلازنی می‌گویند. همچنین، برخی از شاخه‌ها و سرشاخه‌های درختان بلوط را در فصل رویش و زمان حضور دام‌ها در جنگل، در صورت کمبود پوشش گیاهی و پوشش کف جنگل، قطع می‌کنند تا مورد استفاده دام‌ها قرار گیرند که به آن گلابری می‌گویند (Fattahi, 1994).

به چه صورت است؟ ۲. آیا با بهره‌برداری از جنگل و تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی و باغی، تغییرات معنی‌داری در تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی به‌وجود می‌آید؟ ۳. تغییرات تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی با کدام‌یک از ویژگی‌های خاک همبستگی معنی‌داری (مثبت یا منفی) دارد؟

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه مورد پژوهش در عرض جغرافیایی $36^{\circ}02'02''$ و طول جغرافیایی $45^{\circ}44'20''$ در یک ناحیه جنگلی، واقع در ۲۰ کیلومتری غرب شهر بانه قرار گرفته است. متوسط ارتفاع از سطح دریا و میانگین شیب منطقه به ترتیب ۱۴۷۰ متر و ۵ درصد و جهت دامنه شمالی است (شکل ۱). براساس آمار و اطلاعات ایستگاه هواشناسی استان کردستان، متوسط بارندگی سالیانه (۱۳۹۶-۱۳۷۸)، ۶۳۴ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. خاک منطقه مورد بررسی بیشتر از نوع قهوه‌ای کلسیک و بافت خاک نیز بین سنگین تا نسبتاً سنگین متغیر است. از آنجا که نقاط مورد مطالعه کاملاً نزدیک به هم انتخاب شده‌اند، خصوصیات اقلیمی، فیزیوگرافی و نوع خاک در سیستم‌های مدیریتی (جنگل کمتر



شکل ۱- موقعیت کاربری‌های مختلف بررسی‌شده در منطقه مورد مطالعه

شیوه اجرای پژوهش

روش نمونه‌برداری، شناسایی کرم‌های خاکی و

تجزیه آزمایشگاهی

در این پژوهش چهار کاربری جنگل کمتر دست‌خورده (۱/۲۵ هکتار)، جنگل بهره‌برداری‌شده (۱/۴۵ هکتار)، باغ (۱ هکتار) و زراعت آبی (۱/۱ هکتار) که از نظر زمین‌شناسی و خصوصیات توپوگرافی بسیار شبیه هم بوده و در واقع کنار هم قرار گرفته‌اند، برای نمونه‌برداری انتخاب شدند. سپس در خردادماه ۱۳۹۷، ۱۰ نمونه خاک در مرکز هر کاربری (با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای ۱۰ متر) به صورت تصادفی از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری و در مجموع ۴۰ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. همزمان با نمونه‌برداری خاک در عرصه، نمونه‌های کرم‌خاکی نیز در حجم ۲۵×۲۵×۲۵ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌های خاک برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از خشک شدن در فضای باز از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. درصد سنگریزه به روش وزنی و با استفاده از الک، درصد رطوبت خاک به روش وزنی، بافت خاک به روش هیدرومتری، واکنش خاک با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه EC متر، کربن آلی به روش والکی و بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم به روش محلول استات آمونیوم به وسیله دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Jafari Haghighi, 2003). برای شناسایی کرم‌های خاکی از روی شکل ظاهری، هر یک از آنها به صورت دستچین از خاک جدا و پس از شست‌وشو در آب، در ظرف حاوی فرمالین ۴ درصد نگهداری شدند و همزمان نیز زیست‌توده تر آنها با توجه به وزنشان روی کاغذهای فیلتر به وسیله ترازو تا دقت میلی‌گرم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. کرم‌های خاکی با توجه به مشخصه‌های ریخت‌شناسی (رنگ، طول و قطر بدن) و

همچنین مشخصه‌هایی مانند موقعیت گلیتیلوم، محل قرارگیری اندام‌های جنسی روی سگمنت‌ها و گلیتیلوم، شکل و نوع اندام‌های جنسی و سایر مشخصات ظاهری شناسایی شدند. کرم‌های خاکی براساس اندازه بدن، رنگدانه، رژیم غذایی، توانایی نقب زدن، زمان تولیدمثل و استراتژی‌های بقا در برابر خشکسالی به گروه‌های مختلف اکولوژیکی طبقه‌بندی شدند (Briones & Alvarez-Otero, 2018).

روش تحلیل

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 25 تجزیه و تحلیل شد. سپس نرمال بودن پراکنش داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون آزمون شد. به منظور بررسی تفاوت‌های آماری معنی‌داری، مشخصه‌های مختلف خاک و کرم‌خاکی در ارتباط با نوع کاربری از آنالیز واریانس یکطرفه و برای تعیین اختلاف میانگین داده‌ها در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد آماری از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. از آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط بین تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی و مشخصه‌های خاک استفاده شد.

نتایج

مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس یکطرفه نشان داد که از بین مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده، تمام متغیرها، به جز بافت خاک و زیست‌توده کرم‌های خاکی به‌طور معنی‌داری متأثر از نوع کاربری بودند (جدول ۱). براساس نتایج تجزیه‌های فیزیکی خاک و مثلث بافت خاک، نوع بافت خاک در بیشتر پروفیل‌های خاک در تمامی کاربری‌های لومی رسی شنی بود، اما به صورت پراکنده در تمامی کاربری‌های بافت‌های لومی، رسی لومی و شنی لومی هم دیده شد. آزمون تجزیه واریانس هم نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار درصد

کاربری‌های زراعت آبی و باغ، ۲۱۷/۶۱ و ۲۱۶/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری را ($P \leq 0/01$) با کاربری‌های دیگر نشان می‌دهد. حداکثر نسبت C/N در کاربری جنگل بهره‌برداری شده با مقدار عددی ۱۴/۵۵ و حداقل آن در کاربری‌های زراعت آبی و باغ به‌ترتیب با مقادیر عددی ۷/۸۶ و ۷/۸۳ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/01$) را از خود نشان می‌دهند. به‌طور کلی مقدار اسیدیته کاربری جنگل بهره‌برداری شده بیشتر از دیگر کاربری‌هاست که اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) با کاربری باغ و جنگل کمتر دست‌خورده دارد. مقایسه کاربری‌های مختلف از نظر هدایت الکتریکی خاک نشان داد که مقادیر EC در سه کاربری زراعت آبی، جنگل کمتر دست‌خورده و باغ با مقادیر به‌ترتیب ۳۲۵/۴۶، ۳۱۵/۴ و ۲۶۶/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) بیشتر از جنگل بهره‌برداری شده بود (جدول‌های ۱ و ۲).

شن، رس و سیلت در همه کاربری‌هاست (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد رطوبت خاک به‌ترتیب با مقادیر ۱۷/۲۶ و ۱۴/۸۸ درصد به کاربری‌های زراعت آبی (یونجه، *Medicago sativa*) و جنگل کمتر دست‌خورده اختصاص داشت (جدول ۲). مقدار سنگریزه خاک (۵۱/۰۳ درصد) در کاربری جنگل بهره‌برداری شده اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) با کاربری‌های دیگر داشت. بیشترین مقدار کربن آلی مربوط به کاربری جنگل کمتر دست‌خورده است، به‌طوری‌که تفاوت‌های آماری معنی‌داری ($P \leq 0/01$) با سایر کاربری‌ها دارد (جدول‌های ۱ و ۲). کاربری زراعت آبی بیشترین میانگین نیتروژن خاک (۰/۲۸ درصد) را به خود اختصاص داد که با سایر کاربری‌ها به‌جز کاربری باغ (سیب *Malus sp.* و گلابی *Pyrus sp.*)، اختلاف معنی‌داری دارد. کمترین میانگین فسفر خاک در کاربری جنگل بهره‌برداری شده، ۲۴/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است که به‌صورت معنی‌داری ($P \leq 0/01$) کمتر از سایر کاربری‌هاست. مقادیر بیشینه پتاسیم در

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس یکطرفه مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در ارتباط با کاربری‌های مختلف

متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	معنی‌داری
رس (/.)	۳	۱۴۹/۹	۲/۱۱۷	۰/۱۱۵ ^{ns}
شن (/.)	۳	۵۲/۳	۰/۳۴۹	۰/۷۹۰ ^{ns}
سیلت (/.)	۳	۳۸/۴	۱/۱۴۵	۰/۳۴۴ ^{ns}
رطوبت (/.)	۳	۱۶۷/۴	۸/۸۲۰	۰/۰۰۰ ^{**}
سنگریزه (/.)	۳	۳۶۹/۸	۲/۷۷۵	۰/۰۵ [*]
کربن آلی (/.)	۳	۲/۶۱۸	۶/۵۴۰	۰/۰۰۱ ^{**}
نیتروژن (/.)	۳	۰/۰۴۲	۱۶/۲۷۸	۰/۰۰۰ ^{**}
فسفر (mg/kg)	۳	۵۳۸/۸	۹/۵۰۷	۰/۰۰۰ ^{**}
پتاسیم (mg/kg)	۳	۴۲۵۷۳	۸/۳۷۸	۰/۰۰۰ ^{**}
نسبت کربن به نیتروژن	۳	۱۱۸/۲	۳۵/۸	۰/۰۰۰ ^{**}
واکنش	۳	۰/۱۳۱	۴/۱۵۲	۰/۰۱۳ [*]
هدایت الکتریکی ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	۳	۶۵۰۲۷	۱۰/۸۲۱	۰/۰۰۰ ^{**}
تعداد کرم خاکی (m^3)	۳	۴۷۰۶۹/۹	۴/۱۲۵	۰/۰۱۳ [*]
زیست‌توده کرم خاکی (m^3)	۳	۳۷۸/۶	۱/۵۲۷	۰/۲۲۴ ^{ns}

^{ns}، * و ^{**}: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ۹۵ درصد و نبود معنی‌داری آماری

جدول ۲- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف

کاربری	جنگل کمتر دست‌خورده	جنگل بهره‌برداری شده	زراعت آبی	باغ
رس (/.)	۲۵/۹۵ ± ۲/۶۲	۳۲/۷۶ ± ۲/۹۷	۳۰/۵۹ ± ۲/۲۶	۳۵/۰۳ ± ۲/۷۴
شن (/.)	۴۶/۹۸ ± ۴/۱۲	۴۴/۶۷ ± ۳/۳۹	۴۴/۳۰ ± ۳/۳۸	۴۱/۴۱ ± ۴/۴۷
سیلت (/.)	۲۷/۰۶ ± ۲/۱۶	۲۲/۵۷ ± ۰/۹۹	۲۵/۱ ± ۱/۶۸	۲۳/۵۶ ± ۲/۲۳
رطوبت (/.)	۱۴/۸۸ ± ۱/۴۷ ^a	۸/۶ ± ۱/۱۳ ^b	۱۷/۲۶ ± ۱/۵ ^a	۹/۸۹ ± ۱/۳۸ ^b
سنگریزه (/.)	۴۰/۵۳ ± ۴/۶۱ ^b	۵۱/۰۳ ± ۴/۶۶ ^a	۳۹/۹۴ ± ۲/۴۸ ^b	۳۷/۱۹ ± ۲/۰۵ ^b
کربن آلی (/.)	۲/۹۵ ± ۰/۳۱ ^a	۱/۸۹ ± ۰/۱۶ ^b	۲/۲۱ ± ۰/۱۴ ^b	۱/۸۴ ± ۰/۱۴ ^b
نیتروژن (/.)	۰/۲۳ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۱۳ ± ۰/۰۱ ^c	۰/۲۸ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۲۴ ± ۰/۰۲ ^{ab}
فسفر (mg/kg)	۳۹/۰۷ ± ۲/۵۷ ^a	۲۴/۵۹ ± ۲/۱۵ ^b	۳۸/۸۵ ± ۲/۷۹ ^a	۳۹/۸۳ ± ۱/۹۱ ^a
پتاسیم (mg/kg)	۱۱۱/۵۴ ± ۱۳/۲۶ ^b	۹۷/۷۳ ± ۷/۶۶ ^b	۲۱۷/۶۱ ± ۲۵/۴ ^a	۲۱۶/۸۴ ± ۳۳/۹۶ ^a
نسبت کربن به نیتروژن	۱۲/۷۸ ± ۰/۵۳ ^b	۱۴/۵۵ ± ۰/۸۱ ^a	۷/۸۶ ± ۰/۳۵ ^c	۷/۸۳ ± ۰/۵ ^c
واکنش	۷/۲۵ ± ۰/۰۸ ^b	۷/۴۸ ± ۰/۰۵ ^a	۷/۲۳ ± ۰/۰۳ ^b	۷/۳۶ ± ۰/۰۵ ^{ab}
هدایت الکتریکی (μs/cm)	۳۱۵/۴ ± ۲۹/۴۲ ^a	۱۴۹/۶۳ ± ۱۴/۲۷ ^b	۳۲۵/۴۶ ± ۲۷/۶۷ ^a	۲۶۶/۹۸ ± ۲۳/۸۵ ^a
تعداد کرم خاکی (m ³)	۲۰۴/۸ ± ۵۰/۳ ^a	۴۴/۸ ± ۲۱/۴۴ ^c	۹۶ ± ۲۷/۴ ^{bc}	۱۴۷/۲ ± ۲۸/۷ ^{ab}
زیست‌توده کرم خاکی (m ³)	۲۶/۱۱ ± ۴/۲۵	۱۲/۱۶ ± ۶/۲۳	۱۸/۳ ± ۵/۰۱	۱۴/۲۷ ± ۴/۱۴

حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف آماری در کاربری‌های تحت مطالعه است.

مشخصه زیستی خاک

شناسایی کرم‌های خاکی

در مجموع پنج گونه مختلف کرم خاکی در خاک تحتانی کاربری‌های مختلف مورد بررسی شناسایی شد. براساس نتایج همه کرم‌های خاکی شناسایی شده متعلق به یک خانواده (Lumbricidae)، دو جنس (*Aporrectodea* و *Dendrobaena*) و سه گروه اکولوژیک (*Endogeic*، *Epigeic* و *Anecic*) هستند. گونه کرم خاکی *Aporrectodea rosea* از گروه اکولوژیک *Endogeic* در همه کاربری‌های مورد مطالعه در این تحقیق یافت شد. همچنین این گونه دارای بیشترین تراکم در کاربری زراعت آبی تحت مطالعه است. گونه *Aporrectodea caliginosa* از گروه اکولوژیک *Endogeic* دارای بیشترین تراکم در کاربری جنگل کمتر دست‌خورده است. کرم خاکی *Dendrobaena octaedra* با کمترین تعداد فقط در کاربری باغ مشاهده شد.

تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی

نتایج بررسی آنالیز واریانس یکطرفه کرم‌های خاکی در ارتباط با کاربری‌های تحت مطالعه، بیانگر تغییرپذیری معنی‌دار تراکم کرم‌های خاکی و نبود تفاوت معنی‌دار زیست‌توده کرم‌های خاکی است (جدول ۱). بیشترین میانگین تعداد کرم‌های خاکی (۲۰۴/۸ در مترمکعب) به کاربری جنگل کمتر دست‌خورده تعلق داشت که با کاربری باغ (۱۴۷/۲ در متر مکعب) در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲) و کمترین میانگین آن در کاربری‌های جنگل بهره‌برداری شده و زراعت آبی مشاهده شد که تراکم آنها نسبت به جنگل کمتر دست‌خورده به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). هرچند زیست‌توده کرم‌های خاکی بین کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، ترتیب آن به صورتی بود که بیشترین مقدار زیست‌توده کرم‌های خاکی در جنگل کمتر دست‌خورده بود و بعد از آن زراعت آبی، باغ و جنگل بهره‌برداری شده قرار داشت (جدول ۲).

نیز یکسان است و هر گونه اختلاف در سایر مشخصه‌های خاک می‌تواند ناشی از روش مدیریت متفاوت و تغییر پوشش گیاهی باشد (Buol et al., 2011). بیشتر بودن درصد رطوبت خاک در اراضی تحت کشت آبی ممکن است به دلیل نوع محصول کشت‌شده و همچنین آبیاری مداوم و کوددهی این اراضی باشد، چراکه پوشش خاک به واسطه افزایش بقایای گیاهی و ماده آلی مانع از قرار گرفتن مستقیم خورشید در برابر هوا و در نتیجه حفظ رطوبت خاک می‌شود (Khatirpasha et al., 2018). افزون بر این، زیاد بودن حدود رطوبتی در اکوسیستم جنگل کمتر دست‌خورده در این پژوهش را می‌توان به علت وجود پوشش درختی انبوه‌تر و متعاقباً ورود بیشتر بقایا و مواد آلی توسط زی‌توده پیکره هوایی دانست، زیرا مواد آلی با کاهش تبخیر و تعرق و افزایش نرخ نفوذ آب در خاک، به نگره‌داشت مقدار زیادی رطوبت در خاک منجر می‌شوند (Adugna & Abegaz, 2016). Mulumba & Lal (2008) نیز به تأثیر مثبت لاشبرگ و بقایای گیاهی سطح خاک در حفظ رطوبت خاک اشاره داشتند. براساس نتایج، بیشتر بودن درصد سنگریزه در جنگل بهره‌بردار شده نسبت به دیگر کاربری‌ها، ممکن است به دلیل عملیات سرشاخه‌زنی و مصون نماندن درختان و پوشش گیاهی از چرای دام باشد که سبب کاهش پوشش سطحی زمین و در پی آن افزایش برخورد مستقیم قطرات باران بر سطح خاک شده و در نتیجه افزایش فرسایش پذیری بیشتر این اراضی را موجب شده است (Lizaga et al., 2019). نتایج نشان داد که در اراضی مختلف، خاک‌های جنگل کمتر دست‌خورده نسبت به اراضی زراعی و جنگل بهره‌بردار شده، کربن آلی بیشتری داشتند. به طور کلی مقدار کربن آلی خاک به عوامل محیطی مانند اقلیم، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و مدیریت بستگی دارد (Menati et al., 2019)، اما نقش مدیریت در پویایی کربن آلی خاک از سایر عوامل پررنگ‌تر است و با تغییر مدیریت اراضی مقدار آن تغییر معنی‌داری می‌یابد.

ارتباط بین مشخصه‌های زیستی خاک با مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی و مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۳ ارائه شده است. به طور کلی همبستگی بین متغیرهای مختلف از لحاظ شدت و جهت با یکدیگر از روند یکسانی تبعیت می‌کنند. برای مثال همبستگی قوی و در جهت مثبت بین عمق لاشبرگ و درصد لاشبرگ ($R = 0.964$; $P < 0.01$) و عمق لاشبرگ با نسبت کربن به نیتروژن ($R = 0.720$; $P < 0.01$) وجود دارد که نشان می‌دهد این ویژگی‌ها به هم وابسته‌اند و از یک روند تبعیت می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که تراکم کرم‌های خاکی همبستگی معنی‌دار و مثبتی با درصد تاج‌پوشش ($P \leq 0/01$) و همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد سنگریزه و درصد بیرون‌زدگی خاک ($P \leq 0/01$) در سطح عرصه مورد بررسی دارد. زیست‌توده کرم‌های خاکی نیز با مشخصه‌های مواد آلی، نیتروژن و رطوبت خاک همبستگی مثبت معنی‌دار و با درصد بیرون‌زدگی خاک همبستگی معکوس معنی‌داری دارد. افزون بر این، بین تعداد کرم‌های خاکی با زیست‌توده آنها همبستگی معنی‌دار و مثبتی در سطح یک درصد وجود دارد (جدول ۳).

بحث

مشخصه‌های خاک در کاربری‌های مختلف

مطالعه اثر نوع کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک اهمیت بسزایی در برنامه‌ریزی و دستیابی به مدیریت پایدار و بهبود کیفیت آنها دارد، زیرا تغییر کاربری اراضی منابع مغذی خاک را در طول یک دامنه یا منطقه تغییر می‌دهد (Jafarian et al., 2011). نتایج این بررسی نشان داد که اندازه نسبی ذرات تشکیل‌دهنده خاک در کاربری‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت. در واقع می‌توان گفت به دلیل نزدیک بودن نقاط نمونه‌برداری و یکسان بودن سایر شرایط (اقلیم، زمان و توپوگرافی) مواد مادری اراضی

جدول ۳- نتایج همبستگی پیرسون (سطح معنی‌داری) بین فراوانی تراکم و زیست‌توده کرم خاکی با مشخصه‌های خاک

	SOC	N	C/N	P	K	pH	EC	M	GP	Clay	Sand	Silt	TC	LC	LD	R	Ew-D	Ew-B
SOC	1																	
N	0.540**	1																
C/N	0.331*	-0.576**	1															
P	0.235	0.439**	-0.349*	1														
K	-0.054	0.367*	-0.471*	0.199	1													
pH	-0.267	-0.386*	0.249	-0.282	-0.209	1												
EC	0.392*	0.655**	-0.383*	0.417**	0.277	-0.336*	1											
M	0.656**	0.673**	-0.087	0.255	0.258	-0.481**	0.557**	1										
GP	0.110	-0.169	0.313*	-0.188	-0.285	0.113	-0.189	-0.087	1									
Clay	-0.075	0.087	-0.062	-0.136	0.088	0.102	0.037	-0.012	-0.076	1								
Sand	-0.079	-0.236	0.100	0.108	-0.078	-0.010	-0.107	-0.133	0.209	-0.885**	1							
Silt	0.275	0.352*	-0.111	-0.017	0.028	-0.132	0.164	0.290	-0.314*	0.308	-0.715**	1						
TC	0.414**	-0.154	0.499**	0.046	-0.228	0.181	-0.008	-0.118	-0.041	-0.022	-0.035	0.105	1					
LC	0.501**	0.241	0.695**	-0.020	-0.433**	-0.142	-0.059	0.067	0.091	-0.198	0.119	0.055	0.689**	1				
LD	0.415**	-0.318*	0.720**	-0.070	-0.449**	-0.007	-0.077	-0.001	0.007	-0.205	0.131	0.039	0.698**	0.964**	1			
R	-0.467**	-0.407**	-0.007	-0.338*	-0.192	0.070	-0.246	-0.427**	0.445**	0.105	-0.021	-0.114	-0.234	-0.286	-0.284	1		
Ew-D	0.304	0.265	-0.019	0.269	0.164	-0.110	0.192	0.224	-0.400*	0.143	-0.243	0.283	0.398*	0.233	0.198	-0.348*	1	
Ew-B	0.427**	0.326*	0.068	0.152	0.095	-0.137	0.134	0.435**	-0.054	0.049	-0.120	0.172	0.242	0.243	0.225	-0.379*	0.430**	1

SOC: Soil Organic Matter, N: Nitrogen, C/N: Carbon to Nitrogen ratio, P: Phosphorus, K: Potassium, EC: Electrical Conductivity, M: Moisture, GP: Gravel Percent, TC: Tree Cover, LC: Litter Cover, LD: Litter Depth, R: Rock (Percent), Ew-D: Earthworm Density, Ew-B: Earthworm Biomass, *significant at $\alpha = 0.05$, **significant at $\alpha = 0.01$

می‌یابد (Khatirpasha et al., 2018). با تغییر کاربری جنگل به باغ و زراعت آبی مقدار پتاسیم قابل جذب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری با دیگر کاربری‌ها داشت. علت افزایش را می‌توان به آبیاری‌های طولانی‌مدت و فرایندهای کودپاشی نسبت داد، چراکه مواد آلی موجود در این خاک‌ها موجب جذب سطحی این عناصر می‌شود و از فرسایش آنها جلوگیری می‌کند. (Lemenih et al. (2005) نیز طی پژوهشی که در ارتفاعات جنوب اتیوپی انجام دادند، گزارش دادند که مقدار پتاسیم قابل جذب خاک به بیش از ۳۵۶ درصد طی ده سال نخست پس از تغییر کاربری اراضی جنگلی افزایش یافته است که این افزایش به دلیل کوددهی بوده است. بیشتر بودن نسبت C/N (کمتر بودن تجزیه‌پذیری مواد آلی) در جنگل بهره‌برداری‌شده نسبت به سایر کاربری‌ها به دلیل تجمع زیاد مواد آلی در این لایه از خاک و تجزیه‌پذیری کمتر بقایای گیاهی است (Aduagna & Abegaz., 2016; Khatirpasha et al., 2018). Caravaca et al. (2003) در پژوهش خود عنوان کردند اراضی کشت‌شده دارای نسبت C/N کمتری (۱۲/۱) نسبت به اراضی طبیعی (۱۵/۹) بودند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. ایشان بیان کردند این امر ممکن است ناشی از افزودن کودهای نیتروژن‌دار و تفاوت در کیفیت پوشش گیاهی این خاک‌ها باشد. واکنش خاک در کاربری جنگل بهره‌برداری‌شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از زراعت آبی و جنگل کمتر دست‌خورده بود، اما با باغ تفاوتی نشان نداد. (Rasouli-Sadaghiani et al. (2016) گزارش کردند که واکنش خاک در کاربری باغ بیش از کاربری‌های زراعی و مرتعی است که از دلایل این موضوع می‌توان به ورود املاح قلیایی ناشی از آبیاری، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی اشاره کرد. نتایج نشان داد هدایت الکتریکی جنگل بهره‌برداری‌شده به‌طور معنی‌داری کمتر از سه کاربری دیگر بود. این افزایش ممکن است به دلیل تاج‌پوشش بسته درختان و

Gholami et al. (2016) در پژوهش خود گزارش کردند که کربن آلی در اراضی جنگلی معادل ۵/۹۹ درصد و در اراضی زراعی معادل ۲/۲۶ درصد بوده است. تجمع بیشتر کربن آلی در خاک جنگل کمتر دست‌خورده به دلیل زیست‌توده بیشتر درختان و بازگشت زیاد بقایای گیاهی به سطح خاک و همچنین پوشش زیر اشکوب مناسب با سیستم ریشه‌ای سطحی و افشان در این کاربری، سبب بیشتر بودن درصد کربن آلی خاک نسبت به کاربری‌های دیگر شده است (Menati et al., 2019) که این نتایج با یافته‌های Jafarian et al. (2011) که عنوان کردند پوشش گیاهی می‌تواند کربن آلی خاک را به صورت چشمگیری افزایش دهد، همخوانی دارد. تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعت آبی و باغ، سبب افزایش معنی‌دار مقدار نیتروژن کل شد. این موضوع ممکن است از یک سو به دلیل کشت یونجه در اراضی آبی تحت کشت باشد که سبب افزایش نیتروژن در این خاک‌ها، به دلیل تثبیت زیستی از طریق ریشه‌های یونجه می‌شود و از سوی دیگر ممکن است ناشی از استفاده کشاورزان محلی از کودهای نیتروژن‌دار برای بهبود شرایط تولید محصولات باشد. در همین زمینه Qi et al. (2018) بیان داشتند که در اثر تغییر کاربری اراضی به باغ و زراعت در اثر کوددهی و آبیاری، مقدار نیتروژن کل در لایه‌های فوقانی خاک این اراضی افزایش یافته است. در این تحقیق، کمترین مقدار فسفر قابل جذب خاک (۲۴/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در کاربری جنگل بهره‌برداری‌شده مشاهده شد، در صورتی که کاربری‌های دیگر از نظر این متغیر در یک سطح آماری قرار گرفتند. به نظر می‌رسد کم بودن غلظت فسفر قابل دسترس در کاربری جنگل بهره‌برداری‌شده ممکن است به دلیل کاهش یا حتی حذف پوشش درختی در اثر قطع و سرشاخه‌زنی درختان باشد، زیرا به دلیل وابستگی مقدار فسفر به مواد آلی خاک به‌عنوان منبع غنی عناصر اصلی غذایی خاک، با کاهش ورودی مواد آلی به خاک قسمت عمده فسفر خاک نیز کاهش

دسترس (فسفر، پتاسیم و نیتروژن) به دلیل کوددهی و مقدار کمتر سنگریزه در اراضی باغی سبب افزایش تراکم کرم‌های خاکی در این خاک‌ها نسبت به خاک اراضی زراعی و جنگل بهره‌برداری شده است که این نتایج با نتایج پژوهش (Kherbouche et al., 2012) که اذعان داشتند کم بودن کشت و زرع در باغ‌ها نسبت به اراضی زراعی و همچنین استفاده بیشتر کشاورزان از کود (NPK) برای تأمین نیازهای مغذی محصول، سبب افزایش جمعیت کرم‌های خاکی می‌شود، همخوانی دارد (Chauhan., 2014). با این تفاسیر، در مناطقی که آشفستگی و تخریب کمتر باشد، تراکم جمعیت کرم‌های خاکی نیز بیشتر است و با حاصلخیزی خاک رابطه مستقیم دارد. کاهش چشمگیر تراکم و زی توده کرم خاکی در جنگل‌های بهره‌برداری شده را می‌توان به چرای دام در منطقه و همچنین برداشت مرتب شاخ و برگ‌های درختان که خود به کاهش زیاد عناصر مغذی خاک از جمله کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر می‌شود (Sadeghi et al., 2019) و همچنین افزایش سنگریزه‌ها و البته کاهش رطوبت در خاک آن نسبت داد (Moghimian et al., 2013; Chauhan., 2014; Sankar & Patnaik, 2018; Safaei et al., 2019). Briones and Schmidt (2017) نیز اظهار داشتند که مدیریت مواد آلی خاک تأثیر بسزایی در توسعه پایدار جمعیت کرم‌های خاکی و نقش آنها در احیای جنگل‌های تخریب شده دارد. همچنین Singh et al. (2016) در تحقیق خویش عنوان کردند که برخی از مشخصه‌های خاک از جمله کربن آلی، رطوبت و pH خاک می‌توانند بر پراکنش و حضور کرم‌های خاکی اثرگذار باشند.

نتایج ماتریس همبستگی پیرسون نشان داد که از بین شاخص‌های مورد بررسی، تراکم کرم‌های خاکی با درصد تاج‌پوشش درختان همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد. همسو با نتایج Kooch et al. (2010)، تراکم کرم‌های خاکی به

مقدار لاشبرگ بیشتر، رطوبت کافی به‌منظور ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تجزیه بقایای گیاهی و تخریب شیمیایی کانی‌ها در جنگل‌های کمتر دست‌خورده و همچنین کشت و زرع و کوددهی در اراضی دیگر باشد (Gholami et al., 2016; Mohmmadi Samani et al., 2020).

تراکم و زی توده کرم خاکی در کاربری‌های مختلف و ارتباط آن با مشخصه‌های خاک

بررسی‌ها نشان می‌دهد که آشفستگی و تخریب در جنگل‌های طبیعی به تغییر توزیع و ساختار جمعیت کرم‌های خاکی در سراسر اکوسیستم‌های خاکی جهان منجر شده است (Sankar & Patnaik, 2018). در پژوهش حاضر، جمعیت کرم‌های خاکی به‌طور چشمگیری در کاربری‌های تحت مطالعه متفاوت بود که با مشخصه‌های خاک در ارتباط‌اند. در واقع، نوع پوشش کاربری‌ها با ایجاد تفاوت در کمیت و کیفیت بقایای گیاهی و مشخصه‌های خاک، تغییرات معنی‌داری را در شدت فعالیت (تراکم و زی توده) کرم‌های خاکی به‌وجود آورده است. بنابر نتایج این پژوهش، بیشترین تراکم کرم‌های خاکی در کاربری جنگل کمتر دست‌خورده مشاهده شد که این موضوع می‌تواند در ارتباط با کیفیت خوب خاک به دلیل تراکم زیاد زی توده پیکره هوایی و تجمع بیشتر لاشریزه در کف جنگل (زیاد بودن سطوح رطوبت، فسفر، کربن آلی و مقدار کمتر سنگریزه) باشد که به تأمین غذا و فضای کافی و حفاظت آنها در برابر شکارچیان منجر می‌شود (Moghimian et al., 2013; Chauhan., 2014). این زمینه، Szlavec & Csuzdi (2007) بیان کردند ویژگی‌های آشکوب جنگل و لایه‌های فوقانی خاک (تراکم توده‌ای زیاد، pH کم، محتوای مواد آلی زیاد، لایه ارگانیک ضخیم و هوموس مور) شرایط ویژه‌ای را برای حفظ و افزایش جمعیت کرم‌های خاکی فراهم می‌کنند. مطابق با نتایج بررسی حاضر، مشاهده شد که کم بودن نسبت C/N و زیاد بودن عناصر غذایی در

بیرون زدگی خاک با زی توده و وفور کرم‌های خاکی و همچنین درصد سنگریزه خاک با تراکم کرم‌های خاکی، حاکی از آثار منفی افزایش درصد بیرون زدگی و درصد سنگریزه خاک بر کاهش جمعیت کرم‌های خاکی است که این موضوع از یک سو سبب کاهش مقدار مواد آلی و به تبع آن کاهش عناصر مغذی و ظرفیت نگهداری آب خاک شده و از سوی دیگر موجب آسیب فیزیکی به بدن کرم‌های خاکی می‌شود (Arai et al., 2018).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص‌های کیفیت خاک (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) تحت تأثیر نوع کاربری و مدیریت اراضی قرار دارند، به‌طوری که نوع و شدت تغییرات ایجادشده در شاخص‌های کیفیت خاک کاربری‌های مورد مطالعه متفاوت بود. در این زمینه می‌توان گفت که تغییر کاربری اراضی و بهره‌برداری بیش از حد مجاز از جنگل‌ها، با برهم‌زدن تعادل طبیعی حاکم بر منطقه که طی سالیان متمادی به‌وجود آمده است، سبب تغییر در ویژگی‌های خاک و در پی آن، تغییر کیفیت خاک و متعاقباً تراکم و زی توده کرم‌های خاکی می‌شود. تغییر کاربری اراضی و بهره‌برداری از شاخ و برگ درختان جنگلی، سبب ایجاد تغییرات معنی‌داری در بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی (درصد سنگریزه و درصد رطوبت)، شیمیایی (نیترژن، C/N، پتاسیم، pH، کاهش کربن آلی خاک، افزایش فسفر و هدایت الکتریکی) و زیستی (کاهش تراکم و زیست توده کرم خاکی) اندازه‌گیری‌شده در خاک کاربری‌های مختلف شد، به‌صورتی که در بخش کشاورزی با آبیاری و کوددهی، بخشی از این کاستی‌ها جبران شده است، اما بخش جنگل بهره‌برداری‌شده، دچار بیشترین کاستی‌ها شده است. از این‌رو، می‌توان گفت که هر گونه بهره‌برداری در جنگل (گلازنی و گلابری) و تغییر کاربری، سبب کاهش کیفیت زیستی خاک شده است. اما به‌دلیل

تاج‌پوشش درختان وابسته است، به‌نحوی که هرچه سطح تاج‌پوشش بیشتر باشد، خرداقلیم حاصل از سایه درختان شرایط مناسبی را برای حضور و فعالیت بیشتر کرم‌های خاکی ایجاد می‌کند. Rajapaksha et al. (2013) نیز در تحقیقات خود اظهار کردند که تاج‌پوشش متراکم‌تر و لایه لاشبرگ ضخیم‌تر به‌طور مستقیم موجب بهبود زیستگاه برای کرم‌های خاکی از طریق تأمین مواد غذایی و به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر مثبت بر محتوای رطوبت خاک می‌شوند. به‌طور کلی، ماده آلی خاک منبع اصلی مواد مغذی و عامل محدودکننده در تعیین فراوانی و توزیع جمعیت کرم‌های خاکی به‌شمار می‌آید (Chauhan, 2014). همان‌طور که نتایج نشان داد، همبستگی معنی‌دار و مثبتی میان زی توده کرم‌های خاکی با کربن آلی، نیترژن و رطوبت خاک مشاهده شد. به‌طوری که تجمع کربن آلی در خاک علاوه بر تولید مهم‌ترین عناصر غذایی از جمله نیترژن خاک، با کاهش برخورد اشعه خورشید بر سطح خاک درجه حرارت خاک را کاهش داده و به‌طور غیرمستقیم ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش خواهد داد که شرایط مناسبی را برای رشد و نمو کرم‌های خاکی فراهم می‌کند. در این زمینه، Nurhidayati et al. (2011) در بررسی تأثیر مدیریت درازمدت اکوسیستم‌های جنگلی بر تنوع و تراکم کرم‌های خاکی نشان داد که با افزایش ۲۵ درصد کربن آلی، تراکم و زی توده کرم‌های خاکی به‌ترتیب ۶۴ و ۸۳ درصد افزایش یافت. همچنین با افزایش نیترژن کل خاک تا ۲۵ درصد، تراکم و زی توده کرم‌های خاکی ۷۹ و ۷۵ درصد روند افزایشی داشت. همسو با نتایج تحقیق حاضر، Haynes et al. (2003) نیز بین تعداد کرم‌های خاکی با زی توده آنها همبستگی مثبت معنی‌داری گزارش دادند، به‌طوری که حضور بیشتر کرم‌های خاکی در یک نقطه موجب افزایش زی توده آنها در آن نقطه می‌شود. در مقابل همبستگی معنی‌دار و معکوس میان درصد

نقش مهمی در حاصلخیزی، تهویه و بازسازی خاک دارند، روی هم‌رفته، تراکم و زیست‌توده کرم‌های خاکی را می‌توان به‌عنوان شاخص زیستی مهمی در ارزیابی وضعیت کیفی خاک استفاده کرد و زمینه بهره‌گیری از این شاخص را در ارزیابی توان اکولوژیکی مناطق تحت مطالعه و عملکردهای مدیریتی مختلف، از نظر حفاظت و پایداری اکوسیستم‌ها فراهم آورد.

استفاده از کود و آبیاری در مناطق تحت کشت از یک سو و وجود شیب بسیار کم در منطقه از سوی دیگر، تغییرات تراکم و زیست‌توده کرم خاکی در مناطق زراعی آبی و باغ، کمتر از جنگل بهره‌برداری شده بود. بنابراین مدیریت نامناسب و تغییر کاربری صورت گرفته، تهدیدکننده کیفیت خاک در مناطق مورد پژوهش است. با توجه به اینکه کرم‌های خاکی،

References

- Arai, M., Miura, T., Tsuzura, H., Minamiya, Y., & Kaneko, N. (2018). Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. *Geoderma*, 332, 135-141.
- Adugna, A., & Abegaz, A. (2016). Effects of land use changes on the dynamics of selected soil properties in northeast Wellega, Ethiopia. *Soil Journal*, 2(1), 63-70.
- Ahmadi, T., & Bali, A. (2004). *soil science*, Sorkhdar Press, 166 p.
- Briones, M.J.I., & Alvarez-Otero, R. (2018). Body wall thickness as a potential functional trait for assigning earthworm species to ecological categories. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, 67, 26-34.
- Briones, M.J.I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23(10), 4396-4419.
- Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C., & McDaniel, P. A. (2011). *Soil Genesis and Classification*. Wiley-Blackwell.
- Cegielska, K., Noszczyka, T., Kukulskaa, A., Szylara, M., Hernika, J., Dixon-Gough, R., Jombach, S., Valanszki, I., & Kovacs, K.F. (2018). Land use and land cover changes in post-socialist countries: Some observations from Hungary and Poland. *Land Use Policy*, 78, 1-18.
- Caravaca, F., & Roldan, A. (2003). Effect of *Eisenia foetida* earthworms on mineralization kinetics, microbial biomass, enzyme activities, respiration and labile C fractions of three soils treated with a composted organic residue. *Biology and Fertility of Soils*, 38(1), 45-51.
- Chauhan, P. R. (2014). Role of earthworms in soil fertility and factors affecting their population dynamics: A Review. *International Journal of Research*, 6(1), 642-649.
- Coleman, D. C., Crossley, D. A., & Hendrix, P. F. (2004). *Fundamentals of Soil Ecology*, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, 386 p.
- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*, Springer Netherlands, 426p.
- Fattahi, M. (1994). The study of Zagros' oak forests and their main degradation causes. *Published by Research Institute of Forests and Rangelands*, Tehran, 63p
- Gholami, L., Davari, M., Nabiollahi, K., & Joneidi Jafari, H. (2016). Effect of land use changes on SOCe soil physical and chemical properties (Case study: Baneh). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3, 14-26.
- Habashi, H., Abbasi, A., Rahmani, R., & Moayeri, M. H. (2017). Estimation of earthworm biomass in canopy gaps and mixed beech forest. *Iranian Journal of Forest*, 1, 43-56.

- Haynes, R. J., Dominy, C. S., & Graham, M. H. (2003). Effect of agricultural land use on soil organic matter status and the composition of earthworm communities in KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(2), 453-464.
- Jourgholami, M., Ghassemi, T., & Labelle, E. R. (2019). Soil physio-chemical and biological indicators to evaluate the restoration of compacted soil following reforestation. *Ecological Indicators*, 101, 102-110.
- Jafarian, Z., Shabanzadeh, S., Kavian, A., & Shokri, M. (2011). Study Changes of Soil Physical and Chemical Characteristics in Three Adjacent Land Use Including Forest, Rangeland and Agricultural Land. *Journal of Reintegrate Natural Resource Research*, 2, 61-71.
- Jafari Haghighi, M. (2003). *Methods of Soil analysis, sampling and important physical and chemical analysis, Iran*, Nedaye Zoha Press, 236 p.
- Kooch, Y., Hosseini, S. M., Mohammadi, J., & Hojjati, S. M. (2010). The effects of gapdisturbance on soil chemical and biochemical properties in a mixed beech-hornbeam forest of Iran. *Ecologia Balkanika*, 2, 39-56.
- Kooch, Y., & Tavakoli Feizabadi, M. (2018). Study on soil detritivores and microbial activity in understory of broad-leaved pure and mixed stands in Caspian forests. *Iranian Journal of Forest*, 1, 98-100.
- Kherbouche, D., Bernhard-Reversat, F., Moali, A., & Lavelle, P. (2012). The effect of crops and farming practices on earthworm communities in Soummam valley, Algeria. *European Journal of Soil Biology*, 48, 17-23.
- Khatirpasha, N., Hojjati, S. M., Pourmajidiyan, M. R., & Asadiyan, M. (2018). Impact of land use change on physical, chemical and biological soil properties in the Qalek forest-Ghaemshahr city. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(6), 211-225.
- Lemenih, M., Karlton, M., & Olsson, M. (2005). Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 105, 373-38.
- Lizaga, I., Quijanob, L., Gaspara, L., Ramosc, M.C., & Navasa, A. (2019). Linking land use changes to variation in soil properties in a Mediterranean mountain agroecosystem. *Catena*, 172, 516-527.
- Marvi Mohajer, M. R. (2005). *Silviculture*, Tehran University of Tehran Press, 387 p.
- Mazouji, M. (2020). Earthworm abundance in different land uses in relation to some physical and chemical properties of the soil. M. Sc. *Thesis of Natural Resources, University of Kurdistan*, 115pp.
- 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.
- Mohmmadi Samani, K., Pordel, N., Hosseini, V., & Shakeri, Z. (2020). Effect of land-use changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak forests). *Journal of Forestry Research*, 31, 637-647.
- Menati, T., Bazgir, M., Rostaminy, M., & Mahdavi, A. (2019). Chemical and physical characteristics of oak forest soils in different climates in Ilam Province. *Iranian Journal of Forest*, 4, 449-460.
- Mulumba, L.N., & Lal, R. (2008). Mulching effect on selected soil physical properties. *Journal of Soil and Research*, 98(1), 106-111.
- Nurhidayati, A., Arisoelaningsih, E., Suprayogo, D., & Hairiah, K. (2011). Long-Term Impact of Conventional Soil Management to Earthworm Diversity and Density On Sugarcane Plantation in East Java, Indonesia. *Journal of Nature Studies*, 10(2), 16-25.

- Nanganoa, L.T., Okolle, J.N., Missi, V., Tueche, J.R., Levai, L.D., & Njukeng, J.N. (2019). Impact of Different Land-Use Systems on Soil Physicochemical Properties and Macrofauna Abundance in the Humid Tropics of Cameroon. *Applied and Environmental Soil Science*, 2(1), 1-9.
- Qi, Y., Chen, T., Pu, J., Yang, F., Shukla, M. K., & Chang, Q. (2018). Response of soil physical, chemical and microbial biomass properties to land use changes in fixed decertified land. *CATENA*, 160, 339-344.
- Rahmani, R., & Salehrastin, N. (2000). Abundance, vertical distribution and seasonal changes in earthworm abundance of oak-hornbeam, hornbeam and beech forests in Neka, Caspian forests, Iran. *Iranian Journal of Natural Resource*, 53, 37-52.
- Rajapaksha, N.S.S., Butt, K.R., Vanguelova, E.I., & Moffat, A.J. (2013). Effects of Short Rotation Forestry on earthworm community development in the UK. *Forest Ecology and Management*, 309, 96-104.
- Rasouli-Sadaghiani, M.H., Karimi, S., Khodaverdiloo, H., Barin, M., & Banj-Shafiei. A. (2016). Impact of forest ecosystem land use on soil physico-chemical and biological indices. *Iranian Journal of Forest*, 8(2): 167-178.
- Sadeghi, S., Mohammadi Samani, K., Hosseini, V., & Shakeri, Z. (2019). Effect of grazing intensity and type of livestock on physical and chemical properties of forest soil (case study: Baneh, Armardeh Forest). *Iranian journal of Forests and Poplar*. 27(3), 349-363.
- Salehi, A., Ghorbanzadeh, N., & Kahneh, E. (2013). Earthworm biomass and abundance, soil chemical and physical properties under different poplar plantations in the north of Iran. *Journal of Forest Science*, 59(6), 223-229.
- Sankar, A.S., & Patnaik, A. (2018). Impact of soil physico-chemical properties on distribution of earthworm populations across different land use patterns in southern India. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 70(50), 1-18.
- Szlavec, K., & Csuzdi, C. (2007). Land use change affects earthworm communities in Eastern Maryland, USA. *European Journal of Soil Biology*, 1(1):79-85.
- Schwarz, B., Dietrich, C., Cesarz, S., Scherer-Lorenzen, M., Auge, H., Schulz, E., & Eisenhauer, N. (2015). Non-significant tree diversity but significant identity effects on earthworm communities in three tree diversity experiments. *European Journal of Soil Biology*, 67, 17-26.
- Singh, S., Singh, J., & Vig, A.P. (2016). Effect of abiotic factors on the distribution of earthworms in different land use patterns. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 74, 41-50.
- Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M.R., & Jafari. R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177, 260-271.



Research Article

The variation in density and biomass of earthworms with physical and chemical properties of soil after forest land-use change

M. Mazouji¹, K. Mohammadi Samani^{2*} and V. Hosseini²

¹ M.Sc., Dept. of Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran

² Assistant prof., Dept. of Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran and the Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Baneh, I. R. Iran.

(Received: 30 December 2019, Accepted: 10 May 2020)

Abstract

The earthworm is considered as one of the most important ecological indicators in assessing the soil quality of the soil ecosystems. The aim of this research was the investigation of forest land-use changes on the earthworm's density and biomass related to the soil properties. For this purpose, 40 soil profile and earthworm samples were randomly taken from 0-25 cm in four different land-uses (Less-disturbed forest, disturbed forest, agricultural irrigated land (*Medicago sativa*) and orchard (*Pyrus sp.* and *Malus sp.*) in Baneh county forest's, Kurdistan province. The results showed that soil organic matter in different land uses decreased in all land uses compared to the less-disturbed (SOM=2.95 percent) forest. The disturbed forest dedicated the least amount of phosphorus and electrical conductivity than the other land uses. There were significant differences among other soil factors including nitrogen, C/N, potassium, pH, moisture, and gravel percent. In addition, the most and the least density of earthworms were belonged to the less-disturbed forest ($204.8/m^3$) and disturbed forest ($44.8/m^3$), respectively. In general, the density of earthworms showed a positive significant correlation with their biomass as well as canopy percent and negative significant correlation with gravel and the soil rock percent. Increasing of earthworm's biomass showed a positive significant correlation with the soil organic matter, nitrogen and moisture percent, and negative significant correlation with soil rock percent. As a conclusion, forest land-use changing and forest utilization have reduced the density of earthworms, which was decreased significantly in the disturbed forest and agricultural irrigated land compared to less-disturbed forest.

Keywords: Biological index, Land use change, Soil abiotic factors, Zagros forest.