نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

اثرات تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های کیفیت خاک در شرق استان اردبیل

[*]شکراله اصغری[۱]، سعیده هاشمیان‌صوفیان[۲]، اسماعیل گلی‌کلانپا[۱] و مهدی محب‌الدینی[۳]

[۱]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی،
[۳]استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: رشد بی‌رویه جمعیت و نیاز به تأمین مواد غذایی برای انسان و دام باعث تشدید فرایند تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی توسط کشاورزان به‌ویژه در سال‌های اخیر گردیده است. جنگل‌زدایی عواقب اکولوژیکی زیان‌باری مانند کاهش تنوع زیستی و کیفیت خاک دارد. نتایج پژوهش پژوهشگران در سراسر دنیا بیانگر آن است که جنگل‌زدایی باعث تنزل کیفیت خاک از طریق کاهش ماده آلی، تنفس میکروبی، پایداری خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی و افزایش جرم مخصوص ظاهری می‌گردد. هدف از این پژوهش ارزیابی تغییرات برخی شاخص‌های کیفیت خاک در منطقه جنگلی فندقلو در اثر تغییر کاربری اراضی و نیز ایجاد حداقل مجموعه داده از شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از روش تجزیه عامل‌ها بود.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در ۲۵ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان اردبیل واقع در طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲٤ دقیقه و ۳۰ ثانیه قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه آن ٤۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه $8^{\circ}C$ می‌باشد. سی نمونه خاک دست‌خورده و دست‌نخورده از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر سه کاربری مجاور هم جنگل، مرتع و زراعی (جمعاً ۹۰ نمونه) واقع در یک دامنه شیبدار برداشته و برخی شاخص‌های فیزیکو شیمیایی و بیولوژیکی در آن‌ها اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین پارامترها با آزمون دانکن و تجزیه عاملی به روش تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام گرفت.

یافته‌ها: در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی به‌ترتیب میانگین کربن آلی از ۵/۸ به ۳/۰۸ و ۲/۲٤ درصد، نیتروژن کل از ۰/٤٦ به ۰/۲۲ و ۰/۱۱ درصد، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از ۱/۲۸ به ۰/۹۷ و ۰/۳۵ میلی‌متر، هدایت هیدرولیکی اشباع از ۰/٤۹ به ۰/۳۵ و ۰/۲۰ سانتی‌متر بر دقیقه، تنفس میکروبی از ۰/۹۰ به ۰/۳٦ و ۰/۳۰ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز، پتاسیم از ٥٤٥/۰۷ به ۲۸۹/۰۷ و ۱۰۵/۱٤ میلی‌گرم در کیلوگرم، فسفر از ۵۵/۱۸ به ۲۷/٦۷ و ۵۱/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم، تخلخل کل از ٥٤/۱۱ به ٤٦/٦۷ و ۳۷/۳ درصد کاهش و در مقابل میانگین کربنات کلسیم معادل از ۵/۵۷ به ۹/۹۳ و ۱۱/۹۸ درصد، شن از ٥٤/۸۲ به ۵۷/۸۳ و ٦۰/۷٦ درصد و اسیدیته از ۵/٦٦ به ٦/۷۳ و ٦/۸۲ افزایش یافت. بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کربن آلی با نیتروژن کل ($r=۰/۸۹۷^{**}$) یافت شد. نتایج تجزیه عاملی نیز نشان داد سه عامل بیش از ۹۵ درصد واریانس را در شن، ۸۳ درصد واریانس را در کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، رس و سیلت، ۷۳ درصد واریانس را در اسیدیته، تنفس و تخلخل و ٦۰ درصد واریانس را در فسفر توجیه کرد.

[*] مسئول مکاتبه: shasghari@uma.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی باعث افت کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه گردیده است. با عنایت به شیب بالای منطقه جنگلی فندقلو که موجب تشدید حساسیت خاک به فرسایش آبی می‌شود و نیز اهمیت گردشگری آن، ضروری است از تبدیل اراضی جنگلی باقی‌مانده به اراضی مرتعی و زراعی جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تغییر کاربری اراضی، جنگل‌های فندقلو، کیفیت خاک

مقدمه

رشد بی‌رویه جمعیت نیازمند تأمین مواد غذایی برای انسان و دام و در نتیجه بهره‌برداری بیش‌تر از منابع طبیعی است. این موضوع مهم‌ترین علت گرایش به کشاورزی با نهاده‌های بیش‌تر، تغییر کاربری اراضی و جنگل‌تراشی است. تغییر جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی هم‌اکنون به یکی از نگرانی‌های قابل‌توجه در سطح دنیا در زمینه تخریب خاک و محیط زیست و تغییر اقلیم جهانی تبدیل شده است. 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 (32).

جنگل‌زدایی عواقب اکولوژیکی زیان‌باری مانند کاهش تنوع زیستی و کیفیت خاک دارد. از بین رفتن پوشش جنگلی باعث تغییر در شاخص‌های کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردد. جنگل‌زدایی باعث تنزل کیفیت خاک از طریق کاهش ماده آلی (1, 19)، تنفس میکروبی (3, 4)، پایداری خاکدانه‌ها (7, 32)، هدایت هیدرولیکی (11, 23) و افزایش جرم مخصوص ظاهری (13, 28, 30) می‌گردد.

عجمی و همکاران (2006) گزارش کردند که در افق سطحی خاک پس از قطع درختان جنگلی و به زیر کشت بردن زمین در استان گلستان، کربن آلی از ٤ به ۱/۳ درصد، نیتروژن کل خاک از ۰/۲ به ۰/۰٦ درصد، تنفس میکروبی از ۰/۱۹ به ۰/۱ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن دفع شده بر گرم در روز و رس از ۳۸/۸۰ به ۲۰ درصد کاهش ولی شن از ۱/۵۰ به ۲ درصد و جرم مخصوص ظاهری از ۱/٤۸ به ۱/۵٤ گرم بر سانتی‌مترمکعب افزایش یافت (1). عمادی و همکاران (2009) بیان کردند که در اثر تبدیل جنگل به اراضی زیر کشت، مقادیر شن و رس به‌ترتیب ۱۹/۹۲ و ۳/۰۱ درصد کاهش و سیلت ٤/۸۸ درصد افزایش پیدا کرد (9). نتایج پژوهش سیلیک (2005) نشان داد که در اثر تبدیل مرتع به زمین زراعی در ترکیه، جرم مخصوص ظاهری خاک به‌میزان ۷/۸۷ درصد افزایش و میانگین وزنی قطر (MWD)[1] خاکدانه‌ها به‌میزان ۵۲ درصد کاهش و نیز در اثر تبدیل جنگل به زمین زراعی، هدایت هیدرولیکی اشباع به‌میزان ۲۳ درصد کاهش یافت (7). خرمالی و همکاران (2009) گزارش دادند تغییر کاربری از جنگل به زمین زراعی باعث کاهش معنی‌دار کربن آلی و تخلخل کل و افزایش جرم مخصوص ظاهری در هر دو عمق ۳۰-۰ و ٦۰-۳۰ سانتی‌متری خاک گردید (19). بهشتی و همکاران (2012) بیان نمودند که در اثر تغییر کاربری زمین، جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری از ۱/۱۵ در کاربری جنگل به ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در اراضی زیر کشت افزایش معنی‌داری پیدا نمود ولی در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اختلاف معنی‌داری بین دو کاربری مشاهده نشد (4). نتایج پژوهش ذوالفقاری و حاج‌عباسی (2008) نشان داد که در اثر تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی به‌ترتیب تخلخل کل

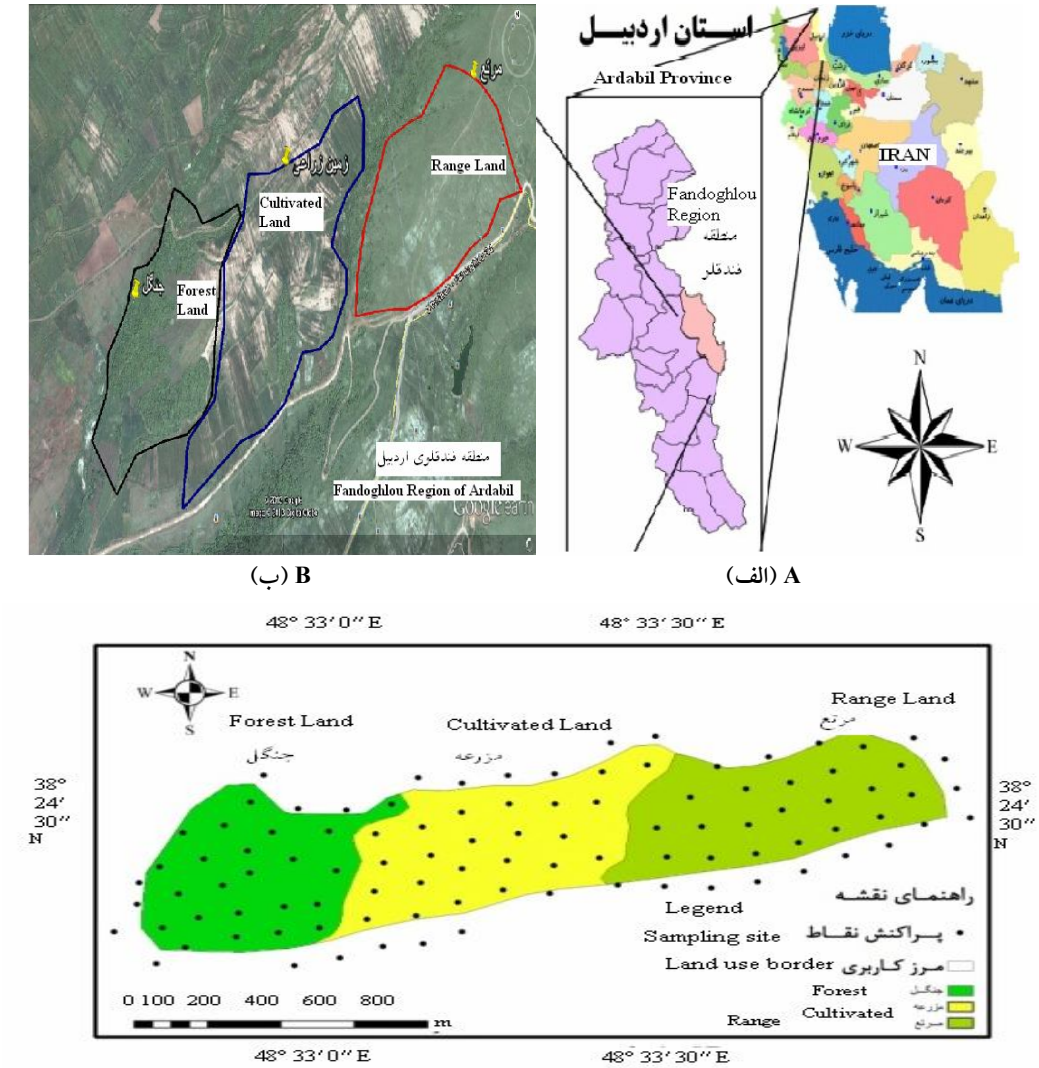
1- Mean weight diameter

خاک ۱۱ و ۹ درصد و MWD خاکدانه‌ها ۵۵ و ۴۰ درصد کاهش یافت (32). سلیمانی و آزموده (2010) مشاهده کردند که میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۲۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب در کاربری جنگل به ۱/۳۹ و ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب در اراضی زیر کشت گندم و اراضی باغی افزایش معنی‌داری پیدا کرد (30). صالحی و همکاران (2011) نشان دادند که جرم مخصوص ظاهری از ۱/۴۹ به ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب و جرم مخصوص حقیقی از ۲/۵ به ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب در اثر تخریب خاک جنگلی تغییر پیدا کرد (28). ایوبی و همکاران (2011) بیان کردند که تغییر کاربری جنگلی به زراعی منجر به کاهش ۷۱/۵ درصد ماده آلی و ۵۲/۱ درصد MWD خاکدانه‌ها و افزایش ۲۵۲ درصد شن گردید (3). نیک‌نهاد و مارامایی (2011) گزارش نمودند که در اثر تغییر کاربری اراضی، نیتروژن کل و MWD خاکدانه‌ها به‌ترتیب از ۰/۳۵ درصد و ۱/۶۴ میلی‌متر در خاک جنگلی به ۰/۲۱ و ۱/۱۸ در خاک مرتعی و ۰/۰۸ درصد و ۰/۵۴ میلی‌متر در خاک زراعی به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (26). متقیان و محمدی (2011) میانگین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برای کاربری کشت آبی در حوزه مرغملک استان چهارمحال بختیاری را ۰/۹ سانتی‌متر بر ساعت گزارش کردند که در مقایسه با کاربری‌های مراتع طبیعی و کشت دیم به‌طور معنی‌دار بیش‌تر بود (23). ایورندلیک و همکاران (2004) نشان دادند که در اثر تبدیل چمن‌زار به زمین کشاورزی در طی ۱۲ سال، کربن آلی خاک ۴۳ درصد کاهش یافت (10). مارتینز و همکاران (2008) بیان کردند که با تغییر کاربری جنگل به اراضی زیر کشت زیتون، میزان رس و سیلت کاهش، شن افزایش و کربن آلی به‌میزان ۵۰ درصد در لایه سطحی خاک کاهش یافت (22). نتایج پژوهش خزایی و همکاران (2011) نشان داد که ماده آلی و نیتروژن کل به‌ترتیب از ۶ و ۰/۴۳ درصد در منطقه جنگلی طبیعی به ۳ و ۰/۲۱ درصد در منطقه جنگلی تخریب شده کاهش پیدا کرد (17). صالحی و همکاران (2011) نیز کاهش کربن آلی را از ۳/۲۳ به ۱/۸۳ درصد در اثر تخریب خاک جنگلی گزارش نمودند (28). مختاری‌کرچگانی و همکاران (2011) نشان دادند که با تبدیل جنگل طبیعی به کشت دیم مقدار کربن آلی به‌ترتیب از ۲/۸۵ به ۰/۹۳ درصد کاهش و آهک خاک به‌میزان ۱۵۶/۵ درصد افزایش یافت (24). رئیسی (2007) نشان داد که در اثر تبدیل مرتع به کشت یونجه، فسفر و پتاسیم قابل استخراج به‌ترتیب ۱۳ و ۱۳۵ پی‌پی‌ام افزایش و pH از ۷/۹۳ به ۷/۴۰ کاهش یافت (27). خرمالی و شمسی (2009) بیان کردند تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی باعث کاهش میانگین تنفس میکروبی به مقدار ۴۸/۲۴ درصد در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک گردید (18).

علی‌رغم وجود داده‌های فراوان در زمینه تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک، تلاش اندکی در زمینه ایجاد حداقل مجموعه داده جهت ارزیابی تغییرات کیفیت خاک ناشی از جنگل‌زدایی صورت گرفته است. همچنین اطلاعات کمی محدودی در زمینه اثرات مخرب احتمالی تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی بر کیفیت خاک به‌ویژه در دامنه‌های شیبدار منطقه فندقلوی اردبیل به‌عنوان یکی از مناطق گردشگری ویژه کشور وجود دارد. جمع‌آوری چنین داده‌هایی به‌منظور حفاظت از خاک و آب منطقه ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، اهداف این پژوهش عبارت بودند از: ۱) ایجاد حداقل مجموعه داده از شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از روش تجزیه عامل‌ها ۲) ارزیابی تغییرات شاخص‌های کیفیت خاک منتخب منطقه مورد مطالعه در اثر تغییر کاربری اراضی.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در یکی از عرصه‌های جنگلی شرق استان اردبیل، به نام منطقه جنگلی فندقلو انجام گرفت. عرصه جنگلی فندقلو دنباله جنگل‌های نیمه‌گرمسیری استان گیلان است که در ۲۵ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان اردبیل به طرف آستارا و در ۱۰ کیلومتری شهرستان نمین در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱٦ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ٤۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ٤۸ درجه و ٤۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (شکل ۱- الف). ارتفاع از سطح دریای منطقه ۱۳۲۰ تا ۱٦۰۰ متر بوده و میانگین بارندگی سالانه ٤۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۸°C می‌باشد. مساحت کل جنگل‌های فندقلو ٤۳۷۸ هکتار می‌باشد که در این پژوهش ۵۹ هکتار آن که در حاشیه جاده واقع شده و بر اساس اظهارنظر کشاورزان بومی منطقه دچار تغییر کاربری به‌ویژه در یک قرن اخیر گردیده است مورد مطالعه قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی (الف)، تصویر ماهواره‌ای (ب) و نقشه توزیع نقاط نمونه‌برداری (ج) در کاربری‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical location (A), Satellite image (B) and distribution map of sampling sites (C) in the studied land uses.

نمونه‌برداری خاک: منطقه مطالعاتی مورد نظر شامل سه کاربری مجاور هم ۱) جنگل طبیعی ۲) جنگل تبدیل شده به اراضی مرتعی ۳) جنگل تبدیل شده به اراضی زراعی بود (شکل ۱- ب و ج). هر سه کاربری بر روی یک دامنه شیبدار (شیب بیش از ۱۰ درصد) رو به جنوب با مواد مادری یکسان قرار داشت و موقعیت کاربری جنگلی در بالا، زراعی در وسط و مرتعی در پایین شیب بود. گیاه عمده کشت شده در کاربری زراعی گندم و جو بود. برای این منظور ۳۰ نمونه خاک دست‌خورده و دست‌نخورده از هر کاربری (جمعاً ۹۰ نمونه) در قالب شبکه‌های تصادفی- منظم با فواصل حدود ۱۰۰ متر برداشته شد. نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و نمونه‌های خاک دست‌خورده (با حداقل دست‌خوردگی) از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متر با بیلچه برداشته شد.

اندازه‌گیری خصوصیات خاک: میانگین وزنی قطر (MWD) در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ٤/٧٥ mm به روش الک تر (31) اندازه‌گیری شد. در این روش از سری الک‌ها با قطر ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۰٦ mm استفاده شد. ۵۰ گرم خاک هوا خشک بر روی الک اول ریخته و آنگاه اجازه داده شد سری الک‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در داخل سطل آب با شدت ۳۰ نوسان در هر دقیقه و به‌صورت بالا و پایین حرکت کنند. آنگاه جرم آون خشک خاکدانه‌ها (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٢٤ ساعت) بر روی هر الک پس از تصحیح به جرم شن از طریق شستشوی خاکدانه‌ها در زیر شیر آب محاسبه و به کمک رابطه زیر MWD تعیین شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{R - S}{md - S} \right)_i \overline{d}_i \qquad (۱)$$

که در آن، $\overline{d}_i$: میانگین قطر سوراخ دو الک متوالی در کلاس i ام (mm)، R: جرم خاکدانه‌های آون خشک بر روی هر الک (g)، S: جرم شن‌های مانده بر روی هر الک (g)، md: جرم کل خاک خشک آون برداشته شده (g)، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm).

توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری با ٤ قرائت (14)، جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه (5)، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (6)، تخلخل کل بر اساس جرم مخصوص ظاهری و حقیقی (8)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار افتان (21)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک به آب مقطر توسط pH متر (16)، آهک به روش تیتراسیون (15)، کربن آلی به روش والکلی- بلک (25)، نیتروژن کل به روش کجلدال (15)، پتاسیم و فسفر قابل‌جذب به‌ترتیب به روش فلیم‌فتومتری و رنگ‌سنجی (15) و تنفس خاک به روش دفع CO_2 (2) اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری: طرح آماری آزمایش به‌صورت کاملاً تصادفی با ۳ تیمار کاربری زمین شامل جنگل طبیعی (شاهد)، جنگل تبدیل شده به مرتع و جنگل تبدیل شده به زمین زراعی در ۳۰ تکرار برای هر کاربری اجرا گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین پارامترها با آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. تجزیه عامل‌ها برای گروه‌بندی ۱۵ ویژگی خاک بر اساس ماتریس همبستگی متغیرها به روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)[1] نیز با همان نرم‌افزار انجام شد. از روش PCA برای تجزیه عامل‌ها به این دلیل استفاده شد که این روش به تخمین اولیه مقدار تغییرات هر یک از متغیرهای خاک که باید توسط عامل‌ها توضیح داده شود نیازی ندارد (3).

1- Principle Component Analysis

نتایج و بحث

تأثیر تغییر کاربری اراضی بر شاخص‌های کیفیت خاک: جدول ۱ نشان می‌دهد که اثر تغییر کاربری اراضی بر پارامترهای سیلت، شن، کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه ها، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل کل، هدایت هیدرولیکی اشباع، اسیدیته، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کربنات کلسیم معادل و تنفس خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی بر میزان رس خاک اثر معنی‌داری نداشت.

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه.

Table 1. Analysis of variance for measured properties in the studied soil.

منابع تغییر (Sources of variations)	درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (Mean squares)						
		اسیدیته (pH)	کربن آلی (OC)	کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$)	نیتروژن کل (Total N)	پتاسیم (K)	فسفر (P)	تنفس میکروبی (MR)
کاربری اراضی (Land use)	2	12.388**	1.374**	7.277**	0.895**	1464535**	6791.3**	3163**
خطا (Error)	87	0.1	0.005	0.39	0.006	8006.6	126.98	0.053
کل (Total)	89							
منابع تغییر (Sources of variations)	درجه آزادی (Degree of freedom)	رس (Clay)	شن (Sand)	سیلت (Silt)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)	جرم مخصوص حقیقی (D_P)	جرم مخصوص ظاهری (D_b)	هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)
کاربری اراضی (Land use)	2	13.49ns	265.15**	160.41**	6.83**	0.799**	1.96**	0.651**
خطا (Error)	87	6.92	451.82	0.005	0.39	0.076	0.015	0.004
کل (Total)	89							

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: not significant and significant at P<0.01, respectively. OC: Organic Carbon; MR: Microbial respiration; MWD: Mean weight diameter of aggregates; D_p: Particular density; D_b: Bulk density; K_s: Saturated hydraulic conductivity.

کربن آلی و نیتروژن کل: شکل ۲ (الف) نشان می‌دهد که در اثر تغییر کاربری از جنگل به زمین مرتعی و زراعی میانگین کربن آلی به‌ترتیب از ۵/۸ به ۳/۰۸ و نیتروژن کل به‌ترتیب از ۰/٤٦ به ۰/۲۲ و ۰/۱۱ درصد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. در خاک جنگلی احتمالاً به‌دلیل عدم کشت و زرع، تجمع لاشبرگ فراوان باعث افزایش مقدار کربن آلی خاک گردید. کاهش کربن آلی در کاربری مرتع نیز می‌تواند ناشی از چرای مفرط دام‌ها و در نتیجه کاهش میزان لاشبرگ اضافه شده به خاک باشد. مهم‌ترین عاملی که در تسریع کاهش کربن آلی کاربری زراعی تأثیر می‌گذارد کشت و کار مداوم می‌باشد که موجب افزایش تجزیه مواد آلی خاک طی عملیات شخم می‌شود. حساسیت بیش‌تر اراضی زراعی در برابر

فرسایش، عـاملی دیگـر بـرای کـاهش کـربن آلـی و نیتروژن کل خاک به‌شمار می‌آید به‌طـوری‌کـه بخـش عمده‌ای از کربن آلی خاک و نیتروژن از طریق فرآیند فرسایش و به همراه ذرات کلوییدی همراه با روانـاب از دسترس خاک خارج خواهد شـد. عـلاوه بـر ایـن، عملیات خاک‌ورزی سـبب مخلـوط شـدن لایـه‌هـای زیرین خاک با درصد کربن آلی کم‌تر با خـاک رویـی حاوی کربن آلی بیش‌تر می‌شود و در نتیجـه موجـب کاهش کربن آلی خاک کاربری زراعـی در مقایـسه بـا حالت اولیه می‌گردد. همچنـین، عملیـات خـاک‌ورزی سـبب افـزایش معـدنی شـدن نیتـروژن و کـاهش آن می‌شود. شـهبازی و همکـاران (2013) نیـز گـزارش نمودند در اثر تغییر کاربری اراضی مرتعی بـه زراعـی در جلگه سلدوز استان آذربایجان‌غربی (متوسط بارش و دمای سالانه ۳۲٦ mm و ۱۲/۸ °C)، میانگین کـربن آلی به‌ترتیب از ٦/۸ به ۲/۲ درصـد بـه‌طـور معنـی‌دار کاهش یافت (29). نتایج پژوهش ایـوبی و همکـاران (2011) نشان داد که ٤۰ سال پـس از تغییـر کـاربری اراضی جنگلی به زراعی در ۱۰ کیلومتری شهر گرگان (متوسط بارش و دمای سالانه ٥٦۰ mm و ۱٤/۹ °C)، میانگین کربن آلی به‌ترتیب از ۳/۷٥ به ۱/۰۷ درصد و میانگین نیتروژن کل از ۰/۹۲ به ۰/۲۸ درصـد کـاهش یافت (3). بالا بودن کربن آلی خاک در کـاربری‌هـای مورد مطالعه در این پـژوهش در مقایـسه بـا پـژوهش ایوبی و همکاران (2011) و سایر پـژوهش‌هـا مـشابه شاید به‌دلیل پایین بودن میانگین دمـای سـالانه منطقـه (۸ °C) و شدت تجزیه کم مواد آلی باشد (3). کاهش کربن آلی و نیتروژن کل خاک در اثـر تغییـر کـاربری اراضـی جنگلـی بـه مرتعـی و زراعـی توسـط سـایر پژوهشگران مثل عجمی و همکاران (2006)، خزایـی و همکاران (2011)، نیک‌نهاد و مارمایی (2011) نیـز گزارش شده است (1, 17, 26).

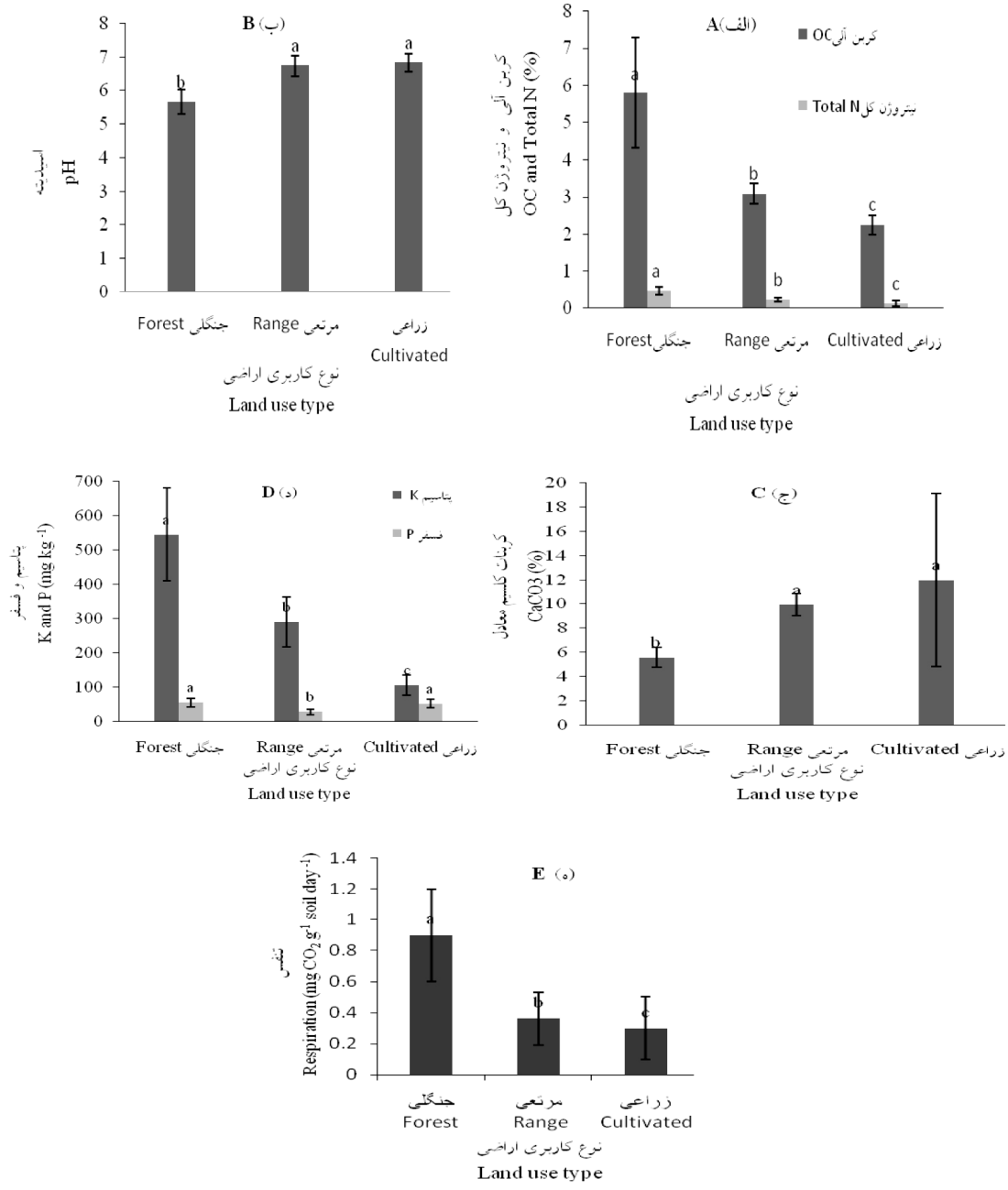
اسیدیته (pH): شکل ۲ (ب) نشان می‌دهد که با تغییر کاربری از جنگل به زمین مرتعی و زراعی، pH خاک به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیـب از ٥/٦٦ بـه ٦/۷۳ و ٦/۸۲ افـزایش یافـت. بـا وجـود ایـن، بـین مقـادیر pH در کاربری مرتعی و زراعی اختلاف معنـی‌داری مـشاهده نشد. پایین بودن pH خاک جنگلی را می‌توان به بـالا بودن میزان مـاده آلـی خـاک (شـکل ۱ (الـف)) و در نتیجه افزایش سهم گروه‌های عاملی اسیدی مواد آلـی در خاک و جذب مداوم کاتیون‌های قلیـایی و قلیـایی خاکی توسط درختان نسبت داد. به نظـر مـی‌رسـد در این پژوهش زیر و رو شدن پروفیل خاک موجب بـالا آمدن مواد آهکی به سطح در کاربری زراعـی شـده و بنابراین pH خاک این کـاربری را نـسبت بـه جنگـل طبیعی افزایش داد. خرمالی و شمسی (2009) نیز بیان کردند با تغییـر کـاربری از جنگـل طبیعـی بـه زمـین زراعی، pH به مقـدار ۱۳/۸٤ درصـد افـزایش یافـت (18). بهشتی و همکاران (2012) گزارش کردنـد کـه تغییر کاربری اراضی جنگلی بـه زراعـی در پـاره‌سـر استان گیلان احتمالاً به خاطر مصرف کود اوره توسط کشاورزان منطقه منجر به افزایش معنی‌دار pH خـاک از ٥/۱٤ به ٦/۷۳ گردید (4).

کربنات کلسیم معادل: براساس شکل ۲ (ج)، با تغییر کاربری از جنگل به زمین مرتعی و زراعـی بـه‌ترتیـب میانگین کربنـات کلـسیم معـادل از ٥/٥۷ بـه ۹/۹۳ و ۱۱/۹۸ درصد افزایش یافت. با وجود این بین مقـادیر کربنات کلسیم در کاربری مرتعـی و زراعـی اخـتلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسـد فـراهم بـودن رطوبت بیش‌تر در خاک جنگلی همراه بـا دی اکـسید کربن ناشی از فعالیت‌های بیولـوژیکی (شـکل ۲ (ه)) باعـث انحـلال کربنـات کلـسیم و تجمـع آن در افـق کلسیک زیرین گردید. مقدار کربنات کلسیم معادل در کاربری جنگل با اختلاف زیادی کم‌تر از خاک زراعی

است. افزایش کربنات کلسیم معادل در افق سطحی اراضی کشت شده به‌طور عمده مربوط به از دست رفتن افق سطحی اولیه بر اثر فرسایش و ظاهر شدن افق‌های غنی از آهک زیرین و همین‌طور اختلاط خاک زیرین با خاک سطحی در اثر عملیات شخم است. ایوبی و همکاران (2011) نیز گزارش کردند با تغییر کاربری اراضی از جنگل به زمین زراعی، کربنات کلسیم معادل از ٤/١٦ به ١٤/٥٩ درصد افزایش یافت (3). نتایج پژوهش بهشتی و همکاران (2012) در گرگان نشان داد که تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی باعث افزایش کربنات کلسیم معادل به‌ترتیب از ١٧/٥ به ٢٦/٧ درصد در عمق ٠ تا ٢٠ cm خاک گردید (4). خرمالی و همکاران (2009) و سیلیک (2005) نیز پایین بودن کربنات کلسیم معادل در کاربری جنگلی نسبت به زراعی را به انتقال عمقی کربنات کلسیم معادل و تشکیل کربنات ثانویه در کاربری جنگلی نسبت دادند (19).

پتاسیم و فسفر قابل استفاده: شکل ٢ (د) نشان می‌دهد که خاک جنگلی دارای بیش‌ترین پتاسیم و فسفر نسبت به دیگر کاربری‌ها است. در اثر تغییر کاربری مقدار پتاسیم از ٥٤٥/٠٧ در کاربری جنگلی به ٢٨٩/٠٧ در مرتع و ١٠٥/١٤ میلی‌گرم در کیلوگرم در زمین زراعی کاهش پیدا کرده است. یکی از دلایل احتمالی کاهش غلظت پتاسیم در زمین زراعی را می‌توان به عدم مصرف کودهای شیمیایی حاوی پتاسیم و برداشت مداوم این عنصر توسط گیاه نسبت داد. خاک جنگلی (٥٥/١٨ میلی‌گرم در کیلوگرم) و خاک مرتعی (٢٧/٦٧ میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین فسفر قابل‌جذب بودند. میانگین فسفر قابل‌جذب خاک جنگلی به‌طور معنی‌داری ٥/٨ درصد بیش‌تر از میانگین فسفر قابل‌جذب زمین زراعی (٥١/٩٨ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. با وجود این بین میانگین فسفر قابل استفاده خاک جنگلی و زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. میانگین فسفر قابل جذب خاک زراعی نیز به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میانگین فسفر قابل‌جذب خاک مرتعی به‌دست آمد. احتمالاً به‌دلیل کودپاشی (فسفات آمونیوم) سالانه، در کاربری زراعی میزان فسفر قابل‌جذب از کاربری مرتعی بیش‌تر بوده اما در عین‌حال از میزان فسفر قابل استفاده کاربری جنگلی کم‌تر بود. رئیسی (2007) نیز گزارش داد در اثر تبدیل مرتع به کشت یونجه افزایش ١٣ میلی‌گرم در کیلوگرم در فسفر قابل استفاده گیاه مشاهده گردید (27).

تنفس میکروبی: شکل ٢ (ه) نشان می‌دهد که خاک جنگلی مورد آزمایش به‌دلیل داشتن کربن آلی زیاد دارای تنفس بالاتری می‌باشد. نتایج بیانگر آن است که با تغییر کاربری از جنگل به زمین مرتعی و زراعی به‌دلیل کاهش کربن آلی (شکل ١ (الف)) میانگین تنفس خاک به‌ترتیب از ٠/٩٠ به ٠/٣٦ و ٠/٣٠ میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. با وجود این بین مقدار تنفس در کاربری زراعی و مرتعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ایوبی و همکاران (2011) نیز کاهش شدت تنفس میکروبی خاک از ٠/٧٥ به ٠/٢٤ میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک در روز در اثر تغییر کاربری زمین از جنگل به زراعی پس از ٤٠ سال کشت و کار را به‌دلیل کاهش معنی‌دار ماده آلی خاک گزارش نمودند (3). یافته‌های خرمالی و شمسی (2009) و عجمی و همکاران (2006) نیز کاهش معنی‌دار شدت تنفس خاک را در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی را تأیید نمود (1, 18).



شکل ۲- اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی خاک: کربن آلی و نیتروژن کل (الف)، اسیدیته (ب)، کربنات کلسیم معادل (ج)، پتاسیم و فسفر (د) و تنفس (ه). میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون چنددامنه‌ای دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

Figure 2. Effects of land use change on soil chemical and biological properties: organic carbon (OC) and total N (A), pH (B), $CaCO_3$ (C), K and P (D) and microbial respiration (E). Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

توزیع اندازه ذرات: با توجه به این‌که، کلاس بافت خاک در هر سه کاربری مورد مطالعه لوم شنی به‌دست آمد بنابراین احتمالاً به‌دلیل پایین بودن میزان رس خاک، تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پارامتر رس نتوانست معنی‌دار گردد (جدول ۱). شکل ۳ (الف) نشان می‌دهد که در اثر تغییر کاربری به‌طور معنی‌دار میزان شن از ٥٤/٨٢ در جنگل به ٥٧/٨٣ در مرتع و ٦٠/٧٦ درصد در زمین زراعی افزایش و میزان سیلت از ٣٩/٢٨ در جنگل به ٣٦/٩٥ در مرتع و ٣٤/٦٦ در زمین زراعی کاهش یافت. دلیل احتمالی این تغییرات را می‌توان به این صورت بیان کرد که ذرات سیلت به‌علت داشتن جرم کم در مقایسه با ذرات شن و خاصیت چسبندگی کم در مقایسه با ذرات رس در اثر کشت و زرع و چرای دام‌ها و نیز به‌دلیل شیب بالای زمین مورد مطالعه دچار فرسایش آبی شده و مقدار آن‌ها به‌طور معنی‌دار در کاربری زراعی و مرتعی نسبت به جنگل کاهش و در نهایت منجر به افزایش مقدار شن در دو کاربری نام‌برده گردید. اسلام و ویل (2002) گزارش نمودند که تغییر کاربری زمین باعث کاهش معنی‌دار مقدار سیلت از ٦٦ درصد در جنگل طبیعی به ٣٦/٥٠ درصد در اراضی زیر کشت در بنگلادش گردید (13). خرمالی و همکاران (2009) بیان کردند در اثر تغییر کاربری جنگلی به زراعی در یک دامنه شیبدار واقع در منطقه کلاله گرگان پس از ٥٠ سال کشت و کار، کلاس بافت خاک از لوم رس سیلتی در جنگل به لوم سیلتی در کاربری زراعی تغییر یافت. ایشان دلیل تغییر بافت خاک را به شیب بالای زمین و ناپایداری ساختمان خاک و وقوع فرسایش آبی نسبت دادند (19). نتایج مشابهی توسط مارتینز و همکاران (2008) و ایوبی و همکاران (2011) نیز گزارش شده است (3, 22).

جرم مخصوص و تخلخل کل: مطابق شکل ۳ (ب) خاک جنگلی مورد مطالعه به‌دلیل داشتن کربن آلی بالا (شکل ۲ (الف)) دارای جرم مخصوص ظاهری ٠/٨٦ g cm^{-3} و جرم مخصوص حقیقی ١/٨٨ g cm^{-3} می‌باشد که در مقایسه با مقادیر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک‌های معدنی به مراتب کم‌تر است. تغییر کاربری جنگل به زمین زراعی، میزان جرم مخصوص ظاهری را به ١/٣٧ g cm^{-3} و جرم مخصوص حقیقی خاک را به ٢/٢٠ g cm^{-3} افزایش داد و نیز با تبدیل جنگل به مرتع به‌علت کاهش کربن آلی خاک (شکل ۲ (الف)) در اثر چرای دام‌ها به‌ترتیب مقادیر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی به ١/٠٧ و ٢/٠٤ g cm^{-3} افزایش یافت. مواد آلی خاک چون ذاتاً دارای جرم مخصوص حقیقی کوچک‌تری در مقایسه با مواد معدنی خاک هستند بنابراین با افزایش سهم مواد آلی در فاز جامد خاک، جرم مخصوص حقیقی کاهش می‌یابد (12). بهشتی و همکاران (2012) نشان دادند با تغییر کاربری زمین از جنگل به زراعی در منطقه گرگان به‌علت کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک از ١/١٥ به ١/٥٢ g cm^{-3} به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (4). مواد آلی با افزایش سهم منافذ خاک منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌گردند. افزایش جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی و مرتعی به‌دلیل کاهش ماده آلی در خاک توسط عجمی و همکاران (2006)، سیلیک (2005) و صالحی و همکاران (2011) نیز گزارش گردیده است (1, 7, 28).

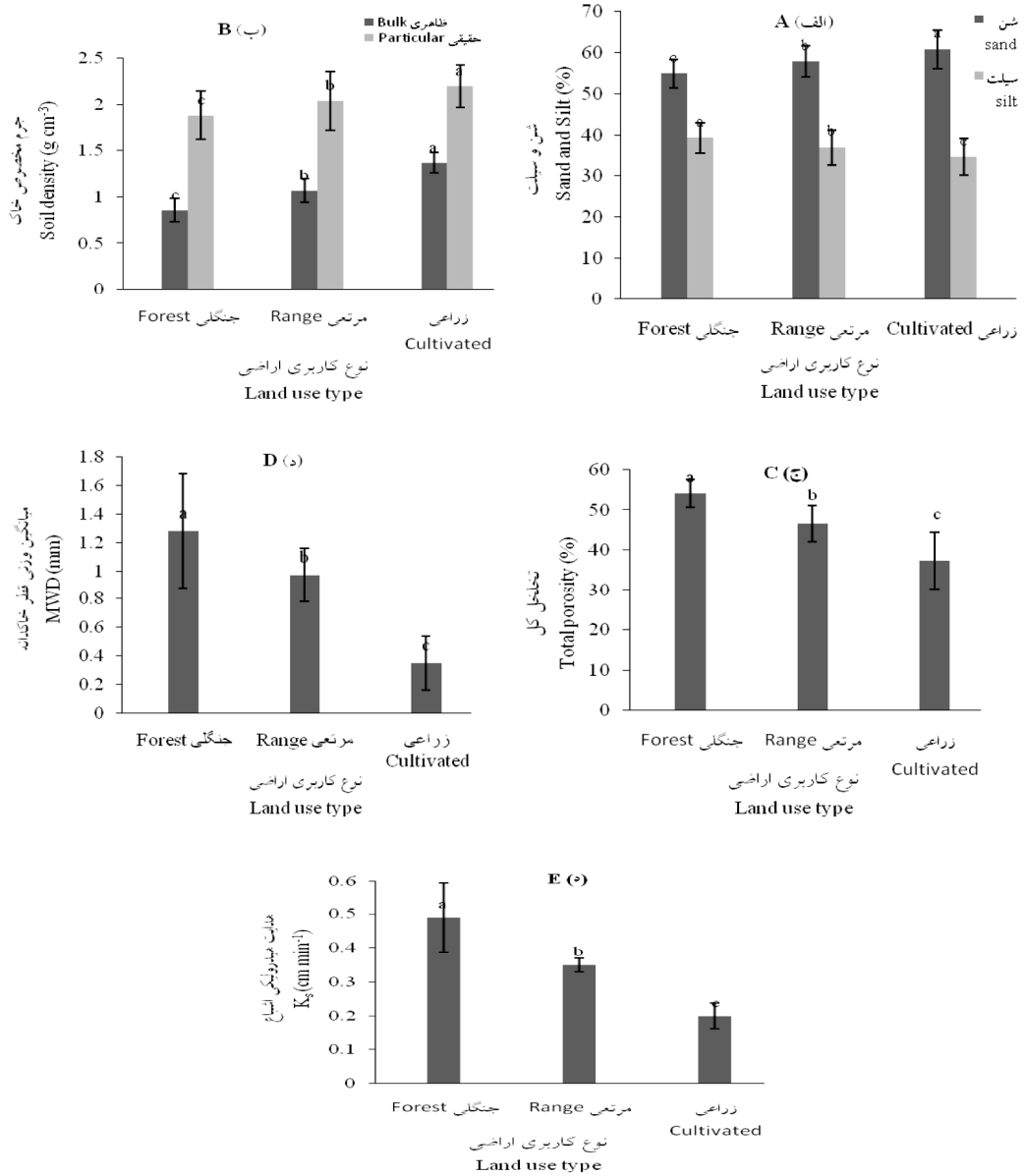
شکل ۳ (ج) نشان می‌دهد با تغییر کاربری اراضی از جنگل به زمین مرتعی و زراعی به‌ترتیب و به‌طور معنی‌دار تخلخل کل از ٥٤/١١ به ٤٦/٦٧ و ٣٧/٣ درصد کاهش یافت. کاهش تخلخل کل در کاربری‌های زراعی و مرتعی نسبت به جنگلی را می‌توان به افزایش بیش‌تر جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با جرم مخصوص حقیقی (شکل ۳ (ب)) در

اثـر تغییـر کـاربری زمـین نـسبت داد. ذوالفقـاری و حاج‌عباسی (2008) گزارش نمودند با تغییر کـاربری زمـین جنگلـی بـه زراعـی در منطقـه لردگـان اسـتان چهارمحال بختیاری، جرم مخصوص ظاهری از ۱/۲۰ به ۱/۳۰ $g\ cm^{-3}$ افزایش و در نتیجـه تخلخـل کـل از ۵۵ به ٤۹ درصد کاهش یافت (32). همچنین با تغییر کاربری زمین مرتعی به زراعی در منطقه فریدون‌شـهر استان اصفهان، جرم مخـصوص ظـاهری از ۱/۳۰ بـه ۱/۳۸ $g\ cm^{-3}$ افزایش و در نتیجه تخلخل کل از ۵۲ به ٤۸ درصد کاهش یافت (32). اسلام و ویل (2002) و خرمـالی و همکـاران (2009) نیـز نتـایج مـشابهی را به‌دست آوردند (13, 19).

میانگین وزنی قطـر (MWD) خاکدانـه‌هـا: شـکل ۳ (د) نشان می‌دهد که خاک جنگلی بـه‌علـت داشـتن کربن آلی زیاد (شکل ۲ (الف)) و مقدار شـن کـم‌تـر (شکل ۳ (الف)) دارای MWD بالا می‌باشد. به‌عبارت دیگر کربن آلی از عوامل اصلی خاکدانه‌سازی بـوده و با افزایش میزان آن در خاک، خاکدانه‌هـای درشـت و پایدار تشکیل می‌شـود و شـن نیـز از عوامـل کاهنـده پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد. با تغییر کاربری از جنگل به زمین مرتعی و زراعی، MWD خاکدانه‌ها به‌ترتیـب از ۱/۲۸ به ۰/۹۷ و ۰/۳۵ mm کـاهش یافـت. نتـایج پژوهش ذوالفقاری و حاج‌عباسی (2008) نشان داد با تغییر کاربری زمین جنگلی به زراعی در منطقه لردگان اسـتان چهارمحـال بختیـاری، MWD خاکدانـه‌هـا از ۰/۷۲ به ۰/۳۲ mm و نیز با تغییر کاربری زمین مرتعی بـه زراعـی در منطقـه فریـدون‌شـهر اسـتان اصـفهان، MWD خاکدانـه‌هـا از ۰/٦۸ بـه ۰/٤۵ mm بـه‌دلیـل کاهش ماده آلی و نیز افزایش فشردگی خاک ناشی از تردد ماشین‌های کشاورزی و دام‌هـا بـه‌طـور معنـی‌دار کاهش یافـت (32). ایـن نتیجـه بـا یافتـه‌هـای سـایر پژوهشگران مانند ایوبی و همکاران (2011) و سیلیک (2005) نیز مطابقت دارد (3, 7). مهم‌ترین عواملی را که مـی‌تـوان بـه‌عنـوان فاکتورهـای مـؤثر در کـاهش پایداری خاکدانه‌ها در کـاربری زراعـی منطقـه مـورد مطالعه بر شمرد عبارتند از: تلفـات شـدید مـاده آلـی (شکل ۲ (الف))، کاهش چشمگیر فعالیـت میکروبـی (شکل ۲ (ه)) و افزایش جرم مخصوص ظاهری و در نتیجه فشردگی خاک (شکل ۳ (ب)) در اثر استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی.

هدایت هیدرولیکی اشباع: با تغییر کاربری از جنگـل به زمین مرتعی و زراعی، هـدایت هیـدرولیکی اشـباع بـه‌طـور معنـی‌دار بـه‌ترتیـب از ۰/٤۹ بـه ۰/۳۵ و ۰/۲۰ $cm\ min^{-1}$ کاهش یافـت (شـکل ۳ (ه)). خـاک کاربری جنگل نسبت به دو کاربری دیگر دارای کربن آلی (شکل ۲ (الف))، تخلخل کـل (شـکل ۳ (ج)) و MWD خاکدانه‌های (شکل ۳ (د)) بیش‌تر و در مقابل جرم مخصوص ظاهری (شکل ۳ (ب)) کم‌تـری بـود بنابراین در کاربری جنگل، هدایت هیدرولیکی اشـباع خاک در مقایسه با دو کاربری دیگـر افـزایش یافـت. به‌نظر می‌رسد تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعـی و زراعی بـه‌دلیـل افـزایش جـرم مخـصوص ظـاهری (شـکل ۳ (ب)) در اثـر تـردد دام‌هـا و نیـز عملیـات خاک‌ورزی و کشت و کـار باعـث افـزایش فـشردگی خاک و در نتیجه کـاهش هـدایت هیـدرولیکی اشـباع گردید. بررسی‌های گل (2009) نشان داد که بیش‌ترین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌میزان ۱/٤ $cm\ min^{-1}$ در کاربری جنگـل طبیعـی و کـم‌تـرین آن بـه میـزان ۰/۱٤ $cm\ min^{-1}$ در جنگـل تبـدیل شـده بـه مرتـع به‌دست آمد (11). ذوالفقاری و حاج‌عباسی (2008) نیز گزارش نمودند با تغییر کاربری زمین جنگلی به زراعی در منطقه لردگان استان چهارمحال بختیـاری، هـدایت هیـدرولیکی اشـباع از ۰/۰۰٤ بـه ۰/۰۰۲٦ $cm\ min^{-1}$ به‌طور معنی‌دار کاهش یافت ولی بین مقـادیر هـدایت هیـدرولیکی اشـباع در دو کـاربری مرتعـی و زراعـی منتخب از منطقه فریدون‌شهر استان اصـفهان اخـتلاف

معنـی‌دار مـشاهده نـشد. مقـادیر میـانگین هـدایت هیدرولیکی اشباع در ایـن پـژوهش بـه‌علـت درشـت بافت (لوم شنی) بودن خاک هر سه کاربری در مقایسه با پژوهش ذوالفقاری و حاج‌عباسی (2008) بالا است (32) در حالی‌که نامبردگان، کلاس بافت خاک مناطق مورد مطالعه را لوم رسی گزارش کردند. توزیع انـدازه ذرات از طریق تأثیر بر توزیع اندازه منافذ خاک باعث تغییر در هدایت هیدرولیکی خاک می‌گردد (12).



شکل ۳- اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی خاک: شن و سیلت (الـف)، جـرم مخـصوص ظـاهری و حقیقـی (ب)، تخلخل کل (ج)، میانگین وزنی قطر خاکدانه (د) و هدایت هیدرولیکی اشباع (ه). میانگین‌هـای بـا حـروف غیرمـشابه دارای اخـتلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن). انحراف معیار با خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان داده شده است.

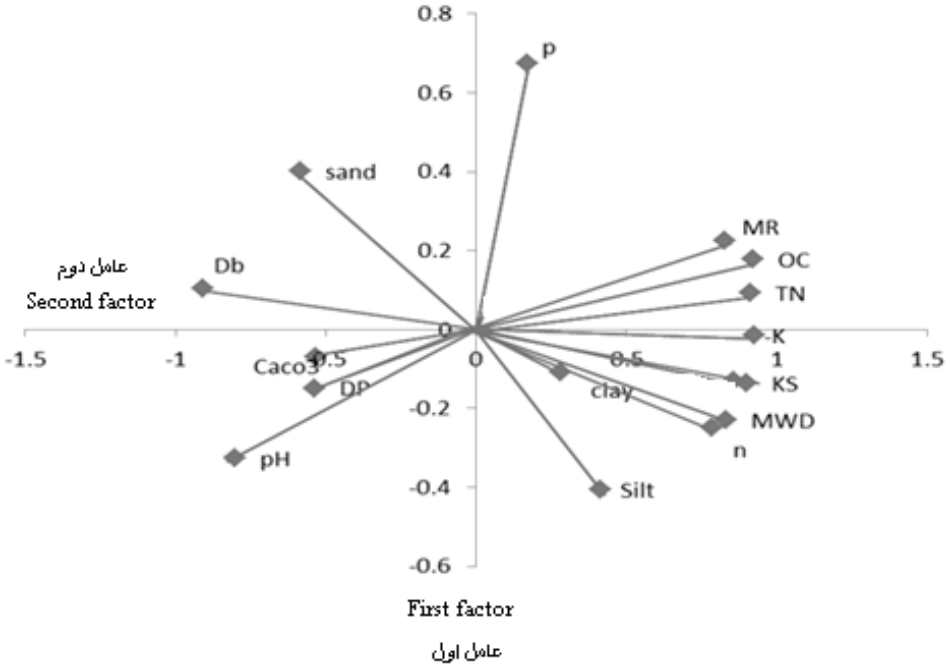
Figure 3. Effects of land use change on soil physical properties: sand and silt (A), bulk and particular density (B), total porosity (C), mean weight diameter of aggregates (MWD) (D) saturated hydraulic conductivity (K_s)(E). Means with dissimilar letters are significantly different at P<0.01, respectively (Duncan's multiple range test). Error bars indicate standard deviation.

روابط همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده در خاک: جدول ۲ همبستگی پیرسون بین خصوصیات اندازه‌گیری شده در سه کاربری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول اکثر خصوصیات خاک دارای همبستگی معنی‌دار با کربن آلی به‌دلیل اثرات تعیین‌کننده آن بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک بودند. به‌طور مثال، قوی‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۸۹۷**) بین کربن آلی و نیتروژن خاک در سه کاربری مورد مطالعه یافت شد. ماده آلی خاک منبع اصلی برای عنصر پرمصرف نیتروژن است و مقدار نیتروژن خاک نشأت گرفته از بقایای گیاهی و جانوری بوده به‌طوری‌که مواد آلی خاک به منزله انبار نیتروژن هستند. همچنین بین کربن آلی و تنفس میکروبی خاک، رابطه همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۸۱۲**) به‌دست آمد. اسلام و ویل (2002) بیان نمودند که فعالیت‌های میکروبی زیاد در خاک‌های تحت پوشش طبیعی جنگل به سطوح بالای کربن آلی قابل دسترس در این کاربری ارتباط دارد بنابراین نامبردگان همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی با تنفس و نیتروژن کل به‌دست آوردند (13). تغییر کاربری زمین از جنگلی به زراعی و مرتعی به‌علت تخریب ساختمان خاک باعث کاهش هر دو پارامتر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (شکل ۳ (د)) و هدایت هیدرولیکی اشباع (شکل ۳ (د)) گردید به همین دلیل بین این پارامترها رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۸۰۷**) یافت شد (جدول ۲). از دیگر نکات مهم جدول ۲ وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین جرم مخصوص ظاهری خاک با پارامترهای کربن آلی (r= -۰/۷۹۷**)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (r= -۰/۷۹۶**)، هدایت هیدرولیکی اشباع (r= -۰/۸۳**) تخلخل کل (r= -۰/۷٤۱**) و تنفس میکروبی خاک (r= -۰/۷۱**) می‌باشد. جرم مخصوص ظاهری یکی از شاخص‌های ارزیابی فشردگی خاک است بنابراین در منطقه مورد مطالعه با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در اثر تغییر کاربری اراضی، فشردگی خاک افزایش و به‌علت کاهش پارامترهای نام‌برده موجب تضعیف کیفیت خاک گردید.

تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA): نتایج تجزیه به عامل‌ها روی ۱۵ ویژگی اندازه‌گیری شده در خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ و پراکنش خصوصیات خاک بر روی محورهای PCA در شکل ٤ نشان داده شده است. به همین منظور برای گروه‌بندی ۱۵ ویژگی، سه عامل از عوامل مورد استفاده بیش‌ترین میزان واریانس را توجیه نموده و مقادیر ویژه[1] بالاتر از یک داشتند. برای خصوصیات خاک عامل‌های اول، دوم و سوم مهم‌ترین عوامل در تبیین واریانس در مقایسه با عوامل باقی‌مانده بود. عامل اول ۵۲/۱۷۸، عامل دوم ۹/٤۳۲ و عامل سوم ۹/۰۲۹ درصد و در مجموع ۷۰/٦۳۸ درصد کل واریانس را توجیه نمودند. عامل اول با بیش‌ترین مقادیر مثبت (>۰/۸۵) برای پارامترهای کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم و هدایت هیدرولیکی اشباع بود. با توجه به شکل ٤ مقادیر مثبت به‌دست آمده برای این خصوصیات از نظر آماری همبستگی معنی‌داری (جدول ۲) با هم داشتند. مقادیر منفی برای اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، شن، جرم مخصوص حقیقی و جرم مخصوص ظاهری به‌دست آمد (شکل ٤). عامل دوم با بیش‌ترین مقدار مثبت (>۰/٦) برای فسفر و

1- Eigen value

بیش‌ترین مقدار منفی برای سیلت (۰/٤۰۵-) است و ۹/٤۳۲ درصد از کل واریانس را توجیه نمود. عامل سوم با بیش‌ترین مقادیر مثبت (۰/۳۵<) برای سیلت و جرم مخصوص حقیقی و بیش‌ترین مقادیر منفی برای رس (۰/٤٤٤-) بود و ۹/۰۲۹ درصد از کل واریانس را توجیه کرد. سه عامل تقریباً بیش از ۹۵ درصد واریانس را در مقدار شن، بیش از ۸۳ درصد واریانس را در مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، رس و سیلت، بیش از ۷۳ درصد واریانس را در مقادیر اسیدیته، تنفس و تخلخل و بیش از ٦۰ درصد واریانس را در مقدار فسفر توجیه کرد. این پارامترها بیش‌ترین برآورد اشتراکی بودن را نشان می‌دهند و از بین این پارامترها کم‌ترین برآورد اشتراکی مربوط به کربنات کلسیم معادل است. بالا بودن نسبت درصد اشتراکی تخمین زده شده نشان‌دهنده توجیه بیش‌تر واریانس توسط عامل‌ها می‌باشد. ایوبی و همکاران (2011) نیز به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر روی شاخص‌های کیفیت خاک‌های لسی استان گلستان پرداختند. نتایج تجزیه عامل‌ها در پژوهش آن‌ها نشان داد که سه عامل تقریباً ۹۹ درصد واریانس را در شن، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، نیتروژن کل و کربن آلی توجیه نمود و اسیدیته دارای کم‌ترین اهمیت نسبی در بین تخمین مقادیر اشتراک بود.



شکل ٤- قرارگیری خصوصیات خاک بر روی محورهای PCA. توصیف علائم و پارامترها در جدول ۱ آورده شده است.

Figure 4. Position of soil properties on PCA coordinates. Symbols and parameters description are available in Table 1.

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات اندازه‌گیری شده.

Table 2. Pearson correlation coefficient among measured properties.

	pH	OC	$CaCO_3$	TN	MR	K	P	Clay	sand	Silt	D_p	MWD	D_b	K_s	n
pH	1														
OC	-0.806**	1													
$CaCO_3$	0.53**	0.46**	1												
TN	-0.72**	0.897**	-0.408**	1											
MR	-0.638**	0.812**	-0.301**	0.798**	1										
K	-0.769**	0.87**	-0.469**	0.843**	0.764**	1									
P	-0.35	0.224*	-0.141	0.17	0.234*	0.081	1								
Clay	-0.114	0.186	-0.129	0.216*	0.201	0.240*	0.068	1							
Sand	0.320**	-0.414**	0.185	-0.467**	-0.413**	0.501**	-0.117	-.390**	1						
Silt	-0.237	0.300**	-0.114	0.334**	0.273**	0.355	0.03	-0.227**	-0.781**	1					
D_p	0.391**	-0.455**	0.285**	-0.465**	-0.515**	-0.500**	-0.017	-0.256*	0.181	-0.001	1				
MWD	-0.549**	0.669**	-0.436**	0.756**	0.598**	0.725**	0.032	0.212*	0.518**	0.399**	-0.470**	1			
D_b	0.663**	-0.797**	0.462	-0.793**	-0.710**	-0.830**	0.007	-0.313	0.438**	-0.247*	-0.708**	-0.769**	1		
K_s	-0.691**	0.786**	-0.463**	0.787**	0.713	0.833**	0.052	0.231*	-0.504**	0.373**	-0.488**	0.807**	-0.821**	1	
n	-0.581**	0.713**	-0.394**	0.693**	0.532**	0.705**	0.001	0.193	-0.435**	0.337**	0.06	0.673**	-0.741**	0.701**	1

توصیف علائم و پارامترها در جدول ۱ آورده شده است.

Symbols and parameters description are available in Table 1.

جدول ۳- نتایج تجزیه عاملی خصوصیات اندازه‌گیری شده.

Table 3. Results of factor analysis for measured properties.

اشتراک (Communality)	عامل (Factor)			خصوصیات خاک (Soil properties)
	3	2	1	
0.777	-0.046	-0.326	-0.803	pH
0.892	0.012	0.178	0.921	OC
0.357	0.174	-0.07	-0.532	$CaCO_3$
0.847	0.019	0.094	0.915	TN
0.738	0.013	0.225	0.827	MR
0.862	-0.05	0.014	0.925	K
0.692	0.329	0.673	0.171	P
0.842	-0.444	-0.108	0.280	Clay
0.968	-0.438	0.401	-0.584	Sand
0.890	0.774	-0.405	0.414	Silt
0.579	0.484	-0.184	-0.536	D_p
0.750	-0.048	-0.230	0.833	MWD
0.915	0.275	0.104	-0.910	D_b
0.835	-0.068	-0.135	0.899	K_s
0.738	0.071	-0.249	0.786	n
-	9.029	9.432	52.178	واریانس Variance(%)
-	70.638	61.601	52.178	واریانس تجمعی Cumulative variance(%)

توصیف پارامترها در جدول ۱ آورده شده است.

Parameters description is available in Table 1.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد تغییر کاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی در منطقه فندقلوی اردبیل باعث افت کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از طریق کاهش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، تنفس میکروبی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی اشباع و افزایش معنی‌دار کربنات کلسیم معادل، شن و جرم مخصوص ظاهری خاک گردید. همچنین بر اساس روش تجزیه عامل‌ها، سه عامل اول حدود ۷۰ درصد واریانس کل را توجیه نمودند. تخمین‌های اشتراکی و مطالعات همبستگی نیز نشان داد که مقادیر شن، جرم مخصوص ظاهری و کربن آلی، مناسب‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک در پی تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه بودند. بنابراین حفاظت از خاک تپه‌های شیبدار به‌ویژه در منطقه گردشگری ویژه فندقلوی اردبیل با ممانعت از جنگل‌زدایی، لازم و ضروری است.

منابع

1.Ajami, M., Khormali, F., Ayoubi, S., and Omrani, R.A. 2006. Changes in soil quality attributes by conversion of land use on a loess hillslope in Golestan province, Iran. 18th International Soil Meeting (ISM) on Soil Sustaining Life on Earth, Maintaining Soil and Technology Proceedings, Soil Science Society of Turkey, Pp: 501-504.

2.Aliasgharzad, N. 2006. Laboratory Methods in Soil Biology. Tabriz University Press, 540p. (In Persian)

3.Ayoubi, S., Khormali, F., Sahrawat, K.L., and Rodriguesde lima, A.C. 2011. Assessing impact of land use change on soil quality indicators in a loessial soil in Golestan province, Iran. J. Agric. Sci. Technol. 13: 727-742.

4.Beheshti, A., Raiesi, F., and Golchin, A. 2012. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to crop lands in northern Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 148: 121-133.

5.Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986a. Bulk Density, P 363-375. In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.

6.Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986b. Particle Density, P 377-381. In: Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.

7.Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil and Tillage Research. 83: 270-277.

8.Danielson, R.H., and Suterland, P.L. 1986. Porosity, P 443-460. In: Klute, A. (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph, 9. 2nd edition, ASA and SSSA, Madison, WI.

9.Emadi, M., Baghernjad, M., and Memarian, H. 2009. Effect of land use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. Land Use Policy. 26: 452-457.

10.Evrendliek, I., Celik, I., and Klic, S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grass land and crop land ecosystems in Turkey. J. Arid Environ. 59: 743-752.

11.Gol, C. 2009. The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdamir river catchment in Turkey. J. Environ. Biol. 30: 5. 825-830.

12.Hillel, D. 2004. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press. 494p.

13.Islam, K.R., and Weil, R.R. 2002. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture, Ecosystems and Environment. 79: 9-16.

14.Jacob, H., and Clarke, G. 2002. Methods of Soil Analysis, part 4, physical methods. Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA. 1692p.

15.Jones, B.J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton, London, New York & Washington, D.C. CRC Press.

16.Kalva, Y.P., Reak, R., Vaughan, B., and Wolf, A.M. 1998. Handbook of reference methods for plant and analysis. Soil and Plant Analysis Council. Inc, Athens, GA. CRC Press. Boca Raton. Florida.

17.Khazayi, M., Sadeghi, S.H.R., and Mirnia, S.Kh. 2011. Hydrological effects of forest surface disturbance, a case study. Iran. J. For. 3: 2. 145-155. (In Persian)

18.Khormali, F., and Shamsi, S. 2009. Study of soil quality and micromorphology at different sloped loess land use in the eastern of Golestan province. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 16: 3. 14-29. (In Persian)

19.Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, C., and Wani, S.P. 2009. Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. Agricultural, Ecosystems and Environment. 134: 178-189.

20.Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2 nd edition. Agron. Monog. 9. ASA ana SSSA, Madison, WI.

21.Klute, A., and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity of saturated soils (constant head), P 694-696. In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. Agronomy.Monograph 9. ASAand SSSA, Madison, WI.
22.Martinez, M., Lopez, J., Almagro, M., and Albaladejo, J. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of south-east Spain. Soil and Tillage Research. 99: 119-129.
23.Motaghian, H.R., and Mohammadi, J. 2011. Comparison of some soil physical quality indices in different land uses in Marghmalek catchment, Shahrekord (Chaharmahal-va-Bakhtiari Province). J. Water Soil. 25: 1. 115-124. (In Persian)
24.Mokhtari Karchegani, P., Ayoubi, Sh., Mosaddeghi, M.R., and Malekian, M. 2011. Effects of land use and slope gradient on soil organic carbon pools in particle-size fractions and some soil physico-chemical properties in hilly regions, western Iran. J. Soil Manage. Sust. Prod. 1: 1. 23-42. (In Persian)
25.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, P 539-579. In: Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny, (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Soil Science Society of America, Madison, WI.
26.Niknahad Gharmakher, H., and Maramaei, M. 2011. Effects of land use change on soil properties (Case Study: the Kechik catchment). J. Soil Manage. Sust. Prod. 1: 2. 81-96. (In Persian)
27.Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 121: 309-318.
28.Salehi, A., Mohammadi, A., and Safari, A. 2011. Investigation and comparison of physical and chemical soil properties and quantitative characteristics of trees in less-damaged and damaged area of Zagross forests (Case study: Poldokhtar, Lorestan province). Iran. J. For. 3: 1. 81-89. (In Persian)
29.Shahbazi, F., Aliasgharzad, N., Ebrahimzad, S.A., and Najafi, N. 2013. Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. Europ. J. Soil Biol. 55: 20-27.
30.Soleimani, K., and Azmoodeh, A. 2010. Investigation the role of land use change on some soil physical, chemical and erodibility properties. Physical Geography Research. 42: 74. 111-123. (In Persian)
31.Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Amer. Soc. Agron. 28: 337-351.
32.Zolfaghari, A.A., and Hajabassi, M.A. 2008. The effects of land use change on physical properties and water repellency of soils in Lordegan forest and Freidunshar pasture. J. Water Soil. 22: 2. 251-262. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

Impacts of land use change on soil quality indicators in eastern Ardabil province

***Sh. Asghari[1], S. Hashemian Soofian[2], E. Goli Kalanpa[1] and M. Mohebodini[3]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Mohaghegh Ardabili,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Mohaghegh Ardabili,
[3]Assistant Prof., Dept. of Horticultural Science, University of Mohaghegh Ardabili
Received: 12/29/2013; Accepted: 11/16/2014

Abstract

Background and Objectives: Excessive growth of population and the need to provide food for humans and livestock increased the process of land use change from forest to range and cultivated by farmers, especially in recent years. Deforestation leads to adverse ecological conditions including the reduction of biodiversity and soil quality. The results of several researchers around the world indicate that deforestation reduces soil quality by decreasing organic matter, microbial respiration, aggregate stability, hydraulic conductivity and increasing bulk density. The objective of this study was to assess the variations of some soil quality indices due to land use change in Fandoghlou region and also creating minimum data set of soil quality indices using factor analysis method.

Materials and Methods: The study area is located 25 Km northeast of the city of Ardabil at 48° 33′ 30" longitude and 38° 24′ 30" latitude. Its mean annual precipitation and temperature are 430 mm and 8 ºC, respectively. Thirty disturbed and undisturbed soil samples were taken from 0 to 15 cm depth of three adjacent forest (F), range (R) and cultivated (C) lands (totally 90 samples) located at a steep slope. Some physicochemical and biological indices were measured in soil samples. Mean comparison of parameters by Duncan's test and factor analysis using principal component analysis method were performed.

Results: Land use change from F to R and C decreased mean of organic carbon (OC) from 5.8 to 3.08 and 2.24%, total N from 0.46 to 0.22 and 0.11%, mean weight diameter of aggregates from 1.28 to 0.97 and 0.35 mm, saturated hydraulic conductivity from 0.49 to 0.35 and 0.20 cm min^{-1}, microbial respiration from 0.90 to 0.36 and 0.30 mg CO_2 g^{-1} soil day^{-1}, K from 545.07 to 289.07 and 105.14 mg kg^{-1}, P from 55.18 to 27.67 and 51.98 mg kg^{-1}, total porosity from 54.11 to 46.67 and 37.3% and increased mean of $CaCO_3$ from 5.57 to 9.93 and 11.98%, sand from 54.82 to 57.83 and 60.76% and pH from 5.66 to 6.73 and 6.82, respectively. The highest significant positive correlation was found between OC and N (r=0.897**). The results of factor analysis showed that three factors justified higher than 95 percent of variance in sand, 83 percent of variance in OC, N, K, clay and silt and 73 percent of variance in pH, respiration and porosity and 60 percent of variance in P.

Conclusion: The results showed that land use change from F to R and C reduced soil quality in the study area. Due to the high slope of Fandoghlou forested region which accelerates the sensitivity of soil to water erosion and also its tourism importance, the conversion of remaining forest land to range and cultivated lands must be prevented.

Keywords: Principle component analysis (PCA), Land use change, Soil quality, Fandoghlou forests

* Corresponding Author; Email: shasghari@uma.ac.ir