

Research Article

Agricultural Engineering., 45(3) (2022) 261-281  
DOI: 10.22055/AGEN.2023.42525.1649

ISSN (P): 2588-526X

ISSN (E): 2588-5944

## The effect of land use change on physical and chemical components of soil organic carbon in loess-derived soils of toshan watershed, golestan province

A.R Abdollahpour<sup>1</sup>, M. Barani Motlagh<sup>2\*</sup>, A. Bostani<sup>3</sup>, F. Kiani<sup>4</sup>, F. Khormali<sup>5</sup> and R. Ghorbani Nasrabadi<sup>6</sup>

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:11 November 2022

Accepted:19 December 2022

### Abstract

**Introduction:** Globally, deforestation is the dominant land use change process and has severe effects on soil biogeochemical properties. Large areas of the north facing slopes of the Alborz mountain range in northern Iran are covered by extensive loess deposits. Loess often contains little clay results in a loss of soil organic carbon (SOC) under cultivation. Deforestation and cultivation on the loess hillslopes in northern Iran have resulted in a deterioration of soil quality, particularly significant reduction in SOC. Loess lands of Golestan province in northern Iran is densely being cultivated following deforestation. Labile fractions of soil organic matter (SOM), rather than total SOM, have been used as sensitive indicators of soils' quality and response to agricultural management changes. Several physical, chemical, and biological methods have been used to distinguish between labile (or biologically active) and recalcitrant pools of SOM. So, this research aims to investigate the effect of land use change from pristine and undisturbed forest as a reference to other land uses on soil organic carbon components and fractions as an important indicator in the sustainable soil management system and maintaining fertility and controlling soil erosion. Also, the effect of these land use changes on total carbon, soil organic carbon, and finally on the physical and chemical components of soil organic carbon.

**Materials and Methods:** The study area is the Toshan watershed, which is located in the northwest of the city of Gorgan (Golestan province) in the north of Iran. Four major and dominant types of land use were considered in the study area, including a) orchard (olive), b) agricultural (cotton), c) virgin or untouched forest, d) abandoned (raspberry). Soil carbon



fractionation was done by two physical methods (soil aggregate fractionation method) and chemical method (hydrolysis of organic matter with hot water). The selection of soils in different land uses was such that they have similar initial conditions and therefore the change in soil carbon in each use is related to the change in land use. The obtained data were analyzed based on the factorial design in the form of completely randomized design with two sampling depths, four land uses in five replications using SAS software.

**Results and Discussion:** The results showed that the highest amount of total carbon and soil organic carbon was observed in the forest treatment and in the first depth (6.02% and 3.5%, respectively), which had a significant difference compared to other land use treatments studied. The results showed that despite the absence of a significant difference between the two depths, the amount of stable organic carbon increased with increasing soil depth in agricultural and abandoned uses. The forest land use had the highest amount of stable organic carbon at the depth of 0-10 cm at the rate of 2.51%, followed by orchard treatment at the same depth. The lowest amount of stable organic carbon was recorded in the abandoned land use treatment. The highest amount of organic carbon dissolved in water at both investigated depths was obtained in the forest management treatments and then in the abandoned management. While no significant difference was observed between the two investigated depths in the abandoned land use. A significant decrease in organic carbon fractions that can be extracted with hot water was observed in abandoned and agricultural uses, as well as their increase in forest land uses. After the forest land use, the olive garden land use had the highest amount of total and organic carbon, however, there was no significant difference between the agricultural and abandoned treatments. In forest and garden treatments, the amount of stable carbon at a depth of 0-10 cm is significantly higher than the amount of stable organic carbon at a depth of 10-20 cm. In the garden use treatment, the amount of organic carbon in the soil at a depth of 10-20 cm showed a significant increase of 35% compared to the first depth.

**Conclusion:** A significant decrease in organic carbon fractions that can be extracted with hot water was observed in abandoned and agricultural uses, as well as their increase in forest uses. In total, the results showed that the carbon of labile fraction was more responsive to the type of land use than other fractions, and among the different methods of carbon fractionation, physical methods showed a clearer response to land use change.

**Keywords:** *Organic carbon, land use, fractionation, labile, carbon pools*

## اثر تغییر کاربری اراضی بر اجزای فیزیکی و شیمیایی کربن آلی خاک در خاک‌های لسی حوزه آبخیز توشن، استان گلستان

علیرضا عبدالله پور<sup>۱</sup>، مجتبی بارانی مطلق<sup>۲\*</sup>، امیر بستانی<sup>۳</sup>، فرشاد کیانی<sup>۴</sup>، فرهاد خرمالی<sup>۵</sup> و رضا قربانی نصرآبادی<sup>۶</sup>

- 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

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰

پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

### کلمات کلیدی:

کربن آلی،  
کاربری اراضی،  
جزء بندی،  
لبایل،  
مخزن کربن

### چکیده

در سطح جهانی، جنگل‌زدایی فرآیند غالب تغییر کاربری اراضی است و اثرات شدیدی بر خواص بیوژئوشیمیایی خاک دارد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی از جنگل بکر و دست نخورده به عنوان مرجع نسبت به سایر کاربری‌ها بر اجزا و جزءبندی کربن آلی خاک در حوضه آبخیز توشن که در شمال غربی شهر گرگان (استان گلستان) در شمال ایران واقع شده، به انجام رسید. چهار نوع کاربری عمده و غالب در منطقه مورد مطالعه شامل الف) جنگل، ب) اراضی کشاورزی، ج) باغ و د) اراضی رهاشده در نظر گرفته شدند. جزء-بندی کربن آلی خاک به دو روش فیزیکی (به روش خاکدانه) و شیمیایی (روش هیدرولیز ماده آلی با آب با دمای ۲۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. داده‌های به دست آمده بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح عمق خاک و چهار کاربری و با پنج تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه تحلیل شدند. نتایج نشان داد که در تیمارهای کاربری جنگلی و باغی، مقدار کربن آلی پایدار در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر به صورت معنی‌داری بیشتر از مقدار کربن آلی پایدار در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری می‌باشد. در تیمار کاربری باغی، مقدار کربن آلی لبایل خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری افزایش معنی‌دار ۳۵ درصدی را نسبت به عمق اول نشان داد. همچنین، در همه کاربری‌های بررسی شده به جز کاربری باغی، مقدار کربن آلی محلول در آب سرد در عمق دوم نسبت به عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر کاهش پیدا کرد که میزان کاهش برای کاربری‌های زراعی، جنگلی و رهاشده به ترتیب ۵/۲۶، ۱۲/۱۲ و ۱/۴۸ میلی‌گرم بود و کاربری جنگلی دارای بیشترین میزان کاهش کربن آلی محلول در آب سرد در عمق دوم نسبت به عمق اول بود. در مجموع نتایج نشان داد که کربن بخش لبایل بیشتر از سایر بخش‌ها به نوع کاربری اراضی پاسخ‌دهنده‌تر بود و روش فیزیکی پاسخ روشن‌تری به تغییر کاربری اراضی نشان دادند.

\* عهده دار مکاتبات:

Email: mbarani2002@yahoo.com

## مقدمه

دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) در سطح جهان بین اتمسفر، اقیانوس و زیست کره در حال چرخش است. بودجه جهانی کربن نشان می‌دهد که در طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۵۰ بار کربن اتمسفری به میزان ۴/۱ گیگا تن در سال افزایش داشته است (۱۹). برآورد می‌شود که تغییرات کاربری و مدیریت اراضی به ترتیب ۶ و ۳۹ درصد در این افزایش انتشار  $CO_2$  نقش داشته اند (۱۱). کربن آلی خاک بزرگترین منبع کربن آلی زمینی است و از این رو نقش مهمی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کند. در بازه‌های زمانی مختلف، تغییرات کاربری اراضی می‌تواند اینکه یک ناحیه ویژه به عنوان مخزن برای دی اکسید کربن اتمسفری عمل کند یا نه را، به شدت تحت تاثیر قرار دهند (۳۳). شناخت و دانستن اینکه کربن آلی خاک چگونه به اقدامات گوناگون بشری پاسخ می‌دهند برای تضمین عدم تخریب کیفیت خاک و پایداری آن ضروری است.

افزایش فعالیت بشر به ویژه تغییر کاربری اراضی، عامل اصلی کاهش کیفیت خاک در جهان است (۱۴). کربن آلی خاک اهمیت ویژه ای در ارزیابی کیفیت خاک دارد، چرا که جنبه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تغییر کاربری و نوع پوشش گیاهی، جریان و دگرگونی کربن در یک اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اگرچه کربن آلی خاک شاخصی از کیفیت خاک است، اما اجزای کربن می‌تواند برای شناسایی حتی تغییرات اندک در مدیریت و تخریب خاک مورد استفاده قرار گیرند (۸).

چندین مخزن و جزء ماده آلی خاک با درجه‌های مختلفی از تجزیه و پایداری وجود دارند و این اجزا ممکن است در بررسی اثرات کوتاه و بلند مدت مدیریت کاربری اراضی روی پویایی SOM مفید باشند. کربن

آلی کل<sup>۴</sup> (TOC) از اشکال لبایل و غیرلبایل SOC تشکیل شده و درجه‌های متفاوتی از حساسیت به انواع تغییرات کاربری اراضی و عملیات مدیریتی دارند. چندین تحقیق گزارش نموده‌اند که بخش‌های لبایل، مانند اجزای سبک کربن آلی (LFOC<sup>۵</sup>) (۴۷)، کربن آلی دانه ای (POC) (۱۳)، و کربن به آسانی اکسید شونده (۹) به سرعت تغییر کرده و احیا می‌شوند. از این رو در مقایسه با TOC، این اجزای لبایل SOC می‌تواند به‌عنوان نشانگرهای حساس برای بررسی پیامد تغییر کاربری اراضی و عملیات مدیریتی بر کیفیت خاک و تغییرات SOM در کوتاه مدت استفاده شوند. این نشانگرها سریعتر به تغییرات القا شده توسط مدیریت خاک در بخش‌های SOC نسبت به توده SOM خاک واکنش نشان می‌دهند و می‌توانند به عنوان نشانگرهای حساس اولیه تغییر ذخیره کل SOC در نظر گرفته شوند (۹؛ ۳۴؛ ۴۶). به نظر می‌رسد که همه بخش‌های لبایل SOM ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند و ممکن است پیامد قابل توجهی نیز روی کیفیت خاک داشته باشند.

کائوشیک و همکاران<sup>۶</sup> (۳۰) با مقایسه جزءهای مختلف کربن در سیستم‌های متفاوت کاربری اراضی در هاریانا، هند، به این نتیجه رسیدند که کاربری اراضی تاثیر معنی‌داری بر اجزای مختلف کربن در خاک دارد. جینبو و همکاران<sup>۷</sup> (۲۸) نیز پیامدهای تغییر کاربری اراضی بر توزیع جزءهای کربن آلی لبایل در پروفیل خاک را بررسی نموده و مشاهده کردند که زمین دست نخورده در ناحیه مرطوب مقدار بالاتری از جزء کربن آلی لبایل در خاک فوقانی در مقایسه با اراضی جنگلی در ارتفاع، زمین‌های کشت شده و اراضی بایر داشتند. لو و همکاران<sup>۸</sup> (۳۵) اثرات تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعی بر کربن آلی و بخش‌های لبایل آنها در پروفیل

4- Total organic carbon

5- Light fraction organic carbon

6- Kaushik Roberta *et al.*7- Jinbo *et al.*8- Luo *et al.*

1- Atmospheric carbon load

2 - Soil organic carbon (SOC)

3- Soil organic matter

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 (۴، ۵، ۳۷)، همچنین تاکنون هیچ گونه مطالعه ای در مورد اجزای کربن آلی خاک تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی و تبدیل جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه گزارش نشده است. باتوجه به اینکه اجزای کربن به ویژه جزء لبایل از اجزای بسیار مؤثر کربن آلی خاک بوده که به سرعت تحت تأثیر سیستم‌های مدیریتی و فرسایش خاک قرار می‌گیرد، لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی از جنگل بکر و دست نخورده به عنوان مرجع نسبت به سایر کاربری‌ها بر اجزای کربن آلی خاک به عنوان یک شاخصه مهم در سیستم مدیریت پایدار خاک و حفظ حاصلخیزی و کنترل فرسایش خاک و همچنین اثر این تغییر کاربری‌ها بر کربن آلی خاک و در نهایت بر اجزای فیزیکی و شیمیایی کربن آلی خاک به انجام رسید. این تحقیق بر این فرضیه استوار بود که اجزای مختلف فیزیکی و شیمیایی کربن آلی خاک پاسخ‌های متفاوتی به تغییر کاربری اراضی و روش جزءبندی دارند.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز توشن است که در شمال 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 ۸۴۳ هکتار است (شکل ۱). این منطقه در یک ناحیه اقلیمی نیمه مرطوب با میانگین دما و بارندگی سالانه به ترتیب ۱۶ درجه

خاک را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که جنگل زدایی باعث کاهش کربن آلی محلول، و نیز مقدار کل کربن آلی خاک به دلیل ورودی کمتر ماده آلی، بهبود هوادهی و تهویه پروفیل خاک شد. روبرتا و همکاران<sup>۱</sup> (۴۰) نیز 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 وانی (۱) نشان داد که علی‌رغم ماهیت ریشه‌دار عمیق درختان در کاربری باغی، تجزیه خاک کاهش زیادی در اجزای کربن آلی نشان داد. چن و همکاران<sup>۲</sup> (۱۴) کربن آلی خاک (SOC)، عامل تغییر کربن خاک (SCCF) و تغییرات فرسایش پذیری خاک را نسبت به تغییرات کاربری زمین در دو دوره بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که با تبدیل از جنگل طبیعی به ذرت و تغییر از ذرت به سایر محصولات زراعی یا علفزار ذخایر SOC (۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) در جنگل طبیعی با توجه به رویکردهای مبتنی بر عمق و وزنی، به ترتیب ۴۴/۹ و ۵۲/۵ درصد پس از تبدیل به مزارع ذرت کاهش یافت.

ساینپو و همکاران (۴۱) با ارزیابی بخش‌های کربن آلی و شاخص مدیریت کربن در انواع مختلف کاربری‌ها در کنیا نشان دادند که میانگین مقادیر TOC و کربن آلی معدنی<sup>۳</sup> (MOC) اختلاف معنی‌داری در انواع مختلف کاربری‌های زمین داشت؛ و کاربری‌های مختلف زمین بر مخازن کربن آلی خاک نیز تأثیر معنی‌داری دارند.

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 (۳)، ۶۹/۳ درصد از حوضه آبخیز توشن در استان

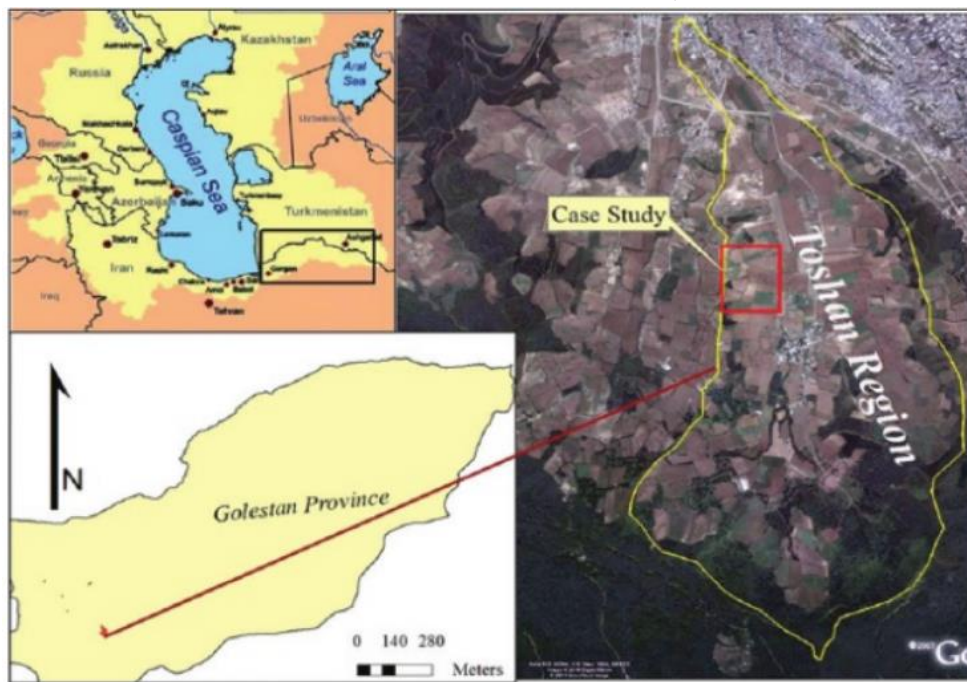
1- Roberta *et al.*

2- Chen *et al.*

3- Mineral organic carbon

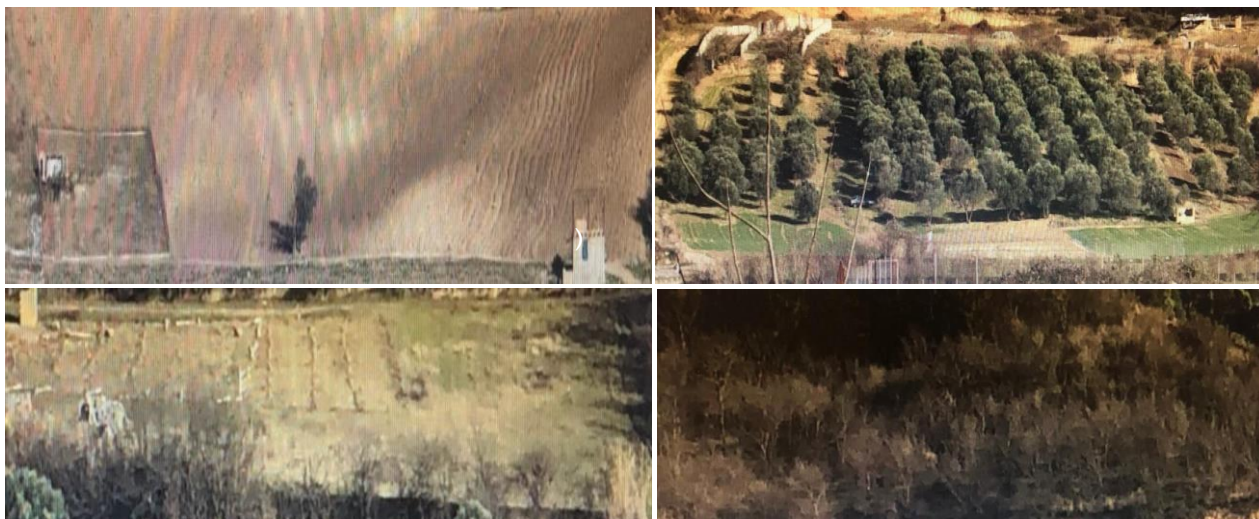
به حدود ۵۲ درصد از جنگل‌ها تخریب شده و به اراضی کشاورزی و شهرنشینی تبدیل شده است (۴). چهار نوع کاربری عمده و غالب در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: جنگل طبیعی، اراضی کشاورزی، باغ و اراضی رهاشده است (شکل ۲). گونه‌های غالب در جنگل طبیعی عبارتند از بلوط، ممرز، انجیلی و گیاهان مخروطی مانند کاج. اراضی کشاورزی غالباً زیر کشت پنبه، گندم، کلزا و سویا هستند که در زمان نمونه برداری زیر کشت پنبه بودند. کاربری باغ اغلب از نوع درختان زیتون است و اراضی رهاشده عموماً پوشیده از گیاه خودرو تمشک است. اراضی رهاشده جنگل تراشی شده است (شکل ۲).

سانتی‌گراد و ۶۲۰ میلی‌متر قرار دارد. رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی ترمیک بوده و مواد مادری خاک عمدتاً از رسوبات لسی تشکیل شده است (۴). براساس گزارش سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری ایران، تاریخچه جنگل تراشی در منطقه مورد مطالعه به بیش از ۵۰ سال قبل بر می‌گردد. تفسیر عکس-های هوایی گرفته شده در سال ۱۹۹۶ نشان می‌دهد که ۵۸۵/۲ هکتار (۶۹/۳ درصد) از حوزه آبخیز مورد مطالعه به وسیله جنگل طبیعی پوشیده شده بود. با این وجود، تصاویر اخیر ماهواره‌ای نشان داد که پوشش جنگلی به ۲۸۱/۵ هکتار (۳۳/۴ درصد) در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است. به عبارت دیگر، در طی کمتر از نیم قرن، نزدیک



شکل (۱) نقشه و موقعیت حوضه 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 یا دست نخورده، د) رهاشده (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)

موجودات قابل رویت و قطعات بزرگ ریشه و فضولات به صورت دستی حذف شدند. بر اساس نتایج تریگالت و همکاران<sup>۱</sup> (۵۰) و سیکس و همکاران<sup>۲</sup> (۴۹)، کربن آلی قسمت‌های فوقانی و سطحی در مقایسه با خاک زیرسطحی به میزان بسیار بیشتری تحت تاثیر تغییر کاربری اراضی قرار می‌گیرند. لذا نمونه برداری تنها در ۲۰ سانتی متری سطحی خاک انجام گرفت (۵۰). علاوه بر این در کاربری جنگل، نمونه‌ها بین ردیف‌های درختان و با حداقل یک متر فاصله از تنه درختان برداشته شد و شاخ و برگ و لایه‌های آلی قبل از نمونه برداری حذف شدند.

نمونه‌های مرکب خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک کردن برای تجزیه‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. میزان رطوبت خاک‌های برداشت شده بوسیله خشک کردن نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت تعیین و نتایج براساس وزن خشک ارائه گردید. مقدار کربن کل در نمونه‌های خاک به وسیله روش احتراق خشک و توسط دستگاه CHN analyzer پژوهشگاه نفت تهران و کربن آلی بوسیله هضم با دی کرومات پتاسیم با روش تیتراسیون سریع والکلی - بلک تعیین شدند (۳۹).

### 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، د) رهاشده (تمشک) در نظر گرفته شدند. کاربری‌های انتخاب شده شرایط طبیعی مشابه از جمله مواد مادری یکسان داشتند. در هر کاربری ۵ پلات با ابعاد ۲۰ متر در ۲۰ متر در نظر گرفته شد. به منظور حذف اثرات حاشیه ای و متاثر شدن کاربری‌های مجاور بر همدیگر، هر پلات حداقل ۵۰ متر از حاشیه و مرزها فاصله داشت. همچنین فاصله بین پلات‌ها در هر کاربری نیز ۵ متر بود پلات‌های انتخاب شده در هر نوع کاربری، موقعیت شیب، جهت شیب، میزان شیب و عرض جغرافیایی یکسانی دارا بودند.

در داخل هر پلات، ۵ نقطه نمونه برداری به صورت تصادفی انتخاب گردید، سپس در هر نقطه ۱۰ نمونه خاک با شعاع یک متری با استفاده از یک اوگر (با قطر داخلی ۵ سانتی متر) از دو عمق ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری برداشت شد. خاک‌های برداشت شده از هر عمق و هر پلات به طور کامل با هم مخلوط شده و یک نمونه مرکب تهیه گردید. مواد گیاهی و آلی قابل رویت و تجزیه نشده، سنگ،

1- Trigalet et al.

2- Six et al.

### جزءبندی فیزیکی کربن آلی خاک

جزءبندی فیزیکی به روش خاکدانه (Aggregate Fractions) انجام شد. در این روش، خاکدانه‌های خاک بر اساس روش ارائه شده توسط کامباردلا و الیوت جداسازی شدند (۱۳، ۸). بدین منظور مقدار معینی خاک هواخشک با حجم مشخصی از محلول سدیم هگزا متافسفات به مدت ۱۵ ساعت بر شیکر رفت و برگشتی تکان داده شدند. آنگاه محتویات حاصل از یک سری از الک‌ها (۲ میلی متر، ۲۵۰ و ۵۳ میکرومتر) عبور داده شده و جزءهای آن جمع آوری و در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شدند. جزءهای خشک شده در آون، با استفاده از هاون به ذرات خیلی ریز نرم شده و مقدار مواد آلی آن (SOC) با استفاده از روش والکلی-بلک تعیین گردید. جزء ۵۳-۲۵۰ میکرون به عنوان مواد آلی لبایل (Labile SOM) و موادی که از الک ۵۳ میکرون عبور کرده اند به عنوان مواد آلی پایدار (Stable SOM) در نظر گرفته شدند (۱۳).

### جزءبندی شیمیایی کربن آلی خاک

از روش هیدرولیز کربن آلی با آب با دمای ۲۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد برای جزءبندی شیمیایی استفاده شد. برای این منظور، کربن قابل استخراج با آب با دمای ۲۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد در نمونه‌های تازه مزرعه با استفاده از روش اصلاح شده هاینز و فرانسیس (۱۹۹۳) تعیین شد. استخراج کربن آلی قابل استخراج با آب با دمای ۲۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد در دو مرحله نشان داده شده در شکل ۳ انجام گرفت. مرحله نخست شامل استخراج کربن به آسانی محلول از خاک است که احتمالاً ناشی از فضولات حیوانی و بقایای گیاهی محلول است. مرحله دوم شامل استخراج اجزای لبایل کربن در خاک در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۶ ساعت است (۲۷). آنگاه میزان کربن در هر جزء توسط دستگاه TOC analyzer پژوهشگاه نفت تهران بواسطه اکسیداسیون کاتالیزوری احتراق ۶۸۰ درجه سانتی گراد در پژوهشگاه صنعت نفت تهران تعیین شد (شکل ۳).

### آنالیز آماری

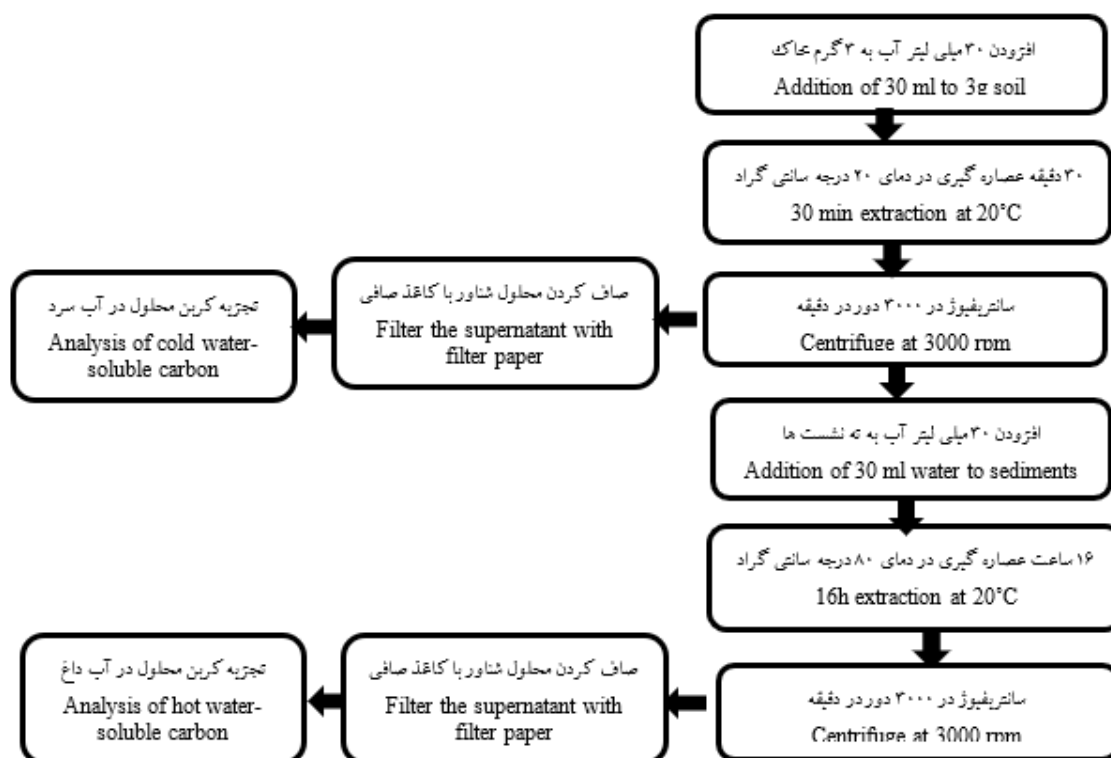
انتخاب خاک‌ها در کاربری‌های مختلف به گونه‌ای بود که شرایط اولیه مشابه داشته باشند و لذا تغییر در کربن خاک در هر کاربری به تغییر در کاربری اراضی مرتبط باشد. این امر آزمون و بررسی تاثیر تبدیل جنگل طبیعی به سایر کاربری‌ها را امکان پذیر می‌سازد. داده‌های به دست آمده براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه شدند. پلات‌های نمونه‌برداری به عنوان تکرار و کاربری‌ها و عمق نمونه برداری (۰-۱۰ 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

#### کربن کل و کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای نوع کاربری و عمق خاک و همچنین اثر متقابل این تیمارها بر مقدار کربن کل و کربن آلی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار کربن کل و کربن آلی خاک در تیمار جنگلی و در عمق اول مشاهده شد (به ترتیب ۶/۰۲ و ۳/۵ درصد) که تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای کاربری مطالعه شده داشت. پس از کاربری جنگلی، کاربری باغ زیتون دارای بیشترین مقدار کربن کل و آلی بود با این حال تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای زراعی و رهاشده وجود نداشت. در همه تیمارهای کاربری، مقدار کربن خاک در عمق دوم نسبت به عمق اول کاهش پیدا کرد ولی روند معکوسی برای تیمار رهاشده مشاهده گردید به گونه‌ای که مقدار کربن آلی در عمق دوم نسبت به عمق اول افزایش یافت، اگرچه مقدار افزایش معنی‌دار نبود. در تیمار کاربری جنگل، مقدار کربن آلی در عمق دوم به میزان تقریباً ۲۸ درصد نسبت به عمق اول کاهش داشت (شکل ۴).





شکل (۳) توصیف شماتیک روش استخراج کربن محلول در آب (WSC) و کربن قابل استخراج با آب داغ (HWC)  
Figure (3) Schematic description of water-soluble carbon (WSC) and hot water extractable carbon (HWC) extraction method

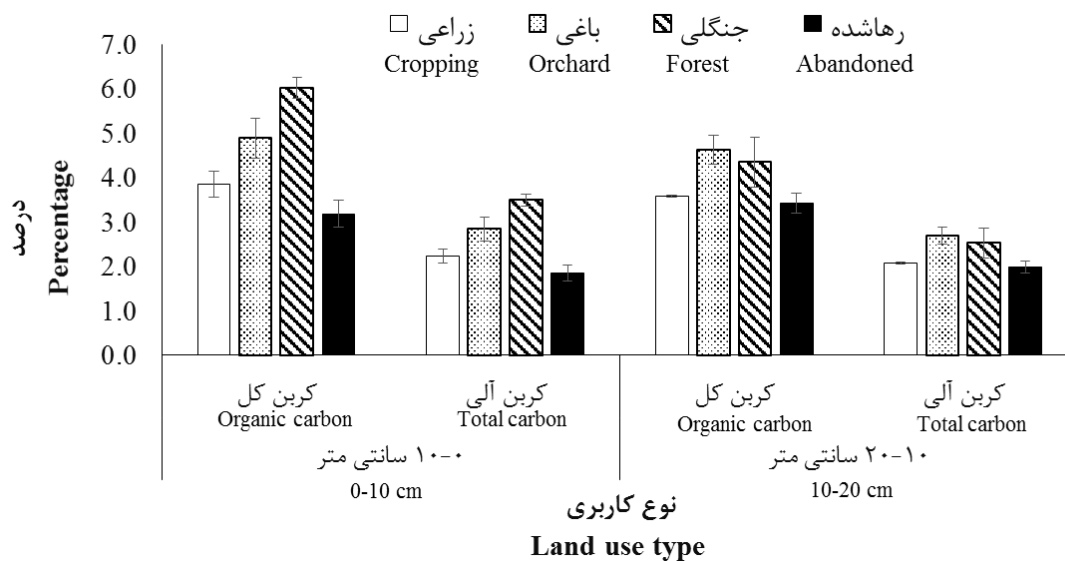
جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رهاشده)، عمق نمونه برداری (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متر) و اثرات متقابل آنها بر مقدار کربن کل و کربن آلی خاک

Table (1) The results of variance analysis of land use type treatments (garden, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) and their interaction effects on total carbon and soil organic carbon

| Mean squares / میانگین مربعات |                      | درجه آزادی | منبع تغییرات SOV         |
|-------------------------------|----------------------|------------|--------------------------|
| کربن آلی Organic carbon       | کربن کل Total carbon | df         |                          |
| 0.037ns                       | 0.104ns              | 4          | تکرار / Replication      |
| 2.61**                        | 7.682**              | 4          | نوع کاربری (LU)          |
| 0.82**                        | 2.453**              | 1          | عمق خاک (D)              |
| 0.56**                        | 1.676**              | 3          | Soil depth LU×D          |
| 0.04                          | 0.11                 | 28         | Error / خطا              |
| 8.13                          | 8.14                 | -          | 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 (۴) نتایج مقایسه میانگین‌های تاثیر متقابل تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رهاشده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متر) بر مقدار کربن کل و کربن آلی خاک (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رهاشده: اراضی رهاشده تمشک جنگلی). میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

**Figure (4)** 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.

جان و همکاران (۲۴) مشاهده کردند که در خاک‌های با کاربری‌های ذرت، علفزار و گندم ۸۶ تا ۹۱ درصد کربن آلی در بخش مواد آلی خاک مرتبط با مواد معدنی یافت می‌شود. دباسیش و همکاران (۱۸) تأثیر کاربری زمین بر بخش کربن آلی خاک ارزیابی نموده و گزارش کردند که اراضی جنگلی دارای بالاترین میزان کربن کل در مقایسه با سایر کاربری‌ها بودند. بر اساس نتایج آنان، غلظت کربن آلی (OC) و نیتروژن در بخش‌های مختلف به طور قابل توجهی در سه کاربری متفاوت بود و این ممکن است به دلیل تفاوت در بافت خاک و شرایط آب و هوایی در این مناطق باشد. در چندین مطالعه مشاهده شده است که ذخیره سازی SOC به بافت خاک بستگی دارد (۴۵). با توجه به یافته‌های کلب و کوگل-کناپر (۳۱)، مقدار OC در خاک با افزایش محتوای رس افزایش یافت. تفاوت‌های مشاهده شده در بین کاربری‌های زمین را می‌توان به تفاوت‌ها در میکرواقلیم، پوشش گیاهی و

کاربری‌های مختلف اراضی اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های خاک نشان دادند. تغییرات در میزان مواد آلی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی به دلیل تفاوت در نوع پوشش، کمیت و کیفیت لاشبرگ ورودی می‌باشد (۵۵). بر همین اساس تغییرات معنی‌داری در میزان ماده آلی خاک تحت کاربری‌های اراضی مورد مطالعه مشاهده شد. مطابق با نتایج بدست آمده، کاربری جنگلی به واسطه ریزش سالیانه شاخ و برگها 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 (۲۹) همخوانی دارد. خاکها در کاربری رهاشده نسبت به خاکهای زیر جنگل دارای کربن آلی کمتری بودند. اراضی بایر معمولاً دارای کاهش محتوای کربن آلی است، زیرا مقدار مواد آلی برگشته به خاک به طور قابل توجهی کمتر از جنگل است که باعث افزایش تجزیه مواد آلی خاک بومی می‌شود (۱۷؛ ۳۲).

در تیمار کاربری باغی، مقدار کربن آلی لبایل خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری افزایش معنی دار ۳۵ درصدی را نسبت به عمق اول نشان داد، با اینحال مقدار کربن آلی لبایل در کاربری زراعی در عمق اول نسبت به عمق دوم کاهش پیدا کرد، اگرچه اختلاف بین دو عمق نمونه برداری در این نوع کاربری معنی دار نبود (شکل ۵).

کربن آلی خاک در بخش های سبک در خاک های زیر جنگل مقادیر بیشتری نسبت به سایر انواع کاربری اراضی داشت. بخش سبک یک یخس گذرا از مواد آلی بین بقایای تازه و مواد آلی هیومیکی شده و پایدار است (۲۴). به عبارت دیگر، ماده آلی «آزاد» یا غیرکمپلکس شده در خاک ها این است که دگرگونی های قابل توجهی را تجربه نکرده و با استفاده از مایعات سنگین می توان آن را با استفاده از چگالی جدا کرد. این می تواند نشان دهد که تجزیه و هیومیکی شدن لاشبرگ از درختان سوزنی برگ کندتر از درختان پهن برگ بود و کربن آلی پایدار هیومیکی شده در خاک های زیر کشت درختان پهن برگ بزرگتر از زیر کشت سوزنی برگ ها بود. مطالعات مختلف بیان می کنند که جز لبایل کربن آلی خاک (LF) به شیوه های مدیریت خاک حساس است (۷). این به این دلیل رخ می دهد که LF به عنوان بسیار لبایل در نظر گرفته می شود، که عمدتاً شامل مواد آلی است که هنوز با مواد معدنی خاک کمپلکس تشکیل نداده است (۳۹). از این نظر، کابالرو (۱۲)، بیان کرد که نسبت هر بخش، عمدتاً تحت تاثیر نوع استفاده از زمین و دینامیک OC، مخصوصاً در خاک های زیر محصولات زراعی متأثر از جمعیت میکروبی خاک و سطح ترکیبات مقاوم است. ون بریمن و فیزی (۵۱) نشان دادند که لاشبرگ پهن برگ ها در مقایسه با سوزنی برگ ها به دلیل مقدار بیشتر یون های کلسیم به سرعت تجزیه می شود و یون های کلسیم، محصولات تجزیه، به خاک زیر درختان باز می گردند. علاوه بر این، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) به عنوان یک عامل مهم در تجزیه مواد آلی مورد توجه قرار گرفته است.

ورودی سوبسترا نسبت داد (۵۵). نتایج این پژوهش نشان داد که در لایه ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک، غلظت SOM به طور قابل توجهی کمتر از لایه ۰-۱۰ سانتی متر بود که با نتایج شروث و همکاران (۴۲) متفاوت بود، که تفاوت معنی داری در غلظت C زیر عمق ۱۰ سانتی متر گزارش نکردند. تجمع SOM در سطح خاک در نتیجه قرار گیری سطحی بقایای محصول، همراه با عدم اختلال خاک بود که بقایای آن را از بقیه اجزا خاک جدا نگه می داشت.

### جزء بندی فیزیکی کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عمق خاک تاثیر معنی داری بر مقدار ماده آلی لبایل خاک در بخش بندی اندازه ای ماده آلی خاک نداشت، اما تیمارهای نوع کاربری ( $p < 0.01$ ) و تاثیر متقابل آن با عمق خاک ( $p < 0.05$ ) به صورت معنی داری این ویژگی را تحت تاثیر قرار دادند (جدول ۲). همچنین، همه تیمارهای مورد بررسی و اثر متقابل آنها بر مقدار ماده آلی پایدار در بخش بندی اندازه ای ماده آلی خاک معنی دار بود ( $p < 0.01$ ). نتایج مقایسه میانگین های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری و عمق خاک بر مقدار کربن آلی پایدار در بخش بندی اندازه ای نشان داد که در تیمارهای کاربری جنگلی و باغی، مقدار کربن پایدار در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر به صورت معنی داری بیشتر از مقدار کربن آلی پایدار در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری می باشد، در حالیکه علیرغم عدم وجود اختلاف معنی دار بین دو عمق، مقدار کربن آلی پایدار با افزایش عمق خاک در کاربری های زراعی و رها شده افزایش یافت. کاربری جنگلی دارای بیشترین مقدار کربن آلی پایدار در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متر به میزان ۲/۵۱ درصد بود و پس از آن تیمار باغی در همین عمق قرار داشت. کمترین مقدار کربن آلی پایدار در تیمار کاربری رها شده به ثبت رسید. در خصوص کربن آلی لبایل نیز بیشترین مقدار در تیمار کاربری باغی در عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری مشاهده گردید که تفاوت معنی داری با تیمار کاربری جنگلی و عمق ۰-۱۰ سانتی متری نداشت. همچنین تفاوت معنی داری بین دو عمق خاک در کاربری جنگلی از نظر مقدار کربن آلی لبایل خاک وجود نداشت ولی

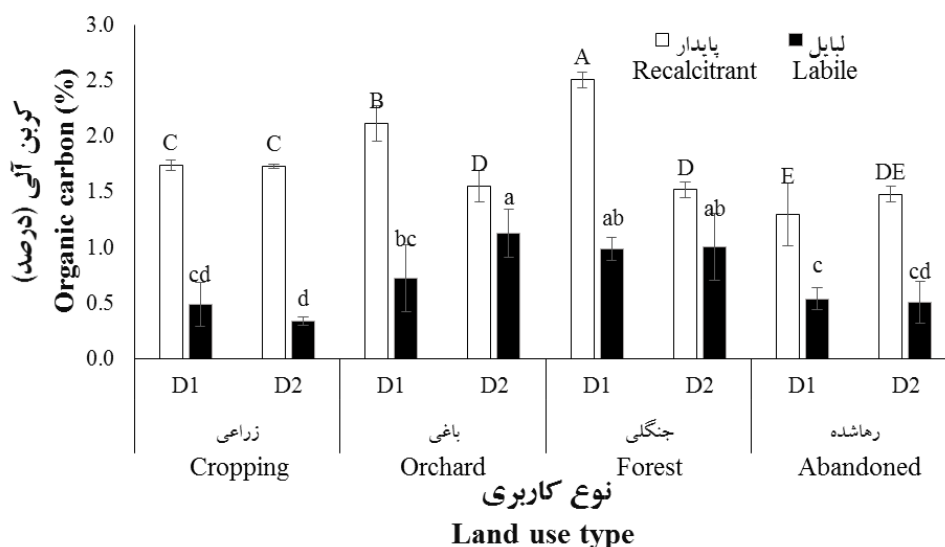
جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رهاشده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) و اثرات متقابل آنها بر جزءبندی فیزیکی کربن آلی خاک

Table (2) The results of analysis of variance of land use type treatments (orchard, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) and their mutual effects on the physical fractionation of soil organic carbon

| Mean squares / میانگین مربعات                                 |                                                | درجه آزادی<br>df | منبع تغییرات<br>SOV                         |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------|
| اجزای فیزیکی کربن آلی<br>Physical fractions of organic carbon | ماده آلی پایدار<br>Recalcitrant organic matter |                  |                                             |
|                                                               | 0.013ns                                        | 4                | تکرار / Replication                         |
|                                                               | 0.688**                                        | 4                | نوع کاربری (LU) / Landuse                   |
|                                                               | 1.202**                                        | 1                | عمق خاک (D) / Soil depth                    |
|                                                               | 0.702**                                        | 3                | LU×D                                        |
|                                                               | 0.019                                          | 28               | خطا / Error                                 |
|                                                               | 7.95                                           | -                | ضریب تغییرات (%) / Coefficient of variation |
|                                                               | 3.18                                           | -                |                                             |

\*، \*\* و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

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



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

Figure (5) The results of comparing the means of the interaction effects of land use type treatments (orchard, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the amount of organic carbon in different fractions of soil (Aggregate Fractions) (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.

۱۸/۱۲ و ۱۵/۵۶ میلی گرم بر لیتر به دست آمد و کمترین مقدار آن نیز در عمق دوم کاربری زراعی به مقدار ۳/۹۸ میلی گرم بر لیتر بود. در همه کاربری‌های بررسی شده به جز کاربری باغی، مقدار کربن آلی محلول در آب سرد در عمق دوم نسبت به عمق ۱۰-۰ سانتی متر کاهش پیدا کرد که میزان کاهش برای کاربری‌های زراعی، جنگلی و رهاشده به ترتیب ۵/۷۶، ۱۲/۱۲ و ۱/۴۸ میلی گرم بود و کاربری جنگلی دارای بیشترین میزان کاهش کربن آلی محلول در آب سرد در عمق دوم نسبت به عمق اول بود. با اینحال، در کاربری باغی، میزان کربن آلی محلول در آب سرد به صورت معنی‌داری در عمق دوم نسبت به عمق اول افزایش پیدا کرد که میزان افزایش برای این کاربری برابر ۶/۹۲ میلی گرم بر لیتر معادل ۴۴/۴ درصد بود (شکل ۶-الف).

روند تقریباً مشابهی برای کربن آلی محلول در آب داغ (۸۰ درجه سانتی گراد) برای کاربری‌های مختلف مشاهده گردید. کاربری جنگلی در عمق اول دارای بیشترین مقدار کربن آلی محلول در آب با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به میزان ۸۲/۵ میلی گرم بر لیتر بود که در عمق دوم به صورت بسیار قابل ملاحظه ای افت کرده و به میزان ۱۷/۹ میلی گرم بر لیتر رسید. در کاربری زراعی تفاوت معنی‌داری بین دو عمق مطالعه شده مشاهده نشد و کمترین میزان کربن آلی محلول در آب با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد در تیمار کاربری رهاشده به دست آمد که در این کاربری نیز مقدار کربن آلی محلول در عمق دوم به صورت معنی‌داری نسبت به عمق اول کاهش پیدا کرد (۳۷/۲ میلی گرم بر لیتر). در کاربری باغی، بر خلاف سایر کاربری‌ها و همانند کربن آلی محلول در آب سرد (۲۰ درجه سانتی گراد)، مقدار کربن آلی محلول در آب داغ در عمق دوم نسبت به عمق اول افزایش پیدا کرد که میزان این افزایش برابر ۱۸/۸ درصد بود (شکل ۶-ب).

بخش‌های کربن آلی خاک قابل استخراج با آب شامل کربن زیتوده میکروبی خاک و ترکیبات آلی ساده

بر اساس نتایج این پژوهش، با مقایسه غلظت OC در بخش‌های مختلف SOM، بیشترین مقدار در بخش تثبیت شده و کمترین آن در بخش لبایل مشاهده شد. این یافته بر خلاف یافته‌های گلچین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۳) بود که پیشنهاد نمودند که وجود مقادیر بالای مواد معدنی در خاک منجر به کاهش مقدار C در یک بخش پایدار می‌گردد. برخی پژوهشگران چنین غلظت بالایی در بخش‌های پایدار را ناشی از محافظت فیزیکی OM توسط خاکدانه‌ها دانستند که به بخش‌بندی زیتوده میکروبی و سوبسترا نسبت داده می‌شود (۲۲؛ ۴۹). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که OC در بخش ماده آلی دانه-ای بیشترین تأثیر کاربری زمین را نشان داد که منجر به تفاوت‌های قابل توجهی با زمین‌های جنگلی در مقایسه با دو کاربری دیگر شد. این نتیجه با گزارش دوچافور (۲۰) مطابقت دارد که نشان داد اراضی کشاورزی دارای کمترین مقدار جزء ماده آلی دانه‌ای<sup>۲</sup> (POM) هستند. بقایای محصول در زمین‌های کشاورزی به خاک بازگردانده نمی‌شود و برای اهداف مختلف برداشت می‌شود که باعث کاهش بخش POM خاک می‌شود. همانطور که توسط کامباردلا و الیوت (۱۳) گزارش شده است، بخش POM می‌تواند به عنوان یک شاخص سریع برای دینامیک C در کاربری‌های مختلف زمین در نظر گرفته شود.

### جزء بندی شیمیایی کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای نوع کاربری، عمق خاک و اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری بر میزان کربن آلی قابل استخراج با آب داغ (۸۰ درجه سانتی گراد) و آب سرد (۲۰ درجه سانتی گراد) داشتند ( $p < 0.01$ ؛ جدول ۳). بیشترین میزان کربن آلی محلول در آب سرد (۲۰ درجه سانتی گراد) در تیمار کاربری جنگلی و در عمق ۱۰-۰ سانتی متر و پس از آن در تیمار کاربری باغی و عمق ۲۰-۱۰ سانتی متر به میزان به ترتیب

1- Golchin *et al.*

2- Particulate organic matter

عبداله پور و همکاران: اثر تغییر کاربری اراضی بر اجزای...

و قابل هیدرولیز است (۴۴). قابلیت بالای استخراج ماده آلی با آب، وجود کربن آلی به آسانی قابل تجزیه را نشان می‌دهد، در حالیکه قابلیت استخراج پایین، وجود کربن آلی خاک با قابلیت تجزیه پایین را نشان می‌دهد (۱۰). بخش‌های کربن آلی قابل استخراج با آب می‌تواند به عنوان نشانگر کربن آلی قابل تجزیه با پتانسیل تامین عناصر غذایی در طی تجزیه را نشان می‌دهد (۴۳).

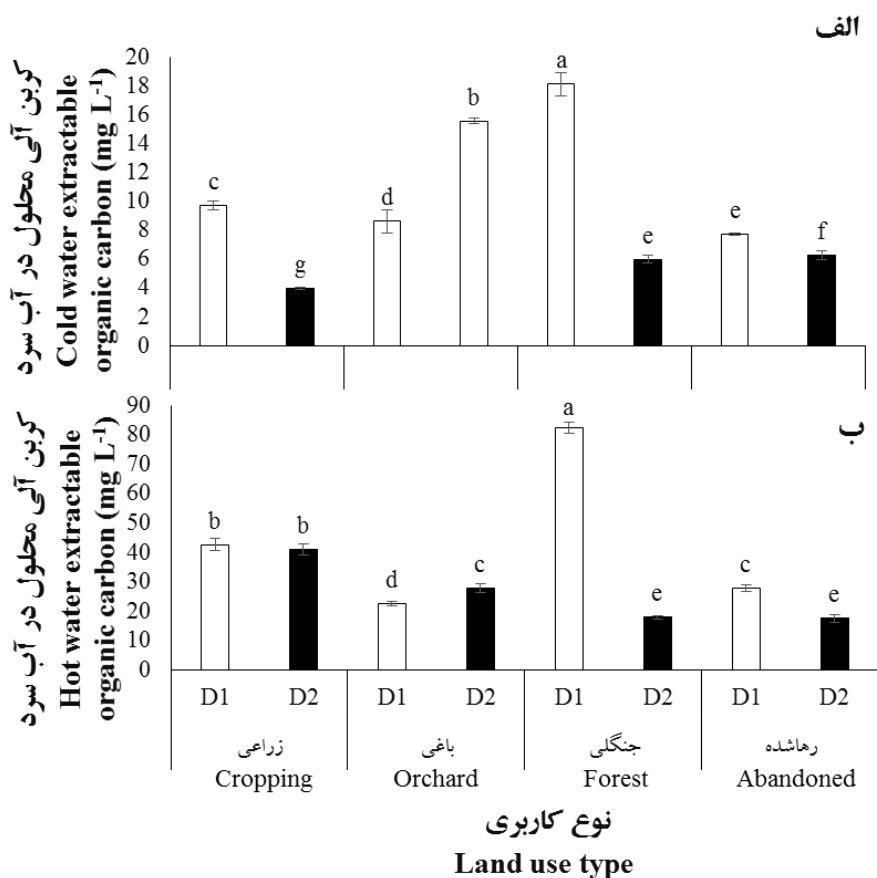
جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رهاشده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر) و اثرات متقابل آنها بر جزءبندی شیمیایی کربن آلی خاک

Table (3) The results of the analysis of variance of land use type treatments (orchard, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) and their interaction effects on the chemical fractionation of soil organic carbon

| Mean squares / میانگین مربعات                                                                        |                                                                                                     | منبع تغییرات<br>SOV |                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| اجزای شیمیایی کربن آلی خاک<br>Chemical fractions of organic carbon                                   |                                                                                                     | درجه<br>آزادی<br>df |                                             |
| کربن آلی قابل استخراج با آب سرد (۲۰ درجه سانتی گراد)<br>Cold water extractable organic carbon (20°C) | کربن آلی قابل استخراج با آب داغ (۸۰ درجه سانتی گراد)<br>Hot water extractable organic carbon (80°C) |                     |                                             |
| 0.046ns                                                                                              | 0.59ns                                                                                              | 4                   | تکرار / Replication                         |
| 88.44**                                                                                              | 1758.5*                                                                                             | 4                   | نوع کاربری (LU) / Landuse                   |
| 96.72**                                                                                              | 3192.7**                                                                                            | 1                   | عمق خاک (D) / Soil depth                    |
| 159.55**                                                                                             | 2530.6**                                                                                            | 3                   | LU×D                                        |
| 0.23                                                                                                 | 2.67                                                                                                | 28                  | خطا / Error                                 |
| 5.14                                                                                                 | 4.67                                                                                                | -                   | ضریب تغییرات (%) / Coefficient of variation |

ns، \* و \*\* به ترتیب نشاندهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

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



شکل (۶) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای نوع کاربری (باغی، زراعی، جنگلی و رهاشده)، عمق نمونه برداری (۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر) بر مقدار کربن آلی قابل استخراج با الف) آب سرد (۲۰ درجه سانتی‌گراد) و ب) آب داغ (۸۰ درجه سانتی‌گراد) (تیمار زراعی: محصول پنبه، تیمار باغی: باغ زیتون، تیمار جنگلی: جنگل دست نخورده و تیمار رهاشده: اراضی رهاشده تمشک جنگلی؛ D: عمق نمونه برداری؛ D1: 0-10 و D2: 10-20 سانتی‌متر). 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 (orchard, agricultural, forest and abandoned), sampling depth (0-10 and 10-20 cm) on the amount of extractable organic carbon with a) cold water (20°C) and b) hot water (80°C) (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.

کربوهیدرات‌های محلول و اسیدهای آمینه تشکیل شده است (۲۹). محققین گزارش نمودند که کربن آلی قابل استخراج با آب داغ ۳ تا ۷ برابر بزرگتر از کربن زیتوده میکروبی است و این حقیقت را تایید نمودند که کربن زیتوده میکروبی جزء کلیدی کربن آلی قابل استخراج با آب داغ است که توسط ویگل و همکاران<sup>۱</sup>

مقدار کربن آلی محلول در آب داغ (۸۰ درجه سانتی‌گراد) بسیار بالاتر از مقدار کربن آلی محلول در آب سرد (۲۰ درجه سانتی‌گراد) بود. محققین نشان دادند که کربن آلی قابل استخراج با آب داغ مقدار بسیار بیشتری دارد، اما بسیار مهم بوده و از اجزای بسیار لبایل کربن آلی خاک می‌باشد (۵۳). برخی محققین گزارش نموده‌اند که کربن آلی قابل استخراج با آب داغ اساساً از کربن زیتوده میکروبی خاک، تراوشات ریشه،

1- Weigel et al.

نشان می‌دهد. لایه سطحی خاک جنگلی دارای پلی ساکاریدهای لبایل است و با عمق مقدار هیدروکربن‌های پایدارتر افزایش می‌یابد، در حالیکه بیشترین مقدار آروماتیکی در عمق ۳۰ سانتی‌متری گزارش شده است (۲۱). کربن آلی لبایل خاک مانند بخش‌های قابل استخراج با آب سریعاً به تغییرات کاربری اراضی پاسخ می‌دهند (۴۸، ۳۶) و از این رو می‌توانند به عنوان نشانگرهای حساس تغییر کربن آلی خاک (۲۹) و همچنین نشانگرهای اثرات انسانی بر اکوسیستم‌های مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج این پژوهش در حوزه توشن نشان داد که مقدار کربن آلی قابل استخراج با آب داغ در کاربری‌های زراعی و باغی نسبت به جنگلی کاهش پیدا کرد. توضیح احتمالی برای این ممکن است این باشد که عمق شخم حدود ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین، پس از خاک‌ورزی، حساس‌ترین بخش SOM ممکن است در معرض تجزیه قرار گرفته (۲۲) و همچنین در پروفیل خاک شسته شده و روی سطح ذرات رس جذب شود (۱۶). این تغییرات با کاهش قابل توجه محتوای TOC در خاک زراعی در مقایسه با خاک جنگل همراه است. در مطالعات قبلی تأثیرات جنگل‌زدایی بر محتوای کربن آلی قابل اکسیداسیون در جنگل و خاک‌های زراعی بررسی شده است (۲۶). این یافته‌ها بیشتر از این ایده پشتیبانی می‌کنند که حتی تکنیک‌های مختلف استخراج SOM ممکن است آن بخش‌های شیمیایی مشابه SOM تشکیل دهنده مخزن فعال را ارزیابی و استخراج نمایند (۵۲).

### نتیجه‌گیری

کشاورزی جهان به دلیل تغییر کاربری زمین با چالش‌هایی مواجه است که بر انتشار CO<sub>2</sub> در جو و در نتیجه گرمایش جهانی تأثیر می‌گذارد. SOC هسته تمام حیات زمینی و حفاظت از منابع طبیعی است. این مطالعه به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر اجزای کربن آلی خاک به روش‌های جزءبندی فیزیکی و شیمیایی به

(۵۳) نیز تأیید شد. در مقابل، ژو و همکاران<sup>۱</sup> (۵۴) نشان دادند که کربن آلی قابل استخراج با آب داغ مشابه با کربن زیتوده میکروبی بود که با نتایج کریستنسن (۱۵) مطابقت داشت که بیان می‌کند کربن آلی قابل استخراج با آب داغ تا حد زیادی از ریزجانداران خاک نشأت می‌گیرد.

کاهش معنی‌دار در بخش‌های کربن آلی قابل استخراج با آب داغ در کاربری‌های رها شده و زراعی و همچنین افزایش آنها در کاربری‌های جنگلی توسط ویگل و همکاران (۵۳) نشان داده شد. یافته‌های مشابه توسط شولز و همکاران (۴۳) به دست آمد که نشان دادند کشت مستمر مرتع به صورت معنی‌داری غلظت کربن آلی کل ماده آلی خاک و برخی اجزای لبایل را کاهش داد. کاربری جنگل با بالاترین انباشته کربن و مقدار بالاتر بخش‌های آلی قابل استخراج با آب داغ (۳۸) به عنوان یک جامعه به تعادل رسیده (کلیماکس)<sup>۲</sup> در نظر گرفته می‌شود که چرخه عناصر غذایی و انرژی در اکوسیستم پایدار است. به دلیل عملیات خاک‌ورزی نامناسب، اراضی زراعی پایداری خاکدانه را می‌شکند و منجر به تخریب گسترده ساختمان خاک و تخلیه ویژگی‌های خاک از جمله ماده آلی حل شده در خاک می‌گردد (۲). در مقایسه با اراضی زراعی، کاربری جنگلی منجر به زیتوده روزمینی بالاتر و بازچرخ سریعتر عناصر غذایی در خاک می‌گردد که تجمع خالص یا تخلیه ماده آلی و بخش‌های آلی قابل استخراج با آب داغ در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۱). غلظت‌های معنی‌دار پایین‌تر کربن آلی قابل استخراج با آب در اراضی زراعی نسبت به کاربری جنگل توسط هامکالو و بدرنیشک (۲۶) نیز گزارش شده است. سهم نسبی بالاتر کربن آلی قابل استخراج با آب در اراضی جنگلی در مقایسه اراضی زراعی لبایل بودن بالاتر بخش‌های کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی را

1- Xu et al.  
2- Climax



نسبت داده شود که نشان دهنده پتانسیل بالای این کاربری در ترسیب کربن می‌باشد. از این رو، تغییر کاربری اراضی از زراعی و باغی به جنگلی می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش گرمایش جهانی و افزایش تثبیت و نگهداشت کربن در خاک ایفا کند. همچنین، در مجموع نتایج نشان داد که کربن بخش لبایل بیشتر از سایر بخش‌ها به نوع کاربری اراضی پاسخ دهنده تر بود و در بین روش‌های مختلف بخش بندی کربن، روش‌های فیزیکی پاسخ روشن تری به تغییر کاربری اراضی نشان دادند.

### سپاس‌گزاری

از حمایت‌ها و زحمات اساتید گرانقدر و کارشناسان محترم گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشگاه شاهد و پژوهشگاه صنعت نفت تهران کمال تشکر و قدردانی را دارا می‌باشد.

انجام رسید. نتایج نشان داد که علیرغم عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو عمق، مقدار کربن آلی پایدار با افزایش عمق خاک در کاربری‌های زراعی و رهاشده افزایش یافت. کاربری جنگلی دارای بیشترین مقدار کربن آلی پایدار در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر به میزان ۲/۵۱ درصد بود و پس از آن تیمار باغی در همین عمق قرار داشت. کمترین مقدار کربن آلی پایدار در تیمار کاربری رهاشده به ثبت رسید. بیشترین مقدار کربن آلی محلول در آب در هر دو عمق بررسی شده در تیمارهای کاربری جنگلی و سپس در کاربری رهاشده به دست آمد. در حالیکه تفاوت معنی‌داری بین دو عمق مورد بررسی در کاربری رهاشده مشاهده نشد. کاهش معنی‌دار در بخش‌های کربن آلی قابل استخراج با آب داغ در کاربری‌های رهاشده و زراعی و همچنین افزایش آنها در کاربری جنگلی مشاهده گردید. بالا بودن کربن آلی پایدار در کاربری جنگل می‌تواند به بالا بودن ورودی ماده آلی در این کاربری نسبت به کاربری‌های دیگر

### References

- Ahmad, W.S. 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.
- Ahn, M.Y., Zimmerman, A.R., Comerford, N.B., Sickman, J.O., and Grunwald, S. 2009. Carbon mineralization and labile organic carbon pools in the sandy soils of a North Florida watershed. *Ecosystems*, 12: 672–685.
- 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.
- 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.
- Bameri, A., Khormali, F., Kiani, F., and Dehghani, A.A. 2015. Spatial variability of soil organic carbon in different hillslope positions in Toshan area, Golestan province, Iran: geostatistical approaches. *Journal of Mountain Science*, 12 (6): 1422–1433.
- Barois, I., Dubroeuq, D., Rojas, P., and Lavelle, P., 1998. Andosol-forming process linked with soil fauna under the perennial grass *Mulhembergia macroura*. *Geoderma*, 86: 241–260.

7. Barrios, E., Buresh, R.J., and Sprent, J.I. 1996. Organic matter in soil particle size and density fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 28: 185–193.
8. Baurman, P., and Jongmans, A.G. 2005. Podzolisation and soil organic matter dynamics. *Geoderma*, 125(1-2), 71-83.
9. Blair, G.J., Lefroy, D.B., 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: 1459-66.
10. Breulmann, M. 2011. Functional soil organic matter pools and soil organic carbon stocks in grasslands: an ecosystem perspective. PhD Dissertation, Helmholtz Centre for Environmental Research, Germany.
11. Brovkin, V., Ganopolski, A., Archer, D., and Rahmstorf, S. 2007. Lowering of glacial atmospheric CO<sub>2</sub> in response to changes in oceanic circulation and marine biogeochemistry. *Paleoceanography*, 22: PA4202
12. Caballero R. 2011. Light and heavy fractions of macroorganic matter as sources of N and P in savannah soils with different types of fertilization. M.Sc. Thesis, Central University of Venezuela.
13. Camberdella, C.A., and Elliott, E.T. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3): 777–83.
14. Chen, Z., Liu, F., Cai, G., Peng, X., and Wang, X. 2022. Responses of soil carbon pools and carbon management index to nitrogen substitution treatments in a sweet maize farmland in South China. *Plants*, 11: 2194.
15. Christensen, B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52: 345–353.
16. Corvasce, M., Zsolnay, A., D’Orazio, V., Lopez, R., and Miano, T.M. 2006. Characterization of water extractable organic matter in a deep soil profile. *Chemosphere*, 62: 1583–1590.
17. Dalal, R.C., and Bridge, B.J. 1996. Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. In Carter, M.R., and Stewart, B.A. (eds). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 263-307.
18. Debasish, S., Kukal, S.S., and Sharma, S. 2010. Landuse impacts on SOC fractions and aggregate stability in typic ustochrepts of Northwest India. *Plant and Soil*, 339: 457-470.
19. Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., et al. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In Solomon, S., Qin, D., Manning, M., et al. (eds). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. New York: Cambridge University Press, pp. 499–587.
20. Duchaufour, P. 2001. *Introduction to soil science. Sol, Vegetation, Environment*. Dunod. Paris.
21. Gangloff, S., Stille, P., Pierret, M.C., Weber, T., and Chabaux, F. 2014. Characterization and evolution of dissolved organic matter in acidic forest soil and its impact on the mobility of major and trace elements (case of the Strengbach watershed). *Geochim Cosmochim Acta*, 130: 21–41.

22. Golchin, A., Clarke, P., Oades, J.M., and Skjemstad, J.O. 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 33:59–76.
23. Golchin, A., Oades, J.M., Skjemstad, J.O., and Clarke, P. 1994. Study of free and occluded organic matter in soils by <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research*, 32: 285–309.
24. Gregorich, E.G., and Janson, H.H. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macro-organic matter. In Carter M.R., and Stewart, B.A. (eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publ., CRC Press. Boca Raton, FL. pp167-190.
25. Gregorich, E.G., Greer, K.J., Anderson, D.W., and Liang, B.C., 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 47: 291–302.
26. 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.
27. Haynes, R.J., and Francis, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, 44: 665–675
28. Jinbo, Z., Chanchum, S., and Wenyan, Y. 2006. Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions through soil profiles. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 660–667.
29. John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., and Flessa, H. 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128: 63–79.
30. 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.
31. Kölbl, A., and Kögel-Knabner, I. 2004. Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable Cambisol as revealed by solid-state C-13 NMR spectroscopy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 45–53.
32. Kyung-Hwa, H., Sang-Geun, H., and Byoung-Choon, J. 2010. Aggregate Stability and Soil Carbon Storage as Affected by Different Land Use Practices. *Proc. of Int. Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries*. Bogor, Indonesia Sept. 28-29.
33. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impact on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623-1627.
34. 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. 1-19.
35. Luo, Y., Li, Q., Shen, J., Wang, C., Li, B., Yuan, S., Zhao, B., Li, H., Zhao, J., Guo, L., Li, S., and He, Y. 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*, 30:1875–1885.
36. Lützw, M., Leifeld, J., Kainz, M., Kögel-Knabner, I., Munch, J.C. 2002. Indications for soil organic matter quality in soils under different management. *Geoderma*, 105: 243–258.

37. Maleki, S., Khormali, F., Karimi, A.R. 2014. Mapping soil organic matter using topographic attributes and geo-statistic approaches in Toshan area, Golestan province, Iran. *Iranian Journal of Soil Research*, 28: 459-468. (in Persian with English abstract).
38. Noppol, A., Sukanya, S., Praeploy, K., Ryusuke, H. 2022. Soil organic carbon and soil erodibility response to various land-use changes in northern Thailand. *Catena*, 219: 106595.
39. Pansu, M., Gautheyrou, J. 2006. Physical fractionation of organic matter. In: *Handbook of Soil Analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. In Pansu, M., and Gautheyrou, J. (eds). Springer. pp. 289–326.
40. Roberta, M.G., Malepfane, N.M., Dijssel, C.V., Arnold, N., Liu, J., Müller, K. 2022. Comparing deep soil organic carbon stocks under kiwifruit and pasture land uses in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 36: 107190.
41. 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. *Carbon Balance Manage*, 13(4): 1-9.
42. Schroth, G., Sammya, A.D.A., Teixeira, W.G., Haag, D., and Lieberei, R., 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantation in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management*, 163: 131–150.
43. Schulz, E., Breulmann, M., Boettger, T., Wang, K.R., and Neue, H.U. 2011. Effect of organic matter input on functional pools of soil organic carbon in a long-term double rice crop experiment in China. *European Journal of Soil Science*, 62:134–143.
44. Schulz, E. 1997. Characterization of soil organic matter according to its degradability and its significance to transformation processes of nutrients and pollutants. *Arch Acker Pfl Boden*. 41:465–484.
45. Scott, N.A., Cole, C.V., Elliott, E.T., and Huffman, S.A. 1996. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1102–1109.
46. Sharma, V., Hussain, S., Sharma, K.R., and Arya, V.M. 2014. Labile carbon pools and soil organic carbon stocks in the foothill Himalayas under different land use systems. *Geoderma*, 232: 81–87.
47. Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S.J., Gregorich, E.G., Paul, E.A., Paustian, K. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal*, 66:1981–1987.
48. Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62:1367–1377.
49. Six, J., Degryze, S., Paustian, K., Morris, S.J., Paul, E.A., Merckx, R. 2004. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. *Global Change Biology*, 10: 1120–1132.
50. Trigalet, S., Miguel, A.G., Van Oost, K., and Wesemael, B.V. 2016. Changes in soil organic carbon pools along a chronosequence of land abandonment in southern Spain. *Geoderma*, 268: 14–21.
51. van Breemen, N., Finzi, A.C. 1998. Plant-soil interactions: Ecological aspects and evolutionary implication. *Biogeochemistry*, 42:1-19.

52. von Lützw, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., and Marschner, B. 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms – a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(9), 2183-2207.
53. Weigel, A., Eustice, T., Van, Antwerpen, R., Naidoo, G., and Schulz, E. 2011. Soil organic carbon (SOC) changes indicated by hot water extractable carbon (HWEC). *South African Sugar Technologists' Association*. 84: 210–222.
54. Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., and Zhao, K., 2011. Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, 47: 745–752.
55. Yao, M.K., Angui, P.K.T., Konate, S., Tondoh, J.E., Tano, Y., Abbadie, L., and Benest, D., 2010. Effects of land use types on soil organic carbon and nitrogen dynamics in Midwest Co<sup>^</sup>te d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 40: 211–222.