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 جنگل‌کاری‌های شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا- ساری)

اعظم سلیمانی[۱]

سید محسن حسینی[۲*]

hosseini@modares.ac.ir

علیرضا مساح بوانی[۳]

مصطفی جعفری[٤]

رزا فرانکاویلیا[٥]

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲ **تاریخ پذیرش:۹۶/۶/۱۵**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مواردی که باعث فاصله گرفتن از توسعه پایدار می‌شود افزایش روزافزون دی‌اکسید کربن اتمسفری و به‌تبع 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 جنگل‌کاری 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 ۲۰-۰ ، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ 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 ۶۰-۰ سانتی‌متری از هر یک از پوشش‌ها به‌این‌ترتیب کاهش می‌یابد: زربین> توسکا> جنگل طبیعی> بلوط> افرا>.

بحث و نتیجه‌گیری: جنگل‌کاری می‌تواند نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن داشته باشد. البته عوامل مختلفی مانند نوع گونه‌ی درختی، سن جنگل‌کاری‌ها، 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- دانشیارگروه 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.

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.9, November, 2019

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[1]
Seyed Mohsen Hosseini[2]*
hosseini@europe.com
Ali Reza Massah Bavani[3]
Mostafa Jafari[4]
Rosa Francaviglia[5]

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

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 آن‌قدر 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_2 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 جنگل‌کاری، 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). ازاین‌رو جنگل‌کاری 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 جنگل‌کاری 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 درباره‌ی تاثیر جنگل‌کاری بر ترسیب کربن خاک وجود دارد اما بیش‌تر محققان تأثیر جنگل‌کاری‌ها 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 پهن‌برگ کربن بیش‌تری 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 جنگل‌کاری 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 جنگل‌کاری 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 جنگل‌کاری 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

(شامل جنگل طبیعی و چهار جنگل‌کاری 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 ۱۶/۳ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه ۷۲۴ میلی‌متر است. سازمان جنگل‌ها و مراتع در سال ۱۳۶۶ سطحی حدود ۷۰ 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 ییلاقی (*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 ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری گرفته شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه در هوای‌آزاد 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.

$TOC = OC\ (\%) * Bd * e$ در این معادله TOC= مقدار کل کربن موجود در خاک ($t\ ha^{-1}$)، OC% = درصد کربن آلی، Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$) و e= عمق لایه نمونه برداری (cm) است. بافت خاک با استفاده از روش دانسی‌متری بایکاس تعیین شد (۲۰). اسیدیته خاک با استفاده از گل اشباع و دستگاه pH متر (۲۱) و ازت کل خاک با دستگاه کجلدال 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 ($1/48\ g\ cm^{-3}$) و پایین‌ترین آن مربوط به جنگل‌کاری زربین ($1/39\ g\ cm^{-3}$) است. همچنین اثر متقابل پوشش و

عمق معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از همبستگی دوگانه حاکی از وجود همبستگی این پارامتر با اکثر خصوصیات خاک می‌باشد (جدول ۲). پوشش‌های مختلف از لحاظ اسیدیته خاک نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشته و بالاترین مقدار اسیدیته خاک مربوط به پوشش جنگل طبیعی (۷/۸۸) و پایین‌ترین آن مربوط به جنگل‌کاری زربین (۶/۹۸) می‌باشد. اسیدیته خاک با افزایش عمق خاک افزایش می‌یابد (۷/۵۶-۷/۱۳). نتایج آنالیز همبستگی نشان داد که اسیدیته خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن مخصوص ظاهری خاک دارد (r=۰/۳۶). به‌طورکلی مقادیر درصد کربن آلی و ماده آلی با افزایش عمق کاهش می‌یابد، به‌علاوه مقدار این دو پارامتر در جنگل‌کاری زربین (به ترتیب ۲,۱۴٪ و ۳/۶۸٪) در مقایسه با سایر پوشش‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر می‌باشد. همچنین همبستگی معنی-داری بین درصد کربن آلی و دیگر خصوصیات خاک به‌جز درصد شن مشاهده گردید که روابط خطی بین درصد کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک یک رابطه قوی می‌باشد (به ترتیب r=۰/۹۹ و r=۰/۸۳-). تفاوت آماری معنی‌داری بین پوشش‌های مختلف مورد مطالعه از نظر درصد رس، سیلت و شن مشاهده گردید. جنگل‌کاری 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 معنی‌داری بین سه عمق مورد بررسی وجود دارد و با افزایش عمق درصد نیتروژن کل کاهش می‌یابد (۰/۲۷-۰/۱۱). همچنین پوشش‌های مختلف از لحاظ درصد نیتروژن کل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. جنگل‌کاری توسکا با ۰/۲۶٪ بالاترین میزان درصد نیتروژن کل را در مقایسه با سایر پوشش‌ها به خود اختصاص داد. درحالی‌که بیش‌ترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در جنگل‌کاری زربین (۱۴/۸۶) مشاهده شد. همچنین اثر متقابل پوشش و عمق معنی‌دار می‌باشد. 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 خاک و همبستگی منفی و معنی‌داری 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 عمق‌ها و پوشش‌های مختلف به لحاظ فسفر و پتاسیم قابل جذب اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با افزایش عمق مقدار این دو عنصر کاهش می‌یابد. بالاترین میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب مربوط به جنگل‌کاری توسکا (به ترتیب $mg\ kg^{-1}$ ۸۵/۳۳ و ۸۳۳/۶۴) و پایین‌ترین آن مربوط به جنگل‌کاری زربین (به ترتیب $mg\ kg^{-1}$ ۱۴/۸۷ و ۴۳۷/۰۴) می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن است که پوشش‌های مختلف اثر معنی‌داری بر تنفس میکربی خاک دارند و در پوشش‌های مورد بررسی تنفس میکربی خاک به‌طور معنی‌داری متفاوت است. تنفس میکربی خاک با افزایش عمق کاهش می‌یابد و بیش‌ترین تجمع تنفس میکربی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری می‌باشد ($mgCO_2\text{-}Cg^{-1}d^{-1}$ ۰/۳۳). تنفس میکربی در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری از دیگر عمق‌ها بالاتر است درصورتی‌که بین دو عمق ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (به ترتیب $mgCO_2\text{-}Cg^{-1}d^{-}$ ۰/۲۳ و ۰/۱۵). همچنین اثر متقابل پوشش و عمق خاک معنی‌دار می‌باشد. همبستگی معنی‌داری بین تنفس میکربی با تمامی خصوصیات مورد بررسی به‌جز اسیدیته و درصد شن وجود دارد. ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری از هر یک از پوشش‌ها به‌این‌ترتیب کاهش می‌یابد: زربین> توسکا> جنگل طبیعی> بلوط> افرا>. ذخیره کربن آلی خاک با تبدیل جنگل طبیعی به جنگل‌کاری‌های زربین و توسکا به ترتیب تا ۲۵٪ و ۱/۱۱٪ افزایش پیدا کرد. درحالی‌که با تبدیل جنگل طبیعی به جنگل‌کاری‌های بلوط و افرا ذخیره کربن آلی خاک به ترتیب ۴٪ و ۱۲/۱۱٪ کاهش یافت. جنگل‌کاری افرا کم‌ترین میزان ذخیره کربن آلی خاک را تا عمق ۶۰ سانتی-متری نسبت به دیگر پوشش‌ها داراست ($t\ C\ ha^{-1}$ ۴۰/۹۳) درحالی‌که بین جنگل‌کاری توسکا و جنگل طبیعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (به ترتیب $t\ C\ ha^{-1}$ ۴۷/۰۹ و ۴۶/۵۷). همچنین بالاترین میزان ذخیره کربن آلی خاک مربوط به

جنگل‌کاری زربین (۵۸/۱۱ t C ha^{-1}) می‌باشد. میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری (۶۳/۳t C ha^{-1}) تقریباً بیش‌تر از نصف میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متری (۳۰/۲۶ t C ha^{-1}) می‌باشد. در تمامی پوشش‌ها بالاترین میزان ذخیره کربن آلی خاک در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر مشاهده گردید.

بحث

تفاوت‌های موجود در کیفیت لاشبرگ و میزان موجودی عناصر غذایی، جذب و فعالیت تغذیه‌ای ریشه و جمعیت بیولوژیکی خاک موجب بروز تفاوت‌ها در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های تحت توده‌های مختلف می‌گردند (۳۲). منبع اصلی ورود عناصر غذایی و مواد آلی به خاک لاشریزهای درختان و پوشش گیاهی می‌باشند (۳۲، ۳۳). بالاترین و پایین‌ترین میزان ازت به ترتیب مربوط به جنگل‌کاری توسکا و زربین می‌باشد. این نتیجه را می‌توان به‌این‌که گونه‌های سوزنی برگ نسبت به گونه‌های پهن برگ مقادیر بالاتری از ازت را مصرف می‌کنند مربوط دانست (۳۴). همچنین در مطالعه‌ای Rothe و همکاران (۳۵) بیان داشته‌اند که گونه‌های تثبیت کننده ازت در جنگل‌کاری‌ها می‌توانند باعث افزایش مقدار ازت شوند. جنگل‌کاری زربین بالاترین نسبت C/N را دارا بود که این به دلیل نرخ پایین معدنی شدن در گونه‌های سوزنی برگ و در نتیجه کاهش مقدار ازت و عناصر غذایی قابل جذب می‌باشد (۳۶). نتایج دیگر محققان نیز بالاتر بودن مقدار C/N را در توده‌های سوزنی برگ نسبت به توده‌های پهن برگ را نشان می‌دهد (۳۷، ۳۸). نتایج نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک به‌طور معنی‌داری بین پوشش‌های مختلف متفاوت است و همبستگی منفی و معنی‌داری 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 می‌یابد. همچنین مقدار وزن مخصوص ظاهری با افزایش عمق افزایش یافت که در این رابطه نتایج ما هم‌سو با نتایج دیگر محققان است (۱۶،۳۹). مقادیر بالای وزن مخصوص ظاهری در عمق‌های پایینی به خاطر وزن لایه‌های بالایی و همچنین کاهش مقدار تخلخل خاک می‌باشد (۳۹). به‌طورکلی با افزایش عمق خاک مقدار پتاسیم و فسفر قابل جذب خاک کاهش می‌یابد. در خاک‌هایی با اسیدیته پایین، ماده آلی خاک به‌سختی معدنی شده و ذرات رس ظرفیت خود را برای جذب کاتیون‌های پایه از دست داده و در نتیجه عناصر غذایی خاک تقویت نخواهد شد (۴۰). بالاترین مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب در جنگل‌کاری توسکا مشاهده گردید که علت این ممکن است به چرخه عناصر غذایی سریع آن مربوط شود که به ذخیره بیش‌تر مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک کمک می‌کند (۴۱). به‌طورکلی گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت C/N بالاتر، مقدار عناصر غذایی و اسیدیته پایین‌تری در مقایسه با گونه‌های پهن‌برگان دارند (۳۷، ۳۸). درختان در اکوسیستم‌های جنگلی می‌توانند به‌طور پیوسته برگشت بقایای گیاهی را به خاک افزایش دهند، بنابراین می‌توانند باعث حفظ یا افزایش مواد آلی خاک شوند (۴۲) که این ممکن است روی تنفس میکربی خاک اثرگذار باشد. Mallik و Hu (۴۳) بیان داشته‌اند که مواد آلی خاک قویاً با تنفس میکربی خاک در ارتباط است و یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل کننده‌ی آن می‌باشد. در این مطالعه نتایج نشان داد که تنفس میکربی خاک به‌طور معنی‌داری بین پوشش‌ها و عمق‌های مختلف خاک متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین تنفس میکربی مربوط به عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری است که ممکن است درنتیجه‌ی 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 داشته‌اند که تنفس میکربی خاک با مقادیر بالاتر ماده آلی به دلیل وابستگی فعالیت میکربی خاک به ذخیره کربن بستر خاک افزایش خواهد پیدا کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت گونه‌ی سوزنی برگ زربین در مقایسه با دیگر گونه‌ها به افزایش معنی‌دار کربن خاک منجر می‌شود. به‌طوری‌که در این تحقیق میانگین ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری زربین ۵۸/۱۱ تن در هکتار؛ جنگل‌کاری توسکا ۴۷/۰۹ تن در هکتار، جنگل‌کاری بلوط ۴۴/۹ تن در هکتار، جنگل‌کاری افرا ۴۰/۹۳ تن در هکتار و جنگل طبیعی ۴۶/۵۷ تن در هکتار می‌باشد. 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). تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت بیش‌تر توده‌های سوزنی‌برگ از خاک، تأثیر زیادی در جلوگیری از هدر رفتن کربن دارد. بر این اساس توده‌های سوزنی برگ در مقایسه با توده‌های پهن‌برگ کربن بیش‌تری را جذب می‌کنند (۱۵). همچنین گونه‌های سوزنی برگ موجب افزایش تراکم لاشبرگ-های سطح خاک و به‌عبارتی موجب افزایش کربن آلی خاک می‌شود. وارد کردن گونه‌های سوزنی‌برگ در توده‌های پهن برگ موجب افزایش کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک می‌شود، چراکه اسیدیته‌ی خاک در توده‌های سوزنی برگ و پهن برگ متفاوت است و توده‌های سوزنی برگ خاک شرایط اسیدی‌تری را ایجاد می‌کند (۱۴). لاشبرگ‌های ورودی به کف جنگل بیش-ترین تأثیر را بر خاک سطحی دارند بنابراین کربن آلی معمولاً در لایه‌های سطحی بیش‌تر است (۴۶). همچنین این مقادیر بالای کربن آلی در لایه‌های سطحی خاک اکوسیستم‌های جنگلی می‌تواند به دلیل رویش و بازگشت بالای ریشه‌ها، بالاتر بودن فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ذخایر زیاد بایومس میکروبی و فعالیت‌های میکروبی نیز باشد (۴۷). کربن آلی خاک با تغییر کاربری/پوشش تغییر می‌کند که این تغییرات بسیار پیچیده هستند (۱۶). در این مطالعه، نتایج نشان داد که نوع پوشش اثرات معنی‌داری بر کربن آلی خاک دارد. خاک‌هایی با پوشش-های مختلف فرایندهای تجزیه‌ی لاشبرگ متفاوتی داشته که منجر به اختلافاتی در آزادسازی کربن به خاک می‌گردد (۱۶). همچنین نتایج این بررسی نشان داد که ذخیره‌ی کربن آلی خاک با افزایش عمق در تمامی پوشش‌ها کاهش خواهد یافت که هم‌سو با دیگر تحقیقات است (۴۸، ۴۹).

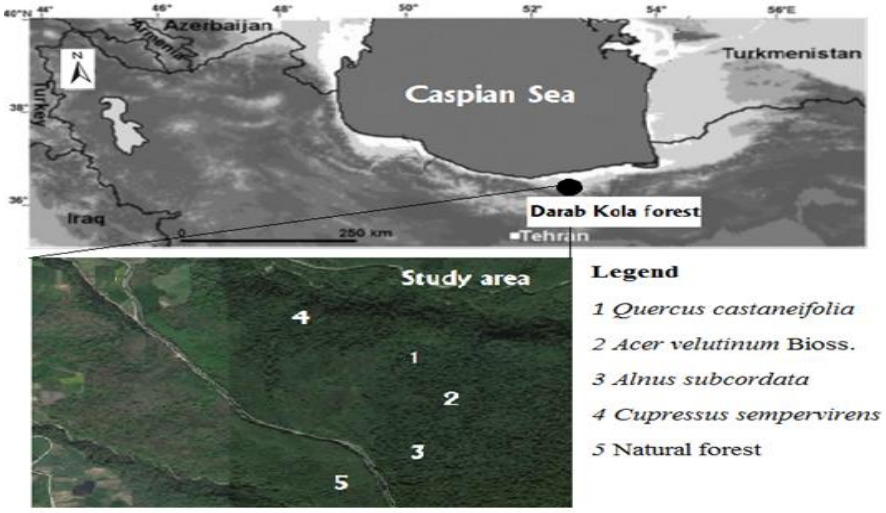
Dalal و Mayer (۵۰) بیان داشته‌اند که ذخیره کربن آلی خاک می‌تواند به وسیله ازت خاک تحت تأثیر قرار بگیرد، در این مطالعه نیز رابطه مثبت و معنی‌داری بین ازت و ذخیره کربن آلی خاک مشاهده شد. مطالعات دیگری نیز بر وجود ارتباط معنی‌دار بین سطوح کربن آلی و نیتروژن خاک تأکید کرده‌اند (۵۱، ۵۲). Richards و همکاران (۵۲) مدیریت ارتباط ازت را پیش شرطی بسیار مهم برای حفظ سطوح کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی می‌داند.

با توجه به نتایج این پژوهش جایگزینی توده تخریب شده با جنگل‌کاری‌های توسکا و زربین باعث افزایش ترسیب کربن خاک گردیده که پیش‌بینی می‌شود با افزایش سن جنگل‌کاری-ها آثار مثبت آن‌ها نیز بیش‌تر گردد. در پژوهشی Soleimani و همکاران با مدل‌سازی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک با استفاده از مدل RothC تحت ۹ مدل اقلیمی در جنگل‌های دارابکلا به این نتیجه دست یافتند که تغییرات اقلیمی آینده باعث کاهش ذخیره کربن آلی خاک در پوشش‌های مختلف شده و در این میان جنگل‌کاری‌های زربین و توسکا نسبت به جنگل‌کاری‌های افرا و بلوط و همچنین یک توده طبیعی تخریب یافته در برابر تغییرات اقلیمی آتی مقاوم تر بوده و کاهش ذخیره کربن آلی خاک کم‌تری خواهند داشت (۵۳). بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از دو گونه زربین و توسکا نه تنها در شرایط کنونی باعث ترسیب کربن بیش‌تری در خاک شده بلکه نسبت به تغییرات اقلیمی آتی نیز مقاوم‌تر می‌باشند. پالایش کربن اتمسفری با استفاده از روش‌های مصنوعی هزینه-های سنگینی را در بردارد اما جنگل‌کاری‌ها علاوه بر فواید زیست محیطی که دارند می‌توانند باعث ترسیب کربن اتمسفری با هزینه‌های کم‌تری نسبت به روش‌های مصنوعی شوند. بنابراین جنگل‌کاری با گونه‌هایی که توان ترسیب کربن بالاتری دارند مخصوصا در مناطق شمالی کشور به دلیل پتانسیل بالای این مناطق در مبحث جنگل‌کاری می‌توانند نقش مهمی در ترسیب کربن و تجارت کربن در کشور داشته باشند.

نتیجه‌گیری

جنگل‌کاری می‌تواند نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن داشته باشد. البته عوامل مختلفی مانند نوع گونه‌ی درختی، سن جنگل‌کاری‌ها، عمق خاک، شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل می‌تواند بر ترسیب کربن تاثیر بگذارد. نتایج نشان داد که جنگل‌کاری با گونه‌های 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

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 تاثیرات متفاوت گونه‌های مختلف و پتانسیل متفاوت آن‌ها در ترسیب CO_2 و لزوم انجام تحقیقات بیش‌تر در این زمینه می‌باشد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

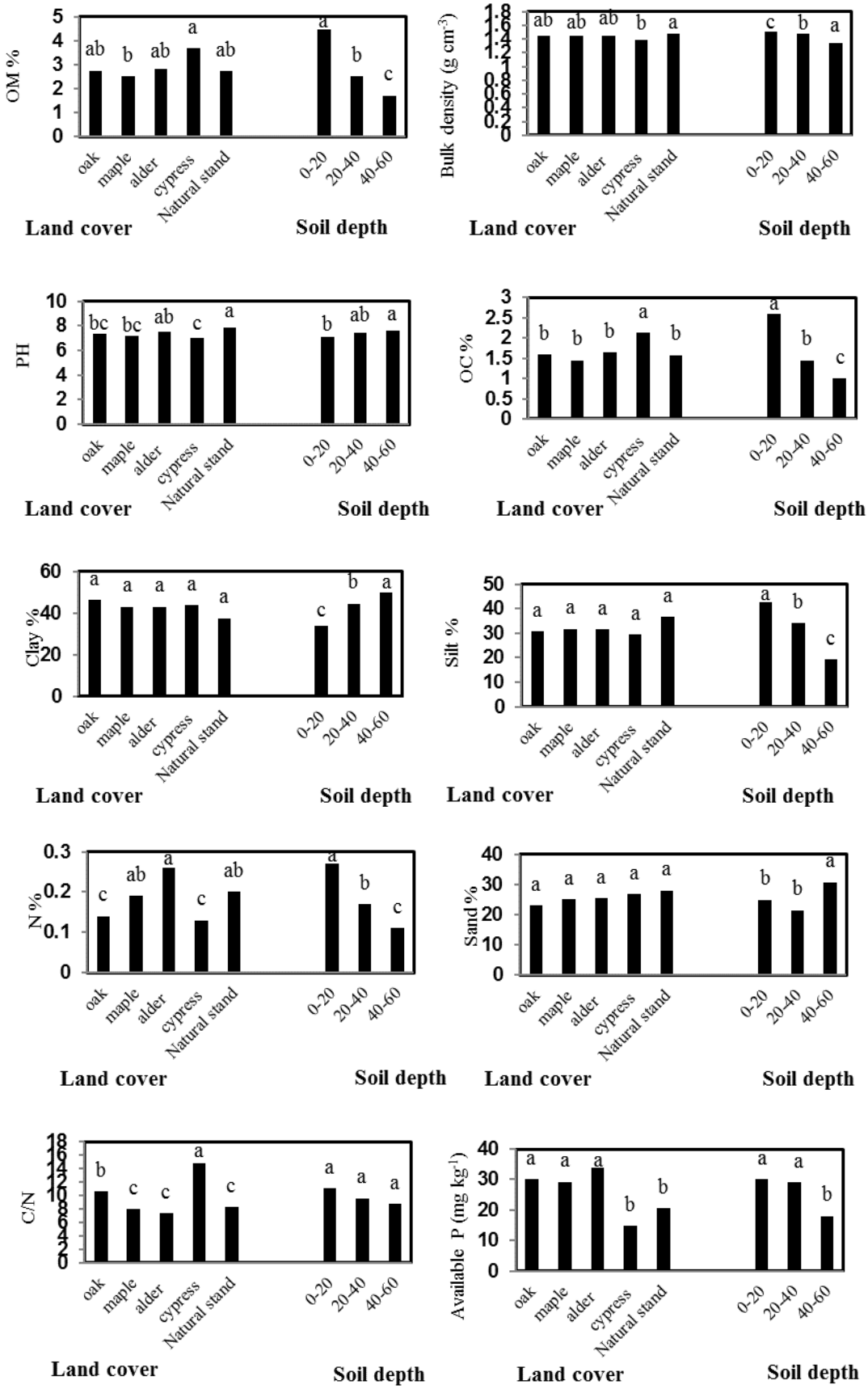
Figure 1- Location of the study area

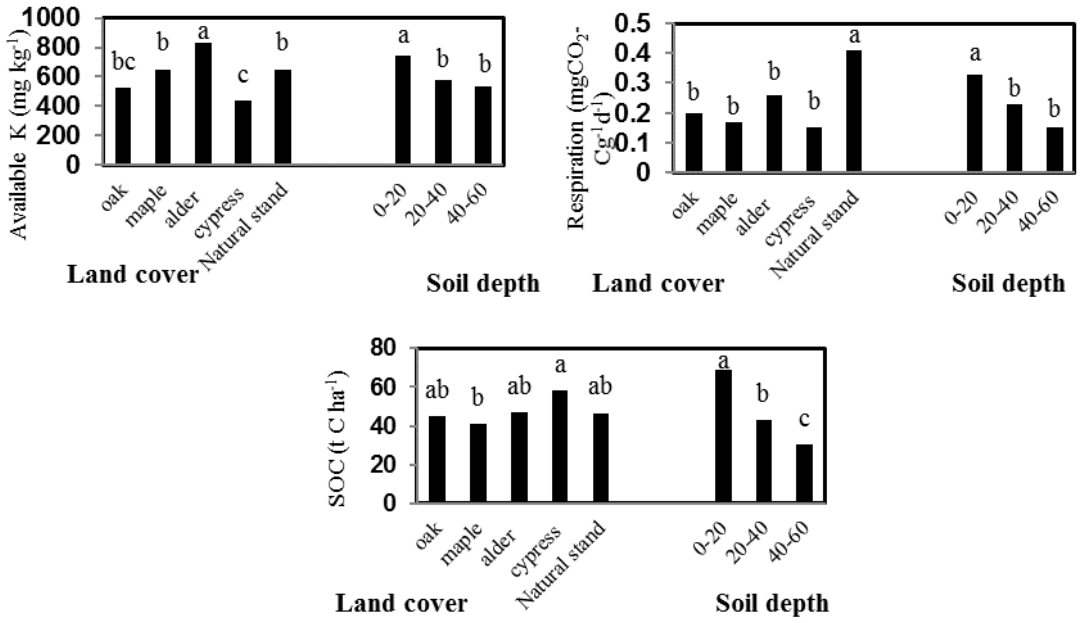
جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس دو طرفه خصوصیات خاک در پوشش‌ها و عمق‌های مختلف خاک

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

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

مقادیر F. P(F) < 0.05 *؛ P(F) < 0.01 **


OM %
Bulk density (g cm-3)
PH
OC %
Clay %
Silt %
N %
Sand %
C/N
Available P (mg kg-1)
oak
maple
alder
cypress
Natural stand
0-20
20-40
40-60
Land cover
Soil depth



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^{-3})
										۱	-۰/۰۱	Sand (%)
									۱	**-۰/۳۷	**-۰/۴۸	Silt (%)
								۱	**-۰/۷۵	**-۰/۳۰	**۰/۵۳	Clay (%)
							۱	۰/۰۶	-۰/۱۸	۰/۱۵	**۰/۳۶	pH
						۱	**-۰/۴۰	**-۰/۵۷	**۰/۵۱	۰/۰۵	**-۰/۸۴	C (%)
					۱	**۱	**۰/۳۱	**-۰/۵۷	**۰/۵۱	۰/۰۵	**-۰/۸۴	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	**-۰/۵۳	C/N
		۱	۰/۰۱	**۰/۴۶	**۰/۳۹	**۰/۴۰	**-۰/۴۸	*-۰/۲۵	**۰/۲۸	-۰/۱۰	**-۰/۳۹	Available P (mg kg^{-1})
	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^{-1})
۱	**۰/۶۲	**۰/۵۴	*۰/۲۳	**۰/۵۷	**۰/۷۲	**۰/۷۲	-۰/۰۲	**-۰/۵۲	**۰/۴۲	۰/۰۶	**-۰/۵۴	MR
**۰/۷۴	**۰/۴۸	**۰/۴۰	**۰/۵۵	**۰/۵۰	**۰/۹۹	**۰/۹۹	**-۰/۴۰	**-۰/۵۷	**۰/۵۰	۰/۰۷	**-۰/۷۸	SOC

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

3. Schlesinger, W.H., 1999. Soil Organic matter a Source of atmospheric CO_2. Department of Botany, North Carolina, USA, 111-125.
4. Henderson, G.S., 1995. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: Bigham, J.M. & J.M. Bartels, (Eds.),

Reference

1. 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. Gography and development. 7(16): 135-152. Persian.
2. Thompson, D., Matthews, R., 1989. CO2 in trees and timber lowers

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 WaterResarch, 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 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,

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 Haghighi, 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., Keaney, 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* 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

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.
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 nitrogenmineralization 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/ 1051-

0761(2000)010[0423: TVDOSO] 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.
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.