

Research Article

Agricultural Engineering, 47(1) (2024) 35-55
DOI: 10.22055/agen.2024.44158.1674

ISSN (P): 2588-526X
ISSN (E): 2588-5944

Changes in chemical components and soil organic carbon resistance index as a result of land use change in loess-derived soils of Toshan region, Golestan provinc

A.R Abdollahpour^{1*}, M. Barani Motlagh^{2*}, A. Bostani³, F. Kiani⁴, F. Khormali⁵ and R. Ghorbani Nasrabadi⁶

1. PhD Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
4. Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5. Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
6. Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 27 June 2023 Accepted: 17 January 2024 *Corresponding Author: mbarani2002@yahoo.com

Abstract

Introduction: Soil organic carbon (SOC) is the largest source of terrestrial organic carbon and small changes in its components have many effects on global warming and carbon cycle. Soil organic matter (SOM) is considered as the most complex and least known component of soil, because it consists of plant, microbial and animal masses in various stages of decomposition and is a mixture of heterogeneous organic materials that are closely related with mineral components. Soil organic matter has beneficial effects on the chemical (buffering and changes in pH) and biological (precursor and supply of nutrients for microbes) properties of the soil and thus affects the fertility capacity of the soil. The quality and quantity of soil organic matter is the most important criterion for sustainable soil management. Total organic carbon (TOC) consists of labile and non-labile forms of SOC and have different degrees of sensitivity to different types of land use changes and management operations. The purpose of this research was to investigate the effect of changing land use on the chemical components of soil organic carbon and carbon recalcitrant index in Toshan Watershed, Golestan province of Iran.

Materials and Methods: Four major and dominant types of land use were considered in the study area, including forest, cropping land, garden and abandoned lands in the Toshan watershed in the northwest of Gorgan city of Golestan province. The soil organic carbon and total C of the soils were measured. Furthermore, the soil carbon fractionation was performed by Young's method (using hydrolysis methods with HCl and Labile fraction). In this research, Acid hydrolysis method was used to separate the recalcitrant SOM pool. For this purpose, one gram of SOM sample was treated with 25 ml of 6 M hydrochloric acid solution at 105°C for 18 hours in a Pyrex tube in a hydrolysis package. After cooling, the remaining non-hydrolyzed materials were



separated by centrifugation. Then, they were dried in an oven at a temperature of 60°C and considered as a part of resistant organic matter. The resistant part of the soil organic carbon was determined with the CHNS Analyzer instrument. The Labile fraction consists of water soluble carbon, microbial biomass carbon and mineralizable carbon are measured using the following methods and the labile part of carbon is calculated from their sum. Water-soluble organic carbon is extracted by adding 20 ml of distilled water to 10 grams of wet soil. The mixture will be shaken and centrifuged, filtered. Then they will be quickly analyzed by TOC Analyzer. Microbial biomass carbon will be determined by the chloroform fumigation-extraction method. Mineralizable carbon determined as follow. The amount of CO_2 will be measured by titration of NaOH solutions with 0.1 M HCl in the presence of BaCl_2 . Cumulative amount of $\text{CO}_2\text{-C}$ emitted in 30 days of incubation is called Mineralizable carbon. The data were analyzed based on the factorial experiment in the form of a completely randomized design (CRD) with two levels of soil depth and four land uses with five replications. Correlation between traits was also estimated. Statistical analyzes were performed using SAS software.

Results and Discussion: The results showed that the first depth of forest use has the highest amount of total carbon and soil organic carbon (6.12% and 3.5% respectively). Also, the highest amount of resistant organic carbon (HCl hydrolysis), water-soluble organic carbon, microbial biomass carbon, and microbial mineralizable carbon were observed in forest land use. The second depth (10-20 cm) of forest land use had the highest and the second depth (10-20 cm) of garden land use had the lowest organic carbon resistance index (82.1% and 50.17%, respectively). In all land uses, except for the forest, the soil organic carbon resistance index decreased with increasing sampling depth. Due to the fact that the carbon management index can be easily calculated, it can be a suitable index for quick assessment of soil quality. Therefore, it can be concluded that depending on the climatic conditions and the condition of the soil, the forest, in terms of natural cover, the correct management of agricultural lands (using modern methods of no-tillage or low-tillage) can be a potential practice. It is to store carbon in the soil as well as various soil components and increase soil formation, which will subsequently reduce the concentration of carbon dioxide in the atmosphere.

Conclusion: The results showed that with the change of land use and cultivation, the soil organisms received more oxygen and the speed and intensity of respiration in the soil increased in the short term, which caused more decomposition of organic matter and with the decrease of organic matter in the long term, the quality of soil decreases after a while.

Keywords: *Chemical Fractionation, acid hydrolysis, soil organic carbon resistance index, labile component, resistant component.*

تغییرات اجزای شیمیایی و شاخص مقاومت کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی خاک‌های لسی منطقه توشن، استان گلستان

علیرضا عبدالله پور^۱، مجتبی بارانی مطلق^{۲*}، امیر بستانی^۳، فرشاد کیانی^۴، فرهاد خرمالی^۵ و رضا قربانی نصرآبادی^۶

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
- ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۵- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۶- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر اجزای شیمیایی و شاخص مقاومت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز توشن در جنوب غربی شهرستان گرگان (استان گلستان) در شمال ایران به انجام رسید. از چهار نوع کاربری غالب منطقه مورد مطالعه شامل (۱) جنگل، (۲) اراضی کشاورزی، (۳) باغ و (۴) اراضی رها شده در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری نمونه برداری شد. جزء بندی کربن آلی خاک، (۱) کربن آلی مقاوم با هیدرولیز اسیدی و (۲) کربن لبایل (مجموع کربن آلی محلول در آب، کربن زیست توده میکروبی و کربن قابل معدنی شدن میکروبی) انجام شد. شاخص مقاومت کربن که از تغییرات شدت کربن آلی خاک در پاسخ به تغییر مدیریت خاک است، تعیین شد. نتایج نشان داد عمق اول کاربری جنگل بیشترین مقدار کربن کل و کربن آلی خاک (به ترتیب ۶/۱۲ و ۳/۵ درصد) را داشت. همچنین بیشترین مقدار کربن آلی مقاوم (هیدرولیز با HCl)، کربن آلی محلول در آب، کربن زیست توده میکروبی و قابل معدنی شدن میکروبی در کاربری جنگل مشاهده شد. عمق دوم کاربری جنگل بیشترین و عمق دوم کاربری باغ کمترین مقدار شاخص مقاومت کربن آلی (به ترتیب ۸۲/۱ و ۵۰/۱۷ درصد) را داشتند. در همه کاربری‌ها به جز جنگل با افزایش عمق نمونه برداری، از میزان شاخص مقاومت کربن آلی خاک کاسته شد. نتایج کلی نشان داد تغییر کاربری اراضی و جنگل تراشی به طور محسوس بر جزء بندی شیمیایی کربن آلی خاک مؤثر بوده و شاخص مقاومت کربن آلی خاک می‌تواند شاخصی مناسب برای ارزیابی سریع کیفیت خاک باشد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

کلمات کلیدی:

جزء بندی شیمیایی،

هیدرولیز اسیدی،

شاخص مقاومت کربن آلی خاک،

جزء لبایل،

جزء مقاوم

* عهده دار مکاتبات:

Email: mbarani2002@yahoo.com

مقدمه

تشکیل شده و به عنوان نشانگرهای اولیه تغییرات ناشی از عملیات تغییر کاربری اراضی استفاده می‌شوند (۳۶). مقدار کربن آلی غیر لبایل در خاک نسبت به بخش لبایل بیشتر بوده و به دلیل مدت زمان ماندگاری بیشتر و سرعت بازگشت کند آنها، به عنوان بخش بسیار پایدار کربن آلی شناخته و به عنوان ذخایر بلندمدت کربن در نظر گرفته می‌شوند (۳۴). از این رو، شناخت جامع تغییرات کربن آلی لبایل و غیرلبایل^۱ خاک به دنبال تغییر کاربری اراضی اطلاعات ارزشمندی در ارزیابی مقدار بخش مختلف کربن آلی خاک، پایداری و تغییرات دینامیک آنها در اراضی در اختیار خواهد گذاشت (۳۶).

لئو و همکاران (۲۱) گزارش کردند در اراضی جنگلی به دلیل بکر و دست نخورده بودن و حداقل عملیات کشت و کار و شخم و افزایش مدام پیش ماده، کربن آلی بیشتری دارند. با توجه به فراوانی غذای در اختیار ریز جانداران، فراوانی آنها و به طبع فعالیت متابولیکی آنها زیاد شده و در اثر تنفس دی اکسید کربن بیشتری را وارد خاک می‌کنند. روبرتا و همکاران^{۱۱} (۲۸) بیان کردند که درصد بالایی از میزان انتشار کربن در نتیجه فعالیت‌های تجزیه ای ریزجانداران خاک رخ می‌دهد و طی این عمل ماده آلی خاک توسط آنها مصرف می‌شود. هیرته و همکاران^{۱۲} (۱۴) نشان دادند که ذخایر تجمعی کربن آلی خاک و نیتروژن در کاربری باغی کیوی و مرتع مشابه بود، که نشان می‌دهد ذخایر کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری زمین به باغداری چند ساله تغییری نکرده است. احمد و همکاران^{۱۳} (۱) نشان دادند که مراتع و زمین زراعی به ترتیب بیشترین تلفات ذخایر کربن و نیتروژن را در مقایسه با خاک‌های

خاک به عنوان یک کالای سودمند بزرگترین و اصلی ترین منبع کربن و تقریباً ۲ و ۳ برابر بیشتر از اتمسفر^۱ و پوشش گیاهی کربن دارد. از این رو یک تغییر کوچک در محتوای کربن می‌تواند اثر معنی‌داری بر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی^۲ داشته باشد (۳۷). ماده آلی خاک^۳ مهم ترین معیار برای مدیریت پایدار خاک و به عنوان شناساگر حیاتی کیفیت خاک و سرمایه طبیعی مهمی برای امنیت غذایی است (۱۸). در سطح جهانی، تغییر کاربری اراضی و جنگل زدایی سبب اکسیداسیون کربن آلی خاک و انتقال جریان دی اکسید کربن از خاک به اتمسفر می‌شود (۲). در حوزه آبخیز توشن در استان گلستان در ۵۰ سال اخیر به دلیل جنگل تراشی و تغییر کاربری اراضی ۲۴-۵۲ درصد از کربن آلی خاک و حدوداً نیمی از جنگل‌های طبیعی از بین رفته است (۲)؛ کربن لبایل که کربن آلی قابل استخراج نامیده می‌شود، به عنوان یک منبع انرژی اولیه در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند به آسانی قابل تجزیه یا مصرف سریع (ساعت‌ها-هفته) توسط ریزجانداران خاک باشد. همچنین به عنوان یک مخزن کربن کوتاه مدت شناخته شده است (۴).

روش‌های جزء بندی^۴ برای تفکیک و جداسازی کربن آلی از توده خاک به بخش‌های متفاوت کربن آلی مانند کربن آلی لبایل خاک^۵ (SLOC) و کربن آلی مقاوم و پایدار^۶ (SROC) استفاده شوند (۱۸). کربن آلی لبایل خاک از بخش‌های مختلف مانند کربن آلی محلول در آب^۷ (WSOC)، کربن زیست توده میکروبی خاک^۸ (SMBC) و کربن قابل معدنی شدن^۹ (MINC)

-
- 1- Atmosphere
 - 2- Global warming
 - 3- Soil organic matter
 - 4- Fractionation
 - 5- Soil labile organic carbon
 - 6- Soil recalcitrant organic carbon
 - 7- Water soluble organic carbon
 - 8- Soil microbial biomass carbon

-
- 9- Mineralizable carbon
 - 10- Non-labile
 - 11- Roberta *et al.*
 - 12- Hirte *et al.*
 - 13- Ahmad *et al.*

اگرچه کربن آلی خاک شاخصی از کیفیت خاک است، اما اجزای کربن می‌توانند برای شناسایی حتی تغییرات اندک در مدیریت و تخریب خاک مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس گزارش عجمی و همکاران^۵ (۳)، ۶۹/۳ درصد از حوضه آبخیز منطقه توشن در استان گلستان در سال ۱۹۶۶ به وسیله جنگل پوشیده شده بود و به دلیل جنگل تراشی و تغییر کاربری در طی ۵۰ سال گذشته به ۳۳/۴ درصد کاهش یافته است. مطالعات اندکی در زمینه اثر تغییر کاربری و نوع پوشش گیاهی بر کربن آلی خاک در سطح ایران و منطقه توشن گزارش شده است (عجمی و همکاران، ۳؛ ۴)، و نیز تاکنون هیچ گونه مطالعه‌ای در مورد اجزای کربن آلی خاک تحت تاثیر تغییر کاربری اراضی و تبدیل جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و حتی کشور گزارش نشده است. با توجه به اینکه اجزای کربن به ویژه جزء لبایل از اجزای بسیار مؤثر کربن آلی خاک بوده که به سرعت تحت تاثیر سامانه‌های مدیریتی و فرسایش خاک قرار می‌گیرد، لذا این پژوهش حاضر بر این هدف استوار بود که اجزای مختلف شیمیایی کربن آلی خاک، شاخص مقاومت کربن آلی خاک^۶ و روش‌های جزء بندی این اجزا پاسخ‌های متفاوتی به تغییر کاربری اراضی دارند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز توشن است که در جنوب غربی شهر گرگان (استان گلستان) در شمال ایران بین عرض جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه تا ۲۶ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۴۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی (۱۵۰ تا ۶۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا) واقع شده است. کل مساحت حوزه حدوداً ۸۵۰ هکتار است (شکل ۱). این منطقه در یک ناحیه اقلیمی نیمه مرطوب بامیانگین دما و بارندگی سالیانه به ترتیب ۱۶ درجه سانتی-

جنگل طبیعی اولیه نشان دادند. احمد وانی^۱ (۱) نشان دادند که علیرغم ماهیت ریشه دار عمیق درختان در کاربری باغی، تخریب خاک کاهش زیادی در اجزای کربن آلی نشان داد. جعفریان و کاویان^۲ (۱۵) دریافتند که خاک جنگلی کربن آلی بالاتری نسبت به خاک‌های مجاور در اراضی دیم و چراگاه به دلیل تجمع بیشتر ماده آلی به دلیل افزایش زیست توده سطحی و زیرسطحی و کاهش میزان تجزیه لاشبرگ داشتند. احمد وانی و همکاران (۱) گزارش کردند عملیات کشاورزی بدون خاکورزی از تلفات کربن آلی در اکوسیستم‌های باغی جلوگیری کرده و سبب افزایش معنی دار کربن لبایل شده است. لو و همکاران^۳ (۲۰) نشان دادند که جنگل زدایی باعث کاهش کربن آلی محلول، و نیز مقدار کل کربن آلی خاک را به دلیل ورودی کمتر ماده آلی، بهبود هوادهی و تهویه پروفیل خاک شد. اجزای کل و لبایل کربن آلی خاک در خاک‌های زراعی و دست نخورده در شمال هند توسط نبی و همکاران^۴ (۵) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار بالای ماده آلی و افزودن مقادیر بالای زیست توده (بقایای گیاهی) و تیمارهای کوددهی همراه با عملیات بدون خاکورزی از تلفات کربن آلی در اکوسیستم‌های باغی جلوگیری می‌کند که ممکن است عامل افزایش معنی دار کربن آلی لبایل در این کاربری باشد (۱). مطالعات نشان داده‌اند که بخش کربن آلی لبایل بسیار حساس و مستعد تجزیه سریع است (۲۵).

با این حال، هیچ کدام از اجزای کربن آلی خاک به تنهایی شاخص حساسی برای تغییرات ناشی از کاربری اراضی بر مدیریت پایداری و کیفیت خاک نمی‌باشند. بررسی ترکیب نشانگرهای خاک شامل کربن لبایل، کربن غیر لبایل و شاخص‌های مرتبط با کربن خاک می‌تواند اثر گذاری سامانه‌های متفاوت کاربری اراضی را متمایز کنند.

-
- 1- Ahmad Wani
 - 2- Jafarian and Kavian
 - 3- Lou *et al.*
 - 4- Benbi *et al.*

5- Ajami *et al.*

6- Soil organic carbon resistance index

خاک به وسیله روش احتراق خشک^۲ و توسط دستگاه CHN analyzer پژوهشگاه صنعت نفت تهران و کربن آلی بوسیله هضم با دی کرومات پتاسیم^۳ با روش تیتراسیون سریع والکلی - بلک (۳۹) تعیین شد.

جزء بندی شیمیایی کربن آلی خاک^۴

الف - بخش مقاوم ماده آلی با روش

هیدرولیز اسیدی^۵

از روش هیدرولیز اسیدی^۶ ارائه شده توسط یانگ و همکاران^۷ (۳۵) به منظور جداسازی بخش مواد آلی مقاوم خاک^۸ استفاده شد (۳۶). به منظور حذف کربن معدنی، نمونه‌های خاک خشک شده در آون با اسید کلریدریک (HCl) یک مولار به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق تیمار شده و جزء هیدرولیز شده به عنوان بخش ماده آلی در نظر گرفته شد. سپس یک گرم از نمونه هیدرولیز شده با ۲۵ میلی لیتر محلول ۶ مولار اسید کلریدریک در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۸ ساعت در لوله پیرکس در بسته هیدرولیز شد. پس از سرد شدن، مواد باقی مانده هیدرولیز نشده از طریق سانتریفیوژ کردن جدا و در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد در آون خشک شده و به عنوان بخش ماده آلی مقاوم در نظر گرفته شدند. بخش مقاوم کربن آلی خاک با دستگاه CHNS Analyzer در پژوهشگاه صنعت نفت تهران به روش احتراق خشک تعیین شد. پس از آن شاخص مقاومت برای کربن آلی خاک (RIC) به وسیله معادله زیر تعیین شد:

$$RIC(\%) = \frac{\text{کربن آلی هیدرولیز نشده}}{\text{کربن آلی}} \times 100$$

گراد و ۶۲۰ میلی متر قرار دارد. رژیم رطوبتی خاک زیریک و رژیم حرارتی ترمیک بوده و مواد مادری خاک عمدتاً از رسوبات لسی^۱ تشکیل شده است (۴). براساس تصاویر ماهواره‌ای پوشش جنگلی از ۵۸۵ هکتار به ۲۸۱/۵ هکتار در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته و به اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌ها تبدیل شده است (۳).

نمونه برداری خاک

چهار نوع کاربری عمده و غالب در منطقه مورد مطالعه شامل الف) باغی (زیتون)، ب) زراعی (پنبه)، ج) جنگل بکر یا دست نخورده و د) رها شده (تمشک) در نظر گرفته شدند (شکل ۲). بر اساس گزارش عجمی و همکاران (۲)، ۶۹/۳ درصد از حوضه آبخیز منطقه توشن در استان گلستان در سال ۱۹۶۶ به وسیله جنگل پوشیده شده بود و به دلیل جنگل تراشی و تغییر کاربری در طی ۵۰ سال گذشته به ۳۳/۴ درصد کاهش یافته است. کاربری‌های انتخاب شده شرایط طبیعی مشابه از لحاظ موقعیت، جهت و میزان شیب و عرض جغرافیایی یکسان با مواد مادری مشابه داشتند. در هر کاربری ۵ پلات به فاصله ۵ متر از یکدیگر با ابعاد ۲۰ متر در ۲۰ متر در نظر گرفته شد (۱۵).

در داخل هر پلات، ۵ نقطه نمونه برداری از دو عمق ۱۰-۱۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متری به صورت تصادفی انتخاب و نهایتاً یک نمونه مرکب تهیه شد. کربن آلی قسمت‌های سطحی در مقایسه با خاک زیر سطحی به میزان بسیار بیشتری تحت تاثیر تغییر کاربری اراضی قرار می‌گیرند، بنابراین نمونه برداری تنها در ۲۰ سانتی متری سطحی خاک انجام گرفت (۲۴).

نمونه‌های مرکب خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک کردن برای تجزیه‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. درصد رطوبت اشباع نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت تعیین و نتایج براساس وزن خشک ارائه گردید. مقدار کربن کل در نمونه‌های

2- Dry digestion

3- KMnO4-Oxidizable C

4- Soil organic carbon chemical fractionation

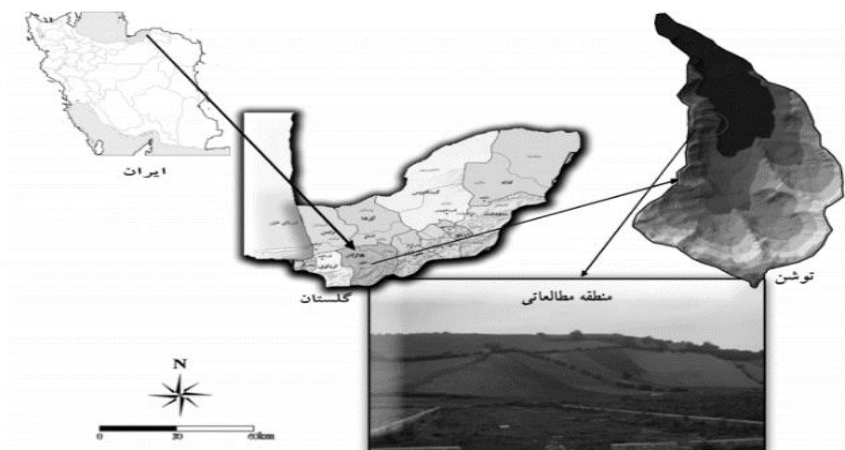
5- Acid hydrolysis

6- HCl hydrolysis

7- Yang et al.

8- Recalcitrant soil organic carbon

1- Loess sediments



شکل (۱) نقشه و موقعیت حوزه توشن در ایران و استان گلستان

Figure (1) Map and location of Toshan basin in Iran and Golestan province



شکل (۲) چهار نوع کاربری عمده و غالب در منطقه مورد مطالعه. الف) باغی (زیتون)، ب) زراعی (پنبه)، ج) جنگل بکر، د) رها شده (تمشک)

Figure (2) Four major and dominant types of land use in the study area. a) garden (olive), b) agricultural (cotton), c) virgin or untouched forest, d) abandoned (raspberry)

و از مجموع آن ها، بخش لبایل کربن محاسبه گردید.
(۳۶).

کربن محلول در آب^۶ (WSOC):

کربن آلی محلول در آب با اضافه نمودن ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به ۱۰ گرم خاک مرطوب استخراج می شود. مخلوط به مدت نیم ساعت در ۲۵۰ دور در دقیقه تکان و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و از طریق فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر صاف و سپس به سرعت بوسیله TOC Analyzer تجزیه شد.
(۳۵).

6- Water-Soluble Organic Carbon

بخش لبایل کربن آلی خاک با روش یانگ^۱

بخش لبایل مواد آلی خاک^۲ (SLOC) با استفاده از روش یانگ و همکاران (۳۶) تعیین شد. به طوری که در این روش کربن محلول در آب^۳ (WSOC)، کربن زیست توده میکروبی^۴ (MBC) و کربن قابل معدنی شدن^۵ (MINC) با استفاده از روش های زیر اندازه گیری

1- Yang method
2- Soil labile organic carbon
3- Carbon dissolved in water
4- Microbial Biomass Carbon
5- Cumulative C Mineralization (MINC)

۳۰ روز انکوباسیون تحت عنوان کربن قابل معدنی شدن بیان شد (۳۵).

تجزیه آماری

داده‌های به دست آمده براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم افزار SAS در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه آماری شدند. پلات‌ها به عنوان تکرار و کاربری‌ها و عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) به عنوان فاکتور در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها برای کاربری‌های مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

کربن کل و کربن آلی خاک

نتایج نشان داد که در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری و عمق خاک بر مقدار کربن کل و کربن آلی خاک معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱)، در تمام تیمارهای کاربری به جز اراضی رها شده، مقدار کربن آلی و کربن کل خاک در عمق دوم (۱۰-۲۰ سانتی متر) نسبت به عمق اول (۰-۱۰ سانتی متر) کاهش پیدا کرده است. بیشترین مقدار کربن کل و کربن آلی خاک در تیمار جنگلی و در عمق اول به ترتیب ۶/۱۲ و ۳/۵ درصد مشاهده شد، کمترین مقدار کربن آلی و کربن کل در تیمار کاربری رها شده در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که پس از کاربری جنگلی، کاربری باغ زیتون دارای بیشترین مقدار کربن کل و آلی بود، با این حال تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای زراعی و رها شده وجود نداشت. در همه تیمارهای کاربری به جز اراضی رها شده، مقدار کربن آلی و کربن کل خاک در عمق دوم نسبت به عمق اول کاهش پیدا کرده است. در حالی که در اراضی رها شده روند معکوسی مشاهده گردید، به گونه‌ای که مقدار کربن آلی در عمق دوم نسبت به عمق اول افزایش یافت، اگرچه مقدار افزایش معنی‌دار نبود. به دلیل تفاوت در نوع

کربن زیست توده میکروبی (MBC)

کربن زیست توده میکروبی به وسیله روش استخراج تدخین با کلروفرم^۱ تعیین شد (۳۱). نمونه خاک مرطوب مزرعه با کلروفرم به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در اتاق تاریک تدخین و سپس به سرعت با سولفات پتاسیم عصاره گیری شده و آنگاه با کاغذ صافی (۰/۴۵ میکرومتر) فیلتر گردید. خاک تدخین نشده (شاهد تیمار شده با کلروفرم) نیز به همین روش عصاره گیری شد.

مقدار کربن استخراج شده با سولفات پتاسیم برای خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده با کلروفرم با استفاده از TOC Analyzer اندازه گیری شد. در نهایت، کربن زیست توده میکروبی براساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$MBC = \frac{EC}{0.38}$$

که در این رابطه EC کربن آلی استخراج شده از خاک‌های تدخین شده با کلروفرم منهای کربن آلی استخراج شده از خاک تدخین نشده با کلروفرم است (۲۳).

کربن قابل معدنی شدن (MINC):

نمونه تازه خاک به یک بشر شیشه ای ۵۰ میلی لیتری انتقال و آب دیونیزه به نمونه خاک برای حفظ رطوبت خاک به مقدار ۶۰ درصد ظرفیت نگهداری آب اضافه شد. بشر شیشه ای در یک بطری دهان گشاد ۵۰۰ میلی لیتری قرار داده و لوله های پلی اتیلنی حاوی ۱۰ میلی لیتر NaOH ۰/۵ مولار در هر بطری قرار داده شد تا CO₂ متصاعد شده به وسیله خاک را جذب نماید. درب بطری های دهان گشاد بسته و در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ روز انکوباسیون شد. پس از انکوباسیون^۲، برای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ روز، لوله های پلی اتیلن حاوی NaOH خارج شد و مقدار CO₂ توسط تیتراسیون محلول های NaOH با HCl ۰/۱ مولار در حضور BaCl₂ اندازه گیری شد. مقدار تجمعی CO₂-C متصاعد شده در

1- Chloroform
2- Incubation

آلی خاک با یافته‌های دیگر که گزارش می‌دهند شخم و کشت سبب بهبود تهویه و هوادهی خاک شده و به طور کلی مقدار مواد آلی را کاهش می‌دهد، مطابقت دارد (۱۹)؛ (۶).

برخلاف نتایج پژوهش حاضر، چن و همکاران^۲ (۷) نشان دادند ذخایر کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری زمین به باغداری چند ساله تغییری نکرده است. ولی کوآشیک و همکاران^۳ (۲۷) با مقایسه جزء های مختلف کربن آلی در سامانه‌های متفاوت کاربری اراضی در هاریانا، هند، به این نتیجه رسیدند که کاربری اراضی اثر معنی‌داری بر اجزای مختلف کربن در خاک دارد. احمد وانی (۱) نشان داد که علیرغم ماهیت ریشه‌دار عمیق درختان در کاربری باغی، خاک‌ورزی خاک سبب کاهش در اجزای کربن آلی شده که با نتایج بدست آمده در این پژوهش مطابقت دارد. تجمع بیشتر ماده آلی خاک جنگلی احتمالاً به دلیل افزایش زیست توده سطحی و زیر سطحی و کاهش میزان تجزیه لاشبرگ باشد. تغییرات در مقدار ماده آلی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی به دلیل خواص ذاتی محل، عمق ریشه و تفاوت در نوع پوشش، کمیت و کیفیت لاشبرگ ورودی است (۱۷).

اجزاء شیمیایی کربن آلی خاک

الف) بخش مواد آلی مقاوم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای نوع کاربری، عمق خاک و اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان شاخص مقاومت و کربن آلی هیدرولیز شده توسط اسید کلریدریک داشتند (جدول ۲). کاربری جنگلی در عمق اول دارای بیشترین مقدار کربن آلی هیدرولیز شده به میزان ۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک و کمترین مقدار نیز در کاربری رها شده در عمق دوم به میزان ۱/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد (شکل ۳). کمترین مقدار نیز در کاربری رها شده در عمق دوم به میزان ۱/۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بدست آمد که تفاوت

پوشش، کمیت و کیفیت لاشبرگ ورودی میزان مواد آلی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی متفاوت می‌باشد (۳۶). کاربری جنگلی به واسطه ریزش سالیانه شاخ و برگ - ها منجر به تجمع بیشتر مواد آلی شده و همین موضوع منجر به تجمع مواد آلی خاک شده است که با نتایج پژوهش جان و همکاران (۱۷) مطابقت دارد. خاک‌های در کاربری رها شده نسبت به خاک‌های زیر جنگل دارای کربن آلی کمتری بودند. اراضی بایر معمولاً دارای محتوای کربن آلی کمی است، زیرا مقدار مواد آلی برگشتی به خاک به طور قابل توجهی کمتر از جنگل و خاک‌ورزی است که باعث افزایش تجزیه مواد آلی بومی خاک می‌شود (۳۵). بر همین اساس تغییرات معنی‌داری در میزان ماده آلی خاک تحت کاربری‌های اراضی مورد مطالعه مشاهده شد.

به تجمع مواد آلی خاک شده است که با نتایج پژوهش جان و همکاران (۱۶) مطابقت دارد. خاک‌های در کاربری رها شده نسبت به خاک‌های زیر جنگل دارای کربن آلی کمتری بودند. اراضی بایر معمولاً دارای محتوای کربن آلی کمی است، زیرا مقدار مواد آلی برگشتی به خاک به طور قابل توجهی کمتر از جنگل و خاک‌ورزی است که باعث افزایش تجزیه مواد آلی بومی خاک می‌شود (۳۶). بر همین اساس تغییرات معنی‌داری در میزان ماده آلی خاک تحت کاربری‌های اراضی مورد مطالعه مشاهده شد.

کومار و همکاران^۱ (۱۶) تأثیر تغییر کوتاه مدت کاربری زمین بر دینامیک کربن آلی خاک در هندوستان را بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد که کشت و کار در اراضی کشت نشده منجر به هدررفت کربن آلی خاک به دلیل تجزیه سریع ناشی از به هم خوردن در ساختمان خاک می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

آنان، کاهش در مقدار کربن آلی در کاربری‌های زراعی و باغی را به اکسیدشدن بخش لبایل و فعال ماده آلی خاک و نیز شستشوی این بخش‌ها از خاک‌رخ و جذب سطحی آن‌ها بر روی سطح ذرات رس پس از عملیات کشت و کار خاک‌ورزی نسبت دادند (۱۶). کاهش کربن

2- Chen et al.

3- Kaushik et al.

1- Kumar et al.

امروزه شاخص مدیریت کربن به طور گسترده به عنوان شاخصی از تغییرات شدت کربن آلی خاک در پاسخ به تغییر مدیریت خاک استفاده می شود (۳۶). زمانی که تغییر کاربری اتفاق افتد افزایش مقدار شاخص مدیریت کربن نشان از بازیابی ذخایر مختلف کربن در خاک دارد و کاهش این شاخص، نشان دهنده تخلیه خاک از این ذخایر می باشد (۷).

مقادیر بالاتر شاخص مدیریت کربن نشان دهنده بازیابی کربن خاک، بهبود کیفیت آن (۳۲) تغییر در کیفیت مواد آلی خاک مانند تغییر نسبت C/N، مقادیر لیگنین، سلولز، همی سلولز، پروتئین ها و کربوهیدرات ها در مواد آلی خاک و در نتیجه افزایش مقادیر کربن ناپایدار خاک است. افزایش کربن ناپایدار به مفهوم افزایش قابلیت دسترسی کربن و انرژی برای جمعیت میکروبی و جانوران خاک بوده و کیفیت خاک را افزایش می دهد (۳۲).

معنی داری با کاربری های زراعی در هر دو عمق و باغی در عمق دوم نداشت. در کاربری های باغی و زراعی تفاوت معنی داری بین دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری از نظر کربن آلی هیدرولیز شده توسط اسید HCl وجود نداشت، اما در کاربری های جنگلی و رها شده میزان این نوع کربن آلی در عمق دوم نسبت به عمق اول کاهش پیدا کرد که میزان کاهش برای این دو کاربری به ترتیب برابر ۵۹/۹ و ۳۶/۴ درصد بوده است (شکل ۳).

نتایج نشان داد که کاربری جنگل در عمق اول (۸۰/۰۲ درصد) و دوم (۸۲/۱ درصد) دارای بیشترین مقدار شاخص مقاومت کربن بود. به جز کاربری جنگل دست نخورده، در همه کاربری ها با افزایش عمق نمونه برداری از میزان شاخص مقاومت کربن آلی خاک کاسته شد و بیشترین میزان کاهش این شاخص نیز در کاربری رها شده و به میزان ۳۸ درصد به ثبت رسید. کمترین میزان شاخص مقاومت نیز در عمق دوم نمونه برداری خاک (۱۰-۲۰ سانتی متر) در کاربری باغی به میزان ۵۰/۱۷ درصد دیده شد (شکل ۴).

جدول (۱) نتایج مقایسه میانگین های تاثیر متقابل تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) بر مقدار کربن کل و کربن آلی خاک (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی). میانگین های دارای حروف یکسان اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Table (1) The results of comparing the means of the interaction effects of land use type treatments (garden, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the amount of total carbon and soil organic carbon (agricultural treatment: cotton crop, horticultural treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.

میانگین				نوع کاربری (Land use)
کربن کل (%) (Total carbon)		کربن آلی (%) (Organic carbon)		
10-20 (cm)	0-10 (cm)	10-20 (cm)	0-10 (cm)	
3.55de	3.92d	2.06de	2.08d	زراعی/Cropping
4.73bc	4.89b	2.65bc	2.88b	باغی/Orchard
4.53c	6.12a	2.29c	3.5a	جنگلی/Forest
3.36e	3.33e	1.97ef	1.6f	رها شده/Abandoned

میانگین های دارای حروف یکسان (ستون های دو عمق) اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.

دست آمد. مقدار کربن آلی محلول در آب در کاربری جنگلی در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری با کاهش ۱۲/۹ درصدی نسبت به عمق ۱۰-۰ سانتی متر به میزان ۴۷/۷ میلی گرم بر لیتر رسید. (شکل ۵). اساساً به دلیل وجود ترشحات ریشه و بقایای گیاهی بیشتر در خاک‌های بکر، کربن محلول در آب به طور معنی داری در خاک‌های زراعی کمتر از خاک‌های بکر می‌باشد. لذا از آنجایی که کربن محلول در آب به عنوان مواد غذایی سریع جذب برای ریز جانداران خاک و مخزن کوتاه مدت برای عناصر غذایی گیاه به شمار می‌رود، منبع مهمی برای بازگشت مواد آلی در خاک‌های کشاورزی است. لثو و همکاران (۲۲) در پژوهشی گزارش کردند که کاربری جنگل در مقایسه با اراضی زراعی، زیست توده سطحی خاک بالاتر و برگشت سریع‌تر عناصر غذایی در خاک را دارا می‌باشد که تجمع خالص یا تخلیه ماده آلی و بخش‌های آلی قابل استخراج با آب را در خاک افزایش می‌دهد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (۱۹).

بن‌بی و همکاران (۵) از شاخص مدیریت کربن و کربن ناپایدار خاک به هدف شناسایی بهترین سیستم کشت از نظر ترسیب کربن در شش کاربری شامل کشت نشده، جنگل-زراعی، گندم، گندم-برنج، گندم-ذرت و نیشکر-اگر واکوسیستم استفاده کردند. به‌طور کلی در بین اراضی انتخاب شده، زمین‌های کشت نشده نسبت به اراضی دیگر بیشترین مقدار و زمین‌های تحت کشت گندم-برنج کمترین مقدار کربن آلی و کربن ناپایدار را داشتند. اراضی دارای تناوب گندم-برنج از نظر شاخص مدیریت کربن نیز در پایین‌ترین حد بودند. این مطالعه نشان داد سیستم جنگل-کشت بهترین سیستم از دیدگاه ترسیب کربن می‌باشد.

ب) بخش لبایل کربن آلی خاک

۱) کربن آلی محلول در آب (WSOC):

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای نوع کاربری، عمق خاک و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی داری بر میزان کربن آلی محلول در آب خاک داشتند ($p < 0/01$ جدول ۴). بیشترین مقدار کربن آلی محلول در آب در هر دو عمق بررسی شده در تیمارهای کاربری جنگلی و سپس در کاربری رها شده به

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای نوع کاربری (زراعی، باغی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری

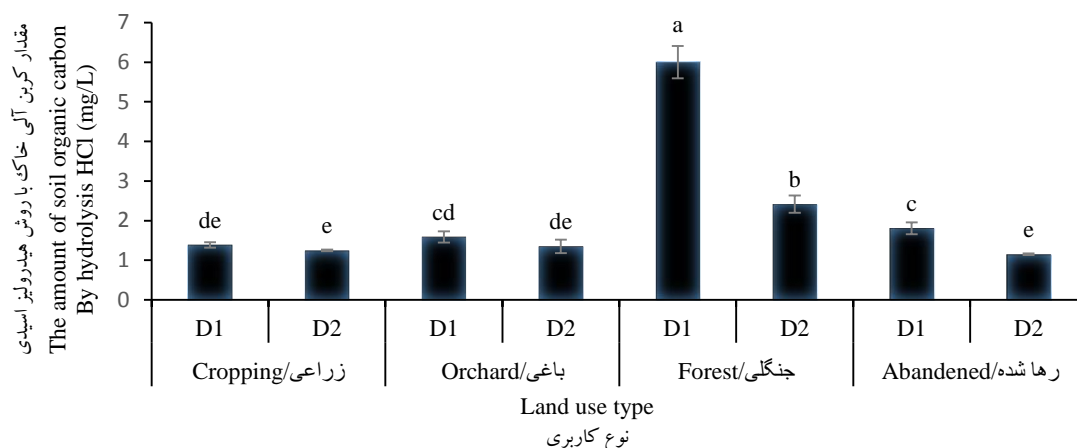
(۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) و اثرات متقابل آنها بر جزء بندی شیمیایی کربن آلی خاک به روش هیدرولیز اسیدی

Table (2) The results of the analysis of variance of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) and their interaction effects on the chemical fractionation of soil organic carbon with HCl hydrolysis method

میانگین مربعات / Mean squares			
شاخص مقاومت کربن آلی خاک	کربن آلی خاک با هیدرولیز HCl	درجه آزادی df	منبع تغییرات SOV
Soil organic carbon recalcitrant index	Soil organic carbon by HCl hydrolysis		
32.14ns	0.04ns	3	تکرار / Replication
1800.80**	19.55**	4	نوع کاربری (LU) / Land use
1139.33**	13.33**	1	عمق خاک (D) / Soil Depth
816.78**	6.65**	3	LU×D
34.58	0.037	28	خطا / Error
8.61	9.15	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)

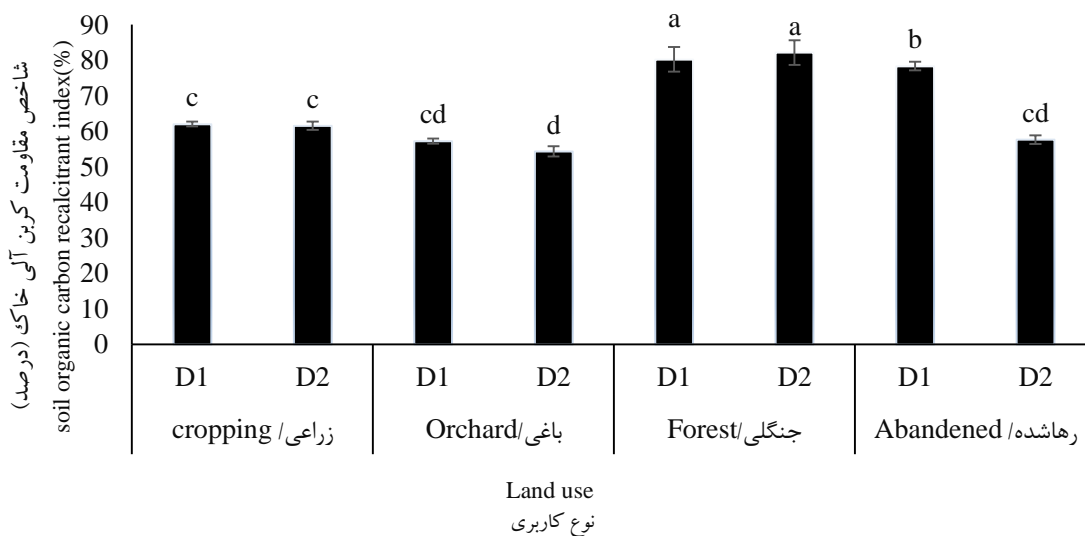
* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی دار

* and ** significant at five and one percent probability level respectively, ns, not significant



شکل (۳) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (زرعی، باغی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) بر مقدار کربن آلی مقاوم هیدرولیز شده توسط اسید کلریدریک (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی؛ D: عمق نمونه برداری؛ D1: ۰-۱۰ و D2: ۱۰-۲۰ سانتی متر). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure (3) The comparison results of the means of the interaction effect of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the amount of recalcitrant soil organic carbon by hydrolysis HCl (crop treatment: cotton crop, garden treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands; D: depth sampling; D1: 0-10 and D2: 10-20 cm). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.



شکل (۴) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (زرعی، باغی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) بر مقدار شاخص مقاومت کربن آلی خاک (RIC) (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی؛ D: عمق نمونه برداری؛ D1: ۰-۱۰ و D2: ۱۰-۲۰ سانتی متر). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure (4) The comparison results of the means of the interaction effect of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the amount of soil organic carbon recalcitrant index (RIC) (crop treatment: cotton crop, garden treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands; D: depth sampling; D1: 0-10 and D2: 10-20 cm). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.

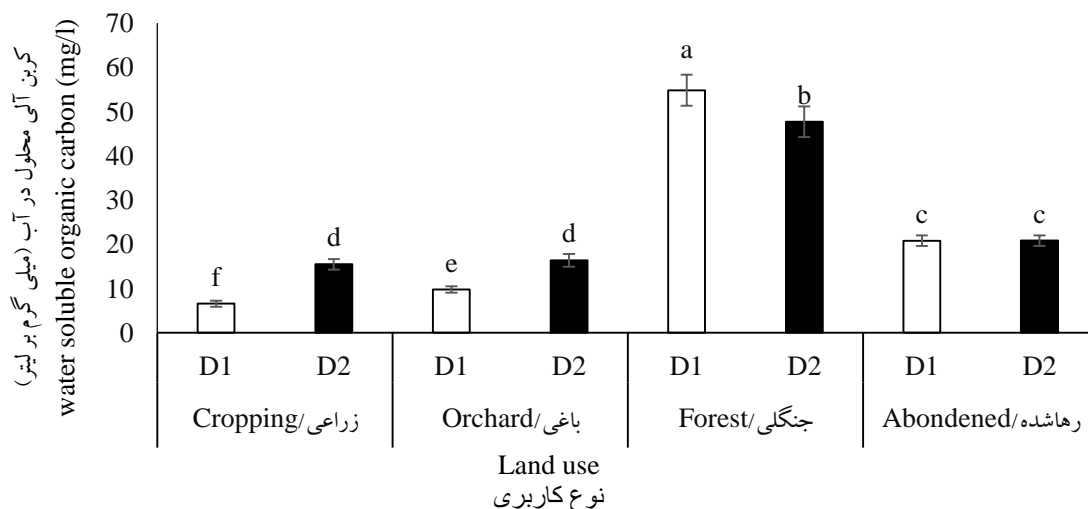
جدول (۴) تجزیه واریانس اثر تیمارهای نوع کاربری (زراعی، باغی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) و اثرات متقابل آنها بر کربن آلی به روش یانگ و همکاران (۲۰۱۹)

Table (4) The analysis variance of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned), soil depth (0-10 and 10-20 cm) and their interaction effects on soil organic carbon based on Yang et al. (2019) method

میانگین مربعات / Mean squares				
کربن قابل معدنی شدن میکروبی Mineralizable Carbon	کربن زیست توده میکروبی Microbial Biomass Carbon	کربن آلی محلول در آب Water Soluble Organic Carbon	درجه آزادی df	منبع تغییرات SOV
3.484**	179.31**	3467.5**	3	نوع کاربری (LU) / Land use
0.004ns	2.70**	43.62**	1	عمق خاک (D) / Soil Depth
0.037**	1.61**	128.79**	3	LU×D
0.004ns	0.42ns	2.95ns	4	تکرار / Replication
0.0038	0.27	4.26	28	خطا / Error
3.14	6.7	8.57	-	ضریب تغییرات (CV) / Coefficient of variation

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی دار

* and ** significant at five and one percent probability level respectively, ns not significant



شکل (۵) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (زراعی، باغی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) بر مقدار کربن آلی محلول در آب (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی؛ D: عمق نمونه برداری؛ D1: ۰-۱۰ و D2: ۱۰-۲۰ سانتی متر). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure (5) The comparison results of the means of the interaction effect of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned) and sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the water-soluble organic carbon content (crop treatment: cotton crop, garden treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands; D: depth sampling; D1: 0-10 and D2: 10-20 cm). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.

۰ سانتی متر دیده شد که تفاوت معنی داری با سایر کاربری‌ها داشت. در کاربری‌های زراعی، باغی و رها شده تفاوت معنی داری بین دو عمق نمونه‌برداری وجود نداشت، اما در کاربری جنگل، مقدار کربن زیست توده میکروبی با کاهش حدود ۱۱ درصدی به مقدار ۱۳۰۷ میکروگرم کربن بر کیلوگرم خاک در عمق دوم نمونه‌برداری رسید (شکل ۶).

اختلافات در بین کاربری‌ها می‌تواند احتمالاً نتیجه ماهیت و نوع ماده آلی موجود در خاک (۲۷) و توزیع مکانی بقایای ریشه و سرعت متفاوت تجزیه آن‌ها باشد (۲۱). مقدار قابل ملاحظه بالاتر کربن زیست توده میکروبی در خاک‌های سطحی نشان دهنده رهاسازی بیشتر ماده آلی محلول از لاشبرگ یا تجزیه بقایای گیاهی است که منجر به رشد، تکثیر و فعالیت جمعیت میکروبی خاک تحت شرایط مطلوب دمایی می‌شود (۱۰). عملیات خاک‌ورزی و کشت و کار مداوم سبب هوادهی و تجزیه مواد آلی تجزیه پذیر شده و در نتیجه منبع آلی کمتری برای فعالیت ریزجانداران خاکری و تولید کربن زیست توده کمتری را موجب می‌شود. از طرفی در خاک‌های جنگلی بقایای گیاهی در سطح خاک فراوان بوده و با افزایش منابع مورد نیاز ریزجانداران خاکری مقدار کربن زیست توده میکروبی زیاد می‌شود که با نتایج به دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد (۲۰). فانگ و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای در شمال شرق چین مشاهده کردند که بیشترین مقدار کربن زیست توده میکروبی در جنگل‌های طبیعی و کمترین مقدار آن در اراضی کشت شده می‌باشد. بر این اساس، کربن زیست توده ۷۷ درصد بیشتر از اراضی زیر کشت کشاورزی گزارش گردید. پابست و همکاران^۳ (۲۴) در پژوهشی بیشترین میزان کربن زیست توده میکروبی را در اراضی جنگل طبیعی و کمترین مقدار آن را در اراضی کشاورزی گزارش کردند. باین وجود، نوپول و همکاران^۴ (۲۵) گزارش نمودند خاک‌های زراعی دارای جمعیت میکروبی

غلظت‌های معنی‌دار پایین‌تر کربن آلی قابل استخراج با آب در اراضی زراعی نسبت به کاربری جنگل توسط هامکالو و بدرنیشک^۱ (۱۲) نیز گزارش شد. سهم نسبی بالاتر کربن آلی قابل استخراج با آب در اراضی جنگلی در مقایسه اراضی زراعی زیست فراهم بودن بالاتر بخش‌های کربن آلی خاک در زیست بوم‌های جنگلی را نشان می‌دهد. آنان بیان داشتند که لایه سطحی خاک جنگلی دارای پلی ساکاریدهای لبایل است و با افزایش عمق، مقدار هیدروکربن‌های پایدارتر افزایش می‌یابد، در حالی که بیشترین مقدار آروماتیکی در عمق ۳۰ سانتی‌متری گزارش شد (۲۸). بنی و همکاران (۵) کربن آلی قابل استخراج با آب (WEOC) بالاتری را در سامانه‌های جنگل زراعی نسبت به سامانه ذرت-گندم و برنج-گندم گزارش کردند که می‌توان به ورودی‌های بالاتر ماده آلی در سامانه‌ی کشاورزی جنگلی نسبت به دو اکوسیستم دیگر نسبت داد. به عبارت دیگر افزودن منظم مواد آلی، افزایش فعالیت میکروبی خاک و سرعت تجزیه ماده آلی خاک را به همراه دارد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. کربن آلی لبایل خاک مانند بخش‌های قابل استخراج با آب سریعاً به تغییرات کاربری اراضی پاسخ می‌دهند و از این رو می‌توانند به عنوان نشانگرهای حساس تغییر کربن آلی خاک و همچنین نشانگرهای اثرات انسانی بر اکوسیستم‌های مورد استفاده قرار گیرد.

۲) کربن زیست توده میکروبی^۲ (MBC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای نوع کاربری و عمق خاک به صورت معنی داری مقدار کربن زیست توده میکروبی خاک را تحت تاثیر قرار دادند ($p < 0.01$; جدول ۴). بیشترین مقدار کربن زیست توده میکروبی در هر دو عمق نمونه‌برداری در کاربری جنگلی و کمترین آن در کاربری رها شده به دست آمد. بیشترین مقدار کربن زیست توده میکروبی به میزان ۱/۴۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در کاربری جنگل و عمق ۱۰-

3- Pabst et al.

4- Noppol et al.

1- Hamkalo and Bedernichek

2- Microbial biomass carbon

معدنی و همچنین شخم و کشت و کار فراهمی کربن آلی برای معدنی شدن کم شده است ولی در اراضی بایر به دلیل فرسایش خاک و عدم وجود پوشش گیاهی و عدم افزایش مواد آلی به خاک کربن آلی و میزان معدنی شدن آن کاهش پیدا کرده است.

همبستگی بین اجزای شیمیایی کربن آلی خاک

نتایج همبستگی صفات اندازه گیری شده در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که کربن زیست توده میکروبی همبستگی مثبت بالایی با کربن قابل معدنی شدن ($0/93^{**}$) کربن محلول در آب ($0/88^{**}$) و کربن هیدرولیز شده با HCl ($0/83^{**}$) داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی داری بین کربن آلی با کربن زیست توده ($0/73^{**}$) و کربن هیدرولیز شده با HCl ($0/78^{**}$) مشاهده شد. همبستگی‌های مثبت و معنی دار می تواند بیانگر روابط مستقیم و غیرمستقیم بین اجزای کربن و جمعیت میکروبی خاک را نشان دهد. این یافته همچنین بیان می کند که پویایی اجزای لبایل کربن می تواند به عنوان یک منبع پویای کربن آلی خاک باشد (۳۶). ماهیت در حال تغییر بخش کربن زیست توده میکروبی و نقش معنی دار بخش‌های لبایل در رشد میکروبی و فعالیت آن‌ها با میزان بالاتر تجزیه ماده آلی خاک ارتباط دارد (۳۶).

مقایسه اجزای کربن آلی خاک استخراج شده

در مجموع نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی لبایل استخراج شده (مجموع کربن محلول در آب، کربن زیست توده میکروبی و کربن قابل معدنی شدن) بسیار بیشتر از مقدار کربن آلی مقاوم استخراج شده به روش هیدرولیز اسیدی HCl بود (جدول ۶). بیشترین کربن آلی استخراج شده در بخش لبایل و مقاوم خاک به ترتیب مربوط به کاربری جنگلی در عمق ۱۰-۰ سانتی متری و کمترین مقدار در کاربری رها شده در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد، مقدار کربن لبایل و کربن مقاوم در همه کاربری‌ها (بجز باغی در کربن آلی لبایل) با افزایش عمق کاهش پیدا کرد.

یا وزن توده‌ی میکروبی بالاتری نسبت به خاک‌های بکر بودند که می‌توانند مقدار ماده‌ی آلی بیشتری را در زمان مشخص تجزیه نموده و تنفس بالاتری را عرضه کنند

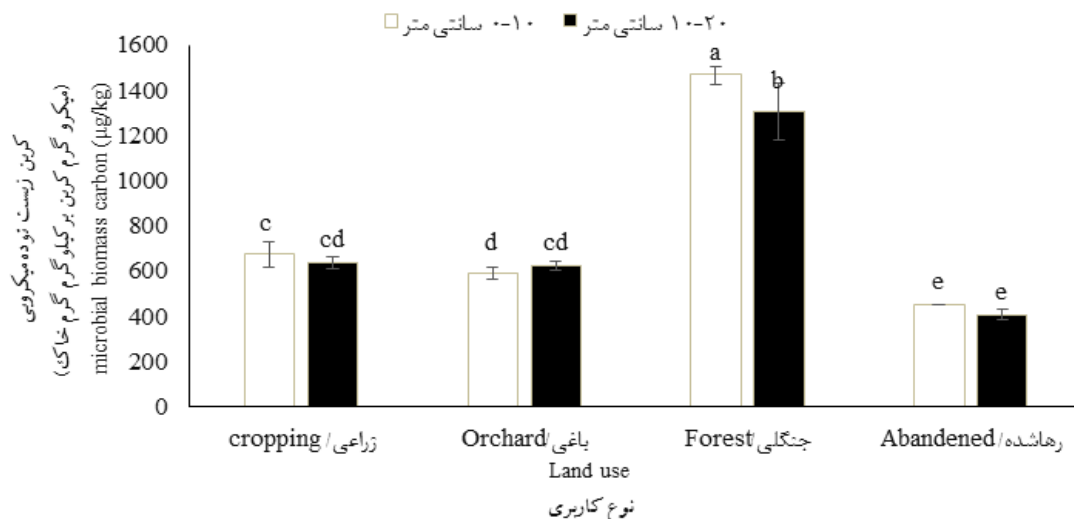
۳) کربن قابل معدنی شدن میکروبی (MINC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع کاربری و نیز اثرات متقابل تیمارهای نوع کاربری و عمق نمونه‌برداری به صورت معنی داری مقدار کربن قابل معدنی شدن میکروبی را تحت تاثیر قرار دادند ($p < 0/01$) اما اثر ساده عمق نمونه‌برداری اثر معنی داری بر این پارامتر نداشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری و عمق نمونه‌برداری بر مقدار تجمعی کربن قابل معدنی شدن میکروبی نشان داد که بیشترین مقدار تجمعی کربن قابل معدنی شدن میکروبی در تیمار کاربری جنگل و در هر دو عمق نمونه‌برداری به مقادیر ۲/۸ و ۲/۶ میلی گرم بر کیلوگرم خاک به ترتیب برای عمق‌های ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر به دست آمد.

کمترین مقدار تجمعی کربن قابل معدنی شدن میکروبی نیز در کاربری رها شده به دست آمد. در کاربری‌های زراعی و باغی، تفاوت معنی داری بین دو عمق نمونه‌برداری مشاهده نشد (شکل ۷). ژنگ و همکاران (۳۷) بیان کردند که محتوای کربن زیست توده میکروبی خاک و کربن قابل معدنی شدن میکروبی در خاک‌های تحت کشت به دلیل اکسیداسیون سریع کربن آلی از طریق قرار گرفتن مواد آلی در معرض حمله میکروبی کمتر بود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

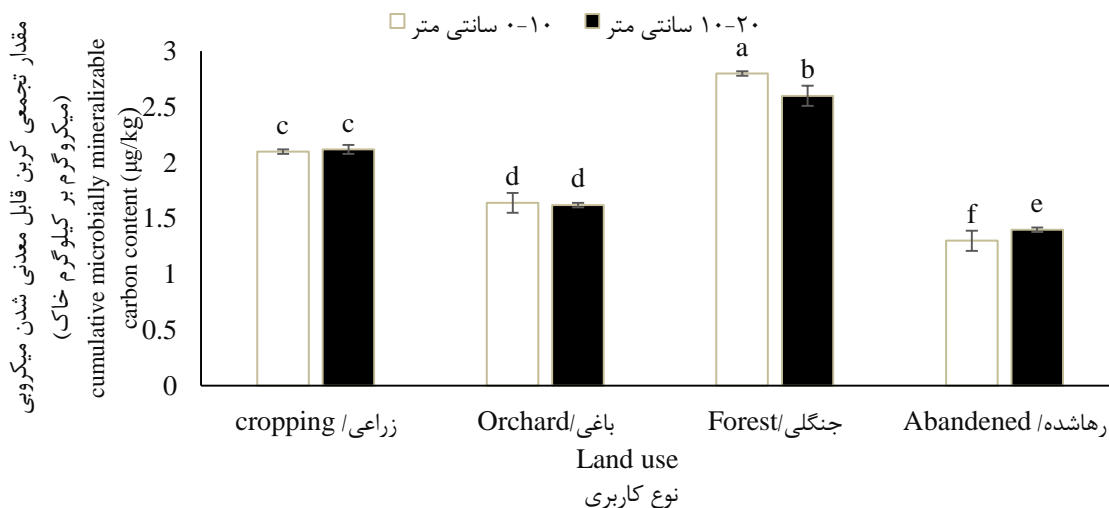
ونس و همکاران^۱ (۳۰) گزارش دادند که جنگل‌ها به دلیل ساختار نسبتاً متراکم گیاهان و رسوب مداوم مواد آلی از طریق لاشبرگ و ریشه‌های ریز، تنفس میکروبی بالاتری نسبت به سایر سامانه‌های کاربری اراضی دارند. در اراضی جنگلی به دلیل فراوانی پیش ماده مواد آلی و در نتیجه فراوانی انواع ریزجانداران خاکری درصد بیشتری از کربن آلی معدنی می‌شود. آنان همچنین اظهار داشتند که در اراضی تحت کشت به دلیل تشکیل کمپلکس‌های آلی-

عبداله پور و همکاران: تغییرات اجزای شیمیایی و شاخص...



شکل (۶) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه‌برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) بر مقدار کربن زیست توده میکروبی خاک (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure (6) The comparison results of the means of the interaction effect of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned) and sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on soil microbial biomass carbon (crop treatment: cotton crop, garden treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.



شکل (۷) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رها شده)، عمق نمونه‌برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) بر مقدار تجمع کربن قابل معدنی شدن میکروبی (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رها شده: اراضی رها شده تمشک جنگلی). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure (7) The comparison results of the means of the interaction effect of land use type treatments (agricultural, garden, forest and abandoned) and sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on cumulative microbially mineralizable carbon content (crop treatment: cotton crop, garden treatment: olive grove, forest treatment: intact forest and abandoned treatment: abandoned forest raspberry lands). Means with the same letters do not have a significant difference at the five percent probability level.

جدول (۵) نتایج همبستگی پارامترهای اندازه‌گیری شده اجزای شیمیایی کربن آلی خاک

Table (5) Correlation results of measured parameters of chemical components of soil organic carbon

	1	2	3	4	5
1- کربن آلی (Organic Carbon)	1				
2- کربن محلول در آب (Water Soluble Organic Carbon)	0.55 ^{ns}	1			
3- کربن هیدرولیز شده با HCl (Soil organic carbon by HCl hydrolysis)	0.78*	0.65 ^{ns}	1		
4- کربن زیست توده میکروبی (Microbial Biomass Carbon)	0.73*	0.88**	0.83*	1	
5- کربن قابل معدنی شدن (Mineralizable Carbon)	0.61 ^{ns}	0.72*	0.71*	0.93**	1

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

* and ** significant at five and one percent probability level respectively, ns not significant

جدول (۶) مقایسه اجزای کربن آلی مقاوم خاک استخراج شده به روش هیدرولیز HCl و بخش لبایل کربن آلی خاک تحت تاثیر نوع کاربری (زراعی، باغی، جنگلی و رها شده) و عمق نمونه برداری (۱۰-۲۰ سانتی متر)

Table (6) comparison results of Recalcitrant soil organic carbon components extracted by HCl hydrolysis method and labile fraction of soil organic carbon as affected by land use and soil depth

کاربری اراضی (Land use)								کربن آلی استخراج شده (mg/l)
رها شده/ Abandoned		جنگلی/ Forest		باغی/ Orchard		زراعی/ Cropping		
0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
1.15	1.81	2.42	6	1.35	1.59	1.25	1.39	کربن آلی خاک مقاوم با هیدرولیز HCl Recalcitrant SOC by HCl hydrolysis
430.23	472.1	1357.3	1525.6	640.02	600.44	653.62	681.7	بخش لبایل کربن آلی خاک (Labile SOC)

مواد درون خاکدانه‌های معدنی یا منافذ کوچک به دام بیافتند، ممکن است ماده آلی خاک از حمله آنزیمی محافظت نماید، بنابراین از نظر بیولوژیکی غیر قابل دسترس شوند (۲۳). بنابراین ساختمان و نوع کانی‌های معدنی خاک (نوع خاک) از عوامل مهم تعیین کننده ذخیره کربن و پویایی کربن خاک می‌باشند، میزان و ترکیب ماده آلی و ساختمان خاک با نوع مدیریت و نوع کاربری اراضی تغییر می‌یابند. لذا تغییر کاربری اراضی و مدیریت خاک (شخم، استفاده از کود، بقایای آلی و آفت‌کش‌ها می‌تواند ذخیره طولانی مدت خاک را کاهش دهد. اجزای پایدار شده کربن در برابر فعالیت‌های میکروبی بسیار پایدار و مقاوم هستند و از این رو به

تغییرات در محتوای کربن آلی خاک به دلیل تغییرات مدیریتی و تخریب‌های مداوم یا فرآیند بازیابی ابتدا بر روی کربن لبایل قابل مشاهده است، می‌تواند همکاران^۱ (۲۳) نشان دادند که اجزای لبایل کربن آلی خاک تحت تاثیر مدیریت‌های مختلف قرار دارد. کیفیت ماده آلی کاربری‌های زراعی پایین‌تر از کیفیت آن در کاربری‌های بکر است که سبب شده است ماده آلی در کاربری‌های بکر تجمع و انباشت گردد. ترکیباتی که در گروه کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها هستند بسیار ناپایدار و سریع تجزیه می‌شوند ولی مواد لیپیدی، لیگنینی و هومیک از نظر شیمیایی تقریباً مقاوم هستند. اگر این

که موجب تجزیه مواد آلی بیشتری شده و با کاهش مواد آلی خاک در دراز مدت کیفیت خاک نیز پس از مدتی کاهش می‌یابد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بسته به شرایط اقلیمی و وضعیت خاک، جنگل از لحاظ پوشش طبیعی، مدیریت صحیح اراضی کشاورزی (استفاده از روش‌های نوین بی‌خاک‌ورزی یا کم‌خاک‌ورزی) می‌تواند یک عمل بالقوه برای ذخیره کربن در خاک و همچنین اجزای مختلف خاکدانه و افزایش خاکدانه‌سازی باشد، که متعاقب آن کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر را در بر خواهد داشت.

سپاس‌گزاری

کمال تشکر و قدردانی از کمک‌های بی‌وقفه، حمایت‌ها و زحمات اساتید بزرگوار و محترم و کارشناسان زحمتکش گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشگاه شاهد تهران و پرسنل آزمایشگاه شیمی پژوهشگاه صنعت نفت تهران را دارم.

ندرت به عنوان نشانگر قابل اطمینان کیفیت خاک به کار می‌رود، اما در تثبیت کلی کربن نقش دارند (۱۰).

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد عمق ۱۰-۰ سانتی متری کاربری جنگل بیشترین مقدار کربن کل و کربن آلی خاک و همچنین دارای بیشترین مقدار کربن آلی قابل هیدرولیز با HCl، کربن آلی محلول در آب، کربن زیست توده میکروبی و کربن قابل معدنی شدن میکروبی بود. عمق دوم ۲۰-۱۰ سانتی متری کاربری جنگل بیشترین و عمق دوم ۲۰-۱۰ سانتی متری کاربری باغی کمترین مقدار شاخص مقاومت کربن آلی را داشتند. در همه کاربری‌ها به جز جنگل با افزایش عمق نمونه‌برداری، از میزان شاخص مقاومت کربن آلی خاک کاسته شد. بنابراین با توجه به اینکه شاخص مدیریت کربن به راحتی قابل محاسبه می‌باشد، می‌تواند شاخصی مناسب برای ارزیابی سریع کیفیت خاک باشد. در کاربری جنگل بالا بودن ورودی ماده آلی، افزایش ریز جانداران خاک‌زی و افزایش فعالیت میکروبی در لایه سطحی خاک در این کاربری نسبت به کاربری‌های دیگر زمینه بالا بودن کربن آلی لبایل است. به طوری که عملیات خاک‌ورزی و شخم سبب بهبود هوادهی و افزایش سرعت تجزیه ماده آلی خاک شده یا اینکه به سبب تشکیل انواع کمپلکس‌ها معدنی و رسی سرعت تجزیه آنها کم شده و به صورت غیرلبایل در می‌آیند (اراضی رها شده) و در نتیجه ویژگی‌های بیولوژیکی در خاک‌های جنگلی و مرتعی در مقایسه با خاک‌های زراعی خیلی بهتر هستند و نشان می‌دهد فعالیت‌های متابولیکی هنگامی که خاک‌های بکر به زیر کشت می‌روند به مقدار زیاد کاهش می‌یابند ولی مقدار کاهش آنها به نوع اکوسیستم و عمق نمونه برداری خاک نیز بستگی دارد. در واقع با تغییر کاربری و کشت و کار، جانداران خاک اکسیژن بیشتری دریافت کرده و سرعت و شدت تنفس در خاک در کوتاه مدت افزایش می‌یابد،

References

1. Ahmed, I.U., Assefa, D., and Godbold, D.L. 2022. Land-use change depletes quantity and quality of soil organic matter fractions in Ethiopian highlands. *Forests*, 13(1): 69.
2. Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., and Ayoubi, S. 2016. Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma*, 281: 1-10.
3. Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., and Ayoubi, S. 2018. Effects of environmental factors on classification of loess-derived soils and clay minerals variations, northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 15(5): 976-991.
4. Arunrat, N., Sereenonchai, S., Kongsurakan, P., and Hatano, R. 2022. Soil organic carbon and soil erodibility response to various land-use changes in northern Thailand. *Catena*, 219: 106595.
5. Benbi, D.K., Brar, K., Toor, A.S., and Singh, P. 2015. Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. *Geoderma*, 237: 149-158.
6. Blair, G.J., Lefroy, R.D., and Lisle, L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(7): 1459-1466.
7. Chen, T., Shi, Z., and Wen, A. 2023. Concentrations and Stoichiometric Characteristics of C, N, and P in Purple Soil of Agricultural Land in the Three Gorges Reservoir Region, China. *Sustainability*, 15(3): 2434.
8. Chen, Y.M., Xu, X., Jiao, X.G., Sui, Y.Y., Liu, X.B., Zhang, J.Y., Zhou, K., and Zhang, J.M. 2018. Responses of labile organic nitrogen fractions and enzyme activities in eroded Mollisols after 8-year manure amendment. *Scientific Reports*, 8(1): 14179.
9. Fang, X., Wang, Q., Zhou, W., Zhao, W., Wei, Y., Niu, L., and Dai, L. 2014. Land use effects on soil organic carbon, microbial biomass and microbial activity in Changbai Mountains of Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 24: 297-306.
10. Gentile, R.M., Malepfane, N.M., van den Dijssel, C., Arnold, N., Liu, J., and Müller, K. 2021. Comparing deep soil organic carbon stocks under kiwifruit and pasture land uses in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 306: 107190.
11. Ghani, M.I., Wang, J., Li, P., Pathan, S.I., Sial, T.A., Datta, R., Mokhtar, A., Ali, E.F., Rinklebe, J., Shaheen, S.M., and Liu, M. 2023. Variations of soil organic carbon fractions in response to conservative vegetation successions on the Loess Plateau of China. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3): 561-571.
12. Hamkalo, Z., and Bedernichek, T. 2014. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of landuse change. *Žemdirbystė (Agric)*, 101: 125–132.
13. Han, K.H., Ha, S.G., and Jang, B.C. 2010. Aggregate stability and soil carbon storage as affected by different land use practices. In *Proc. Int. Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*. Bogor, Indonesia Sept, pp: 28-29.
14. Hirte, J., Walder, F., Hess, J., Büchi, L., Colombi, T., van der Heijden, M.G., and Mayer, J. 2021. Enhanced root carbon allocation through organic farming is restricted to topsoils. *Science of The*

Total Environment, 755: 143551.

15. Jafarian, Z., and Kavian, A. 2013. Effects of land-use change on soil organic carbon and nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1-4): 339-346.
16. Jia, X., Wang, X., Hou, L., Wei, X., Zhang, Y., Shao, M.A., and Zhao, X. 2019. Variable response of inorganic carbon and consistent increase of organic carbon as a consequence of afforestation in areas with semiarid soils. *Land Degradation and Development*, 30(11): 1345-1356.
17. Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weiskopf, P., Baveye, P.C., and Boivin, P. 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?. *Geoderma*, 302: 14-21.
18. Kaushik, U., Raj, D., Rani, P., Antil, R.S., and Vijaykan, M. 2018. A Comparison of Different Fractions of Organic Carbon and Organic Nitrogen under Different Land Use Systems of Haryana. *International Journal of Pure Applied Bioscience*, 6 (5): 184-197.
19. Kögel-Knabner, I., and Amelung, W. (2021). Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma*, 384: 114785.
20. Li, J., Wen, Y., Li, X., Li, Y., Yang, X., Lin, Z., Song, Z., Cooper, J.M., and Zhao, B. 2018. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 175: 281-290.
21. Liu, D., Huang, Y., Yan, H., Jiang, Y., Zhao, T., and An, S. 2018. Dynamics of soil nitrogen fractions and their relationship with soil microbial communities in two forest species of northern China. *Plos one*, 13(5): e0196567.
22. Luo, Y., Li, Q., Shen, J., Wang, C., Li, B., Yuan, S., Zhao, B., Li, H., Zhao, J., Guo, L., and Li, S. 2019. Effects of agricultural land use change on organic carbon and its labile fractions in the soil profile in an urban agricultural area. *Land Degradation and Development*, 30(15): 1875-1885.
23. Mi, W., Wu, L., Brookes, P.C., Liu, Y., Zhang, X., and Yang, X. 2016. Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers. *Soil and Tillage Research*, 163: 64-70.
24. Pabst, H., Kühnel, A., and Kuzyakov, Y. 2013. Effect of land-use and elevation on microbial biomass and water extractable carbon in soils of Mt. Kilimanjaro ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 67: 10-19.
25. Poeplau, C., and Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*, 192: 189-201.
26. Sahoo, U.K., Singh, S.L., Gogoi, A., Kenye, A., and Sahoo, S.S. 2019. Active and passive soil organic carbon pools as affected by different land use types in Mizoram, Northeast India. *PloS one*, 14(7): e0219969.
27. Sainepo, B.M., Gachene, C.K., and Karuma, A. 2018. Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya. *Carbon b*
28. Sotomayor-Ramírez, D., Espinoza, Y., and Ramos-Santana, R. 2006. Short-term tillage practices on soil organic matter pools in a tropical Ultisol. *Soil Research*, 44(7): 687-693.

29. Sotomayor-Ramírez, D., Espinoza, Y., and Ramos-Santana, R. 2006. Short-term tillage practices on soil organic matter pools in a tropical Ultisol. *Soil Research*, 44(7): 687-693.
30. Trigalet, S., Gabarrón-Galeote, M.A., Van Oost, K., and van Wesemael, B. 2016. Changes in soil organic carbon pools along a chronosequence of land abandonment in southern Spain. *Geoderma*, 268: 14-21.
31. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*, 19(6): 703-707.
32. Vieira, F.C.B., Bayer, C., Zanatta, J.A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., and He, Z.L. 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 96(1-2): 195-204.
33. Wani, S.A. 2021. Assessment of changes in soil organic carbon fractions and enzyme activities under apple growing ecosystems in temperate North-Western Himalayas. *Resources, Environment and Sustainability*, 6: 100036.
34. Yang, W., An, S., Zhao, H., Fang, S., Xia, L., Xiao, Y., Qiao, Y., and Cheng, X. 2015. Labile and Recalcitrant Soil Carbon and Nitrogen Pools in Tidal Salt Marshes of the Eastern Chinese Coast as Affected by Short-Term C4 Plant *Spartina alterniflora* Invasion. *Clean–Soil, Air, Water*, 43(6): 872-880.
35. Yang, W., Li, N., Leng, X., Qiao, Y., Cheng, X., and An, S. 2016. The impact of sea embankment reclamation on soil organic carbon and nitrogen pools in invasive *Spartina alterniflora* and native *Suaeda salsa* salt marshes in eastern China. *Ecological Engineering*, 97: 582-592.
36. Yang, W., Xia, L., Zhu, Z., Jiang, L., Cheng, X., and An, S. 2019. Shift in soil organic carbon and nitrogen pools in different reclaimed lands following intensive coastal reclamation on the coasts of eastern China. *Scientific Reports*, 9(1): 5921.
37. Yang, X., Ren, W., Sun, B., and Zhang, S. 2012. Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma*, 177: 49-56.
38. Zhang, H., Wu, P., Fan, M., Zheng, S., Wu, J., Yang, X., Zhang, M., Yin, A., and Gao, C. 2018. Dynamics and driving factors of the organic carbon fractions in agricultural land reclaimed from coastal wetlands in eastern China. *Ecological Indicators*, 89: 639-647.