تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۷ (ص۹۲۴-۹۱۵) DOI: 10.22059/ijswr.2018.244948.667783

اثرات آشفتگی ناشی از تغییر کاربری اراضی بر پویایی فعالیت کرم‌ها، نماتدهای خاکزی و تصاعد دی‌اکسیدکربن خاک سطحی در ناحیه نوشهر (مطالعه موردی: گردکوه صافک)

نگار مقیمیان[۱]، سید محسن حسینی*[۲]، یحیی کوچ[۳]، بهروز زارعی دارکی[۴]

۱. دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴. استادیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکدهٔ علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۶/ ۸/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۸/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۷/ ۱۱/ ۱۳۹۶)

چکیده

تغییر کاربری اراضی شمال ایران کیفیت خاک را در معرض تغییر قرار داده است. با هدف مطالعه اثر کاربری‌های مختلف جنگل طبیعی، جنگل مخروبه، جنگل‌کاری توسکا، جنگل‌کاری سکویا، آیش و اگروفارستری بارده بر مشخصه‌های زیستی خاک، منطقه جلگه‌ای شمال ایران مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور از شش کاربری ذکر شده تعداد ۳۰ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری گرفته شد. تعداد و زی‌توده گروه‌های اکولوژیک کرم‌خاکی، فراوانی نماتدهای خاکزی و میزان تصاعد دی‌اکسیدکربن در طول چهار فصل از خاک سطحی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در محیط آزمایشگاه مورد سنجش قرار گرفت. مقادیر بیشینه تعداد کرم‌های خاکی (سه تعداد در مترمربع)، زی‌توده کرم‌های خاکی (۳۸/۷۶ میلی‌گرم بر مترمربع)، فراوانی نماتدها (۴۵۷ تعداد در ۱۰۰ گرم خاک) و تصاعد دی‌اکسیدکربن (۰/۴۷ میلی‌گرم بر گرم خاک-روز) به کاربری توسکا تعلق داشت. در تمام کاربری‌های مورد بررسی، هر سه گروه از کرم‌های خاکی و نماتدها بیشترین فعالیت را به طور مشترک در فصل بهار و پاییز داشتند در حالی‌که بیشترین مقدار تصاعد دی‌اکسیدکربن در فصل تابستان ثبت شد. تحلیل PCA حاکی از بیشترین تأثیر مثبت مشخصه‌های اسیدیته، نیتروژن و عناصر غذایی بر فعالیت موجودات خاکزی می‌باشد. به عنوان نتیجه می‌توان اذعان داشت که جنگل‌کاری با گونه توسکا راه‌کار مناسبی جهت بهبود شاخص‌های زیستی و حفظ کیفیت خاک در مناطق تخریب شده شمال کشور با شرایط مشابه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اگروفارستری، پارامترهای زیستی، جنگل طبیعی، جنگل‌کاری

مقدمه

آشفتگی‌های ناشی از جنگل‌زدایی و تبدیل آن‌ها به سایر کاربری‌ها تغییرکیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را به همراه داشته است. اولین و آشکارترین اثر تغییر کاربری اراضی تغییر نوع پوشش گیاهی اکوسیستم است که ممکن است در دراز مدت بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک آثاری مثبت و یا منفی داشته باشد (Beheshti *et al.*, 2011). تأثیر انواع مختلف کاربری اراضی بر روی کیفیت خاک و تفسیر تغییرات مشاهده شده را می‌توان به‌واسطه اندازه‌گیری مشخصه‌های خاک ارزیابی کرد. در این میان میکروارگانیسم‌ها توانایی ویژه‌ای در سنجش کیفیت و سلامت خاک دارند و سریعاً به تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند. تغییراتی که در کوتاه مدت در سلامت خاک ایجاد می‌شود توسط پارامترهای فیزیکی و شیمیایی قابل سنجش نیستند. این پارامترها در دراز مدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند ولی فون (میکرو، مزو و ماکرو) خاک، پارامترهای زیستی و اکوفیزیولوژیک سریعاً تحت تأثیر قرار گرفته و با اندازه‌گیری آنها می‌توان به میزان و نوع تغییرات در اکوسیستم خاک پی برد (Wu *et al.*, 2016; Angst *et al.*, 2017; Tolfa *et al.*, 2017). کاربری‌ها با پوشش مختلف به‌طور مستقیم، با ورود لاشبرگ از طریق تفاوت در محتوی مواد آلی خاک، کیفیت زیستگاه (میزان رطوبت، اسیدیته، وضعیت عناصر غذایی)، اثر بر خاکشویی و شیوه مدیریت کاربری و به‌طور غیرمستقیم با تغییر ویژگی‌های خاک باعث تغییر بر فراوانی و ساختار جمعیت کرم‌های خاکی می‌شود. از طرف دیگر تغییر فصل نیز بر میزان رطوبت و حرارت و به تبع آن فراوانی کرم‌های خاکی تأثیرگذار است (Schwarz *et al.*, 2015; Johnston *et*

* نویسنده مسئول: Hosseini@modares.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

al., 2014). کرم‌های خاکی بر اساس تفاوت در قدرت حفاری، شیوه تغذیه و حضور در لایه‌های مختلف خاک به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. گونه‌های اندوژئیک و آنسئیک از کرم‌های خاکی با قدرت هستند که قدرت حفاری زیادی دارند، از این‌رو قادرند به قسمت‌های عمیق‌تر خاک مهاجرت کرده و از خشکی خاک دوری کنند؛ بنابراین، این گونه‌ها در برابر تغییرات کوتاه مدت مشخصه‌های خاک بردبارتر هستند. این درحالی است که گونه‌های اپی‌ژئیک قادر به حفاری لایه‌های زیرین خاک نبوده و بیش‌تر در قسمت‌های سطحی خاک حضور دارند؛ بنابراین این گونه‌ها به تغییر و تحول مشخصه‌های خاک حساس‌تر می‌باشند (Cristhy Buch *et al*., 2017). فعالیت‌های زیستی کرم خاکی بیانگر قابلیت تولید رویشگاه بوده و معیار مناسبی برای ارزیابی عملکرد مدیریت جنگل از نظر حفاظت و پایداری اکوسیستم می‌باشد.

نماتدها به عنوان مهمترین گروه از مزوفون‌های خاک شناخته شده‌اند (Sileshi and Mafongoya, 2006). نماتدهای خاک در زنجیره ریزه‌خواری نقش مهمی دارند و بر چرخه میکروبی خاک و قابلیت دسترسی مواد غذایی گیاهی تأثیر زیادی دارند، به‌همین جهت به عنوان فاکتور مهم برای انتقال دادن کربن به سطوح غذایی بالاتر شناخته شده‌اند. نتایج آزمایشگاهی و بررسی‌های عرصه‌ای نشان می‌دهد که نماتدها از باکتری‌ها و قارچ‌ها تغذیه کرده و نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی دارند و در نتیجه مواد مغذی را در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (Lamberti, 2012). فراوانی نماتد خاک می‌تواند اطلاعات مهمی درباره نقش و اهمیت پوشش کاربری در اختیار محقق قرار دهد (Yeates, 2007). بسیاری از پارامترها نظیر نوع کاربری، فصل، گونه درختی، مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک، عمق لاشبرگ و مدیریت جنگل نقش تعیین کننده‌ای در توزیع و فراوانی نماتدهای خاکزی در اکوسیستم‌های جنگلی دارند (Cesarz *et al*., 2013). فعالیت موجودات خاکزی در مناطق معتدله به شدت تحت تأثیر فصل قرار دارد (Kooch *et al*., 2017). در کاربری‌های مختلف، حضور انواع پوشش‌ها می‌توانند به‌صورت مستقیم و یا با تأثیر بر سایر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بر جمعیت نماتدهای خاکزی اثرگذار باشند، از این‌رو جمعیت نماتدهای خاکزی، پارامتر مناسبی جهت ارزیابی زیستی کیفیت خاک در رویشگاه‌های جنگلی می‌باشد (Eisenhauer *et al*., 2013; Schwarz *et al*., 2015). تنفس خاک (تصاعد دی‌اکسیدکربن) از شاخص‌های حساس کیفیت خاک به تغییر کاربری اراضی و فصل به شمار می‌آید و تعیین کننده میزان و سرعت خروج کربن از خاک است (Sileshi and Mafongoya, 2006). کاربری‌ها با پوشش‌های مختلف با تأثیر بر کمیت و کیفیت لاشبرگ تولیدی بر تنفس خاک اثرگذار می‌باشند (Weand *et al*., 2010). تنفس میکروبی، به عنوان شاخصی برای فعالیت میکروفون‌های خاک، بیانگر فرآیندهای متوالی و موازی واکنش‌های شیمیایی تجزیه مواد آلی که توسط فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک صورت می‌گیرد، می‌باشد (Kooch *et al*., 2017). جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در فصول مختلف تغییرات زیادی داشته و وابسته به فاکتورهای متعددی می‌باشد. رطوبت، دما، قابلیت دسترسی به مواد غذایی، ساختمان، ذخیره کربن خاک، نوع پوشش گیاهی، مدیریت و کاربری اراضی از جمله عواملی هستند که بر تنفس مؤثر می‌باشند (Tian *et al*., 2010). بعنوان مثال تغییر کاربری و تبدیل آن به کاربری آیش باعث کاهش ورود بقایای گیاهی تازه به خاک و در نتیجه کاهش تنفس می‌گردد. این بقایا شامل مقادیر قابل توجهی از ترکیباتی هستند که به راحتی تجزیه می‌شوند و مورد استفاده ریزجانداران قرار می‌گیرند. کاهش ذخایر کربن قابل دسترس در خاک سبب کاهش توده زنده میکروبی و فعالیت ریزجانداران در خاک می‌شود (Beheshti *et al*., 2011).

به‌طور کلی ویژگی‌های زیستی خاک در مقایسه با سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به دلیل حساس بودن به کوچک‌ترین دگرگونی ایجاد شده، تحت تأثیر کاربری‌های مختلف، به‌عنوان شاخص‌های مناسبی برای بررسی کیفیت و سلامت خاک در اکوسیستم‌های شمالی مورد توجه می‌باشند. با توجه به اهمیت شناخت و مطالعه فون‌های خاک در کاربری‌ها، در این پژوهش به بررسی پویایی تنفس میکروبی (شاخص فعالیت میکروفون‌های خاک)، جمعیت نماتدهای خاکزی (شاخص مزوفون خاک) و کرم‌های خاکی (شاخص ماکروفون خاک) در شش کاربری غالب و متداول در ناحیه خزری شامل جنگل طبیعی ممرز-انجیلی، جنگل مخروبه با گونه‌های ممرز و انجیلی، جنگل‌کاری توسکا، جنگل‌کاری سکویا، آیش رها شده، اگروفارستری بارده پرداخته شد تا در نهایت رابطه منطقی بین تنوع ارگانیسم‌های خاکزی و نوع کاربری‌های مورد بررسی، حاصل گردد.

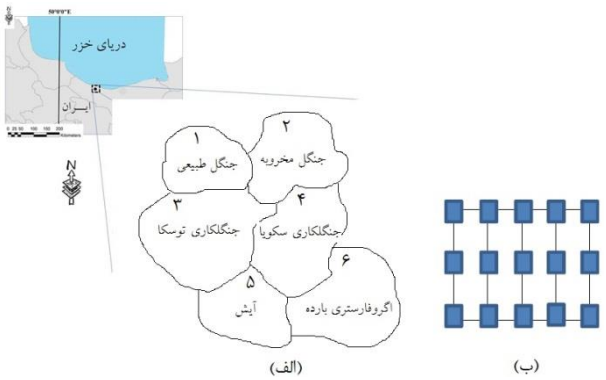
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های سری یک گردکوه صافک در شمال‌غربی حوزه ۳۸ سردآبرود پایین درحوزه استحفاظی اداره منابع طبیعی شهرستان کلارآباد و اداره کل منابع طبیعی استان مازندران-

Archive of SID
www.SID.ir

نوشهر قرار گرفته است (شکل ۱.الف). منطقه مورد مطالعه بین عرض″۳۰ ′۳۷ °۳۶ تا ″۵۲ ′۴ °۳۶ و طول جغرافیایی″۵۰ ′۷ °۵۱ تا″۵۱ ′۱۲ °۵۱ قرار دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۵۰ متر و حداکثر ۱۴۴ متر و شیب منطقه بین (٪۵-۰) می‌باشد. بر اساس ایستگاه هواشناسی مستقر در منطقه خشکه‌داران که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، متوسط دمای سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۱۳۰۰ میلی‌متر و فصل خشک از خرداد تا مردادماه می‌باشد (بر مبنای دوره ده ساله ۱۳۹۴- ۱۳۸۴). بافت خاک لومی- سیلتی- شنی است. گونه‌های طبیعی غالب در منطقه شامل بلوط بلندمازو، آزاد، انجیلی، ممرز، خرمندی و شمشاد است که در طول ۲۷ سال گذشته قسمتی از سطح جنگل‌های طبیعی از بین رفتند و بعد از قطع یکسره جنگل‌کاری (۳×۳ متر) با بعضی گونه‌های بومی مثل توسکا ییلاقی (۲/۱۰ هکتار)، افرا (۱/۷۲ هکتار)، گونه غیر بومی سوزنی برگ سکویا (۵/۸۹ هکتار) و توده‌ی آمیخته افرا و سکویا (۴/۸۷ هکتار) انجام شد. در بعضی از قسمت‌های منطقه جنگل‌کاری صورت نگرفته و پوشش جنگل‌های مخروبه انجیلی- ممرز (۵/۶۳ هکتار)، آیش رها شده (۴/۶۹ هکتار) و اگروفارستری بارده (۳/۴۹ هکتار) دیده می‌شود (Moghimian *et al.*, 2017).



شکل ۱. موقعیت کاربری‌های مورد مطالعه در شمال ایران (الف) و طرح شماتیکی از نحوه نمونه‌برداری خاک (ب) در هر کاربری

نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی

پس از بازدید و شناسایی دقیق کاربری‌ها، مساحت ۱/۵ هکتار (۱۵۰×۱۰۰ متر) با شرایط فیزیوگرافی (شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) و مواد مادری مشابه از شش کاربری انتخاب شد. نمونه‌های خاک از سطح ۲۵× ۲۵ سانتی‌متر (ابتدا، میانه و انتها) مستقر بر پنج ترانسکت موازی به مرکزیت کاربری‌ها جمع‌آوری شد (شکل ۱.ب). لازم به ذکر است که طول هر ترانسکت صد متر در نظر گرفته شده است. ابتدا پانزده نمونه از هر کاربری از عمق ۱۰- ۰ سانتی‌متری برداشت و در نهایت سه نمونه در هر ترانسکت با هم مخلوط شدند و از هر کاربری پنج نمونه ترکیبی حاصل شد. در مجموع ۳۰ نمونه خاک (۶ کاربری × ۵ تکرار) از کاربری‌ها برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد (Moghimian *et al.*, 2017). بخشی از نمونه‌های خاک جهت انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی، پس از خشک شدن در هوا از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. جرم ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک (درصد اجزاء تشکیل دهنده خاک) با استفاده از روش هیدرومتری، رطوبت خاک به روش توزین، واکنش خاک به روش پتانسیومتری از طریق دستگاه pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی با استفاده از EC سنج، کربن آلی به روش والکلی‌بلاک، ازت کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم، کلسیم و منیزم قابل جذب با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اتمی اندازه‌گیری شد (Jafari haghighi, 2003). با توجه به اهمیت فصل‌های مختلف و تغییرپذیری بالای مشخصه‌های زیستی در طول سال فعالیت زیستی در چهار ماه از فصل‌های سال (اردیبهشت، مرداد، آبان، بهمن) مورد بررسی قرار گرفت. کرم‌های خاکی به روش دستی جمع‌آوری و بر اساس ویژگی‌های ظاهری‌شان (گروه‌های اکولوژیک اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک) شناسایی و شمارش شدند. زی‌توده کرم‌های خاکی به تفکیک هر گروه با توجه به وزن آنها بعد از ۴۸ ساعت خشک و روی کاغذهای فیلتر در آزمایشگاه مشخص شد (Kooch *et al.*, 2017). به‌منظور سنجش تعداد نماتدهای خاکزی، مقدار ۱۰۰ گرم از نمونه خاک انتخاب و با استفاده از تکنیک قیف بیرمن، سری الک‌ها و سانتریفیوژ، جداسازی و شمارش گردید و بر اساس وزن خشک خاک تعداد آنها در ۱۰۰ گرم خاک خشک محاسبه شد (Neher *et al.*, 2005). نمونه‌ها برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی پس از برداشت از عرصه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد و به روش بطری بسته (Alef, 1995) در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید.

تجزیه آماری داده‌ها

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون شاپیرو- ویلک و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. از تجزیه واریانس یک طرفه برای مقایسه مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک در کاربری‌ها استفاده شد. به‌منظور مطالعه تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های زیستی در ارتباط با نوع کاربری و فصل نمونه‌برداری از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه استفاده شد. آزمون توکی ($p < ۰/۰۵$)

Archive of SID

www.SID.ir

نیز به‌منظور مقایسه چندگانه میانگین‌ها بکار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت (IBM Corp, 2011). کلیه شکل‌ها در نرم‌افزار اکسل ترسیم شدند. همچنین به منظور انجام آنالیز چند متغیره و تعیین ارتباط مقادیر مشخصه‌های زیستی با مشخصه-های فیزیکیوشیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصله در برنامه PC - ORD تحت Windows مورد بررسی قرار گرفت (Mc Cune and Mefford, 1999).

نتایج

مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک

از میان مشخصه‌های اندازه‌گیری شده، تمام پارامترها، بجز رس خاک بطور معنی‌دار متأثر از نوع کاربری بوده‌اند. بیشترین مقادیر مشخصه جرم مخصوص ظاهری به کاربری‌های آیش و اگروفارستری تعلق داشته است. بطور مشابه، بیشترین مقادیر مشخصه شن نیز به دو کاربری فوق‌الذکر و جنگل مخروبه اختصاص داشت. جنگل طبیعی، جنگل‌کاری سکویا، توسکا، مخروبه، اگروفارستری و آیش به ترتیب حاوی بیشترین تا کمترین محتوی سیلت بوده‌اند. بالاترین مقدار مشخصه رطوبت خاک در جنگل‌کاری توسکا دیده شد و کمترین مقدار این مشخصه به کاربری‌های آیش و اگروفارستری تعلق داشته است. همچنین جنگل‌کاری توسکا دارای محتوی pH، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم بیشتری نسبت به سایر کاربری‌هاست در حالی‌که بالاترین مقادیر کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن به جنگل‌کاری سکویا اختصاص داشته است. بیشترین مقدار پتاسیم قابل جذب خاک نیز در کاربری توسکا و جنگل طبیعی بطور مشترک مشاهده شد (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک فصل تابستان در کاربری‌های مختلف

مشخصه خاک	جنگل طبیعی	جنگل مخروبه	جنگل‌کاری توسکا	جنگل‌کاری سکویا	آیش	اگروفارستری بارده	مقدارF	معنی‌داری
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی-متر مکعب)	۱/۲۴ (۰/۰۰^{b})	۱/۲۵ (۰/۰۲^{b})	۱/۲۷ (۰/۰۲^{b})	۱/۳۴ (۰/۱۳^{ab})	۱/۴۹ (۰/۰۱^{a})	۱/۴۶ (۰/۰۱^{a})	۳/۹۱۴	۰/۰۱۰
شن (درصد)	۱۷/۸۰ (۰/۷۳^{b})	۲۴/۶۰ (۰/۶۷^{a})	۱۸/۴۰ (۱/۴۳^{b})	۲۰/۶۰ (۰/۶۷^{b})	۲۷/۰۰ (۲/۰۷^{a})	۲۴/۴۰ (۱/۱۶^{a})	۹/۱۴۷	۰/۰۰۰
سیلت (درصد)	۴۷/۸۰ (۱/۲۰^{a})	۴۳/۸۰ (۱/۷۴^{ab})	۴۶/۸۰ (۱/۴۲^{a})	۴۷/۲۰ (۱/۴۹^{a})	۴۲/۴۰ (۱/۳۶^{b})	۴۱/۴۰ (۰/۶۷^{b})	۴/۰۰۹	۰/۰۰۹
رس (درصد)	۳۵/۲۰ (۱/۳۱)	۳۲/۲۰ (۱/۰۱)	۳۵/۲۰ (۰/۴۸)	۳۲/۸۰ (۱/۱۵)	۳۱/۴۰ (۱/۶۰)	۳۵/۰۰ (۱/۲۲)	۲/۰۶۸	۰/۱۰۵
رطوبت (درصد)	۲۴/۴۷ (۰/۹۶^{abc})	۲۳/۰۰ (۱/۲۷^{bc})	۲۶/۶۵ (۱/۶۱^{a})	۲۵/۴۲ (۰/۳۵^{ab})	۲۱/۲۵ (۱/۲۹^{c})	۲۱/۲۷ (۰/۲۱^{c})	۴/۲۲۶	۰/۰۰۷
pH	۶/۹۱ (۰/۰۲^{b})	۶/۸۵ (۰/۰۰^{c})	۷/۰۹ (۰/۰۱^{a})	۶/۲۷ (۰/۰۲^{d})	۶/۳۱ (۰/۰۱^{d})	۶/۳۱ (۰/۰۰^{d})	۳۹۳/۶۶۳	۰/۰۰۰
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۹۲ (۰/۰۱^{bc})	۰/۹۱ (۰/۰۱^{bc})	۱/۲۴ (۰/۰۱^{a})	۰/۷۷ (۰/۰۱^{c})	۱/۱۳ (۰/۰۱^{ab})	۰/۷۲ (۰/۱۸^{c})	۷/۳۹۷	۰/۰۰۰
کربن آلی (درصد)	۲/۳۵ (۰/۰۳^{b})	۲/۰۶ (۰/۰۵^{c})	۱/۶۳ (۰/۰۴^{d})	۳/۲۴ (۰/۰۶^{a})	۰/۵۷ (۰/۰۱^{f})	۰/۹۹ (۰/۰۰^{e})	۵۳۴/۹۵۶	۰/۰۰۰
نیتروژن کل (درصد)	۰/۲۴ (۰/۰۰^{b})	۰/۲۱ (۰/۰۰^{c})	۰/۳۵ (۰/ ۰۰^{a})	۰/۱۴ (۰/۰۰^{d})	۰/۱۳ (۰/۰۰^{d})	۰/۲۲ (۰/۰۰^{c})	۲۶۲/۵۴۵	۰/۰۰۰
نسبت کربن به نیتروژن	۹/۷۸ (۰/۰۰ ^{b})	۹/۷۱ (۰/ ۰۲^{c})	۴/۶۱ (۰/۰۴^{d})	۲۳/۴۷ (۰/۰۰^{a})	۴/۵۱ (۰/۰۰^{e})	۴/۵۲ (۰/۰۰^{e})	۱۱۱۷۷۳/۹۸۹	۰/۰۰۰
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۲/۶۷ (۰/۰۰ ^{b})	۶/۵۵ (۰/۰۱ ^{d})	۱۳/۲۷ (۰/۲۵ ^{a})	۶/۳۰ (۰/۰۱ ^{d})	۶/۳۰ (۰/۰۱ ^{d})	۸/۶۱ (۰/۰۲ ^{c})	۹۱۷/۰۸۷	۰/۰۰۰
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۸۹/۲۰ (۲۷/۸۹ ^{a})	۲۰۷/۶۰ (۱۷/۲۴ ^{b})	۲۹۵/۰۰ (۲۶/۰۱ ^{a})	۲۳۲/۶۰ (۱۷/۶۲^{ab})	۲۲۰/۰۰ (۲۰/۱۷ ^{b})	۲۳۸/۲۰ (۵/۶۷ ^{ab})	۳/۱۸۹	۰/۰۲۴
کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۸۵/۸۰ (۲/۴۷ ^{b})	۲۷۶/۴۰ (۱/۷۴ ^{cd})	۲۹۳/۲۰ (۳/۳۶ ^{a})	۲۷۲/۶۰ (۱/۴۰ ^{de})	۲۶۷/۶۰ (۱/۴۳ ^{e})	۲۸۱/۴۰ (۲/۲۲ ^{bc})	۱۷/۴۷۲	۰/۰۰۰
منیزیم قابل جذب(میلی‌گرم برکیلوگرم)	۵۸/۲۰ (۲/۷۰ ^{ab})	۵۲/۴۰ (۲/۲۴ ^{bc})	۶۰/۰۰ (۰/۵۴ ^{a})	۴۸/۰۰ (۱/۴۸ ^{c})	۴۷/۲۰ (۲/۲۸ ^{c})	۵۴/۲۰ (۳/۱۵ ^{abc})	۵/۴۱۸	۰/۰۰۲
تعداد کرم‌خاکی (تعداد بر مترمربع)	۲/۶۰ (۰/۴۰ ^{ab})	۱/۶۰ (۰/۴۰ ^{abc})	۳/۰۰ (۰/۳۱ ^{a})	۱/۴۰ (۰/۴۰ ^{bc})	۰/۸۰ (۰/۳۷ ^{c})	۲/۰۰ (۰/۷۰ ^{abc})	۳/۲۰۷	۰/۰۲۳
زی‌توده کرم‌خاکی (میلی‌گرم برمترمربع)	۳۱/۴۱ (۴/۹۴ ^{ab})	۲۱/۶۹ (۳/۶۶ ^{abc})	۳۸/۷۶ (۳/۵۳ ^{a})	۱۹/۱۹ (۵/۸۶ ^{bc})	۱۰/۳۳ (۵/۲۱ ^{c})	۲۳/۹۵ (۹/۱۵ ^{abc})	۲/۹۹۰	۰/۰۳۱
تراکم نماتدها (در ۱۰۰ گرم خاک خشک)	۴۳۰/۸۰ (۲۶/۹۵ ^{ab})	۳۰۳/۸۰ (۷/۳۴ ^{cd})	۴۵۷/۰۰ (۴۴/۹۶ ^{a})	۲۹۴/۰۰ (۸/۶۱ ^{cd})	۲۵۰/۲۰ (۳۳/۳۹ ^{d})	۳۶۴/۰۰ (۳۵/۳۱ ^{bc})	۷/۶۵۲	۰/۰۰۰
تصاعد دی اکسیدکربن (میلی‌گرم دی اکسیدکربن در گرم در روز)	۰/۴۲ (۰/۰۰ ^{b})	۰/۳۴ (۰/۰۰ ^{d})	۰/۴۷ (۰/۰۱ ^{a})	۰/۲۸ (۰/۰۰ ^{e})	۰/۳۰ (۰/۰۰ ^{e})	۰/۳۷ (۰/۰۰ ^{c})	۷۹/۸۵۰	۰/۰۰۰

حروف انگلیسی بکار گرفته شده در هر ردیف بیانگر متفاوت بودن میانگین متغیرها در کاربری‌های مورد بررسی می‌باشد. درجه آزادی کل= ۲۹

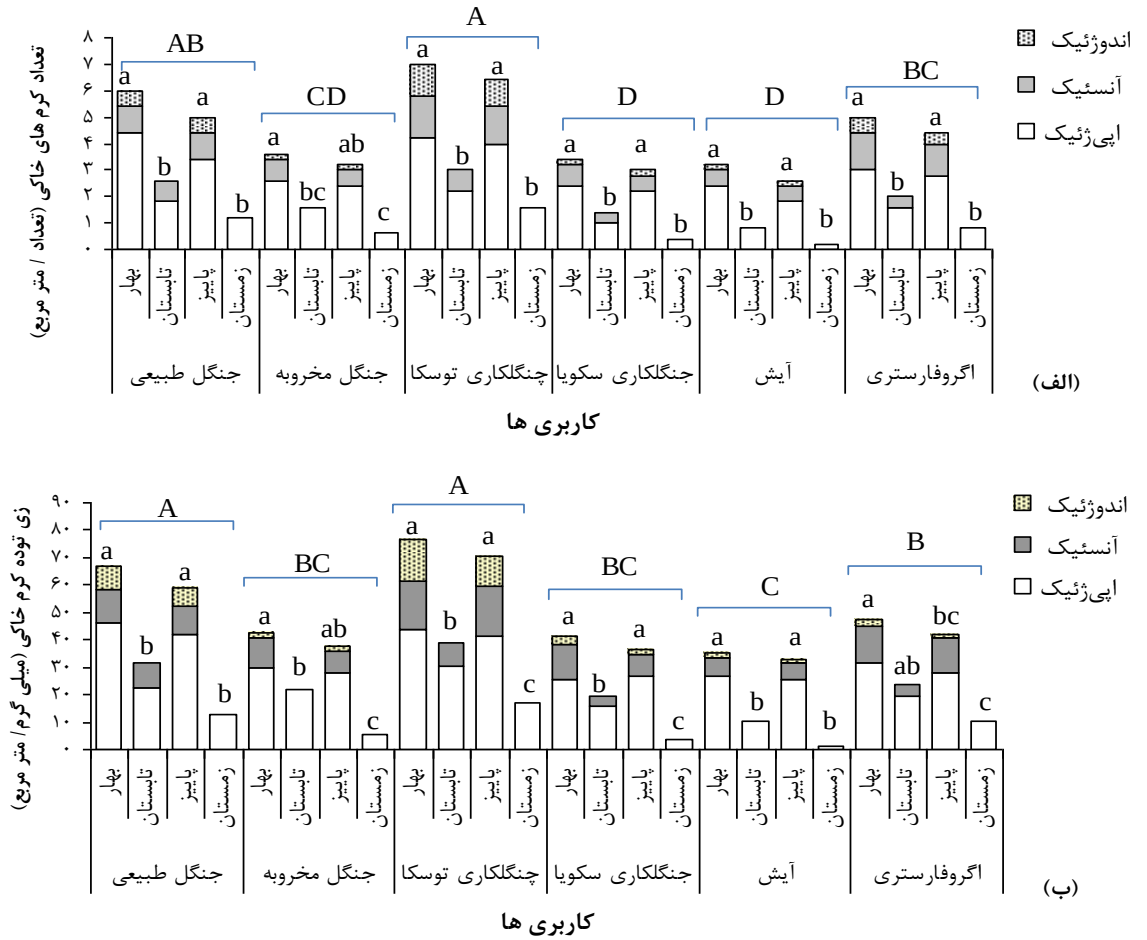
مشخصه‌های زیستی خاک

تجزیه واریانس مشخصه‌های زیستی خاک حاکی از وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار پارامترهای تراکم، زی‌توده کرم‌های خاکی، نماتدهای خاکزی و تصاعد دی‌اکسید کربن خاک در بین کاربری‌های مختلف می‌باشد. بیشترین تراکم و زی‌توده کرم خاکی به کاربری توسکا، فصل بهار و پاییز به‌طور مشترک تعلق

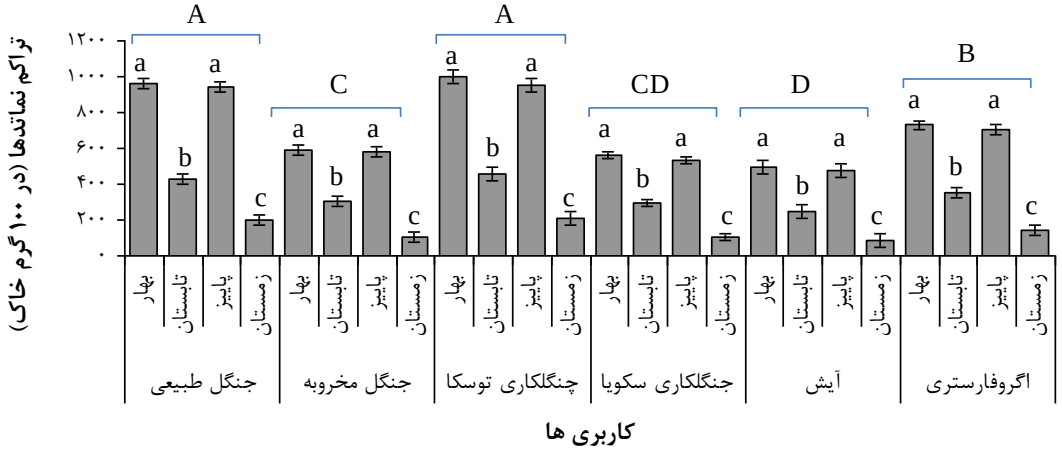
Archive of SID

www.SID.ir

داشته است (جدول ۱، شکل ۲. الف و ب). بررسی گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی حاکی از آن است که بیشترین تعداد و زی‌توده کرم‌های خاکی متعلق به گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک بوده و در کاربری توسکا وجود داشته است (شکل ۲. الف و ب). بیشترین فعالیت نماتدها در کاربری توسکا و جنگل طبیعی بطور مشترک، در فصل بهار و پاییز دیده شد (شکل ۳). بالاترین مقدار تصاعد دی‌اکسید کربن در کاربری توسکا و در فصل تابستان نشان داده شد (شکل ۴).

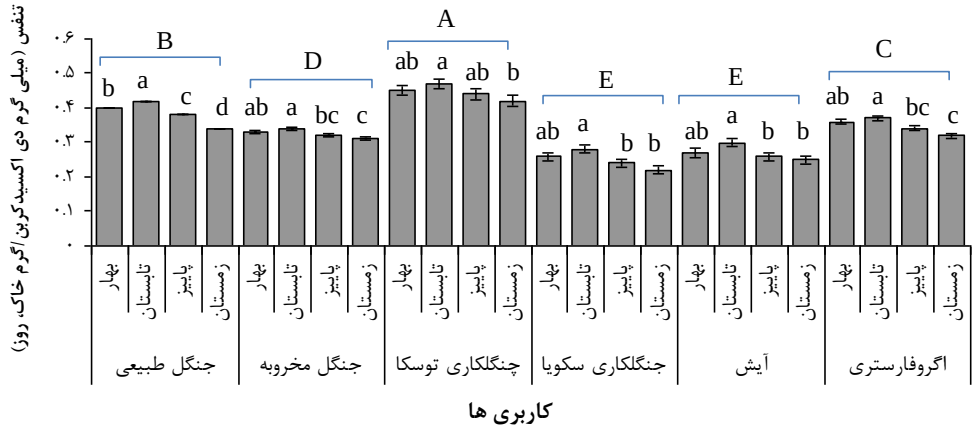


شکل ۲. میانگین تعداد (الف) و زی‌توده (ب) اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژنیک در کاربری‌ها و فصول مختلف. برای تراکم کرم خاکی، کاربری‌ها (F = 21.849; P = 0.000)، فصل (F = 94.941; P = 0.000) و کاربری × فصل (F = 1.282; P = 0.229). برای زیتوده کرم خاکی، کاربری‌ها (F = 23.785; P = 0.000)، فصل (F = 106.442; P = 0.000) و کاربری × فصل (F = 1.151; P = 0.324). حروف بزرگ و کوچک به ترتیب تفاوت معنی‌دار (۰/۰۵) بین کاربری‌ها و فصول را نشان می‌دهد.



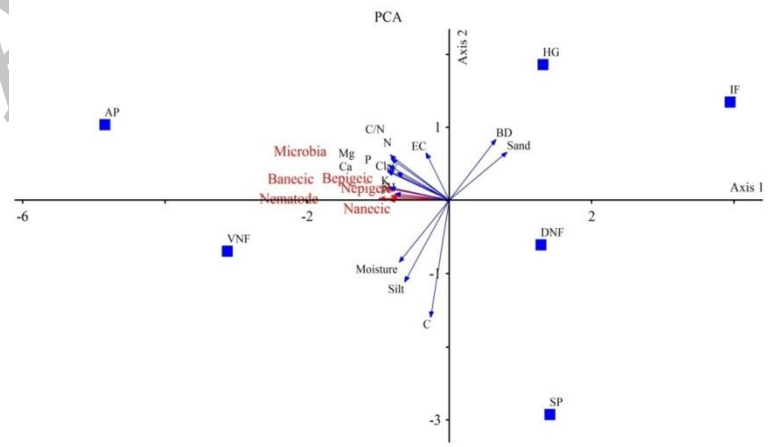
شکل ۳. میانگین ± اشتباه معیار تراکم نماتدها در کاربری و فصول مختلف. تراکم نماتدها، کاربری (F = 82.548; P = 0.000)، فصل (F = 520.984; P = 0.000) و کاربری × فصل (F = 7.586; P = 0.000). حروف بزرگ و کوچک به ترتیب تفاوت معنی‌دار (۰/۰۵) بین کاربری‌ها و فصول را نشان می‌دهد.

www.SID.ir



شکل ۴. میانگین ± اشتباه معیار تنفس در کاربری و فصول مختلف. تنفس، کاربری (F = 225.694; P = 0.000)، فصل (F = 34.634; P = 0.000) و کاربری × فصل (F = 0.571; P = 0.890). حروف بزرگ و کوچک به ترتیب تفاوت معنی‌دار (۰/۰۵) بین کاربری‌ها و فصول را نشان می‌دهد.

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در ارتباط با کاربری‌های مختلف اراضی، مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی و مشخصه‌های زیستی نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در مجموع ۸۳/۲۷ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه می‌کنند، به طوری که کاربری‌های مختلف اراضی و مشخصه‌های خاک بر روی محورهای نمودار، پراکنش متفاوتی را نشان داده‌اند (شکل ۴). سمت چپ نمودار بیانگر مناسب‌تر بودن مشخصه‌های کیفی خاک از جمله اسیدیته، عناصر غذایی و فعالیت بیولوژی موجودات خاکزی در کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی نسبت به سایر کاربری‌های مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۵). در ارتباط با افزایش فعالیت موجودات خاکزی در فصل تابستان، دوره رشد، میزان کربن و نیتروژن خاک، میزان دسترسی عناصر غذایی را می‌توان به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بیان کرد. در همین رابطه تراکم کرم خاکی همبستگی مثبت با رس (۰/۵۵**)، اسیدیته (۰/۴۸**)، نیتروژن (۰/۵۷**)، فسفر (۰/۵۹**)، کلسیم (۰/۴۵*) اما همبستگی منفی با شن (۰/۵۸**-) نشان داد. زیتوده کرم خاکی همبستگی مثبت با رس (۰/۵۶**)، اسیدیته (۰/۵۰**)، نیتروژن (۰/۵۷**)، فسفر (۰/۵۶**)، پتاسیم (۰/۴۳*)، کلسیم (۰/۴۲*) اما همبستگی منفی با شن (۰/۵۸**-) نشان داد. فعالیت نماتد خاک همبستگی مثبت با اسیدیته (۰/۵۵**)، نیتروژن (۰/۷۰**)، فسفر (۰/۷۴**)، پتاسیم (۰/۵۷**)، کلسیم (۰/۶۷**)، منیزیم (۰/۶۰**) اما همبستگی منفی با شن (۰/۶۷**-) نشان داد. تصاعد دی اکسیدکربن همبستگی مثبت با رس (۰/۴۰*)، اسیدیته (۰/۷۸**)، نیتروژن (۰/۹۰**)، فسفر (۰/۹۲**)، پتاسیم (۰/۵۳**)، کلسیم (۰/۸۱**)، منیزیم (۰/۷۲**) اما همبستگی منفی با وزن مخصوص ظاهری (۰/۳۸*-) و شن (۰/۵۴**-) نشان داد (شکل ۵).



شکل ۵. توزیع مکانی کاربری‌های مختلف اراضی، مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی، مشخصه‌های زیستی خاک در تحلیل PCA (مؤلفه اول: مقدار ویژه = ۹/۰۳، درصد واریانس متناظر با عامل = ۶۴/۵۰ و مؤلفه دوم: مقدار ویژه = ۲/۶۲، درصد واریانس متناظر با عامل = ۱۸/۷۷، درصد واریانس تجمعی = ۸۳/۲۷). حروف مخفف در شکل (BD = وزن مخصوص ظاهری، pH = واکنش خاک، EC = هدایت الکتریکی، C = کربن آلی خاک، N = نیتروژن کل خاک، C/N = نسبت کربن به نیتروژن خاک، P = فسفر قابل جذب، K = پتاسیم قابل جذب، Ca = کلسیم قابل جذب، Mg = منیزیم قابل جذب AP- جنگل‌کاری توسکا، VNF - جنگل طبیعی، HG - اگروفارستری بارده، DNF- جنگل مخروبه، SP - جنگل‌کاری توسکا، IF - آیش.

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

بیش‌ترین میزان تراکم و زی‌توده کرم‌های خاکی در کاربری توسکا و در فصول بهار و پائیز ثبت گردید. در واقع، ثابت شده است که نحوه توزیع و زیتوده کرم‌های خاکی تحت تأثیر نوع پوشش کاربری‌ها (به دلیل اختلاف در کیفیت لاشبرگ) و مشخصه‌های خاک (به دلیل تفاوت در رطوبت، اسیدیته و عناصر غذایی در دسترس) قرار می‌گیرد (Kooch *et al.*, 2017). بیش‌ترین تراکم و زیتوده کرم‌های خاکی در خاک کاربری توسکا اندازه‌گیری شد که این موضوع می‌تواند در ارتباط با بالا بودن مقدار pH (Smith et al., 2008)، پایین بودن میزان کربن (Sackett *et al.*, 2013)، بالا بودن میزان نیتروژن (Sigurdsson and Gudleifsson, 2013)، پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن (Watmough and Meadows, 2014) و بالا بودن میزان عناصر غذایی در دسترس خاک (Sigurdsson and Gudleifsson, 2013) باشد. از طرفی به علت فشردگی خاک (بیشتر بودن جرم مخصوص ظاهری) در کاربری آیش در نتیجه کاهش مواد آلی و تخلخل، تراکم و زیتوده کرم خاکی در این کاربری کاهش یافت که با نتیجه پژوهش Schulp *et al.* (2008) مطابقت داشت. وجود مقدار بالای رس می‌تواند بر خصوصیات خاک بسیار تأثیرگذار باشد اگرچه در این تحقیق اختلاف‌ها معنی‌دار نبود. تغییرات درصد اجزای تشکیل دهنده بافت در خاک کاربری‌های مورد مطالعه می‌تواند به دلیل تغییر حضور و تراکم کرم‌های خاکی باشد. کرم‌های خاکی با ایجاد حفرات متعدد منجر به جابجایی اجزای تشکیل دهنده بافت در لایه‌های مختلف خاک می‌گردند. این موجودات خاکزی با انتقال ذرات رس و یا حتی سیلت در اندازه‌های ریز به بخش‌های مختلف خاک، موجب تغییرات معنی‌داری در اجزای تشکیل دهنده بافت لایه‌های مختلف می‌شوند (Beyranvand and Kooch, 2016).

تعداد و زیتوده کل کرم‌های خاکی در کاربری با گونه‌ی پهن‌برگ بیشتر از کاربری با گونه‌ی سوزنی‌برگ می‌باشد که با تحقیق (Smith *et al.*, 2008) مطابقت دارد. مطابق با پژوهش Moslehi and Nazari (2012)، کرم‌های خاکی در جنگل‌های سوزنی‌برگ به دلیل اسیدی بودن خاک شمار اندکی دارند و فراوانی آنها را ۱۰ عدد در هر متر مربع گزارش کرده‌اند. همچنین شمار آنها در جنگل‌های پهن‌برگ، فراوان است و ۱۰۰۰ عدد در هر متر مربع گزارش نموده‌اند. مطالعه Kooch *et al.*(2017) نشان داده است که مؤثرترین عامل وفور و زیتوده کرم‌های خاکی در جنگل‌های پایین‌بند، نسبت کربن به نیتروژن خاک می‌باشد. در تحقیق حاضر کم بودن میزان نیتروژن کل در کاربری سکویا و آیش را می‌توان به کند بودن سرعت تجزیه لاشبرگ، اسیدی بودن خاک و فقدان پوشش در کاربری آیش نسبت داد. به‌طور کلی اکثر کرم‌های خاکی محیط‌های با مواد غذایی غنی و لاشبرگ‌هایی که نسبت کربن به نیتروژن پایین‌تری دارند را ترجیح می‌دهند (Wood, 1995). بیشترین نسبت کربن به نیتروژن خاک در کاربری سکویا مشاهده شد، درحالی که کم‌ترین زیتوده و تعداد کرم‌های خاکی بعد از کاربری آیش نیز در کاربری مذکور ثبت گردید. در همین راستا Schwarz (2015) نیز کم بودن میزان زیتوده کرم‌های خاکی در بین گونه‌های لاریکس و کاج را بالا بودن نسبت کربن به نیتروژن و نرخ لیگنین اذعان نمودند. از طرفی عناصر غذایی می‌تواند فاکتور محدود کننده بر روی پراکنش و زیتوده کرم خاکی در نظر گرفته شود (Jamshidinia *et al.*, 2016). عناصر غذایی در خاک کاربری‌های مخروبه، سوزنی‌برگ و آیش به دلیل پایین بودن کمیت و کیفیت‌شان باعث کاهش فعالیت‌های زیستی می‌گردد. در رابطه با بالا بودن این عناصر در خاک کاربری توسکا می‌توان به بیشتر بودن میزان این مشخصه در لاشبرگ این گونه (Brady and Well, 2008) و همچنین فراهم بودن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در این کاربری که خود منجر به تجزیه و آزادسازی بیشتر و سریع‌تر این عنصر به خاک می‌گردد، اشاره کرد. حداکثر تعداد و زیتوده کرم‌های خاکی از ۲ گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسئیک در کاربری توسکا و بویژه فصل‌های بهار و پاییز مشاهده شد و گروه اندوژئیک در بعضی از کاربری‌ها و فصول دیده شدند. مطابق با پژوهش Smith *et al.* (2008)، کرم‌ها با گروه اکولوژیک اپی‌ژئیک و آنسئیک دارای فراوانی و غنای بیشتر در کاربری توسکا و جنگل پهن‌برگ طبیعی نسبت به کاربری سکویا و آیش می‌باشند. علاوه بر این، درجه حرارت محیط و رژیم رطوبتی خاک نقش مهمی در پراکندگی کرم‌های خاکی در خاک دارند (Suthar, 2012; Schwarz *et al.*, 2015). همسو با یافته‌های Ewing et al. (2015)، نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نیز تراکم و زیتوده کرم‌های خاکی در فصل‌های بهار و پائیز در تمامی کاربری‌های مورد مطالعه را بیش‌ترین مقدار نشان داد که ممکن است به دلیل رطوبت و دمای مطلوب‌تر فصل بهار و پاییز باشد.

در پژوهش حاضر جمعیت نماتدهای خاک به‌طور قابل توجهی در میان کاربری‌های مورد مطالعه متفاوت بود که با خصوصیات خاک مرتبط است. جمعیت نماتدهای خاکزی در کاربری توسکا و جنگل طبیعی دارای بیش‌ترین مقدار بود که ممکن است به دلیل بالا بودن میزان نیتروژن (Salamon *et al.*, 2004)، کم بودن میزان کربن و نسبت کربن به نیتروژن در

Archive of SID
www.SID.ir

خاک (Sun *et al*., 2013)، افزایش pH (Sun *et al*., 2013)، عناصر غذایی بیش‌تر (Salamon *et al*., 2004) باشد. کیفیت منابع فاکتور تأثیرگذار بر فراوانی میکروارگانیسم‌های خاک است (Chen *et al*., 2007)، در همین راستا می‌توان بیان نمود که تعداد کمتر نماتدها در خاک کاربری‌های آیش، مخروبه و سکویا احتمالا به دلیل فقر عناصر غذایی و کیفیت پایین سوزن‌ها می‌باشد. در کاربری‌های شمال کشور، جوامع موجودات زنده خاک به شدت تحت تأثیر بارش قرار می‌گیرند. بررسی‌های گذشته نشان داده است که تغییرات در میزان بارش تأثیر مستقیمی بر وضعیت رطوبت خاک خواهد داشت و در نتیجه به شدت برخصوصیات شیمیایی خاک و موجودات زنده خاک تأثیر می‌گذارد (Wall *et al*., 2010; Saul-Tcherkas *et al*., 2013). نتایج پژوهش حاضر افزایش جمعیت نماتدها را بر اساس افزایش دما و رطوبت مناسب در فصل بهار و پاییز نشان داد. پاسخ تنفس خاک در کاربری‌های مختلف ثابت نیست، مقدار آن تحت تاثیر نوع گونه‌ی موجود در کاربری و فصل متغیر است (Gorobtsova *et al*., 2016; Wang *et al*., 2013). تغییرات در بافت خاک می‌تواند بر میزان تنفس خاک اثر بگذارد، در خاک‌های لومی- سیلتی با میزان pH و نیتروژن بالاتر، مقدار تنفس میکروبی بیشتر از خاک‌های شنی می‌باشد (Chodak, and Niklinska, 2010). میزان تنفس خاک ممکن است به واسطه رطوبت خاک تغییر کند (Liao *et al*., 2010; Beheshti *et al*., 2011). نتایج پژوهش Arevalo *et al*. (2009)، نشان داد که کاهش رطوبت خاک اثر منفی بر تنفس میکروبی دارند. pH خاک به شدت تنفس خاک را کنترل می‌کند به طوری‌که pH خاک نزدیک به ۷ (Kooch *et al*., 2017) و مقادیر بالای هدایت الکتریکی (Muhammad *et al*., 2008) در کاربری توسکا، برای تنفس میکروبی بسیار مناسب است. در همین راستا Anderson and Baath (2003) در پژوهش خود در مناطق جنگلی، گزارش کردند که میزان pH با میزان تنفس خاک همبستگی مثبت دارد. همچنین Wallenstein *et al*. (2006)، بیان کردند که pH خاک و تغییرات آن از عوامل مهم کنترل جوامع میکروبی خاک است. کربن آلی خاک یکی از فاکتورهای مهمی است که تنفس خاک را کنترل می‌کند (Dube *et al*., 2009). مطابق با مطالعه Mo *et al*. (2004)، محتوی نیتروژن کل خاک یک فاکتور مهم تأثیرگذار بر میزان تجزیه لاشبرگ است و نرخ تجزیه لاشبرگ یک منبع مهم برای تنفس خاک است. همچنین Cao *et al*. (2011)، در مطالعه خود گزارش کردند که محتوی نیتروژن و فسفر موجب تحریک انتشار تنفس خاک می‌شوند که مطابق با مطالعه حاضر بیشترین مقدار در کاربری توسکا و کمترین مقدار در کاربری‌های آیش و سکویا دیده شد. علاوه بر این مطابق با یافته‌های Kooch *et al*. (2017) در نسبت‌های C/N بالاتر از ۲۵~۲۰ نیتروژن خاک محدود می‌شود که باعث می‌گردد تنفس میکروبی کاهش یابد. افزایش pH، نیتروژن و مواد غذایی و کاهش C/N خاک در افزایش تنفس میکروبی تأثیرگذار هستند (Kooch *et al*., 2017). محتوای مواد غذایی خاک یک عامل مهم تأثیرگذار بر تغییرات تنفس خاک است (Tardy *et al*., 2014). در همین راستا Cheng *et al*. (2013) در مطالعه خود بیان کردند که تنفس میکروبی با نیتروژن کل، فسفر، منیزیم و کلسیم قابل دسترس خاک همبستگی مثبت دارد. میزان بالاتر تنفس خاک در کاربری توسکا به دلیل افزایش محتوی مواد غذایی خاک (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) است که این عوامل باعث تحریک فعالیت میکروبی می‌شوند که به نوبه خود موجب افزایش تنفس خاک می‌گردد. در پژوهش حاضر، میزان تنفس میکروبی تحت تأثیر فصول مختلف تغییر کرده به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن در فصل تابستان مشاهده شد؛ این امر ممکن است به دلیل افزایش دمای محیط در طول فصل تابستان باشد (Liu *et al*., 2012; Luo *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربری‌ها اثرات معنی‌داری بر ویژگی‌های خاک می‌گذارند. در کاربری توسکا بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک باعث افزایش فعالیت زیستی (بیشتر بودن تراکم، زیتوده، نماتد و تنفس) نسبت به سایر کاربری‌ها گردید و به‌عنوان گونه تثبیت‌کننده ازت، در بهتر شدن شرایط کیفیت خاک، وضعیت تغذیه‌ای، چرخه نیتروژن عملکرد بهتری نسبت به سایر پوشش‌های کاربری داشته است. در نهایت نتایج حاصل از مطالعه تأثیر فصل‌های مختلف بر میزان فعالیت‌های زیستی خاک در این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین فعالیت گروه‌های زیستی کرم خاکی (اپی‌ژئیک، آنسئیک و اندوژئیک) و نماتدها در فصل بهار و پاییز بوده است، در حالی‌که بیشترین میزان تنفس در فصل تابستان ثبت شد. حفظ و نگهداری جنگل‌های طبیعی جهت افزایش حاصلخیزی خاک و مدیریت طرح‌های جنگلداری به منظور احیاء کاربری‌های تخریب شده ضروری می‌باشد. با توجه به ارزیابی صورت گرفته در بین کاربری‌ها، گونه درختی توسکا می‌تواند به عنوان گونه مناسب جهت جنگل‌کاری در کاربری‌هایی با شرایط مشابه مورد توجه باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Alef, K. (1995). Estimating of soil respiration. In: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.), Methods in Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, New York, pp. 464–470.

Angst, S., Mueller, C.W., Cajtham, T., Angst, G., Lhotáková, Z., Bartuška, M., Špaldoňová, A., and Frouz, J. (2017). Stabilization of soil organic matter by earthworms is connected with physical protection rather than with chemical changes of organic matter. *Geoderma*, 289(4), 29–35.

Arevalo, C.B.M., Bhatti, J.S., Chang, S.X., and Sidders, D. (2009). Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1776-1785.

Beheshti, A., Raiesi, F., and Golchin, A. (2011). The Effects of Land Use Conversion from Pasturelands to Croplands on Soil Microbiological and Biochemical Indicators. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences)*, 25(3), 548-562. (In Farsi)

Beyranvand, M., and Kooch, Y. (2016). Effect of broadleaf tree species on abundance and diversity of earthworms in forest ecosystems plain. *Journal of Soil Biology*, 4(1), 15-26. (In Farsi)

Brady, N.C. and Well, R.R. (2008).The Nature and Properties of Soils, PearsonPrentice Hll.

Cesarz, S., Ruess, L., Jacob, M., Jacob, A., Schaefer, M., and Scheu, S. (2013). Tree species diversity versus tree species identity: driving forces in structuring forest food webs as indicated by soil nematodes. *Soil Biology and Biochemistry*. 62(2), 36-45.

Cao, Y. S., Lin, Y. B., Rao, X. Q., and Fu, S. L. (2011). Effects of Artificial Nitrogen and Phosphorus Depositions on Soil Respiration in Two Plantations in Southern China. *Journal of Tropical Forest Science*, 23 (2), 110–116.

Cheng, F., Peng, X., Zhao, P., Yuan, J., Zhong, C., Cheng, Y. and Zhang, S. (2013). Soil Microbial Biomass, Basal Respiration and Enzyme Activity of Main Forest Types in the Qinling Mountains. PloS one, 8(6), e67353.

Chodak, M. and Niklińska, M. (2010). Effect of Texture and Tree Species on Microbial Properties of Mine Soils. Applied Soil Ecology, 46(2), 268-275.

Cristhy Buch, A., Gardner Brown, G., Fernandes Correia, M.E., Fábio Lourençato, L., and Vieira Silva-Filho, E. (2017). Ecotoxicology of mercury in tropical forest soils: Impact on earthworms. *Science of the Total Environment*, 589(1), 222-231.

Eisenhauer, N., Dobies, T., Cesarz, S., Hobbie, S.E., Meyer, R.J., Worm, K. and Reich, P.B. (2013). Plant diversity effects on soil food webs are stronger than those of elevated CO2 and N deposition in a long-term grassland experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6889-6894.

Ewing, H.A., Tuininga, A.R., Groffman, P.M.,Weathers, K.C., Fahey, T.J., Fisk,M.C., and Suarez, E. (2015). Earthworms reduce biotic 15-nitrogen retention in northern hardwood forests. *Ecosystems*, 18(2), 328–342.

Gorobtsova, O. N., Gedgafova, F. V., Uligova, T. S. and Tembotov, R. K. (2016). EcopHysiological Indicators of Microbial Biomass Status in Chernozem Soils of the Central Caucasus (In the Territory of Kabardino-Balkaria with the Terek Variant of Altitudinal Zonation). *Russian Journal of Ecology*, 47(1), 19-25.

IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.

Jafari Haghighi, M. 2003. Soil analysis methods. Nedaye Zohi Publication, 236p. (In Farsi)

Jamshidinia, Z., Abrari Vajari, K., Sohrabi, A., and Veiskarami, G. (2016). Effect of Needle- and Broad-Leaved Species Plantation on Some Soil Properties in Reymaleh Region, Lorestan. *Journal of Soil Research*, 30(3), 357-365.

Johnston A.S.A., Holmstrup M., Hodson M.E., Thorbek P., Alvarez T., and Sibly R.M. (2014). Earthworm distribution and abundance predicted by a process-based model. *Applied Soil Ecology*, 84(1), 112-123.

Kooch, Y., Samadzadeh, B. and Hosseini, S. M. (2017). The Effects of Broad-leaved Tree Species on Litter Quality and Soil Properties in a Plain Forest Stand. *Catena*, 150(1), 223-229.

Lamberti, F. (2012). Nematode vectors of plant viruses. Springer Science and Business Media, ISBN 978-1-4684-0841-6.

Liao, C., Luo, Y., Fang, C. and Li, B. (2010). Ecosystem Carbon Stock Influenced by Plantation Practice: Implications for Planting Forests as a Measure of Climate Change Mitigation. PloS one, 5(5), e10867.

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

Luo, W., Verweij, R.A., and Gestel, C.A. (2014). Contribution of soil properties of shooting fields to lead bioavailability and toxicity to Enchytraeus crypticus. *Soil Biology and Biochemistry*, 76(1), 235–241.

Mc Cune, B., and Mefford, M. (1999). Multivariate Analysis of Ecological data Version 4.17. MJM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA, 233p.

Mo, J. M., Xue, J. H. and Fang, Y. T. (2004). Litter Decomposition and Its Responses to Simulated NDeposition for the Major Plants of Dinghushan Forests in Subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 24(7), 1413-1420.

Moghimian N, Hosseini S.M, Kooch Y, and Zarei Darki B. (2017). Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*, 157(1), 407- 414.

Archive of SID

www.SID.ir

Moslehi, M., and Nazari, J. (2012). Relations between earthworms and trees and its effects on forest soils. *Human and Environmental.* 20(1), 108-113. (In Farsi)

Muhammad, S., Müller, T. and Joergensen, R.G. (2008). Relationships between Soil Biological and Other Soil Properties in Saline and Alkaline Arable Soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments*, 72 (4), 448-457.

Neher, D. A., Wu, J., Barbercheck, M. E. and Anas, O. (2005). Ecosystem Type Affects Interpretation of Soil Nematode Community Measures. *Applied Soil Ecology*, 30(1), 47-64.

Sackett, T.E., Smith, S.M. and Basiliko, N. (2013). Indirect and direct effects of exotic earthworms on soil nutrient and carbon pools in North American temperate forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 57(1), 459-467.

Salamon, J. A., Schaefer, M., Alphei, J., Schmid, B. and Scheu, S. (2004). Effects of Plant Diversityon Collembola in an Experimental Grassland Ecosystem. *Oikos*, 106 (1), 51–60.

Saul-Tcherkas, V., Unc, A., and Steinberger, Y. (2013). Soil microbial diversity in the vicinity of desert shrubs. *Microbial Ecology*, 65(3), 689-99.

Schulp C., Nabuurs G., and Verburg P. (2008). Future carbon sequestration in Europe Effects of land use change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 127(3), 251- 264.

Schwarz, B., Dietrich, C., Cesarz, S., Scherer-Lorenzen, M., Auge, H., Schulz, E., and 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(1), 17–26.

Smith, R. G., McSwiney, C. P., Grandy, A. S., Suwanwaree, P., Snider, R. M. and Robertson, G. P. (2008). Diversity and Abundance of Earthworms across an Agricultural Land-Use Intensity Gradient. *Soil and Tillage Research*, 100 (1), 83-88.

Sigurdsson, B.D. and Gudleifsson, B.E. (2013). Impact of afforestation on earthworm populations in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 26(1), 21-36.

Sileshi, G., and Mafongoya, P.L. (2006). Long-term effect of improved legume fallows on soil invertebrate macrofauna and maize yield in eastern Zambia. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 115(4), 69-78.

Sun, X., Zhang, X., Zhang, S., Dai, G., Han, S. and Liang, W. (2013). Soil Nematode Responses to Increases in Nitrogen Deposition and Precipitation in a Temperate Forest. *Plos One*, 8 (12), e82468.

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

Tardy, V., Mathieu, O., Lévêque, J., Terrat, S., Chabbi, A., Lemanceau, P., Ranjard, L., and Maron, P.A. (2014). Stability of soil microbial structure and activity depends on microbial diversity. *Environmental Microbiology Reports*. 6(2), 173–183.

Tian, D., Wang, G., Yan, W., Xiang, W. and Peng, C. (2010). Soil respiration dynamics in Cinnamomum camphora forest and a nearby Liquidambar formosana forest in Subtropical China. *Chinese Science Bulletin*, 55(8), 736-743.

Tolfa, I., Velki, M., Vukovic, R., Ecimovic, S., Katanic, Z., and Loncaric, Z. (2017). Effect of different forms of selenium on the plant–soil–earthworm system. *Journal of Plant Nutrtion and Soil Sciences*, 180(2), 1–10.

Yeates, G.W. (2007). Abundance, diversity, and resilience of nematode assemblages in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(2), 216–225.

Wall, D.H., Bardgett, R.D., and Kelly, E.F. (2010). Biodiversity in the dark. *Nature Geosciences*, 3(1), 297–298.

Wallenstein, M. D., Mc. Nulty, S., Fernandez, I. J., Boggs, J. and Wschlesinger, W. H. (2006). Nitrogen Fertilization Decreases Forest Soil Fungal and Bacterial Biomass in Three Long-Term Experiments. *Forest Ecology and Management*, 222 (1), 459-468.

Wang, Q., Xiao, F., He, T. and Wang, S. (2013). Responses of Labile Soil Organic Carbon and Enzyme Activity in Mineral Soils to Forest Conversion in the Subtropics. *Annals of Forest Science*, 70 (6), 579-587.

Watmough, S.A. and Meadows, M.J. (2014). Do earthworms have a greater influence on nitrogen dynamics than atmospheric nitrogen deposition? *Ecosystems*, 17(7), 1257-1270.

Weand, M.P., Arthur, M.A., Lovett, G.M., McCulley, R.L., and Weathers, K.C. (2010). Effects of tree species and N additions on forest floor microbial communities and extracellular enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1), 2161–2173.

Wood, M. (1995). Environmental soil biology, 2nd ed., Blackie Academic and Professional, Glasgow 150p.

Wu, L., Ouyang, Z., Li, B., and Xu, Y. (2016). Effects of different forms of plant-derived organic matter on nitrous oxide emissions. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 18 (7), 854-862

Archive of SID

www.SID.ir