نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۲۶۹-۲۸۲
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.16374.3170

تغییر ویژگی‌های بیولوژیکی یک خاک جنگلی پس از تبدیل به شالیزار و تعیین حساس‌ترین ویژگی به تغییر کاربری اراضی

***زهرا وارسته خانلری[۱]، احمد گلچین[۲]، سید عبدالله موسوی کوپر[۳] و پریسا علمداری[۴]**

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، [۳]استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تات، رشت، [۴]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: بررسی پارامترهای بیولوژیکی کیفیت خاک به‌منظور ارزیابی مدیریت زمین و پایداری سیستم‌های کشاورزی مورد استفاده، بسیار مفید است. برای این منظور ویژگی‌های بیولوژیکی کیفی خاک که به کشت و کار حساس هستند مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار می‌گیرند. هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات بیولوژیک کیفیت خاک جنگلی پس از تبدیل به شالیزار، تعیین حساس‌ترین این پارامترها به آشفتگی یک اکوسیستم و ایجاد حداقل مجموعه داده از این پارامترها با استفاده از روش تجزیه عامل‌ها بود.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در استان گیلان انتخاب شد. نمونه‌های خاک از دو کاربری جنگل طبیعی و شالیزار مجاور آن‌ها در ۵ عمق (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر) برداشت گردید. داده‌های این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع کاربری اراضی در دو سطح و عمق خاک در پنج سطح بود که در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. بنابراین تعداد تیمارهای آزمایش ۱۰=۲×۵ عدد که با لحاظ نمودن تعداد تکرارها در مجموع ۳۰ واحد آزمایشی، جامعه آماری آزمایش را تشکیل داد. در نمونه‌ها تنفس میکروبی، درصد معدنی شدن کربن، کربن زیست‌توده میکروبی، کسر میکروبی و ضریب متابولیکی اندازه‌گیری و شاخص حساسیت برای هر ویژگی محاسبه گردید. مقایسه میانگین پارامترها با آزمون دانکن و تجزیه عاملی به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد با تغییر کاربری اراضی از جنگل بکر به شالیزار به‌طور میانگین در کل خاکرخ نسبت معدنی‌شدن کربن (۲۸ درصد) و ضریب (کسر) متابولیکی (۲۱ درصد) افزایش یافت. در حالی‌که وزن زیست‌توده میکروبی (۶۱ درصد)، تنفس میکروبی (۳۹ درصد) و تنفس پایه (۴۹ درصد) کاهش یافت. شاخص

* مسئول مکاتبه: z.khanlari93@gmail.com

حساسیت (SI) نشان داد که در بین پارامترهای بیولوژیکی، زیست‌توده میکروبی در مقایسه با سایر پارامترها به تغییر کاربری اراضی حساس‌تر بود. استفاده از تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در این مطالعه نشان داد که دو عامل تقریباً بیش از ۷۰ درصد واریانس را در مقادیر زیست‌توده میکروبی و درصد معدنی‌شدن کربن و بیش از ٦۰ درصد واریانس را در مقادیر معدنی‌شدن کربن، تنفس پایه و کسر (ضریب) متابولیکی توجیه کرد. این پارامترها بیش‌ترین برآورد اشتراکی بودن را نشان می‌دهند و کسر میکروبی کم‌ترین اهمیت نسبی در بین تخمین مقادیر اشتراک را نشان داد.

نتیجه‌گیری: تغییر کاربری از جنگل بکر به اراضی شالیزاری تأثیر نامطلوب روی پارامترهای بیولوژیکی کیفیت خاک داشت. این امر موجب کاهش سلامت خاک و پتانسیل ترسیب کربن در خاک می‌شود. بنابراین ادامه کشت و کار در این اراضی تخریب خاک را تشدید نموده و در صورت توقف کشت و کار زمان بهبود[1] و زمان احیا[2] طولانی‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تغییر کاربری، زیست‌توده میکروبی، ضریب (کسر) متابولیکی، معدنی شدن کربن آلی

مقدمه

تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه تبدیل جنگل طبیعی به اراضی شالیزاری باعث اختلال در اکوسیستم طبیعی و کاهش ظرفیت تولید خاک می‌شود و اثرات زیانباری روی ویژگی‌های کیفی خاک دارد. تغییر کاربری اراضی اغلب باعث ایجاد آشفتگی در اکوسیستم می‌شود و بدین‌ترتیب اغلب ویژگی‌های خاک را تغییر می‌دهد. بااین‌حال، میزان و روند تغییرات ویژگی‌های خاک بستگی به‌شدت آشفتگی، نوع اکوسیستم، اقلیم، نوع پوشش گیاهی و خاک دارد (١٤). بررسی‌ها نشان می‌دهد که در چهار قرن گذشته حدود ۳۰ درصد از اراضی جنگلی و مراتع طبیعی دنیا به چراگاه‌های دام و زمین کشاورزی تبدیل شده‌اند که این امر منجر به بروز تغییراتی قابل‌توجه در ویژگی‌های کیفی خاک شده است (۹).

کیفیت خاک را به‌طور مستقل نمی‌توان اندازه‌گیری کرد بلکه با اندازه‌گیری چند معرف برآورد می‌شود که نوع معرف‌های مورداستفاده به مقیاس و اهداف پژوهش بستگی دارد. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که به تغییر کاربری، مدیریت اراضی و تغییر زمان و مکان حساس هستند، معرف‌هایی از کیفیت می‌باشند. تغییر بعضی از ویژگی‌های خاک ممکن است کند و تدریجی باشد بنابراین برای ارزیابی کیفیت خاک مناسب نیستند (٦) و اصولاً برای مطالعه کیفیت خاک ویژگی‌هایی باید مدنظر قرار گیرند که به آشفتگی و تنش‌های محیطی حساس و سریع پاسخ می‌دهند (۵). ویژگی‌های بیولوژیکی از جمله ویژگی‌هایی هستند که در کوتاه‌مدت (ساعت تا سال) به تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند (۲۱).

معرف‌های بیولوژیکی کیفیت خاک شامل تنفس میکروبی، پتانسیل معدنی‌شدن کربن، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه، کسر میکروبی و ضریب متابولیکی می‌باشند؛ که تبدیل اراضی بکر به زراعی باعث تغییر در این ویژگی‌ها می‌گردد (۲۰). اسلام و ویل (۲۰۰۰) گزارش کردند که پس از تبدیل جنگل طبیعی به زمین کشاورزی شدت تنفس میکروبی افزایش یافت (۱۰). سو و همکاران (۲۰۰٤) نیز ضمن تبدیل یک مرتع به زمین‌های کشاورزی به نتایج مشابهی دست یافتند. در واقع با تغییر کاربری و کشت

1- Recovery time
2- Resilience time

و کار جانداران خاک اکسیژن بیش‌تری دریافت کرده و سرعت و شدت تنفس در خاک در کوتاه‌مدت افزایش می‌یابد که موجب تجزیه مواد آلی بیش‌تری شده و با کاهش مواد آلی خاک در درازمدت کیفیت خاک نیز پس از مدتی کاهش می‌یابد (۲۵). در پژوهشی که توسط رئیسی (۲۰۰٦) در اراضی باتلاقی مرکز ایران انجام شد، مشاهده گردید که کشت و کار، میزان معدنی‌شدن کربن و نیتروژن آلی را افزایش می‌دهد. همچنین، کیفیت بقایای گیاهی تأثیر چشمگیری بر شدت تجزیه و چرخه عناصر غذایی داشت (۱۹). گرینویچ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که تبدیل جنگل‌های صنوبرسیاه به اراضی کشاورزی در آلاسکا موجب افزایش معدنی شدن کربن و نیتروژن در این اراضی شد (۸). بهشتی و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه اثرات آشفتگی ناشی از تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی بر برخی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک در اکوسیستم‌های جنگلی شمال ایران به این نتیجه رسیدند که با تغییر کاربری اراضی کربن زیست توده میکروبی و معدنی‌شدن کربن کاهش و ضریب متابولیکی افزایش یافت (٤). مهرجان و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه تأثیر نوع استفاده از زمین و شیوه‌های مدیریتی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیست‌توده میکروبی در سه کاربری جنگل طبیعی، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی سنتی به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن و نیتروژن آلی و همچنین زیست‌توده میکروبی در زمین‌های کشاورزی ارگانیک در مقایسه با کشاورزی سنتی و جنگل معمولی بیش‌تر بوده و در جنگل معمولی نیز بیش‌تر از کشاورزی سنتی است (١٦).

اطلاعات محدودی در زمینه اثرات مخرب احتمالی تغییر کاربری اراضی جنگلی به شالیزار بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک به‌ویژه در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. همچنین تلاش اندکی در زمینه ایجاد حداقل مجموعه داده جهت ارزیابی تغییرات بیولوژیک خاک ناشی از جنگل‌زدایی صورت گرفته است؛ بنابراین در این مطالعه کوشش شد تا با بررسی تأثیر تغییر کاربری خاک جنگلی بکر به شالیزار بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک و تعیین حساس‌ترین این ویژگی‌ها به تغییر کاربری، گام مؤثری در مسیر جلوگیری از تخریب هرچه بیش‌تر اراضی بکر جنگلی برداشته شود. همچنین استفاده از حداقل مجموعه داده جهت بررسی کیفیت خاک می‌تواند در تغییر کیفیت پویایی خاک و پس‌ازآن مدیریت پایدار اراضی با کم‌ترین هزینه و حداقل زمان ما را یاری برساند؛ بنابراین اهداف این پژوهش عبارت بودند از: ۱- بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی از جنگل به شالیزار و عمق خاک بر برخی خواص بیولوژیکی خاک، ۲- مطالعه تغییرات معدنی‌شدن کربن در نواحی جنگلی و شالیزاری، ۳- تعیین حساس‌ترین پارامتر بیولوژیکی کیفیت خاک به تغییر کاربری اراضی و نهایتاً، ٤- ایجاد حداقل مجموعه داده از ویژگی‌های بیولوژیکی کیفیت خاک با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

مواد و روش‌ها

توصیف منطقه مورد مطالعه: به‌منظور بررسی تأثیر عمق و نوع کاربری اراضی بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک، ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در استان گیلان انتخاب شد. سعی گردید نمونه‌های خاک از مناطق مجاور یکدیگر با اقلیم، توپوگرافی، جهت و درجه شیب یکسان تهیه شود به‌طوری‌که تمام عوامل خاک‌سازی به‌جز پوشش گیاهی برای هر دو کاربری انتخاب شده مشابه باشد. ایستگاه تحقیقات صنوبر صفرابسته در ۵ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان آستانه‌اشرفیه در نزدیکی رودخانه سفیدرود با ارتفاع

۱۵ متر بالاتر از سطح دریای خزر و ۱۰ متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد (خلیج فارس) با موقعیت ´۵۷ °۴۹ تا ´۶۰ °۴۹ طول شرقی و ´۱۹ °۳۷ تا ´۲۲ °۳۷ عرض شمالی واقع شده و از نظر پستی بلندی فاقد هر گونه عارضه بوده و کاملاً مسطح می‌باشد. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک هواشناسی شهرستان آستانه‌اشرفیه مقدار بارندگی ۱۱۸۶ میلی‌متر در سال و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد است که حداکثر آن (۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد) در مردادماه و حداقل درجه حرارت (۸/۶ درجه سانتی‌گراد) در دی‌ماه گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه دارای وسعت بیش از ۱۰ هکتار است. این منطقه شامل خاک‌های بکر جنگلی (جنگل توسکا) و شالیزار مجاور آن‌ها، است. برخی از مشخصات خاک‌های بکر جنگلی و شالیزار در جدول ۱ آورده شده است.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها: به‌منظور نمونه‌برداری از خاک منطقه، هر کاربری به سه قسمت مختلف تقسیم و هر قسمت به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد و اقدام به جمع‌آوری نمونه از اعماق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری شد. بعد از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید نمونه‌ها هوا خشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و برای انجام آزمایش‌های لازم نگه‌داری گردید.

جدول ۱- برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های بکر (جنگلی) و شالیزار منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Some of the chemical and physical properties of native (forest) and rice field soils of the studied.

نوع کاربری	عمق	بافت خاک	چگالی	میانگین وزنی قطر خاکدانه (الک تر)	پ.اچ (عصاره اشباع)	هدایت الکتریکی (عصاره اشباع)	کربن آلی	نیتروژن کل	ظرفیت تبادل کاتیونی
Land use	Depth	Texture soil	Bulk density (BD)	mean weight diameter (MWD)	pH	Electrical conductivity (EC)	Organic carbon (OC)	Total nitrogen (TN)	Cation exchange capacity (CEC)
	(cm)		(g cm^{-3})	(mm)		(dS m^{-1})	(g kg^{-1})		(meq 100g^{-1})
جنگل طبیعی Natural forest	0-20	لوم سیلتی	1.31	2.56	7.47	0.83	49.54	4.65	36.25
	20-40	لوم سیلتی	1.45	1.50	7.42	0.75	31.71	3.11	36.28
	40-60	لوم سیلتی	1.52	0.86	7.36	0.59	21.91	2.17	19.45
	60-80	لوم سیلتی	1.77	0.59	7.33	1.49	17.12	1.71	19.40
	80-100	لوم سیلتی	1.97	0.45	7.27	1.04	10.51	1.06	19.58
شالیزار Rice field	0-20	لوم سیلتی	1.57	0.65	7.20	1.26	25.03	2.53	26.63
	20-40	لوم سیلتی	1.69	0.38	7.40	0.96	14.39	1.48	16.94
	40-60	لوم سیلتی	1.87	0.22	7.49	0.89	9.11	0.97	16.20
	60-80	لوم سیلتی	2.08	0.16	7.56	0.73	6.07	0.65	13.22
	80-100	لوم سیلتی	2.22	0.07	7.69	0.64	4.59	0.50	13.03

پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده: در نمونه‌های خاک میزان کربن معدنی شده یا تنفس خاک به کمک اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس میکروبی از طریق تیتراسیون برگشتی سود باقی‌مانده با اسیدکلریدریک (۱)، کربن زیست‌توده میکروبی به روش گازدهی با کلروفرم و سپس عصاره‌گیری با

سولفات پتاسیم و قرائت کربن در عصاره به روش رفلاکس (۲۶)، کسر میکروبی از طریق تقسیم زیست‌توده میکروبی به کربن آلی ($\frac{MBC}{OC}$) (۱۸) و ضریب متابولیکی یا نسبت تنفس پایه (تنفس بدون افزودن سوبسترا) به‌میزان کربن زیست‌توده میکروبی ($\frac{BR}{MBC}$) از روش تقسیم مقدار کربن متصاعد شده از نمونه‌های گاز داده نشده طی یک روز (تنفس پایه (Basal Respiration)) بر کربن زیست‌توده میکروبی (۲) اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تنفس و معدنی‌شدن کربن به‌صورت وزنی محاسبه و گزارش گردید. شاخص حساسیت (SI)[1] برای پارامترهای بیولوژیکی در ارتباط با تغییر کاربری از جنگل بکر به شالیزار با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (۱۷).

$$SI = [(QI_N - QI_A)/QI_A] * 100 \qquad (۱)$$

که در آن، SI شاخص حساسیت (بر حسب درصد)، (QI_N) پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در اراضی بکر، (QI_A) پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در شالیزار.

روش تجزیه‌وتحلیل اطلاعات: داده‌های این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش با کمک نرم‌افزار SAS مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و جدول تجزیه واریانس تهیه گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج حاصل از ویژگی‌های بیولوژیکی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[2] مورد بررسی قرار گرفت و نمرات حاصل از PCA به‌وسیله ANOVA مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک: نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تغییرات بیولوژیکی خاک بر اثر تغییر کاربری اراضی در عمق‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات کاربری، عمق و اثر متقابل آن‌ها هر سه بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار ($P \leq 0.001$) بود (جدول ۲). تبدیل جنگل طبیعی به برنجزار موجب کاهش معنی‌دار کربن زیست‌توده میکروبی شد. کربن زیست‌توده میکروبی در جنگل بکر در لایه سطحی (۱۶۲۵ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) حدود ۲ برابر بیش‌تر از برنجزار (۷۹۱/۷ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) بود.

جنگل‌زدایی منجر به کاهش شدید کربن زیست‌توده میکروبی می‌شود که این نشان‌دهنده تغییر در کمیت و کیفیت کربن آلی و ترکیب جامعه میکروبی پس از تبدیل جنگل است. لی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کربن زیست‌توده میکروبی در زمین‌های کشاورزی کم‌تر از اراضی جنگلی بود (۱۳). همچنین اسلام و ویل (۲۰۰۰) یک کاهش ۴۰ درصدی در میزان کربن زیست‌توده میکروبی پس از تبدیل جنگل به زمین‌های کشاورزی گزارش کردند (۱۰). همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد کربن زیست‌توده میکروبی در هر دو کاربری از سطح به عمق کاهش یافت؛ بنابراین نوع استفاده از زمین و شیوه‌های مدیریتی بر کربن زیست‌توده میکروبی در تمام لایه‌های خاک تأثیر می‌گذارد (۱۵).

1- Sensitivity Index
2- Principle Component Analysis

جدول ۲- ویژگی های بیولوژیکی خاک جنگلی و شالیزاری در منطقه آستانه اشرفیه، عمق ۱۰۰-۰ سانتی متری.

Table 2- Biological properties of forest and rice field in Astaneh Ashrafieh Area, Depth 0-100 cm.

نوع کاربری (Land use)	عمق (Depths) (cm)	کربن زیست توده میکروبی (MBC) (mg kg^{-1})	کسر میکروبی (MBC/OC) (%)	تنفس میکروبی (Cmin) (mg kg^{-1}) ($mgCO_2$-Ckg^{-1}soil)	درصد معدنی شدن کربن (Cmin/SOC) (g kg^{-1}) (%)	تنفس پایه (BR) (mg kg^{-1} day^{-1})	ضریب متابولیکی (qCO_2) ($\mu gCg^{-1}MBC\ day^{-1}$)
جنگل طبیعی							
Natural forest	0-20	1625.00Aa	3.28Aa	1890Aa	37.74Aa	38.57Aa	23.74Aa
	20-40	958.33Ba	3.03Aa	1727Ba	53.20ABa	36.71Aa	38.31Ba
	40-60	625.00Ca	2.96Aa	1529Ca	67.06BCa	32.86Aa	52.57Ca
	60-80	479.17Da	2.85Aa	1400Ca	79.15Ca	27.14ABa	56.64Ca
	80-100	270.83Ea	2.61Aa	1154Da	102.17Da	15.86Ba	58.80Ca
شالیزار							
Rice field	0-20	791.67Ab	3.16Aa	1234Ab	46.91Aa	20.00Ab	25.26Aa
	20-40	437.50Bb	3.05Aa	1092Bb	74.46Aa	18.57ABb	42.45Ba
	40-60	250.00Cb	2.75ABa	1016Bb	107.10Bb	14.29ABCb	57.14Ca
	60-80	145.83CDb	2.41BCa	795Cb	121.02Bb	12.14BCb	83.26Db
	80-100	83.33Db	1.85Ca	625Db	131.82Ba	10.00Cb	120.00Eb
نتایج تجزیه واریانس Analysis of variance (آماره F)							
کاربری Land use (L)		312.43^{***}	4.33^{ns}	795.95^{***}	32.89^{***}	54.72^{***}	28.89^{***}
عمق Depth (D)		204.28^{***}	5.41^{**}	79.41^{***}	28.40^{***}	7.38^{***}	56.73^{***}
کاربری*عمق (L)*(D)		18.52^{***}	1.06^{ns}	1.17^{ns}	1.51^{ns}	0.60^{ns}	6.10^{**}

حروف متفاوت (حروف بزرگ برای عمق های متفاوت و حروف کوچک برای کاربری مختلف) نشان دهنده اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ است. ***، **، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار. تنفس میکروبی (Cmin) به مدت ۱۶ هفته محاسبه و به صورت تجمعی گزارش گردیده است.

Different letters (capital letters for different depths and lower case letters for different land use) indicate a significant difference based on Duncan's test at $P < 0.05$. ***, **, * and ns significant at 0.001, 0.01 and 0.05 probability level and no significant, respectively. Cmin is reported for 16 weeks and cumulatively

به‌طورکلی در زمین‌های جنگلی انباشت بقایای گیاهی در سطح خاک مانعی بین خاک و اتمسفر ایجاد می‌کند که باعث کاهش تبخیر از سطح خاک می‌گردد. همچنین سرعت باد را کاهش داده و تبادل بین آب و گرما را کم می‌کند. در نتیجه یک محیط مناسب برای فعالیت جمعیت میکروارگانیسم‌ها در خاک را به وجود می‌آورد. علاوه بر این ورودی کربن بیش‌تر به خاک از طریق تراوش‌های ریشه‌ای باعث رشد میکروب‌ها شده و زیست‌توده میکروبی را افزایش می‌دهد (۲۳). در مزارع برنج به‌دلیل چرخه خشک و مرطوب شدن جمعیت میکروب‌ها در سطح کاهش می‌یابد.

در این مطالعه، یک همبستگی مثبت بین کربن زیست‌توده میکروبی با محتوای کربن آلی خاک ($R = 0.99 , P \leq 0.001$)، با نیتروژن ($R = 0.97, P \leq 0.001$)، ظرفیت تبادل کاتیونی ($R = 0.95, P \leq 0.001$) و میانگین وزنی قطر خاکدانه ($R = 0.96, P \leq 0.001$) وجود داشت. همچنین یک همبستگی منفی و معنی‌دار بین زیست‌توده میکروبی با چگالی ($R = -0.86, P \leq 0.001$) مشاهده گردید (جدول ۳).

نتایج ما با یافته‌های سایر پژوهشگران (۲۲) که آن‌ها نیز در مطالعات خود یک همبستگی مثبت و معنی‌دار بین زیست‌توده میکروبی و کربن آلی خاک یافتند هماهنگی دارد. زیست‌توده میکروبی ۱ تا ۵ درصد کل محتوای کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد (۲٤). توده زنده میکروبی کم شالیزار نسبت به جنگل بکر نه‌تنها به‌دلیل هدررفت کربن آلی است بلکه به‌دلیل کاهش پایداری خاکدانه است که این به‌وسیله همبستگی بین زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه خود را نشان می‌دهد. زیست‌توده میکروبی نقش مهمی در استحکام خاکدانه‌ها بازی می‌کند (۱۱).

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در لایه ۱۰۰-۰ سانتی‌متر در کاربری جنگل و شالیزار.

Table 3. Pearson correlation coefficient (r) between some of the physical, chemical and biological properties measured in the 0-100 cm layer in the use of forest and rice.

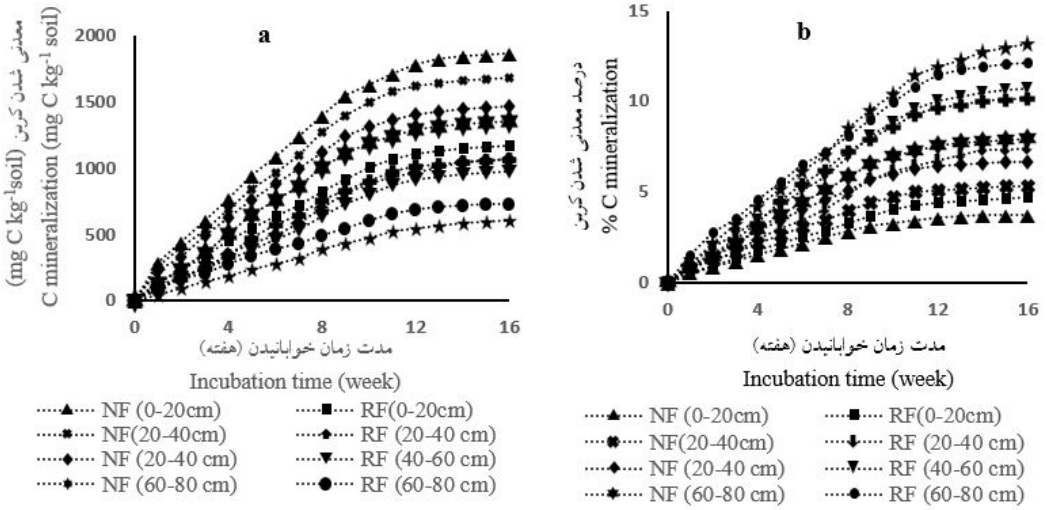
متغیرها Variable	چگالی (BD)	میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)	کربن آلی خاک (OC)	نیتروژن کل (TN)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)	تنفس میکروبی (Cmin)	کسر متابولیکی (qCO_2)
چگالی (BD)	1.00							
میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)	-0.81***	1.00						
کربن آلی خاک (OC)	-0.88***	0.96***	1.00					
نیتروژن کل (TN)	-0.86***	0.99***	0.97***	1.00				
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	-0.78***	0.92***	0.94***	0.96***	1.00			
کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)	-0.89***	0.96***	0.99***	0.97***	0.95***	1.00		
تنفس میکروبی (Cmin)	-0.86***	0.88***	0.88***	0.88***	0.84***	0.86***	1.00	
کسر متابولیکی (qCO_2)	0.82***	-0.63***	-0.73***	-0.73***	0.76***	-0.74***	-0.76***	1.00

***، **، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

***, **, * and ns significant at 0.001, 0.01 and 0.05 probability level and no significant, respectively.

تفاوت در OC و زیست‌توده میکروبی در قالب ($\frac{MBC}{OC}$) یا کسر میکروبی منعکس‌شده است. این نسبت از ۳/۳–۲/٦ درصد در اراضی جنگلی و از ۳/۲–۱/۸ درصد در اراضی برنجزار متغیر بود (جدول ۲). در مطالعه ما با تغییر کاربری این نسبت تغییر معنی‌داری نداشت که این منعکس‌کننده تغییرات مشابه در MBC (متوسط کاهش ٦۱ درصد) و OC (متوسط کاهش ۵۷ درصد) پس از تغییر کاربری است (جدول‌های ۱ و ۲).

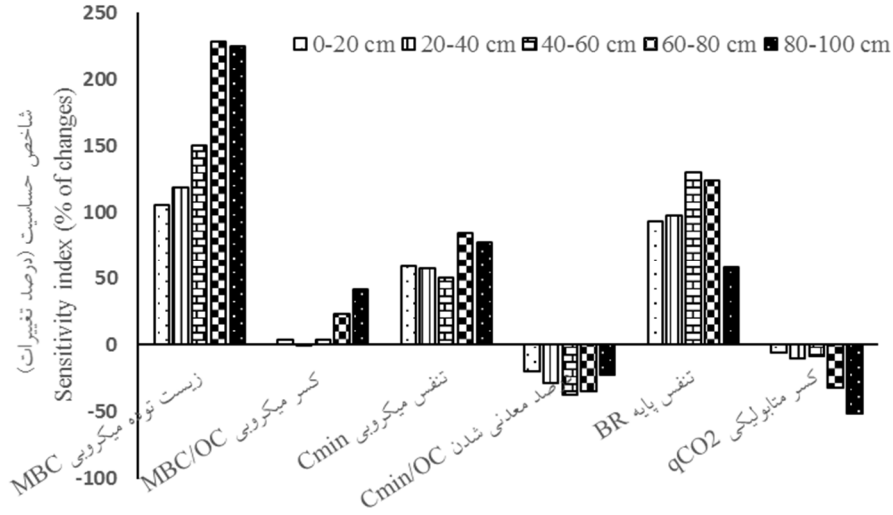
الگوی تجمعی معدنی‌شدن کربن خاک‌های جنگل طبیعی و شالیزار خوابانیده شده در شکل ۱a نشان داده شده است. یک کاهش معنی‌دار در میزان معدنی‌شدن کربن بعد از یک دوره ۱٦ هفتگی خوابانیده شدن در هر دو کاربری در تمام لایه‌ها مشاهده گردید. معدنی‌شدن کربن خاک (CO_2 خروجی تجمعی بیان شده به‌صورت C_{min} ،mg CO_2C kg^{-1} soil) در کل پروفیل به‌طور مداوم و پایدار در جنگل بالاتر از شالیزار بود. به‌طور متوسط کربن کل معدنی شده (C_{min}) در پروفیل خاک در اراضی جنگلی ۱٤۹۱ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک و در شالیزار ۹۱۲ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲) و یا به‌عبارت دیگر مقدار معدنی‌شدن در اراضی جنگلی به‌طور میانگین ۱/٦ برابر بیش‌تر از اراضی شالیزار بود. علت این امر محتوای بالاتر کربن آلی و انباشت بیش‌تر آن و حداقل اختلاط در سیستم‌های طبیعی است. حداقل اختلاط در سیستم طبیعی موجب حالت پایدار کربن آلی در خاک شده که این امر باعث زیست‌توده میکروبی بالاتر در این سیستم‌ها می‌شود. خرمالی و شمسی (۲۰۰۹) گزارش کردند که تبدیل اراضی بکر به زمین‌های زراعی موجب کاهش معنی‌دار تنفس خاک شد. آن‌ها دلیل بالا بودن تنفس در اراضی بکر را به مواد آلی بالایی که سالیانه به این اراضی وارد می‌شود نسبت داده‌اند و هدررفت مواد آلی در اثر کشت و کار را علت کاهش تنفس در اراضی زراعی دانسته‌اند (۱۲).



شکل ۱- معدنی‌شدن تجمعی کربن و درصد معدنی‌شدن آن در خاک جنگل طبیعی و شالیزار در پنج عمق در مدت ۱٦ هفته خوابانیدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد.

Figure 1. Cumulative C mineralization (C_{min}) and percentage of the initial C (C_{min}/SOC) in natural forest (NF) and rice field (RF) soils at five depths, during 16 weeks of laboratory incubation at 25 °C.

تنفس میکروبی با زیست‌توده میکروبی همبستگی مثبت و معنی‌دار ($R = 0.86, P \leq 0.001$) داشت. زیست‌توده میکروبی هم همان‌طور که قبلاً اشاره گردید با محتوای کربن آلی خاک، نیتروژن موجود در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، میانگین وزنی قطر خاکدانه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با چگالی همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۳). برعکس زمانی که داده‌های معدنی‌شدن کربن به‌صورت نسبت کل کربن معدنی شده ($\frac{Cmin}{SOC}$ یا ضریب معدنی شدن کربن q_m) بیان شد روند متفاوتی مشاهده گردید (جدول ۲، شکل ۱b) در کل خاکرخ، مقدار این نسبت در اراضی شالیزار در طول ۱۶ هفته انکوباسیون بیش‌تر از اراضی جنگل بود. اختلاف این نسبت بین اراضی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر زیاد مشهود نبود بلکه این اختلاف در عمق‌های پایین واضح‌تر بود (جدول ۲). به‌دلیل عملیات کشت و کار در اراضی شالیزار خاک به‌طور مداوم زیرورو شده این امر موجب شکسته شدن خاکدانه‌ها، افزایش تهویه و کاهش حفاظت فیزیکی مواد آلی شده درنتیجه تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد. از این‌طرف با افزایش معدنی شدن کربن و از سوی دیگر افزایش تجزیه مواد آلی این نسبت افزایش می‌یابد. اثر کاربری ($P \leq 0.001$) و اثر عمق ($P \leq 0.001$) بر میزان تنفس پایه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل این دو روی این ویژگی تأثیر معنی‌داری نداشت ($P \geq 0.05$). نتایج نشان داد که مقدار تنفس پایه با افزایش عمق کاهش یافت؛ که این کاهش در زمین‌های شالیزار (۵۰ درصد) کم‌تر از زمین‌های بکر (۶۰ درصد) بود. مقدار این معرف در لایه سطحی بیش‌تر از سایر اعماق بود. تغییر کاربری اراضی سبب کاهش تنفس پایه گردید این نتایج بیانگر آن است که کشت و کار طولانی‌مدت در زمین‌های بکر با کاهش ورود بقایای آلی سبب کاهش جمعیت و فعالیت ریزجانداران خاک‌زی و در ادامه کاهش تنفس پایه خاک گردیده است (۷). اثر کاربری ($P \leq 0.001$)، اثر عمق ($P \leq 0.001$) و اثر متقابل این دو ($P \leq 0.01$) بر میزان کسر متابولیکی معنی‌دار بود. افزایش کسر متابولیکی در اثر تبدیل اراضی بکر به شالیزار در همه اعماق دیده شد و به‌طور میانگین در خاکرخ شالیزار (۷۹ درصد) بیش‌تر از اراضی بکر (۵۹ درصد) بود. تغییر کاربری با تغییر مقدار و کیفیت بقایای آلی و ورودی آن به خاک موجب کاهش فعالیت و جمعیت میکروبی می‌شود. همچنین زیادی این کسر به این معناست که در شالیزار میزان معدنی‌شدن کربن بالا بوده و عمده میکروارگانیسم‌ها کربن را به‌صورت CO_2 به اتمسفر رها کرده و کم‌تر به مصرف خود درمی‌آورند. این تغییرات در درصد کربن معدنی‌شده هم دیده شده و این دو همدیگر را تأیید می‌نمایند. شاخص حساسیت در مورد پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. در میان پارامترهای اندازه‌گیری‌شده به‌ترتیب کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه و تنفس میکروبی از سایر پارامترها به تغییر کاربری حساس بوده به‌طوری‌که با تغییر کاربری میزان آن‌ها کاهش یافته است.



شکل ۲- شاخص حساسیت پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در کل پروفیل خاک جنگل بکر در مقایسه با شالیزار: (MBC) توده زنده میکروبی، (MBC/OC) کسر میکروبی، (C_{min}) تنفس میکروبی، (C_{min}/OC) درصد معدنی‌شدن، (BR) تنفس پایه، (qCO_2) کسر متابولیکی.

Figure 2. Sensitivity indices of biological parameters measured in total soil profile of viron forest in comparison with rice field: (MBC) microbial biomass C (MBC/OC) microbial quotient, (C_{min}) microbial respiration (C_{min}/OC) percent Mineralization, (BR) basal respiration, (qCO_2) metabolic quotient.

تجزیه تحلیل مؤلفه‌های اصلی: PCA برای حذف همبستگی چندگانه و کاهش تعداد متغیرها در یک مجموعه دادها برای تعریف بهتر و تجزیه‌وتحلیل کامل‌تر بر داده‌ها استفاده می‌شود. به‌طوری‌که آن حاوی بیش‌تر یا همه اطلاعات لازم است. نتایج تجزیه PCA روی ویژگی‌های بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در منطقه مورد مطالعه در جدول ٤ و پراکنش ویژگی‌ها روی محورهای PCA در شکل ۳ نشان داده شده است. استفاده از PCA در این مطالعه پنج مؤلفه (F_1، F_2، F_3، F_4 و F_5) را جدا کرد (جدول ٤) که دو مؤلفه (F_1 و F_2) با مقادیر ویژه[1] بالاتر از یک از آن استخراج شد که ۹۱/۳۱ درصد تغییرات ناشی از این دو مؤلفه است (جدول ٤). بر اساس آنالیز صورت گرفته درصد معدنی‌شدن با بیش‌ترین مقدار مثبت (>۰/۸) و مقادیر منفی برای زیست‌توده میکروبی، کسر میکروبی و تنفس میکروبی به‌عنوان اولین مؤلفه و تنفس پایه و کسر متابولیکی با بیش‌ترین مقدار مثبت (>۰/۷) به‌عنوان مؤلفه دوم دسته‌بندی شدند (جدول ٤).

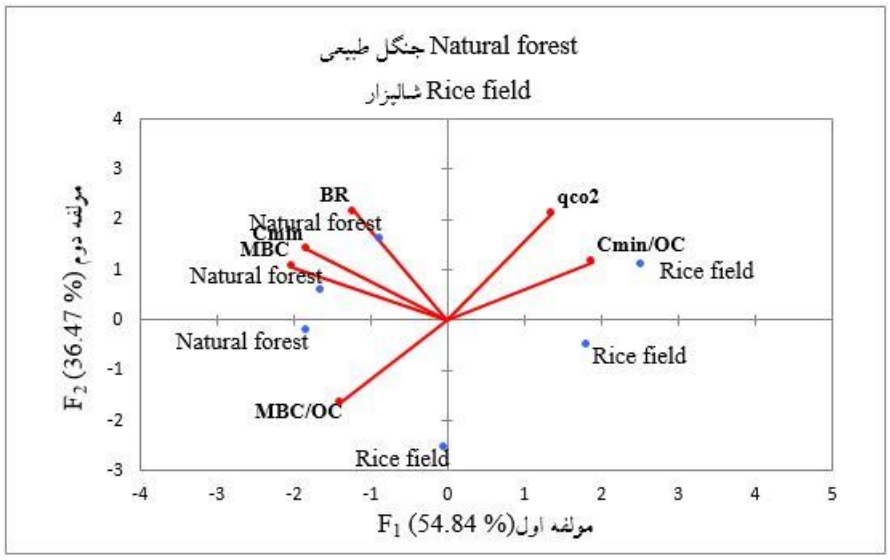
دو عامل تقریباً بیش از ۷۰ درصد واریانس را در مقادیر زیست‌توده میکروبی و درصد معدنی‌شدن کربن و بیش از ٦۰ درصد واریانس را در مقادیر معدنی‌شدن کربن، تنفس پایه و کسر (ضریب) متابولیکی توجیه کرد. این پارامترها بیش‌ترین برآورد اشتراکی بودن را نشان می‌دهند و کسر میکروبی کم‌ترین اهمیت نسبی در بین تخمین مقادیر اشتراک را نشان داده است. اصغری و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی اثرات تغییر کاربری بر روی شاخص‌های کیفیت خاک در شرق استان اردبیل پرداختند. نتایج تجزیه عامل‌ها در پژوهش آن‌ها نشان داد که سه عامل تقریباً ۷۳ درصد واریانس را در مقادیر اسیدیته، تنفس و تخلخل توجیه نمود و کربنات کلسیم معادل کم‌ترین اهمیت نسبی در بین تخمین مقادیر اشتراک بود (۳).

1- Eigenvalue

جدول ٤- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی خصوصیات بیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری).

Table 4. Results of Principal Component Analysis for measured biological properties in surface layer (0-20 cm).

متغیرها (Variable)	مؤلفه‌ها (Component)		اشتراک (Communality)
	F_1	F_2	
زیست‌توده میکروبی (MBC)	-0.91	0.39	0.83
کسر میکروبی (MBC/OC)	-0.62	0.60	0.39
تنفس میکروبی (C_{min})	-0.82	-0.52	0.67
درصد معدنی‌شدن (C_{min}/OC)	0.85	0.42	0.72
تنفس پایه (BR)	-0.55	0.79	0.62
کسر متابولیکی (BR/MBC)	0.61	0.78	0.60
مقادیر ویژه (Eigenvalue)	3.29	2.19	-
واریانس (% Variance)	54.84	36.47	-
واریانس تجمعی (% Cumulative Variance)	54.84	91.31	-



شکل ۳- مؤلفه‌های اصلی پارامترهای مختلف بیولوژیکی کیفیت خاک بسته به نوع استفاده از زمین. توصیف علائم و پارامترها در جدول ٤ آورده شده است.

Figure 3. The main components of the various biological parameters of soil quality depending on the land use. Symbol and parameters description are available in table 4.

نتیجه‌گیری کلی

تغییر کاربری از جنگل بکر به اراضی شالیزاری تأثیر نامطلوب روی پارامترهای بیولوژیکی کیفیت خاک داشت و موجب کاهش وزن زیست‌توده میکروبی، تنفس میکروبی و تنفس پایه و افزایش درصد معدنی‌شدن و ضریب میکروبی شد. براساس روش تجزیه عامل‌ها، دو عامل اول حدود ۹۱/۳۱ درصد واریانس کل را توجیه نمودند. تخمین‌های اشتراکی نشان داد که مقادیر زیست‌توده میکروبی و درصد معدنی‌شدن کربن مناسب‌ترین شاخص‌های

ارزیابی بیولوژیکی کیفیت خاک در پی تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه بودند. در اثر عملیات خاک‌ورزی تهویه خاک افزایش می‌یابد که آن موجب افزایش سرعت تجزیه بقایا و کاهش ذخیره عناصر غذایی و تبع آن کاهش جمعیت میکروبی می‌گردد؛ بنابراین ادامه کشت و کار در این اراضی تخریب خاک را تشدید نموده و در صورت توقف کشت و کار زمان بهبود و زمان احیا طولانی‌تر می‌شود.

منابع

1. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds). Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp. 831-872.
2. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1986. Carbon assimilation and microbial activity in soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 149: 457-468.
3. Asghari, Sh., Hashemian Soofian, S., Goli Kalanpa, E., and Mohebodini, M. 2015. Impacts of land use change on soil quality indicators in eastern Ardabil province. J. Water Soil Cons. 22: 3. 1-20.
4. Beheshti, A., Raiesi, F., and Golchin, A. 2012. The effects of disturbance caused by the conversion of forest lands to agriculture on some of the biology of soil quality in forest ecosystems in northern Iran. J. Agroecol. 3: 439-453.
5. Dalal, R.C. 1998. Soil microbial biomass, what do the numbers really mean? Austr. J. Exper. Agric. 38: 649-665.
6. Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically related biological parameters. Agriculture, Ecosystems and Environment. 88: 164-174.
7. Girmay, G., Singh, B., Mitiku, H., Borresen, T., and Lal, L. 2008. Carbon stocks in Ethiopian soils in relation to land use and soil management. Land Degradation & Development. 19: 351-367.
8. Griinzweig, J.M., Starrow, S.D., and Chapin, S.S. 2003. Impact of forest conversion to agriculture on carbon and nitrogen mineralization in subarctic Alaska. Biogeochemistry. 64: 271-296.
9. Haghighi, F., Gorji, M., and Shorafa, M. 2010. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. Land Degradation and Development. 21: 496-502.
10. Islam, K.R., and Weil, R.R. 2000. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Soil Water Cons. J. 54: 64-78.
11. Kandeler, E., and Murer, E. 1993. Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. Geoderma. 56: 503-513.
12. Khormali, F., and Shamsi, S. 2009. Micromorphology and quality attributes of the loess derived soils affected by land use change: a case study in Ghapan watershe, northern Iran. J. Moun. Sci. 6: 197-204.
13. Lai, R., Lagomarsino, A., Ledda, L., and Roggero, P.P. 2014. Variation in soil C and microbial functions across tree canopy projection and open grassland microenvironments. Turk. J. Agric. Forest. 38: 62-69.
14. Lal, R. 2004. Carbon sequestration in dry land ecosystems. Environmental Management. 33: 528-544.
15. Liang, Q., Chen, H., Gong, Y., Fan, M., Yang, H., Lal, R., and Kuzyakov, Y. 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China plain. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 92: 21-33.
16. Maharjan, M., Sananllah, M., Razavi, B.S., and Kuzyakov, Y. 2017. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top and up soil. Applied Soil Ecology. 113: 27-28.
17. Mganga, K.Z., Razavi, B.S., and Kuzyakov, Y. 2016. Land use affects soil biochemical properties in Mt. Kilimanjaro region. Catena. 141: 22-29.

18. Moscatelli, M.C., Lagomarsino, A., Marinari, S., De Angelis, P., and Grego, S. 2005. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. Ecological Indicator. 5: 171-179.
19. Raiesi, F. 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 112: 13-20.
20. Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pasture to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 121: 309-318.
21. Raiesi, F., and Asadi, E. 2006. Soil microbial activity and litter turnover in native grazed and ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. Biology and Fertility of Soils. 43: 76-82.
22. Raiesi, F., and Beheshti, A. 2015. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. Ecological Indicators. 50: 173-185.
23. Sanaullah, M., Blagodatskaya, E., Chabbi, A., Rumpel, C., and Kuzyakov, Y. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. Applied Soil Ecology. 48: 38-44.
24. Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), Biological Indicators of Soil Health. CAB International. Pp: 97-119.
25. Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhang, T.H., and Zhao, X.Y. 2004. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. Soil and Tillage Research. 75: 27-36.
26. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry. 19: 703-707.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(4), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.16374.3170

The change of the biological properties of a forest soil after converting to the paddy field and determination of the most sensitive properties to land use change

***Z. Varasteh Khanlari[1], A. Golchin[2], S.A. Mousavi Kupar[3] and P. Alamdari[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3]Assistant Prof., Research Center of Agriculture and Natural, Resources of Gilan province, (AREEC), Rasht, [4]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan

Received: 03.03.2019; Accepted: 06.09.2019

Abstract

Background and Objectives: The evaluation of biological parameters of soil quality plays an important role in assessing the land management and sustainability of agricultural systems. For this purpose, the biological properties of soil quality, which are sensitive to farming are measured and investigated. The aim of the present study is to evaluate the biological changes forest soil quality after converting to the paddy field and determining the most sensitive properties to disturbance of an ecosystem and the creating a minimum set of data from these parameters using the factor analysis method.

Materials and Methods: The present study was performed in Poplar research station in Guilan Province. The soil samples collection were done in both natural forest and closest paddy field from five different depth (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm). The data were analyzed as a factorial test in a completely randomized design with three replications. The factors including the type of land use in two levels and soil depth in five levels were studies in three replications. Therefore, the statistic population of the present study was 10 treatments (5×2=10) with three replications (totally 30 test units). In the study, the microbial respiration, the mineralization percentage of carbon, the microbial biomass carbon, microbial fraction, and the metabolic coefficient of the samples were measured and the sensitivity index to each feature was calculated. The data were analyzed using SAS software. Mean comparison of parameters of Duncan's test and factor analysis using principal component analysis method were performed.

Results: The results of the study showed that any land use changes from forest to paddy field led to increase the mineralization percentage of carbon and the metabolic coefficient by 28 and 21% respectively. However, microbial biomass C (61%), microbial respiration (31%), and basal respiration (49%) were reduced. Sensitivity index (SI) indicated that microbial biomass is more sensitive than other parameters to land use. The use of principal component analysis (PCA) showed that two factors could explain more than 70% of the variance in microbial biomass and carbon mineralization percentage and more than 60% of the variance in the amount of carbon mineralization, basal respiration, and a metabolic fraction (quotient). These parameters represent the maximum communality estimation, and the microbial fraction showed the minimum relative importance among the estimates of the total communality values.

Conclusion: The change in land use from forests to the paddy fields had an adverse effect on the biological parameters of soil quality. This reduces soil health and the potential for carbon sequestration in the soil. Therefore, cultivation in these lands exacerbates soil degradation and stopping the process results in longer recovery and resilience time.

Keywords: Land use change, Metabolic friction (quotient), Microbial biomass, Principle component analysis (PCA), The mineralization of organic carbon

* Corresponding Author; Email: z.khanlari93@gmail.com