

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره نه، آذر ماه ۹۸

## اثر گونه‌های درختی بر ذخیره کربن آلی و خصوصیات خاک در جنگل طبیعی و

### جنگل کاری‌های شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا- ساری)

اعظم سلیمانی<sup>۱</sup>

سید محسن حسینی<sup>۲\*</sup>

[hosseini@modares.ac.ir](mailto:hosseini@modares.ac.ir)

علیرضا مساح بوانی<sup>۳</sup>

مصطفی جعفری<sup>۴</sup>

رزا فرانکاویلیا<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲

#### چکیده

زمینه و هدف: یکی از مواردی که باعث فاصله گرفتن از توسعه پایدار می‌شود افزایش روزافزون دی‌اکسید کربن اتمسفری و به تبع آن افزایش دمای کره زمین می‌باشد. اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت بهینه‌ی آن، نقش مهمی در کاهش کربن اتمسفری دارند.

روش بررسی: در این مطالعه اثرات جنگل طبیعی و چهار جنگل کاری بر توان ذخیره کربن خاک و همچنین خصوصیات مختلف خاک در جنگل آموزشی - پژوهشی دارابکلا بررسی گردید. نمونه‌برداری خاک در سال ۲۰۱۶ و از سه عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک مورد بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان پوشش‌ها و عمق‌های مختلف در بیش‌تر پارامترهای مورد بررسی وجود دارد. همچنین ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری از هر یک از پوشش‌ها به‌این ترتیب کاهش می‌یابد: زربین < توسکا < جنگل طبیعی < بلوط < افرا <.

بحث و نتیجه‌گیری: جنگل کاری می‌تواند نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن داشته باشد. البته عوامل مختلفی مانند نوع گونه‌ی درختی، سن جنگل کاری‌ها، عمق خاک، شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل می‌تواند بر ترسیب کربن تاثیر بگذارد.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن آلی خاک، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی، تغییر پوشش، تغییر اقلیم..

- ۱- دکتری جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران.
- ۲- استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران.\* (مسوول مکاتبات)
- ۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ۴- دانشیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، بخش ارزیابی جهانی تغییر اقلیم، تهران، ایران.
- ۵- پژوهشگر ارشد CREA، شورای تحقیقات کشاورزی و اقتصاد، مرکز تحقیقات کشاورزی و محیط زیست، رم، ایتالیا.

# The Effects of Tree Species on Soil Organic Carbon and Soil Properties in Natural Forest and Plantations of Northern Iran

(Case study: Darabkola Forest-Sari)

Azam Soleimani<sup>1</sup>  
Seyed Mohsen Hosseini<sup>2\*</sup>  
[hosseini@europe.com](mailto:hosseini@europe.com)  
Ali Reza Massah Bavani<sup>3</sup>  
Mostafa Jafari<sup>4</sup>  
Rosa Francaviglia<sup>5</sup>

Admission Date: September 11, 2016

Date Received: May 4, 2016

## Abstract

**Background and Objective:** One of the things that keep us away from sustainable development is the increasing atmospheric carbon dioxide and consequently the rise in global temperature. Forest ecosystems and their optimal management play an important role in reducing atmospheric carbon.

**Method:** In this study, the effects of natural forests and four plantations on the soil organic carbon and soil properties in Darab Kola forest were investigated. Soil samples were collected in 2016 from three depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm.

**Findings:** The results of analysis of variance of soil properties showed that there is a significant difference between the land covers and different depths in most of the studied parameters. Also, soil organic carbon storage at 0-60 cm depth from each of the coatings is reduced as follows: cypress> Alder> Natural forest> Oak> Maple.

**Discussion and Conclusion:** Plantation can play an important role in absorbing carbon dioxide. Of course, different factors such as type of tree species, forestry age and depth of soil, habitat conditions and forestry operations can affect carbon sequestration.

**Key words:** Soil Organic Carbon Stock, Physical and Chemical Factors, Land Cover Change, Climate Change.

---

1- Ph.D., Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran.

2- Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Iran

\*(Corresponding author)

3- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangeland – AREEO, and Lead Author of AR4 & AR5/ IPCC, Tehran, Iran

5- Senior Researcher, CREA, Council for Agricultural Research and Economics, Research Centre for Agriculture and Environment, Rome, Italy

## مقدمه

درباره‌ی تاثیر جنگل کاری بر ترسیب کربن خاک وجود دارد اما بیش تر محققان تأثیر جنگل کاری‌ها بر مقدار جذب کربن خاک را مثبت ارزیابی کرده‌اند (۱۲). نتایج تحقیقات موجود نیز مؤید این است که نوع و ترکیب گونه‌های موجود در اشکوب فوقانی جنگل، تأثیر زیادی در ورودی کربن به خاک دارد و مقدار کربن خاک را تغییر می‌دهد (۱۲، ۱۳، ۱۴). محمودی طالقانی و همکاران (۱۵) درباره‌ی برآورد مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت شمال کشور به این نتیجه دست یافتند که تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها، از عوامل مهم در افزایش ذخیره‌ی کربن در افق‌های معدنی خاک است و توده‌های سوزنی برگ در مقایسه با توده‌های پهن برگ کربن بیش تری را جذب می‌کنند. همچنین Zhang و همکاران (۱۶) بیان داشته‌اند که خاک‌هایی با پوشش‌های مختلف فرایندهای تجزیه‌ی لاشبرگ متفاوتی داشته که منجر به اختلافاتی در آزادسازی کربن به خاک می‌گردد. جنگل‌های هیرکانی در جنوب دریای خزر با مساحتی بالغ بر ۱/۸۵ میلیون هکتار واقع شده است. بر اساس پروتکل کیوتو جنگل کاری نقش مهمی در کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفر دارد. توالی جنگل‌های هیرکانی شمال کشور به دلیل بهره‌برداری‌های غیر اصولی و عدم تجدید حیات طبیعی در مناطق مختلف در تهدید قرار گرفته است و از این جهت با انجام عملیات جنگل کاری علاوه بر احیاء آن می‌توان به کاهش دی‌اکسیدکربن اتمسفر نیز کمک نمود. سطح گسترده‌ای از جنگل‌های دارابکلا (واقع در جنوب شرقی شهرستان ساری) نمونه‌ای از جنگل‌های مخروبه هیرکانی می‌باشد که قسمت وسیعی از آن احیا، بازسازی و جنگل کاری شده‌است. در کشور مسایل مجهول زیادی در رابطه با توانایی گونه‌های مختلف طبیعی و دست کاشت در مناطق تخریب شده در میزان ذخیره کربن آلی خاک وجود دارد، لذا ضرورت دارد تا در عرصه تحقیقات به تعیین پتانسیل ذخیره کربن گونه‌های مختلف پرداخت. هدف از انجام این مطالعه تخمین ذخیره کربن آلی و همچنین بررسی خصوصیات مختلف خاک در پوشش‌ها

استفاده بیش از حد از منابع سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی، افزایش جمعیت جهان و گسترش فعالیت‌های صنعتی موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در وضعیت آب و هوایی زمین به وجود آید (۱). گرچه سهم عمده‌ای از کربن توسط اقیانوس‌ها محبوس و به‌صورت ذخیره‌شده نگهداری می‌گردد اما مطالعات نشان می‌دهد که مخزن اقیانوس‌ها آن قدر بزرگ نیستند که بتوانند کل کربن اضافی را در خود ذخیره کنند و باقی‌مانده آن باید در خشکی ذخیره گردد. عمده‌ترین منابع جهت ذخیره‌سازی کربن پوشش گیاهی به‌خصوص جنگل‌ها می‌باشند (۲). کربن در بخش‌های مختلف اکوسیستم‌های جنگلی می‌تواند ترسیب شود که مهم‌ترین آن‌ها خاک می‌باشد (۳). به‌طوری‌که افزایش ذخیره جهانی کربن در خاک یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش CO<sub>2</sub> اتمسفری بوده و حدود ۷۵ درصد ذخیره کربن خشکی را در برمی‌گیرد (۴) و خاک‌های مناطق جنگلی ۴۰ درصد از این مقدار را می‌توانند ذخیره کنند (۵). گزارش شده است که تغییرات کربن آلی خاک به‌عنوان یکی از ذخایر کربن از عواملی مانند تغییرات اقلیمی و یا تغییر مدیریت و کاربری اراضی اثر می‌پذیرد (۶).

بسیاری از پروژه‌های اصلاحی مانند جنگل کاری، از طریق افزایش ترسیب کربن نقش عمده‌ای در حفظ توازن چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند. کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد (۷). از این رو جنگل کاری در اراضی بایر و تخریب‌شده و مدیریت آن، اثر زیادی بر ترسیب کربن خاک خواهد داشت (۸). در کشور توالی جنگل‌های طبیعی شمال در مناطق مختلف در تهدید قرار گرفته است و از این جهت با انجام عملیات جنگل کاری می‌توان علاوه بر احیاء آن به افزایش ترسیب کربن نیز کمک نمود. تا کنون مطالعات زیادی در رابطه با اثرات تغییر کاربری و تغییر پوشش بر ذخیره‌ی کربن آلی خاک در سطح دنیا انجام شده است (۹، ۱۰، ۱۱). تناقض‌هایی در نتایج تحقیقات انجام گرفته

نمونه برداری (cm) است. بافت خاک با استفاده از روش دانسی متری بایکاس تعیین شد (۲۰). اسیدیته خاک با استفاده از گل اشباع و دستگاه pH متر (۲۱) و ازت کل خاک با دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (۲۲). همچنین نسبت کربن به نیتروژن نیز تعیین گردید. تنفس میکربی با استفاده از روش بطری بسته بر حسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در روز (۲۳) اندازه‌گیری شد. فرم قابل جذب پتاسیم با استفاده از روش جذب اتمی (۲۴) و فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن (۲۵) و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری گردید.

### آنالیز آماری

کلیه آنالیزهای آماری با نرم افزار R انجام گرفت (۲۶). نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk (۲۷) و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون bartlett (۲۸) صورت گرفت. همبستگی پیرسون بین خصوصیات مختلف خاک با استفاده از پکیج Hmisc انجام گرفت (۲۹). اثرات پوشش و عمق‌های مختلف و همچنین اثرات متقابل پوشش و عمق با استفاده از ANOVA و پکیج stats انجام شد (۳۰). همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون TukeyHSD استفاده گردید (۳۱).

### یافته‌ها

نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک مورد بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان پوشش‌ها و عمق‌های مختلف در بیشتر پارامترهای مورد بررسی وجود دارد (جدول ۱). همچنین نتایج حاصل از همبستگی دوگانه بین پارامترهای مختلف خاک حاکی از وجود همبستگی خوبی بین برخی از این پارامترها می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های وزن مخصوص ظاهری خاک بین سه عمق مورد مطالعه (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ سانتی‌متر) بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار آماری در رابطه با این پارامتر خاک می‌باشد (شکل ۲). با افزایش عمق خاک وزن مخصوص ظاهری خاک نیز افزایش می‌یابد. بالاترین میزان وزن مخصوص ظاهری مربوط به جنگل طبیعی ( $1/48 \text{ g cm}^{-3}$ ) و پایین‌ترین آن مربوط به جنگل کاری زربین ( $1/39 \text{ g cm}^{-3}$ ) است. همچنین اثر متقابل پوشش و

(شامل جنگل طبیعی و چهار جنگل کاری با گونه‌های مختلف) و عمق‌های مختلف خاک در شمال ایران است.

### روش بررسی

#### منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در جنگل آموزشی - پژوهشی دارابکلا انجام گردید. میانگین دمای سالانه  $16/3$  درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه  $724$  میلی‌متر است. سازمان جنگل‌ها و مراتع در سال  $1366$  سطحی حدود  $70$  هکتار از این اراضی را به علت داشتن سیر قهقرایی قطع یک‌سره و سپس جنگل‌کاری نمود. بافت خاک، کمی سنگین تا سنگین است. بر پایه بررسی‌های زمین-شناسی، سنگ مادری غالب در منطقه مارن است (۱۷). این تحقیق در جنگل‌کاری‌های بلوط بلند مازو (QC) (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) پلت (AV) (*Acer velutinum* Bioss.) توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) (AS) زربین (*Cupressus sempervirens var. horizontalis*) (CS) و یک عرصه جنگل طبیعی (NF) Natural Forest انجام گردید (شکل ۱).

#### داده‌های خاک

برای انجام این تحقیق ۴ هکتار از هر یک از پوشش‌ها انتخاب گردید. در هر یک از پوشش‌های مورد بررسی به طور تصادفی تعداد ۷ نمونه خاک از عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری گرفته شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و بعد از خرد نمودن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، آسیاب و از الک ۲ میلی‌متری (مش ۲۰) عبور داده شدند. اندازه‌گیری درصد کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی و بلاک (۱۸) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری از روش - کلوخه استفاده شد (۱۹). محاسبه میزان کربن آلی موجود در خاک بر حسب تن کربن در هکتار با استفاده از رابطه زیر صورت گرفت.

$\text{TOC} = \text{OC} (\%) * \text{Bd} * e$  در این معادله  $\text{TOC}$  = مقدار کل کربن موجود در خاک ( $\text{t ha}^{-1}$ )،  $\text{OC}$  = درصد کربن آلی،  $\text{Bd}$  = وزن مخصوص ظاهری خاک ( $\text{g cm}^{-3}$ ) و  $e$  = عمق لایه

خاک و همبستگی منفی و معنی داری با وزن مخصوص ظاهری خاک، درصد رس، اسیدیته و نسبت کربن به نیتروژن داشت. نتایج تجزیه واریانس فسفر و پتاسیم قابل جذب نشان داد که بین عمق ها و پوشش های مختلف به لحاظ فسفر و پتاسیم قابل جذب اختلاف معنی داری وجود دارد و با افزایش عمق مقدار این دو عنصر کاهش می یابد. بالاترین میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب مربوط به جنگل کاری توسکا (به ترتیب  $\text{mg kg}^{-1}$   $85/33^1$  و  $833/64$ ) و پایین ترین آن مربوط به جنگل کاری زربین (به ترتیب  $\text{mg kg}^{-1}$   $14/87$  و  $437/04$ ) می باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که پوشش های مختلف اثر معنی داری بر تنفس میکربی خاک دارند و در پوشش های مورد بررسی تنفس میکربی خاک به طور معنی داری متفاوت است. تنفس میکربی خاک با افزایش عمق کاهش می یابد و بیش ترین تجمع تنفس میکربی در عمق ۲۰-۰ سانتی متری می باشد ( $0/33 \text{mgCO}_2\text{-Cg}^{-1}\text{d}^{-1}$ ). تنفس میکربی در عمق ۲۰-۰ سانتی متر به طور معنی داری از دیگر عمق ها بالاتر است در صورتی که بین دو عمق ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متر اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود (به ترتیب  $\text{mgCO}_2\text{-Cg}^{-1}\text{d}^{-1}$   $0/23^1$  و  $0/15$ ). همچنین اثر متقابل پوشش و عمق خاک معنی دار می باشد. همبستگی معنی داری بین تنفس میکربی با تمامی خصوصیات مورد بررسی به جز اسیدیته و درصد شن وجود دارد. ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۶۰-۰ سانتی متری از هر یک از پوشش ها به این ترتیب کاهش می یابد: زربین < توسکا < جنگل طبیعی < بلوط < افرا >. ذخیره کربن آلی خاک با تبدیل جنگل طبیعی به جنگل کاری های زربین و توسکا به ترتیب تا ۲۵٪ و ۱۱۱٪ افزایش پیدا کرد. درحالی که با تبدیل جنگل طبیعی به جنگل کاری های بلوط و افرا ذخیره کربن آلی خاک به ترتیب ۴٪ و ۱۲/۱۱٪ کاهش یافت. جنگل کاری افرا کم ترین میزان ذخیره کربن آلی خاک را تا عمق ۶۰ سانتی-متری نسبت به دیگر پوشش ها داراست ( $40/93 \text{ t C ha}^{-1}$ ) درحالی که بین جنگل کاری توسکا و جنگل طبیعی اختلاف معنی داری مشاهده نشد (به ترتیب  $47/09 \text{ t C ha}^{-1}$  و  $46/57$ ). همچنین بالاترین میزان ذخیره کربن آلی خاک مربوط به

عمق معنی دار می باشد. نتایج حاصل از همبستگی دوگانه حاکی از وجود همبستگی این پارامتر با اکثر خصوصیات خاک می باشد (جدول ۲). پوشش های مختلف از لحاظ اسیدیته خاک نیز اختلاف معنی داری با یکدیگر داشته و بالاترین مقدار اسیدیته خاک مربوط به پوشش جنگل طبیعی (۷/۸۸) و پایین ترین آن مربوط به جنگل کاری زربین (۶/۹۸) می باشد. اسیدیته خاک با افزایش عمق خاک افزایش می یابد (۷/۵۶-۷/۱۳). نتایج آنالیز همبستگی نشان داد که اسیدیته خاک همبستگی مثبت و معنی داری با وزن مخصوص ظاهری خاک دارد ( $r=0/36$ ). به طور کلی مقادیر درصد کربن آلی و ماده آلی با افزایش عمق کاهش می یابد، به علاوه مقدار این دو پارامتر در جنگل کاری زربین (به ترتیب ۲،۱۴٪ و ۳/۶۸٪) در مقایسه با سایر پوشش ها به طور معنی داری بالاتر می باشد. همچنین همبستگی معنی-داری بین درصد کربن آلی و دیگر خصوصیات خاک به جز درصد شن مشاهده گردید که روابط خطی بین درصد کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک یک رابطه قوی می باشد (به ترتیب  $r=0/99$  و  $r=0/83$ ). تفاوت آماری معنی داری بین پوشش های مختلف مورد مطالعه از نظر درصد رس، سیلت و شن مشاهده گردید. جنگل کاری بلوط بالاترین میزان درصد رس (۴۶/۱۳٪) و جنگل طبیعی بالاترین مقادیر سیلت و شن (به ترتیب ۳۶/۷۳٪ و ۲۸/۱۳٪) را دارا می-باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین درصد نیتروژن کل نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین سه عمق مورد بررسی وجود دارد و با افزایش عمق درصد نیتروژن کل کاهش می یابد (۰/۱۱-۰/۲۷). همچنین پوشش های مختلف از لحاظ درصد نیتروژن کل اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند. جنگل کاری توسکا با ۰/۲۶٪ بالاترین میزان درصد نیتروژن کل را در مقایسه با سایر پوشش ها به خود اختصاص داد. درحالی که بیش ترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در جنگل کاری زربین (۱۴/۸۶) مشاهده شد. همچنین اثر متقابل پوشش و عمق معنی دار می باشد. درصد نیتروژن کل همبستگی مثبت و معنی-داری با درصد سیلت، درصد کربن آلی، درصد ماده آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب، تنفس میکربی کربن و ذخیره کربن آلی

جنگل کاری زربین ( $58/11 \text{ t C ha}^{-1}$ ) می باشد. میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی متری ( $63/3 \text{ t C ha}^{-1}$ ) تقریباً بیش تر از نصف میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی متری ( $30/26 \text{ t C ha}^{-1}$ ) می باشد. در تمامی پوشش ها بالاترین میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی متر مشاهده گردید.

#### بحث

تفاوت های موجود در کیفیت لاشبرگ و میزان موجودی عناصر غذایی، جذب و فعالیت تغذیه ای ریشه و جمعیت بیولوژیکی خاک موجب بروز تفاوت ها در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های تحت توده های مختلف می گردند (۳۲). منبع اصلی ورود عناصر غذایی و مواد آلی به خاک لاشریزه های درختان و پوشش گیاهی می باشند (۳۲، ۳۳). بالاترین و پایین ترین میزان ازت به ترتیب مربوط به جنگل کاری توسکا و زربین می باشد. این نتیجه را می توان به این که گونه های سوزنی برگ نسبت به گونه های پهن برگ مقادیر بالاتری از ازت را مصرف می کنند مربوط دانست (۳۴). همچنین در مطالعه ای Rothe و همکاران (۳۵) بیان داشته اند که گونه های تثبیت کننده ازت در جنگل کاری ها می توانند باعث افزایش مقدار ازت شوند. جنگل کاری زربین بالاترین نسبت C/N را دارا بود که این به دلیل نرخ پایین معدنی شدن در گونه های سوزنی برگ و در نتیجه کاهش مقدار ازت و عناصر غذایی قابل جذب می باشد (۳۶). نتایج دیگر محققان نیز بالاتر بودن مقدار C/N را در توده های سوزنی برگ نسبت به توده های پهن برگ را نشان می دهد (۳۷، ۳۸). نتایج نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک به طور معنی داری بین پوشش های مختلف متفاوت است و همبستگی منفی و معنی داری با ذخیره کربن آلی خاک، درصد کربن آلی خاک و درصد نیتروژن کل دارد (۱۶). مقدار وزن مخصوص ظاهری با کاهش کربن آلی خاک و فشرده شدن خاک افزایش می یابد. همچنین مقدار وزن مخصوص ظاهری با افزایش عمق افزایش یافت که در این رابطه نتایج ما هم سو با نتایج دیگر محققان است (۱۶، ۳۹). مقادیر بالای وزن مخصوص ظاهری در عمق های پایینی به خاطر وزن لایه های بالایی و همچنین

کاهش مقدار تخلخل خاک می باشد (۳۹). به طور کلی با افزایش عمق خاک مقدار پتاسیم و فسفر قابل جذب خاک کاهش می یابد. در خاک هایی با اسیدیته پایین، ماده آلی خاک به سختی معدنی شده و ذرات رس ظرفیت خود را برای جذب کاتیون های پایه از دست داده و در نتیجه عناصر غذایی خاک تقویت نخواهد شد (۴۰). بالاترین مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب در جنگل کاری توسکا مشاهده گردید که علت این ممکن است به چرخه عناصر غذایی سریع آن مربوط شود که به ذخیره بیش تر مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک کمک می کند (۴۱). به طور کلی گونه های سوزنی برگ نسبت C/N بالاتر، مقدار عناصر غذایی و اسیدیته پایین تری در مقایسه با گونه های پهن برگ دارند (۳۷، ۳۸). درختان در اکوسیستم های جنگلی می توانند به طور پیوسته برگشت بقایای گیاهی را به خاک افزایش دهند، بنابراین می توانند باعث حفظ یا افزایش مواد آلی خاک شوند (۴۲) که این ممکن است روی تنفس میکروبی خاک اثرگذار باشد. Mallik و Hu (۴۳) بیان داشته اند که مواد آلی خاک قویاً با تنفس میکروبی خاک در ارتباط است و یکی از مهم ترین فاکتورهای کنترل کننده آن می باشد. در این مطالعه نتایج نشان داد که تنفس میکروبی خاک به طور معنی داری بین پوشش ها و عمق های مختلف خاک متفاوت می باشد. بیش ترین تنفس میکروبی مربوط به عمق ۰-۲۰ سانتی متری است که ممکن است در نتیجه مقادیر بالای ماده آلی خاک و ذخیره کربن آلی خاک در این عمق باشد (۱۱). Sagar و همکاران (۴۴) و Yosefi Rad و همکاران (۴۵) اظهار داشته اند که تنفس میکروبی خاک با مقادیر بالاتر ماده آلی به دلیل وابستگی فعالیت میکروبی خاک به ذخیره کربن بستر خاک افزایش خواهد پیدا کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت گونه های سوزنی برگ زربین در مقایسه با دیگر گونه ها به افزایش معنی دار کربن خاک منجر می شود. به طوری که در این تحقیق میانگین ترسیب کربن خاک در جنگل کاری زربین ۵۸/۱۱ تن در هکتار؛ جنگل کاری توسکا ۴۷/۰۹ تن در هکتار، جنگل کاری بلوط ۴۴/۹ تن در هکتار، جنگل کاری افرا ۴۰/۹۳ تن در هکتار و جنگل طبیعی ۴۶/۵۷ تن در هکتار می باشد. نوع و ترکیب گونه های موجود در اشکوب فوقانی جنگل، تأثیر زیادی در

ارتباط ازت را پیش شرطی بسیار مهم برای حفظ سطوح کربن آلی خاک در اکوسیستم های جنگلی می داند. با توجه به نتایج این پژوهش جایگزینی توده تخریب شده با جنگل کاری های توسکا و زربین باعث افزایش ترسیب کربن خاک گردیده که پیش بینی می شود با افزایش سن جنگل کاری-ها آثار مثبت آن ها نیز بیش تر گردد. در پژوهشی Soleimani و همکاران با مدل سازی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل RothC تحت ۹ مدل اقلیمی در جنگل های دارابکلا به این نتیجه دست یافتند که تغییرات اقلیمی آینده باعث کاهش ذخیره کربن آلی خاک در پوشش های مختلف شده و در این میان جنگل کاری های زربین و توسکا نسبت به جنگل کاری های افرا و بلوط و همچنین یک توده طبیعی تخریب یافته در برابر تغییرات اقلیمی آبی مقاوم تر بوده و کاهش ذخیره کربن آلی خاک کمتری خواهند داشت (۵۳). بنابراین به نظر می رسد که استفاده از دو گونه زربین و توسکا نه تنها در شرایط کنونی باعث ترسیب کربن بیش تری در خاک شده بلکه نسبت به تغییرات اقلیمی آبی نیز مقاوم تر می باشند. پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش های مصنوعی هزینه های سنگینی را در بردارد اما جنگل کاری ها علاوه بر فواید زیست محیطی که دارند می توانند باعث ترسیب کربن اتمسفری با هزینه های کمتری نسبت به روش های مصنوعی شوند. بنابراین جنگل کاری با گونه هایی که توان ترسیب کربن بالاتری دارند مخصوصا در مناطق شمالی کشور به دلیل پتانسیل بالای این مناطق در مبحث جنگل کاری می توانند نقش مهمی در ترسیب کربن و تجارت کربن در کشور داشته باشند.

#### نتیجه گیری

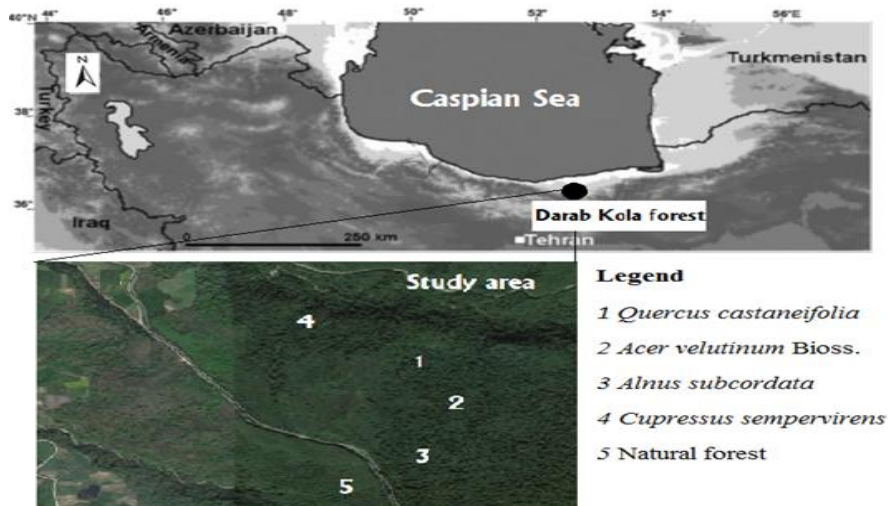
جنگل کاری می تواند نقش مهمی در جذب دی اکسید کربن داشته باشد. البته عوامل مختلفی مانند نوع گونه های درختی، سن جنگل کاری ها، عمق خاک، شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل می تواند بر ترسیب کربن تاثیر بگذارد. نتایج نشان داد که جنگل کاری با گونه های مختلف با توجه به نوع گونه و تاثیرات منحصر به فردی که هر گونه درختی در تعامل با سایر بخش های اکوسیستم دارد، توانسته تا حدود زیادی خصوصیات و

ورودی کربن به خاک دارد و مقدار کربن خاک را تغییر می دهد (۱۲، ۱۳). تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت بیش تر توده های سوزنی برگ از خاک، تاثیر زیادی در جلوگیری از هدر رفتن کربن دارد. بر این اساس توده های سوزنی برگ در مقایسه با توده های پهن برگ کربن بیش تری را جذب می کنند (۱۵). همچنین گونه های سوزنی برگ موجب افزایش تراکم لاشبرگ-های سطح خاک و به عبارتی موجب افزایش کربن آلی خاک می شود. وارد کردن گونه های سوزنی برگ در توده های پهن برگ موجب افزایش کربن در افق های آلی و معدنی خاک می شود، چراکه اسیدیته ی خاک در توده های سوزنی برگ و پهن برگ متفاوت است و توده های سوزنی برگ خاک شرایط اسیدی تری را ایجاد می کند (۱۴). لاشبرگ های ورودی به کف جنگل بیش ترین تاثیر را بر خاک سطحی دارند بنابراین کربن آلی معمولاً در لایه های سطحی بیش تر است (۴۶). همچنین این مقادیر بالای کربن آلی در لایه های سطحی خاک اکوسیستم های جنگلی می تواند به دلیل رویش و بازگشت بالای ریشه ها، بالاتر بودن فعالیت میکروارگانیسم ها و ذخایر زیاد بایومس میکروبی و فعالیت های میکروبی نیز باشد (۴۷). کربن آلی خاک با تغییر کاربری/پوشش تغییر می کند که این تغییرات بسیار پیچیده هستند (۱۶). در این مطالعه، نتایج نشان داد که نوع پوشش اثرات معنی داری بر کربن آلی خاک دارد. خاک هایی با پوشش های مختلف فرایندهای تجزیه ی لاشبرگ متفاوتی داشته که منجر به اختلافاتی در آزادسازی کربن به خاک می گردد (۱۶). همچنین نتایج این بررسی نشان داد که ذخیره ی کربن آلی خاک با افزایش عمق در تمامی پوشش ها کاهش خواهد یافت که هم سو با دیگر تحقیقات است (۴۸، ۴۹).

Dalal و Mayer (۵۰) بیان داشته اند که ذخیره کربن آلی خاک می تواند به وسیله ازت خاک تحت تاثیر قرار بگیرد، در این مطالعه نیز رابطه مثبت و معنی داری بین ازت و ذخیره کربن آلی خاک مشاهده شد. مطالعات دیگری نیز بر وجود ارتباط معنی دار بین سطوح کربن آلی و نیتروژن خاک تاکید کرده اند (۵۱، ۵۲). Richards و همکاران (۵۲) مدیریت

تاثیرات متفاوت گونه‌های مختلف و پتانسیل متفاوت آن‌ها در ترسیب CO<sub>2</sub> و لزوم انجام تحقیقات بیش‌تر در این زمینه می‌باشد

پایداری خاک منطقه را نسبت به توده طبیعی بهبود بخشد. جنگل‌کاری‌های زربین و توسکا باعث افزایش چشم‌گیر و جنگل‌کاری‌های افرا و بلوط باعث کاهش ترسیب کربن نسبت به توده طبیعی شده بودند. این نتایج در نوع خود موکد بر



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

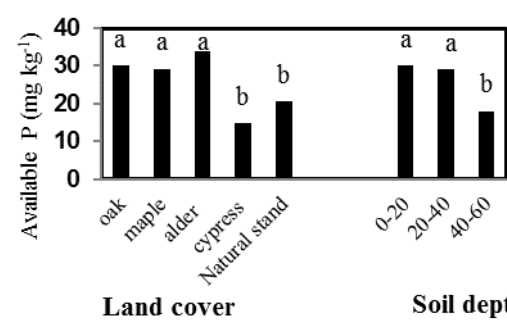
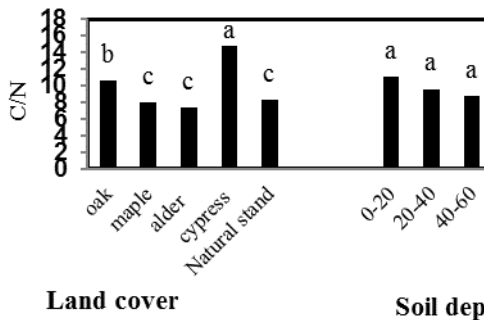
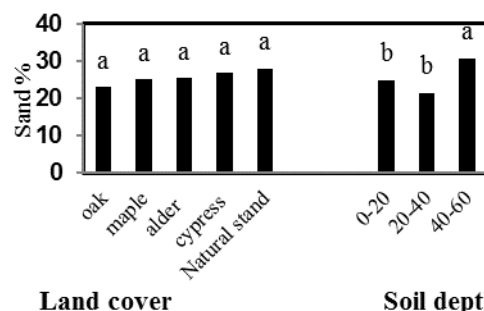
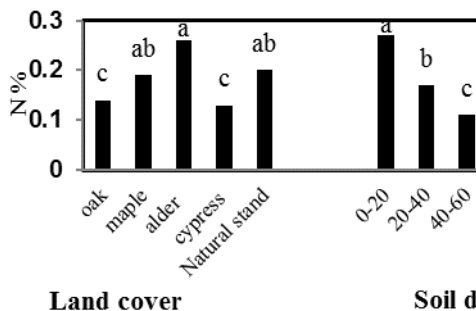
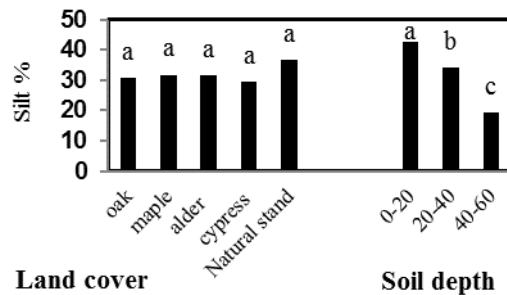
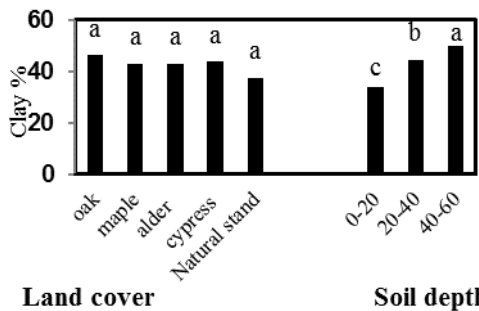
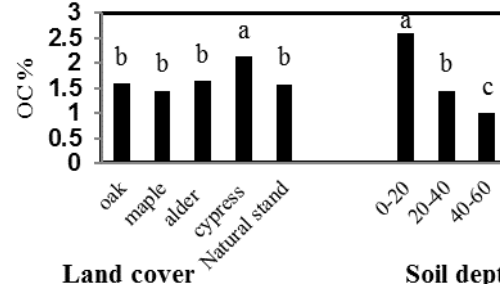
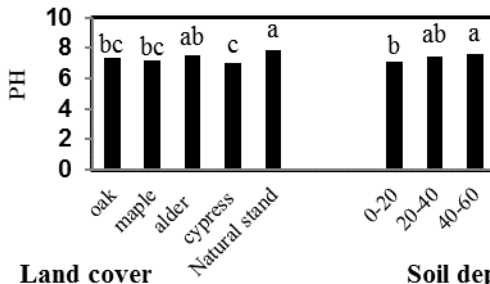
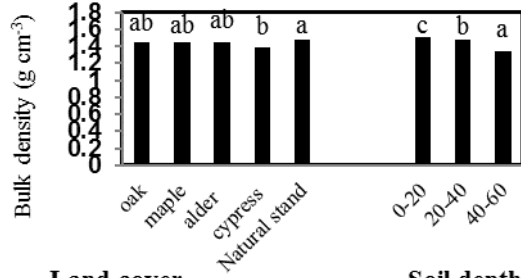
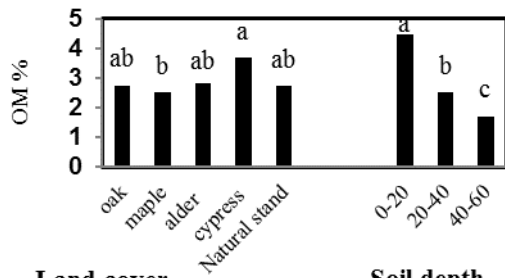
جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس دو طرفه خصوصیات خاک در پوشش‌ها و عمق‌های مختلف خاک

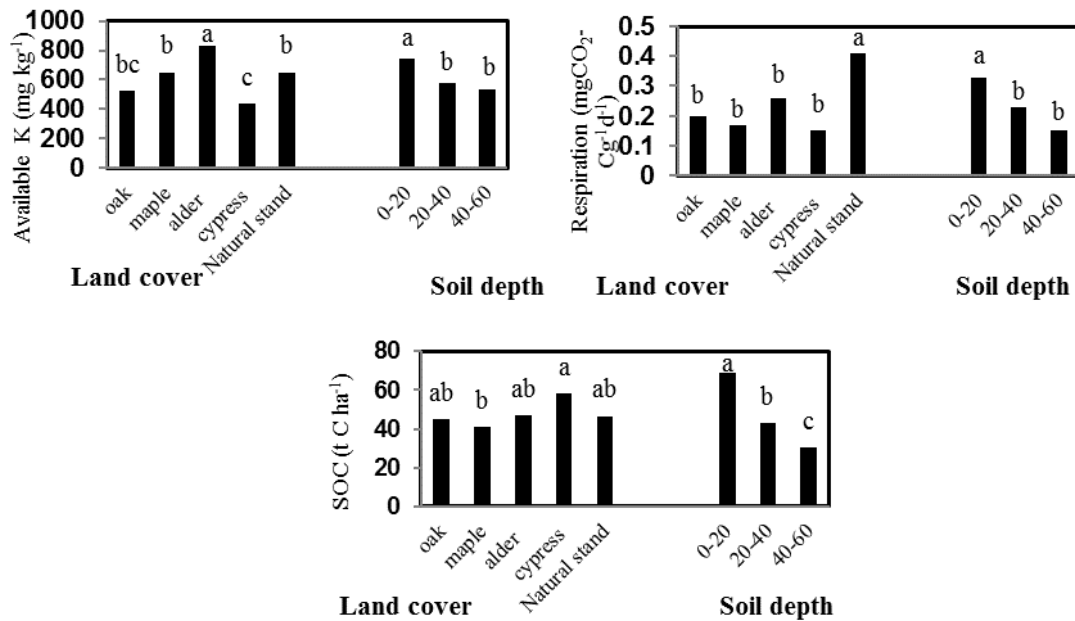
Table 1- Results of two-way ANOVA for soil characteristics in the different land covers and soil depth.

اثر متقابل A*B	عمق (B)	پوشش (A)		
۰/۵۸	***۱۲۳/۰۸	**۱۰/۰۸	SOC	خصوصیات شیمیایی
***۴/۸۰	*۴/۶۴	***۹/۴۱	MR	
۰/۹۶	***۱۵/۲۲	***۱۳/۲۸	Available K	
۰/۰۶	***۲۸/۹۴	***۵۹/۱۹	Available P	
۰/۴۶	*۴/۱۵	*۴/۶۷	C/N	
***۵/۱۹	***۶۷/۶۷	***۰/۴۳	N (%)	
۱/۴۶	***۱۳۵/۶	**۱۰/۹۶	OM (%)	
۱/۴۶	***۱۳۵/۶	**۱۰/۹۶	C (%)	
۰/۴۲	***۹/۲۹	***۹/۲۳	pH	
۰/۹۳	***۲۸/۸۵	*۳/۲۲	Clay (%)	خصوصیات فیزیکی
۱/۱۶	***۵۲/۴۱	۱/۳۶	Silt (%)	
۱/۶۸	***۱۰/۴۰	**۳/۵۴	Sand (%)	
**۳/۰۹	***۱۲۲/۰۹	***۲۱/۱۵	BD	

مقادیر F: \*P(F) < 0.05؛ \*\*P(F) < 0.01







شکل ۲- مقایسه میانگین خصوصیات مختلف خاک در پوشش‌ها و عمق‌های مختلف خاک

Figure 2- Mean values of soil characteristics across the different land covers and soil depths.

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون ( $r$ ) دوگانه میان خصوصیات خاک

Table 2. Pearson's correlation coefficients ( $r$ ) among the soil characteristics.

MR	Available K	Available P	C/N	N (%)	OM	C (%)	pH	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Bulk density	
											۱	Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )
										۱	-۰/۰۱	Sand (%)
									۱	**۰/۳۷	**۰/۴۸	Silt (%)
								۱	**۰/۱۷۵	**۰/۱۳۰	**۰/۱۵۳	Clay (%)
							۱	-۰/۰۶	-۰/۱۸	-۰/۱۵	**۰/۱۳۶	pH
						۱	**۰/۴۰	**۰/۱۵۷	**۰/۵۱	-۰/۰۵	**۰/۱۸۴	C (%)
					۱	**۱	**۰/۳۱	**۰/۱۵۷	**۰/۵۱	-۰/۰۵	**۰/۱۸۴	OM
				۱	**۰/۴۸	**۰/۴۸	**۰/۳۹	**۰/۴۴	**۰/۴۳	-۰/۰۲	**۰/۳۸	N (%)
			۱	**۰/۳۵	**۰/۵۷	**۰/۵۷	-۰/۰۴	-۰/۱۷	-۰/۰۸	-۰/۰۷	**۰/۱۵۳	C/N
		۱	-۰/۰۱	**۰/۴۶	**۰/۳۹	**۰/۴۰	**۰/۴۸	**۰/۱۲۵	**۰/۲۸	-۰/۱۰	**۰/۳۹	Available P (mg kg <sup>-1</sup> )
	۱	**۰/۵۲	-۰/۰۴	**۰/۶۱	**۰/۴۴	**۰/۴۴	**۰/۴۶	**۰/۴۰	**۰/۳۵	-۰/۰۵	**۰/۳۶	Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
۱	**۰/۶۲	**۰/۵۴	*۰/۲۳	**۰/۵۷	**۰/۷۲	**۰/۷۲	-۰/۰۳	**۰/۱۵۲	**۰/۴۲	-۰/۰۶	**۰/۱۵۴	MR
**۰/۷۴	**۰/۴۸	**۰/۴۰	**۰/۱۵۵	**۰/۱۵۰	**۰/۹۹	**۰/۹۹	**۰/۴۰	**۰/۱۵۷	**۰/۵۰	-۰/۰۷	**۰/۱۷۸	SOC

greenhouse effect. Forestry and British Timber, 18(10): 19-24.

- Schlesinger, W.H., 1999. Soil Organic matter a Source of atmospheric CO<sub>2</sub>. Department of Botany, North Carolina, USA, 111-125.
- Henderson, G.S., 1995. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: Bigham, J.M. & J.M. Bartels, (Eds.),

## Reference

- Babaeian, I., Najafinik, Z., Zabol Abbasi, F., Adab, H., Malbousi, Sh. 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. Geography and development. 7(16): 135-152. Persian.
- Thompson, D., Matthews, R., 1989. CO<sub>2</sub> in trees and timber lowers

- in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1695-1704.
12. Schulp Catharina, J. E., Naburus, G.J., Verburg, P.H., Waal, R.W., 2008. Effect of tree Species on Carbon Stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256: 482-490.
  13. Augusto, L., Jacques, R., Binkley, D., Roth, A., 2002. Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*. 59: 233-253.
  14. Cannel, M.G.R., Dewar, R.C., 1993. The carbon sinks provided by plantation forests and their products in Britain. Institute of terrestrial ecology, Scotland. 124 pp.
  15. Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, GH., Adel, E., Sagheb-Talebi, KH., 2000. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian journal of forest and poplar research. 15 (3): 241-252.
  16. Zhang, J., Wang, X.J., Wang, J.P., 2014. Impact of land use change on profile distributions of soil organic carbon fractions in the Yanqi Basin. *Catena* 115, 79–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.019>.
  17. Kooch, Y., Najafi, A., 2010. Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) in Ecological Potential Assessment of Forest Stands in Darabkola Region. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP)*, Iranian Journal of Natural Resources. 63 (2): 161-175.
  18. Walkley, A., Black, I. A., 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, Carbon forms and Functions in Forest soils. Soils Science Society of America, Madison, WI, 419-435.
  5. Dixon, R.K., Winjun, J.K., Adrasko, K.J., Lee, J.J., Schroeder, P.E., 1994. Integrated land-use system: Assessment of promising agroforest and alternative land-use practices to enhance carbon conservation and sequestration. *Climate Change* 27(1): 71-92
  6. Barancikova, G., Halas, J., Guttekova, M., Makovnikova, J., Navakova, M., Skalsky, R., Tarasovicova, Z., 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. *Soil and Water Research*, 5(1): 1–9.
  7. Hoover, C.M., 2003. Soil carbon sequestration and forest management: challenges and opportunities. In: Kimble, J.M., L. S. Heath, R.A. Birdsey & R. Lal, (Eds.), *The potential of U.S. forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. CRC Press Boca Raton, FL: 211-238.
  8. Xiao-Wen, D.E.N.G., Shi-Jie, H.A.N., Yan-Ling, H.U., Yu-Mei, Z.H.O.U., 2009. Carbon and nitrogen transformations in surface soils under Ermans birch and dark coniferous forests. *Pedosphere*, 19(2): 230-237.
  9. Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 123: 1-22.
  10. Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*. 8: 345-360.
  11. Dube, F., Zagal, E., Stolpe, N., & Espinosa, M. 2009. The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration

- test for normality. *Applied Statistics*. 44, 547–551.
28. Bartlett, M. S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London Series A*. 160, 268–282.
  29. See Alzola CF, Harrell FE (2004): An Introduction to S and the Hmisc and Design Libraries at <http://biostat.mc.vanderbilt.edu/twiki/pub/Main/RS/sintro.pdf> for extensive documentation and examples for the Hmisc package.
  30. Chambers, J. M., Freeny, A., Heiberger, R. M., 1992. *Analysis of variance; designed experiments*. Chapter 5 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
  31. Yandell, B. S., 1997. *Practical Data Analysis for Designed Experiments*. Chapman & Hall.
  32. Rouhi Moghaddam, A., Hosseini, S.M., Rahmani, A., Tabari, M., Ebrahimi, E. 2012. Nutritional process and nutrients return in pure and mixed plantations of oak (A case study: lowland forests of Chamestan, Noor). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 20(2). Persian.
  33. Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., Nihlgrad, B., 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*. 195: 373-384.
  34. Inagaki, Y., Miura, S., Kohzo, A., 2004. Effects of forest type and stand age on litter fall quality and soil N dynamics in Shikoku, Southern Japan. *For. Ecol. Manag.* 202, 107–117.
  35. Rothe, A., Cromack, J.K., Resh, S.C., Makeneci, E., Son, Y., 2002. Soil and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil science*, 37(1), pp. 29–38.
  19. Plaster, E.J., 1985. *Soil Science and Management*. Delmar Publishers Inc., Albany, NY, p. 124.
  20. Day, P, R., 1965. Particle Fractionation and Particle-Size Analysis, *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling (methodsofsoilana). pp. 545–67.
  21. Jafari Haghghi, Mojtaba. *Soil analysis methods*. 2003. Neda Zoha Publications. pp 236. Persian.
  22. Zarin Kafsh, M. 1992. *Applied soil science: soil survey and soil-plant-water analysis*. Tehran university publication. pp 245. Persian.
  23. Sparling, G.P., Feltman, C.W., Reynolds, J., West, A. W., Singleton, P., 1990. Estimation of soil microbial C by fumigation - extraction method: use on soils of high organic matter content, and reassessment of the kEC factor. *Soil Biology and Biochemistry*. 22(1): 301 -307.
  24. Ghazan Shahi, J. 1997. *Soil and Plant analysis*. Homa publication. pp 311. Persian.
  25. Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page, Al., Miller, R.H., Keane, D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analysis*. Part II, 2nd ed. ASA, Madison, WI, 404–430.
  26. R Core Team. 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
  27. Royston, P., 1995. Remark AS R94: A remark on Algorithm AS 181: The W

43. Mallik, A.U., Hu, D., 1997. Soil respiration following site preparation treatments in boreal mixedwood forest. *Forest Ecology and Management*. 97, 265–275.
44. Sagar, S., Hedley, C.B., Salt, G.J., 2001. Soil microbial biomass, metabolic quotient and carbon and nitrogen mineralization in 25 year old *Pinus radiata* agro forestry regimes. *Aust. J. Soil Res.* 39, 491–504.
45. Yosefi Rad, M., Khademi, H., Jalalian, A., 2007. Descending trend of soil quality during rangelands use changes in Cheshme Ali region of Charmahalo Bakhtiary Province. *Agric. Nat. Res. Sci. J.* 14, 102–113.
46. Turk, T.D., Schmidt, M.J., Roberts, N.J., 2008. The influence of bigleaf maple on forest floor and mineral soil properties in a coniferous forest in coastal British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 255: 1874–1882.
47. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, A., Akbarinia, M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, 2 (1). Persian.
48. Dorji, T., Odeh, I.O., Field, D.J., Baillie, I.C., 2014. Digital soil mapping of soil organic carbon stocks under different land use and land cover types in montane ecosystems, Eastern Himalayas. *For. Ecol. Manag.* 318, 91–102.
49. Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10:423–436. [http://dx.doi.org/10.1890/](http://dx.doi.org/10.1890/1051-) 1051- carbon and nitrogen changes under Douglas-fir with and without red alder. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1988–1995.
36. Haghdoost, N., Akbarinia, M., Hosseini, S.M., Kooch, Y., 2011. Conversion of Hyrcanian degraded forests to plantations: effects on soil C and N stocks. *Ann. Biol. Res.* 2, 385–399.
37. Rostamabadi, A., Tabari, M., Sayad, E., 2013. Influence of *Alnus subcordata*, *Populus deltoides* and *Taxodium distichum* on poor drainage soil, northern Iran. *Ecopersia* 1, 207–218.
38. Kooch, Y., Rostayee, F., Hosseini, S M., 2016. Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena* 144 (2016) 65–73.
39. Grüneberg, E., Ziche, D., Wellbrock, N., 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Glob. Chang. Biol.* 20, 2644–2662.
40. Nsabimana, D., Klemedtson, L., Kaplin, B.A., Wallin, G., 2008. Soil carbon and nutrient accumulation under forest plantations in southern Rwanda. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 2, 142–149.
41. Chase, P., Singh, O.P., 2014. Soil nutrients and fertility in three traditional land use systems of Khonoma. *Nagaland Res. Environ.* 4, 181–189.
42. Kimmins, J.P., 2004. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 611 pp.

52. Richards, A.E., Dalal, R.C., Schmidt, S., 2007. Soil carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 2078-2090.
53. Soleimani, A., Hosseini, S.M., Massah Bavani, A.R., Jafari, M., Francaviglia, R., 2017. Simulating soil organic carbon stock as affected by land cover change and climate change, Hyrcanian forests (northern Iran). *Science of the Total Environment*. 599–600 (2017) 1646–1657.
- 0761(2000)010[0423: TVDOS0] 2.0.CO; 2.
50. Dalal, R.C., R.J., Mayer .1986. Longterm trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland, I: overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Australian Journal of Soil Research*, 24, 265279.
51. Neff, J. C., Townsend, A. R., Gleixner, G., Lehman, S. J., Turnbull, J., Bowman, W. D., 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature*, 419(6910), 915-917.