علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در توده‌های مدیریت شده و مدیریت نشده راش-ممرز

مریم مصلحی[۱*]

m.moslehi@areeo.ac.ir

هاشم حبشی[۲]

رامین رحمانی[۳]

هرمز سهرابی[۴]

خسرو ثاقب طالبی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۵ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۰۶/۳۰**

چکیده

زمینه و هدف: این تحقیق به منظور بررسی تاثیر فعالیت جنگل‌شناسی گزینشی بر کربن آلی (SOC) و ذخیره کربن آلی خاک (SOCP) در توده‌های آمیخته راش-ممرز در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا استان گلستان انجام گرفت.

روش بررسی: نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) جهت اندازه‌گیری کربن آلی (OC) و درصد سنگ و سنگریزه و ۸۰ نمونه خاک با استفاده از سیلندر جهت تعیین وزن مخصوص ظاهری، از چهار توده یک هکتاری (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری) در سال ۱۳۹۳ برداشت گردید. تیمارها شامل سه جنگل مدیریت شده (شیوه گزینشی) با مدت زمان ۱، ۷ و ۱۰ سال گذشته از آخرین دخالت (به‌ترتیب تیمارهای مدیریت شده ۱، ۲ و ۳) و جنگل مدیریت نشده (شاهد) بودند. سپس کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک محاسبه و با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه مقایسه گردید.

۱*- (مسوول مکاتبات): استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

۲- دانشیارگروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل دانشگاه علوم کشارزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

۳- دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل دانشگاه علوم کشارزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۴- استادیار گروه جنگلداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، نور، ایران.

۵- دانشیار موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

یافته‌ها: نتایج نشان داد میزان کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در بین چهار تیمار از اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد برخوردار بوده و در تیمار مدیریت نشده بیشترین و تیمار مدیریت شده ۱ کمترین مقدار را داشت. همچنین همبستگی خصوصیات خاک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی و نشان داد، ماده آلی با وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگ و سنگریزه همبستگی منفی دارد. تیمار مدیریت نشده و تیمارهای مدیریت شده ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲۸۰/۰۲۱ و ۱۲۴/۰۴۶، ۱۴۳/۴۹۷ و ۱۸۱/۲۹۸ تن دی‌اکسیدکربن اتمسفر را برای ذخیره ۷۶/۳، ۳۳/۸، ۳۹/۱ و ۴۹/۴ تن کربن در خاک یک هکتار جنگل (۲۰-۰ سانتی‌متر)، جذب نمودند

واژه‌های کلیدی: شیوه گزینشی، جنگل مدیریت شده، ذخیره کربن آلی خاک، توده راش-ممرز.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017

Soil organic carbon and soil organic carbon pool in the managed and unmanaged beech-hornbeam stand

Maryam Moslehi [1]*
m.moslehi@areeo.ac.ir
Hashem Habashi [2]
Ramin Rahmani [3]
Hormoz Sohrabi [4]
Khosro Saghebtalebi [5]

Abstract

Background and Objective: In the present study the impact of silviculture activities on soil organic carbon (SOC) and soil organic carbon pool (SOCP) in the mixed beech-carpinus forest located in district one of Shastkolate forest, Golestan province, was investigated.
Method: In the first month of growth season in 2014, from 4 one-hectare treatments, 80 soil samples were randomly collected (up to depth of 20 cm) for organic carbon and coarse fragments estimation and 80 soil sample cylinders were collected for bulk density measurement. Treatments were 3 managed forests (selection system) in time periods of 1, 7 and 10 after the last disturbance and 1 unmanaged forest (control). Amounts of SOC and SOCP in different treatments were compared by one-way variance analysis.
Findings: Result showed that the amounts of SOC and SOCP in 4 treatments were different significantly ($p< 0.05$). Also the highest and the lowest SOC and SOCP were observed in the control and managed treatment 1, respectively. Correlation of soil properties was investigated using Pearson's correlation coefficient. Organic matter, bulk density and fragments had negative correlation ($p< 0.01$). Control forest, managed treatments 1, 2 and 3 absorbed 280.021, 124.046, 143.497 and 181.298 ton CO_2 from atmosphere to store 76.3, 33.8, 39.1 and 49.4 ton carbon in soil in one hectare (0-20 cm), respectively.

Keywords: Selection system, managed forest, soil organic carbon pool, beech-hornbeam stand.

1- Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, Hormozgan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandarabbas, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, I.R. Iran
3- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, I.R. Iran
4- Assistant Professor, Tarbiat moddares of Agricultural Science and Natural Resources, I.R. Iran
5-Associate Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

مقدمه

کربن آلی خاک بزرگترین ذخیره‌گاه کربن (مکانی که در آن کربن ذخیره می‌گردد) در اکوسیستم خشکی است (۱) که از توازن بین کربن ورودی از طریق لاشریزه و فعالیت قارچ‌های میکوریز و کربن خروجی از طریق تجزیه و تنفس حاصل می‌گردد (۲). که نقش اصلی در چرخه جهانی کربن بازی می‌کند (۱).

در واقع دی اکسید کربن اتمسفری، در نهایت به‌صورت ماده آلی پایدار، در خاک ترسیب شده و منجر به ایجاد ترکیبات پایدارتری نسبت به کربن ترسیب شده در ذی‌توده سرپا می‌گردد که محتوای کربن آن ۲/۵ تا ۳ برابر کربن ذخیره شده در گیاهان (۳) و ۲ یا ۳ برابر دی اکسیدکربن اتمسفری می‌باشد (۴).

۷۰ درصد کربن اکوسیستم خشکی، فقط در خاک اکوسیستم‌های جنگلی ذخیره شده است (۵).

بنابراین یک تغییر کوچک در خاک جنگل می‌تواند منجر به یک تغییر بزرگ در غلظت دی اکسید کربن اتمسفر گردد (۶).

ورامش و همکاران (۱۳۹۰) میزان کربن آلی خاک را در توده‌های اقاقیا، زبان گنجشک (پارک چیتگر تهران) و مرتع، ۷۸/۱۹، ۴۸ و ۱۰/۸ تن گزارش نموده و نشان دادند درصد سنگ و سنگریزه از عوامل تاثیرگذار بر کربن آلی خاک است (۷).

مالیک و هو (۱۹۹۷) در بررسی در جنگل‌های بوره‌آل به این نتیجه رسیدند که آماده سازی رویشگاه (برش در جنگل) منجر به کاهش رطوبت و ماده آلی می‌گردد و بر تعادل کربن تاثیر منفی می‌گذارد (۸).

ملیو و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق گرم شدن خاک و بازگشت کربن به اتمسفر بیان کردند گرم شدن خاک منجر به تسریع آزاد سازی کربن به اتمسفر می‌گردد که این روند در جنگل‌های پهن‌برگی که در عرض میانه واقع شدند بیشتر مشاهده می‌شود (۹).

موند (۲۰۰۴) ذخیره کربن را در جنگل‌های راش در آلمان، تحت تاثیر شیوه‌های مختلف جنگل‌شناسی بررسی و گزارش نمودند، میزان ذخیره کربن آلی خاک در جنگل دست نخورده بیشتر از جنگل گزینشی و پناهی است (۱۰).

پری و کومیت (۲۰۰۷) گزارش نمودند بین کربن آلی خاک، وزن مخصوص ظاهری و مواد آلی در جنگل‌های بوره‌آل همبستگی قوی وجود دارد بطوری‌که این همبستگی بین کربن آلی خاک و ماده آلی ۰/۹۷ مشاهده شده است (۱۱).

اسچالپ و همکاران (۲۰۰۸) ذخیره کربن آلی خاک را در بین گونه‌های مختلف بررسی و نشان دادند میزان ذخیره کربن خاک در گونه‌های مختلف، متغیر است بطوریکه میانگین آن در راش ۳/۷ درصد، بلوط ۴/۳ درصد و لاریکس ۵/۲ درصد بود و همچنین میزان ذخیره کربن آلی در جنگل مدیریت شده کمتر از مدیریت نشده بود (۱۲).

هرتل و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق تغییرات ریشه‌های مویین در جنگل‌های دست‌خورده و دست‌نخورده به این نتیجه رسیدند توده‌های دست نخورده، بیشترین تراکم، تولید و مرگ و میر ریشه‌های مویین را دارند و میزان کربن آلی که از طریق مرگ و میر این ریشه‌ها، به ذخیره کربن آلی خاک انتقال می‌یابد در این توده بیشتر از سایر توده‌ها است. همچنین میزان مرگ و میر و بازگشت ریشه‌های مویین به خاک با افزایش اندازه حفره‌ها در تاج، کاهش می‌یابد (۱۳).

چانگ و همکاران، (۲۰۱۰) در بررسی اهمیت لاشریزه در ذخیره کربن آلی خاک در جنگل‌های طبیعی تایوان، لایه لاشریزه را منبع مهمی از کربن در اکوسیستم جنگل‌های معتدله معرفی نمودند که تحت تاثیر اقلیم و دخالت‌های انسان تغییر می‌کند (۱۴).

نوا و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تاثیر مدیریت بر ذخیره کربن آلی در جنگل‌های معتدله در سراسر جهان گزارش نمودند کاهش ذخیره کربن آلی خاک ناشی از دخالت انسان، براساس تیپ خاک و سن پس از قطع متفاوت است زمان بازگشت کربن به حالت اولیه بعد از دخالت، در خاک‌های اسپودوسول ۵۰ تا ۷۰ سال و در خاک‌های اینسپتی سول و آلتی سول ۶ تا ۲۰ سال است (۱۵).

آبوگر و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق تعیین میزان لاشبرگ و تجزیه در تاج پوشش باز و بسته در غنا به این نتیجه رسیدند که میزان لاشبرگ در تاج پوشش بسته بیشتر از تاج پوشش باز است ولی نرخ تجزیه در تاج‌پوشش باز بیشتر بود (۱۶).

گلمن و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مدیریت جنگل برای ترسیب بهینه کربن بر ا ساس نوع تیپ متفاوت بوده و طول چرخش مطلوب برای ترسیب کربن و برداشت‌های تجاری گونه‌های معین، با یکدیگر متفاوت می‌باشد (۱۷).

دی اکسید کربن یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای می‌باشد که اثرات سوء بسیار زیادی بر محیط زیست و حیات انسان بر روی کره زمین گذاشته است (۷) این در حالی است که اکوسیستم‌های جنگلی با ذخیره ۸۰ درصد کربن روزمینی و بیش از ۷۰ درصد از کربن آلی در خاک (۱۸)، نقش کلیدی در ذخیره کربن جهانی و کاهش آن در اتمسفر بازی می‌کند (۱۹). ذخیره کربن آلی خاک و زمان بازگشت آن بسیار حساس به تغییرات اقلیم، خصوصیات خاک (۲۰) و تولید (۲۱) هستند لذا دخالت و عملیات جنگل شناسی با تغییری که در شرایط رویشگاه و خصوصیات خاک ایجاد می‌کند، می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر دی‌اکسیدکربن اتمسفری داشته باشد، لذا در این تحقیق به بررسی تاثیر فعالیت جنگل‌شناسی گزینشی بر کربن آلی (SOC) و ذخیره کربن آلی خاک (SOCP) در توده‌های آمیخته راش-ممرز در سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا استان گلستان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در سری ۱ طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا، حوزه آبخیز ۸۵ طرح جامع جنگل‌های شمال کشور، در فاصله ۸ کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان در بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. جنگل آموزشی و پژوهشی شصت کلاته (براساس اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی هاشم آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه) از لحاظ طبقه بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل است و بر اساس اطلاعات ۱۰ ساله (۱۳۸۴-۱۳۷۴) دارای بارندگی متوسط سالیانه ۶۴۹ میلیمتر می‌باشد که بین ۵۲۸ الی ۸۱۷ میلیمتر در سال تغییر می‌کند. قطعات مورد مطالعه در پارسل‌های ۳۲ (جنگل مدیریت نشده) و ۳۰، ۳۱ و ۳۳ (مدیریت شده به شیوه گزینشی)، در سری یک جنگل شصت کلاته با حدود ارتفاعی ۹۹۵-۷۹۰ متر و ۸۶۰-۷۹۰، ۹۸۰-۷۹۰ و۹۶۰-۷۱۰ متر با تیپ آمیخته راش-ممرز و تاج‌پوشش۱۰۰-۷۵ درصد در روی خاک‌های کامبی‌سول واقع شده است که از زمان آخرین دخالت در آن‌ها ۱۰، ۱ و ۷ سال می‌گذرد (۲۲). جنگل مدیریت نشده به عنوان قطعه شاهد و تیمارهای گزینشی یا ۱، ۷ و ۱۰ سال گذشته از آخرین دخالت به‌ترتیب تیمارهای مدیریت شده ۱، ۲ و ۳ نام گرفت.

پس از جنگل‌گردشی، ۳ قطعه تقریبا مشابه از لحاظ کلاسه قطری، سنی، گونه، ارتفاع از سطح دریا و جهت در هر تیمار جدا شده و سپس یک قطعه از بین آن‌ها به‌صورت تصادفی جهت انجام کار، انتخاب شد. توده‌های یک هکتاری راش-ممرز در هر تیمار در میانگین ارتفاعی ۸۵۰ متری و جهت شمال شرقی واقع شدند، ۲ اشکوبه، میانسال، دارای گونه‌های همراه افرا پلت، توسکا، انجیلی، خرمندی می‌باشد. درختان قطع شده واقع در هر توده غالبا راش و بندرت ممرز بوده است. بعد از جدا نمودن توده‌های مشابه، در هر یک از توده‌ها، ۲۰ نقطه بصورت تصادفی در اولین ماه فصل رویش (۱۳۹۳/۱/۱۷) انتخاب گردید[1] و در هر یک از این نقاط، از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر نمونه خاک جهت تعیین کربن آلی و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۲۳)، برداشت گردید. جهت اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری، با استفاده از روش سیلندر با ابعاد ۷/۵*۵ سانتی‌متری، نمونه خاک از نقاط نمونه‌برداری، تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد انتقال یافت و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

۱ - درختان اطراف نقاط نمونه برداری در هریک از تیمارها راش، ممرز و انجیلی بود.

رابطه(۱)

$$\text{وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)} = \frac{\text{وزن خاک خشک}}{\text{حجم سیلندر}}$$

بعد از نرم نمودن خاک خشک‌شده و چند بار عبور متوالی از الک با روزنه‌های ۲ میلی‌متری، باقی مانده وزن گردید و با استفاده از رابطه ۲ درصد شن و سنگریزه محاسبه شد.

$$\text{درصد سنگریزه} = \frac{\text{وزن سنگریزه}}{\text{وزن کل خاک}} \times ۱۰۰ \quad \text{(رابطه ۲)}$$

جهت اندازه‌گیری کربن آلی خاک و ذخیره کربن آلی خاک نیز از روابط ۳ و ۴ استفاده می‌گردد.

(رابطه۳)

عمق خاک(متر)×۱۰۰۰۰=کربن آلی خاک(تن در هکتار)

×وزن مخصوص ظاهری(گرم بر سانتی متر مکعب)×

۱۰۰/(کربن آلی)

رابطه(۴)

=ذخیره کربن آلی خاک(تن در هکتار)

عمق خاک(متر)×کربن آلی(گرم کربن در کیلوگرم خاک)]

وزن مخصوص ظاهری(تن بر سانتی متر مکعب)×

(۲۵)۱۰×[((۱۰۰/ذرات بیش از ۲ میلی متر)-۱)×

جهت مقایسه کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک، بین تیمارهای مدیریت شده با تیمار شاهد از آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد. همچنین جهت نشان دادن وضعیت متغیر ذخیره کربن آلی خاک نسبت به متغیرهای وزن مخصوص ظاهری، درصد سنگ و سنگریزه و ماده آلی از نمودارهای پراکنش ابر نقاط استفاده گردید. همچنین جهت بررسی همبستگی خصوصیات خاک با یکدیگر از ضریب هبستگی پیرسون استفاده گردید. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی گردید.

نتایج

برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های خاک بررسی و ثبت گردید. تیمار شاهد از لحاظ درصد کربن آلی و ماده آلی نسبت به سایر تیمارها در وضعیت بهتری قرار داشت (جدول ۱).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Tabe 1-Soil physical and chemical characteristics

تیمارها	کربن آلی (٪)	ماده آلی (٪)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	سنگ و سنگریزه (٪)
شاهد	۵/۲۸	۹/۰۷	۰/۷۴	۱/۵۴
۱	۲/۳۲	۳/۹۹	۰/۸۲	۵/۷۷
۲	۲/۵۴	۴/۳۸	۰/۸۰	۴/۲۹
۳	۳/۸۱	۶/۵۶	۰/۶۷	۲/۵۵

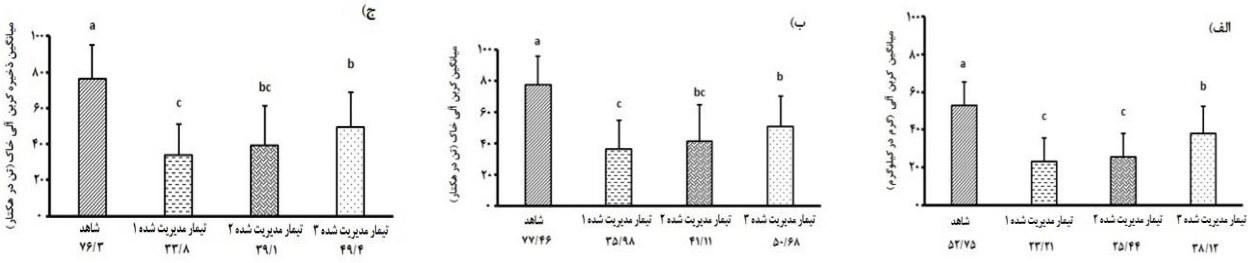
کلیه داده‌های کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف که از توزیع نرمالی برخوردار بودند با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه مقایسه شدند. نتایج نشان داد کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف در سطح ۵ درصد از اختلاف معنی‌داری برخوردار هستند (جدول ۲).

جدول ۲- آنالیز واریانس کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)، کربن آلی خاک و ذخیره کربن آلی خاک (تن در هکتار) در تیمارهای مدیریت شده و شاهد

Table 2- Analysis variance of organic carbon (gr. Kg), soil organic carbon and soil organic carbon pool (t. ha^{-1}) in the managed treatment and control

پارامتر		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	میزان F	سطح معنی‌داری
کربن آلی	بین گروهی	۱۱۱۰۶/۸	۳	۳۷۰۲/۲۶	۲۲/۴۲	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۱۲۵۵۰/۲۱	۷۶	۱۶۵/۱۳		
	کل	۲۳۶۵۷/۰۲	۷۹			
کربن آلی خاک	بین گروهی	۲۰۴۶۲/۲۸	۳	۶۸۲۰/۷۶	۱۶/۷۲	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۳۱۰۰۳/۶۳	۷۶	۴۰۷/۹۴		
	کل	۵۱۴۶۵/۹۲	۷۹			
ذخیره کربن آلی خاک	بین گروهی	۲۱۴۷۸/۰۷	۳	۷۱۵۹/۳۵	۱۸/۸۶	۰/۰۰۰
	درون گروهی	۲۸۸۴۶/۰۸	۷۶	۳۷۹/۵۵		
	کل	۵۰۳۲۴/۱۵	۷۹			

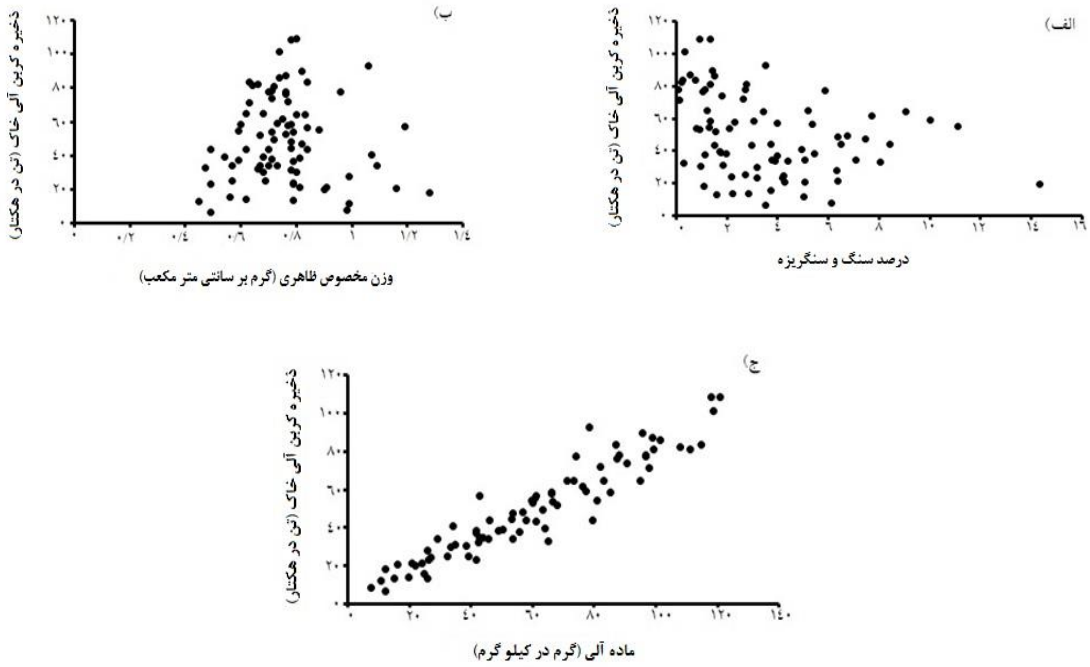
مقایسه میانگین‌ها بر طبق آزمون دانکن نشان داد کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک، در بین تیمارهای مختلف از اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد برخوردارند. مقایسه میانگین‌های OC نشان داد تیمارهای مدیریت شده ۱ و ۲ با مقدار ۲۳/۲۱ و ۲۵/۴۴ گرم کربن در کیلوگرم، در یک گروه قرار داشته و با تیمار مدیریت شده ۳ و شاهد (۳۸/۱۲ و ۵۲/۷۵ گرم کربن در کیلوگرم) اختلاف معنی‌داری دارد (شکل ۱ الف). همچنین در مقایسه میانگین‌های SOC و SOCP مشخص شد تیمار مدیریت شده ۲ با میزان به‌ترتیب ۴۱/۱۱ و ۳۹/۱۴ تن کربن آلی و ذخیره کربن در هکتار، بین تیمارهای مدیریت شده ۱و ۳ مشترک بوده ولی اختلاف معنی‌دار قابل توجهی با تیمار شاهد دارد. قابل ذکر است کلیه تیمارهای مدیریت شده با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان دادند (شکل ۱ ب و ج).



شکل ۱-مقایسه کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مدیریت شده و شاهد (مدیریت نشده) با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه (آزمون دانکن) در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

Figure1-Comparison of organic carbon and soil organic carbon pool in the managed treatment and control using one way analysis (Duncan' s test) at the level of 95%

پراکنش ابر نقاط متغیر وابسته ذخیره کربن آلی خاک نسبت به متغیرهای مستقل، نشان می‌دهد بیشترین نظم و کمترین پراکندگی نقاط با گرایش مثبت بین دو متغیر ذخیره کربن آلی خاک و ماده آلی وجود دارد.



شکل ۲- پراکنش ابر نقاط متغیر وابسته ذخیره کربن آلی خاک و متغیرهای مستقل درصد سنگ و سنگریزه (الف)، وزن مخصوص ظاهری (ب) و ماده آلی (ج)

Figure2-Distribution of Scatter plot of the dependent variable and independent variables of soil organic carbon pool, stone and gravel percentage (A), bulk density (B) and organic matter (c)

همچنین در بررسی همبستگی ماده آلی، وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگ و سنگریزه مشخص شد که ماده آلی با این دو متغیر در سطح احتمال ۹۹ درصد، همبستگی منفی دارد ولی درصد سنگ و سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری همبستگی مثبت دارند.

جدول ۳. تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده خاک در سطح احتمال ۹۹ درصد

Tabe 3-Correlation of soil properties at the level of 99%.

متغیر	ماده آلی	وزن مخصوص ظاهری	درصد سنگ و سنگریزه
ماده آلی	۱/۰۰		
وزن مخصوص ظاهری	-۰/۲۷**	۱/۰۰	
درصد سنگ و سنگریزه	-۰/۳۵**	۰/۲۵**	۱/۰۰

بحث و نتیجه گیری

ترسیب کربن به‌وسیله جنگل و سپس ذخیره آن در خاک، عملکرد پیچیده‌ای است. خاک نقش حیاتی در چرخه جهانی کربن بازی می‌کند. غالب کربن در اکوسیستم خشکی در خاک جنگل و ماده آلی موجود در آن ذخیره می‌شود (۲۷). که این ذخیره در خاک جنگل‌های معتدله ۲ برابر کربنی است که در پوشش گیاهی موجود در آن ذخیره شده است (۲۸). کربن آلی

در خاک به‌کندی ذخیره و با سرعت بالا آزاد می‌شود که این ویژگی آن را بسیار حساس به آشفتگی‌های طبیعی و دست‌اندازی‌های انسانی نموده است به‌طوریکه بهبود آن بعد از دست‌اندازی، طی یک فرایند طولانی انجام می‌پذیرد (۲).

درصد ماده آلی و کربن آلی در تیمار مدیریت نشده (شاهد) با میزان ۹/۰۷ و ۵/۲۸، بیشترین مقدار را داشت که با نتایج موند (۲۰۰۴) مطابقت داشت (جدول ۱). همچنین میزان کربن و ذخیره کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف از اختلاف معنی داری برخوردار بود و در تیمار شاهد (۷۷/۴۶ و ۷۶/۳ تن در هکتار) بیشتر از سایر تیمارها بود که با نتایج موند، (۲۰۰۴) و اسچالپ، همکاران، (۲۰۰۸) و هرتل و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت داشت (۱۳، ۱۲، ۱۰) (شکل ۱).

عملکردهای مدیریتی انسان در جنگل با تغییر در نرخ ورورد ماده آلی به خاک، فسادپذیری موادآلی، رژیم رطوبتی و حرارتی و سرعت تجزیه بر ذخیره کربن آلی خاک تاثیر می‌گذارد (۲۹). گرما یکی از عوامل تاثیرگذار بر تولید اولیه و تسریع تجزیه ماده آلی است که این خود منجر به تسریع بازگشت کربن می‌گردد (۹). درواقع برداشت درخت در جنگل شرایط لازم برای تجزیه (رطوبت و حرارت) را بهبود بخشیده و با ایجاد یک میکروکلیمای مطلوب، سرعت تجزیه را در پوشش‌کف مرده افزایش، و خاک را در معرض گرمای شدید و مستقیم خورشید قرار می‌دهد. بدین‌ترتیب هم ماده آلی روزمینی در اثر تجزیه سریع از بین می‌رود و ورود کربن را به خاک کاهش می‌دهد (۱۶، ۳۰، ۳۱) و هم ماده آلی خاک با افزایش دما و رطوبت، با سرعت زیاد معدنی شده و ذخیره کربن آلی خاک را کاهش می‌دهد (۹). برداشت درختان علاوه بر حرارت بر میزان ورود باران بر داخل جنگل تاثیر می‌گذارد که این دو عامل می‌توانند بر میزان تولید ریشه‌های مویین و سرعت بازگشت کربن (تجزیه ماده آلی خاک) تاثیر گذاشته و تعادل ذخیره کربن آلی خاک را تغییر دهند (۳۲). نقش بیومس ریشه‌های مویین در ذخیره کربن آلی خاک حتی مهم‌تر از لاشریزه است (۳۳). در اثر دخالت در توده، تراکم ریشه‌های مویین در خاک کاهش می‌یابد که منجر به آزاد سازی ریشه از رقابت دریافت عناصر غذایی (زنده مانی بیشتر و کاهش مرگ و میر) است (۳۴). تحت چنین شرایطی تراکم ریشه‌های مویین با طول عمر کوتاه و کارایی بالا در جذب (۳۵) کاهش می‌یابد که این فرایند سبب کاهش ورود کربن از طریق ریشه به خاک می‌گردد. کاهش تولید ریشه‌های مویین در اثر برداشت، به‌ویژه در سال‌های ابتدایی برداشت می‌تواند یکی دیگر از عوامل کاهش کربن خاک باشد (۱۳). تولید ریشه‌های مویین در ارتباط با تاج‌پوشش است (۳۶). با کاهش تراکم آشکوب زبرین و ایجاد روشنه (به‌ویژه روشنه‌های بزرگ)، اولین واکنش جنگل را می‌توان در کاهش ریشه‌های مویین آن مشاهده نمود (۳۷). علاوه بر کاهش تراکم و تولید ریشه‌های مویین، مرگ و میر و بازگشت این ریشه‌ها (عامل اصلی انتقال کربن آلی به ذخیره کربن آلی خاک) نیز تحت تاثیر دخالت انسان کاهش می‌یابد (۱۳). در واقع نرخ مرگ و میر در جنگل‌های طبیعی با افزایش دخالت، کاهش می‌یابد. لذا با توجه به جایگاه اصلی ریشه‌های مویین (بخش سطحی خاک) (۱۳)، کاهش کربن آلی خاک در این بخش (عمق مورد اندازه‌گیری ۲۰-۰ سانتی‌متر) در توده‌های مدیریت شده، می‌تواند قابل انتظار باشد. کاهش تولید لاشبرگ یکی دیگر از اثرات برداشت درختان و دخالت انسان در جنگل است (۱۳). لاشبرگ یکی از عوامل ورود کربن به ذخیره کربن آلی خاک است (۱۴) که به علت برداشت درختان در توده‌های مدیریت شده و باز شدن تاج‌پوشش، طبیعی است که از میزان تولید آن کاسته شود و از میزان ورود ماده آلی و کربن آلی به خاک تا حدی نسبت به توده مدیریت نشده کاسته شود. با توجه به برداشت‌هایی که در اثر نشانه‌گذاری در این توده‌ها انجام شده و بازشدن تاج در اشکوب بالا، کاهش کربن آلی خاک تحت تاثیر عوامل فوق، طبیعی به نظر می‌رسد. گرما، همچنین تنفس خاک را کمی بیشتر از تولید تحریک می‌نماید و نرخ بازگشت کربن به اتمسفر را بدین طریق افزایش می‌دهد (۳۸) که می‌تواند دلیل دیگر کاهش کربن آلی خاک در توده‌های مدیریت شده باشد. بسیاری از شیوه‌ها، با آشفتگی و آمیختگی لایه‌های خاک و در نهایت تسریع تجزیه مواد آلی (۳۹) و آزاد شدن کربن از آن همراه است. چنین آشفتگی در بعضی از نقاط در قطعات مورد

اندازه‌گیری به‌ویژه تیمار مدیریت شده ۱ وجود داشت که در اثر برداشت و کشیدن درختان قطع شده به بیرون از جنگل ایجاد شده بود.

کربن آلی بر اساس گرم در کیلوگرم (OC) (از طریق تجزیه بقایای گیاهان، جانوران، ترشحات ریشه بقایای مرده و زنده جانوران خاکزی وارد خاک می‌شود) یکی از عوامل اصلی در تعیین کربن آلی خاک (SOC) و ذخیره کربن آلی خاک (SOCP) است، نشان دهنده میزان حضور یا تراکم کربن آلی در یک کیلوگرم خاک است (شکل ۱، الف) که با وزن مخصوص ظاهری و عمق خاک (رابطه ۳)، کربن آلی خاک (نگهداری قسمت اعظم کربن آلی ورودی در خاک) حاصل می‌گردد (شکل ۱، ب). لذا میزان کربن آلی (گرم در کیلوگرم)، تاثیر مدیریت انسان بر توان رویشگاه در تولید ماده آلی و حفظ کربن در خاک را (از عوامل اصلی در تعیین کربن و ذخیره کربن آلی خاک در روابط ۳ و ۴)، بطور مستقیم نشان می‌دهد. در این بررسی بیشترین پتانسیل تولید و حفظ کربن در خاک به قطعه شاهد تعلق داشت که نشان از ظرفیت بالاتر این توده در تولید ماده آلی است.

پراکنش نقاط در نمودارهای ابر نقاط (بجز ماده آلی) از نظم خاصی پیروی نمی‌کند ولی بطورکلی متغیر وابسته ذخیره کربن آلی خاک با درصد سنگ و سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری، در بخش‌های ابتدایی از بیشترین مقدار خود برخوردار بود که با نتایج پری و کومیت (۲۰۰۷) و موند (۲۰۰۴) مطابقت داشت (۱۱، ۱۰) (شکل ۲). همچنین نمودار پراکنش نقاط ذخیره کربن آلی خاک با متغیر مستقل ماده آلی، نشان داد بیشترین میزان کربن در بخش ابتدایی و کمترین مقدار در بخش انتهایی نمودار وجود دارد که با نتیجه پری و کومیت (۲۰۰۷) مطابقت دارد (۱۱) (شکل ۲). بنابراین می‌توان گفت بیشترین مقدار ذخیره کربن آلی خاک در بخشی که ماده آلی بیشترین مقدار خود را دارد، مشاهده می‌شود. با توجه به همبستگی منفی معنی‌دار بین ماده آلی و درصد سنگ و سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری که با نتایج پری و کومیت (۲۰۰۷) مطابقت داشت (۱۱) (جدول ۳)، می‌توان یکی از دلایل اصلی تراکم بیشتر مقادیر بالای ذخیره کربن آلی خاک در مقادیر پایین درصد سنگ و سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری، کاهش ماده آلی دانست. درصد سنگ و سنگریزه بر خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه وزن مخصوص ظاهری و نفوذ آب در خاک تاثیر می‌گذارد (۴۰). لذا می‌توان گفت درصد سنگ و سنگریزه با تاثیری که بر افزایش نفوذپذیری آب در خاک دارد (۴۰)، میکروکلیمای خاک را برای فرایند تجزیه مطلوب‌تر نموده و با افزایش سرعت تجزیه، از میزان ذخیره کربن آلی خاک می‌کاهد. در تیمارهای با مدت زمان متفاوت گذشته از آخرین دخالت، اختلاف معنی دار مشاهده شده است (شکل ۱) (۱۵). بعد از تیمار شاهد که بیشترین مقدار کربن را در خود جای داده بود، تیمار مدیریت شده ۳ (۱۰ سال گذشته از آخرین دخالت) بیشترین مقدار کربن و تیمار مدیریت شده ۱ (۱سال گذشته از آخرین دخالت) کمترین مقدار را در خود جای دادند (شکل ۱، الف، ب، ج). اکوسیستم جنگلی جهت بازسازی و بهبود تغییرات ایجاد شده ناشی از فعالیت جنگل‌شناسی نیاز به زمان دارد. تاثیر این تغییرات در سال‌های ابتدایی بسیار پررنگ می‌باشد (۱۳) و با گذشت زمان و ترمیم خود، اثرات آن روند کاهشی به خود می‌گیرد. چنانچه در نتایج نیز مشهود است، کربن آلی خاک با گذشت زمان، در حال افزایش است تا به میزان هدف (کربن ذخیره شده در توده شاهد) برسد.

تسریع گرمایش جهانی تحت تاثیر بازگشت کربن از اکوسیستم خشکی مهم‌ترین عامل تغییر آب و هوا در آینده است (۴۱) که این روند گرمایش، با دخالت انسان در اکوسیستم‌های جنگلی که بیشترین پتانسیل را در ترسیب کربن اتمسفر دارد (۲۹) به شدت در حال افزایش است. فعالیت‌های جنگل‌شناسی در اکوسیستم‌های جنگلی به علت ویژگی‌های خاصی که این اکوسیستم دارد (عمر طولانی درختان در مقایسه با سایر اکوسیستم‌ها، تراکم بالای بیومس زنده، میکروکلیمای بسیار مطلوب و چرخه تقریبا بسته عناصر غذایی) می‌تواند ذخیره کربن موجود در آن را، سال‌ها تا چندین دهه تحت تاثیر قرار دهد (۱۰). طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق هر هکتار توده شاهد ۲۸۰/۰۲۱ تن دی اکسید کربن اتمسفر جو را جذب

نموده است تا بتواند ۷۶/۳ تن کربن آلی را در خاک خود ذخیره کند. توده‌های مدیریت شده ۱، ۲ و ۳ نیز به‌ترتیب ۱۲۴/۰۴۶، ۱۴۳/۴۹۷ و ۱۸۱/۲۹۸ تن دی اکسید کربن را از اتمسفر جذب نمودند[1]. با توجه به هزینه پالایش کربن اتمسفری به طریقه مصنوعی در امریکا که ۳۰۰-۱۰۰ دلار به ازای هرتن کربن می‌باشد (۴۳) ارزش اقتصادی ترسیب کربن توسط توده مدیریت نشده و توده‌های مدیریت شده ۱، ۲، ۳ با توجه به میزان SOCP (شکل ۱- ج)، به‌ترتیب ۱۵۲۶۰، ۶۷۴۰، ۷۸۲۰ و ۹۸۸۰ دلار به ازای هر هکتار خواهد بود.

محاسبه دی اکسید کربن جذب شده از اتمسفر توسط تیمارهای مورد مطالعه، نقش قابل توجه جنگل در گرمایش جهانی و اثرات سوء فعالیت‌های جنگل‌شناسی (حتی با برنامه‌ریزی) را به تصویر کشیده است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت شیوه گزینشی اگرچه شیوه‌ای است که در مجموع، تغییرات مثبتی در بخش روزمینی اکوسیستم ایجاد می‌کند ولی با تغییراتی که در عوامل موثر بر کربن در بخش روزمینی و به‌ویژه زیرزمینی ایجاد می‌نماید در سال‌های ابتدایی دخالت، منجر به کاهش شدید ذخیره کربن آلی در بخش زیرزمینی اکوسیستم می‌گردد. کاهش ذخیره کربن آلی خاک پایدار نیست و اکوسیستم با گذشت زمان، میزان کربن را به سمت میزان اولیه هدایت می‌کند. بنابراین در مدت ترمیم و تا زمان رسیدن ذخیره کربن به میزان اولیه (طول گردش ورود مجدد به توده)، نبایستی به اکوسیستم جنگلی مدیریت شده، وارد شد و به آن سیر قهقهرایی داد. بنابراین می‌توان گفت از آنجایی‌که بعد از گذشت ۱۰ سال، میزان ذخیره کربن، هنوز به میزان کربن موجود در توده شاهد نزدیک نشده و اختلاف معنی‌دار با آن دارد، به نظر می‌رسد طول گردش ۱۰ سال در شیوه گزینشی برای ترمیم بخش زیرزمینی و سایر عوامل موثر بر ذخیره کربن آلی خاک، کافی نبوده و بایستی بر طول گردش افزود. بنابراین انتظار می‌رود از دخالت‌های غیراصولی و غیر تخصصی در جنگل که منجر به آشفتگی خاک می‌گردد، جلوگیری شود و در مقابل سایر اکوسیستم‌ها از اکوسیستم‌های جنگلی (بویژه بخش خاک جنگل که مدت ماندگاری کربن در آن طولانی‌تر است)، حفاظت و مراقبت بیشتری به عمل آورده شود. همچنین با توجه به تاثیر ریشه‌های مویین بر کربن آلی خاک، توصیه می‌شود جهت دستیابی به نحوه اثرگذاری شیوه گزینشی بر تغییرات ماده آلی خاک، ریشه‌های مویین و لاشریزی نیز بررسی گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکترای تخصصی مصوب و دفاع شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان می‌باشد که نگارنده اول مقاله کمال تشکر را از حمایت‌های مالی و علمی این دانشگاه دارد.

منابع

1- Prentice, I. C., Farquhar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., 2003, The carbon cycle and atmospher-ic CO2. In: The Third Assessment Report of Intergovernmen-tal Panel on Climate Change (IPCC). Chapter 3, Cambridge University Press, Cambridge.

2- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D. W., Minkkinen, K., Byrne, K. A., 2007. How strongly can forest management influence soil

3- carbon sequestration? Geoderma, Vol.137, pp. 253–268.

4- Post, W. M., Pengh, T. H., Emanuel, W., King, A. W., Dale, V. H. and Delnglis., 1990, The global carbon cycle. American Science, Vol. 78, pp. 310-326.

5- Davidson, E. A., Trumbore, S. E., Amudson R., 2000, Soil warming and organic carbon content. Nature, Vol. 408, pp. 789-790.

6- Hudson, R.J.M., Gherini, S.A., Goldstein, R.A., 1994. Modeling the

۱ - میزان کربن ذخیره شده در خاک در۳/۶۷ (حاصل تقسیم جرم ملکولی دی اکسید کربن به جرم ملکولی کربن) ضرب می‌گردد تا میزان دی اکسید کربن ترسیب شده جو محاسبه گردد (۴۲).

global carbon cycle: nitrogen fertilization of the terrestrial biosphere and the ‘‘missing’’ CO2 sink. Global Biogeochemical Cycles, Vol. 8, pp. 307–333.

7- Raich, J.W., Schlesinger, W.H., 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, Vol. 44B, pp. 81–99.

۸- ورامش، سعید. حسینی، محسن و عبدی، نورالـه، تاثیر جنگلکاری با گونه‌های پهن‌برگ بر ترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر، مجله پژوهش‌های خاک، ۱۳۹۰، جلد ۲۵، شماره ۳.

9- Mallik, A., Hu, D., 1997. Soil respiration following site preparation treatments in boreal mixedwood forest. Forest Ecology and Management, Vol. 97, pp. 265–275.

10- Melillo, J. M., Steudler, P. A., Aber, J. D., Newkirk, K., Lux, H., Bowles, F. P. et al. 2002: Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. Science, Vol. 298, pp. 2173–2176.

11- Mund, M., 2004. Carbon pools European beech forests (Fagussylvitica) under different silvicultural management, Phd dissertation, Gottingen University, 263 p.

12- Perie, Ch., Quimet, R., 2007. Organic carbon, organic matter and bulk density relationship in boreal forest soil. Canadian Journal of Soil Science, pp. 315-325.

13- Schulp, C. J. E., Nabuurs, G., Veburg, P. H., de Waal, R. W., 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. Forest Ecology and management, Vol. 256, pp.482-490.

14- Hertel, D., Harteveld, A. M. Leuschner, C., 2009. Cnversion of tropical forest into agroforest alters fine root-related carbon flux to the soil. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 41, pp. 481-490.

15- Chang, Ch. T., Wang, Ch. P., Chou, Ch. Z. Duh, Ch. T., 2010. The importance of litter biomass in estimating soil organic carbon pools in natural forests of Taiwan. Taiwan. Journal of Forest Science, Vol. 25 (2), pp. 171-180.

16- Nave, L., Vance, E., Swanston, Ch., Curtis, P., 2010. Harvest impact on soil carbon storage in temperate forests. Forest Ecology and management, 259, pp. 857-866.

17- Abugre, S., Oti-Boateng, C., Yeboah, M. F., 2011. Litter fall and decomposition trend of jatrophacurcasL.leaves mulches under two environmental conditions. Agri. and Bio. J. of North America, Vol. 2(3), pp. 462-470.

18- Gelman, V., Hulkkonen, V., Kantola, R., Nousianen, M., Nousianen, V., Poku-Marboah, M., 2013. Impact of forest management practices on forest carbon. Interdisciplinary approach to forests and climate change. University of Helsinky., 20 pp.

19- Schlesinger, W. H. 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 8, pp. 51–81.

20- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). 1998. Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll:

Fortschritt Oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz. Sondergutachten. Bremerhaven, Germany. 76 p.

21- Hontoria, C., Rodriguez-Murillo, J. C., Saa, A., 1999. Relationship between soil organic carbon and site charactristics in peninsular Spain. Soil Science Society of American Journal, Vol. 63, pp. 614-621.

22- Wang. Y., Amundson R. and Trumbore. S. 1999. The impact of land use change on C turnover in soils. Global Biogeochem Cycles, Vol. 13(1), pp. 47-57.

۲۳- طرح تجدید نظر طرح جنگلداری سری یک دکتر بهرام نیا. ۱۳۸۷. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۴۸۱ صفحه.

24- Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, M., 1992 b. Metods of soil analysis, Part II, Chemical and microbiological metods. 2nd Ed. Soil Science American Journal, 1159 p.

25- Holey, France, 2013. The managing soil organic matter. Department of agriculture and food. Grain Research and Development cooperation (GRDC). Australia. 110 p.

26- IPCC. 2003, Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Publishers Institute for Global Environmental Strategies, Japan. 590 p.

27- Pothier, D. and Savard, F. 1998. Actualisation des tables de production. Gouvernement du Que´bec. Ministe`re des Ressources naturelles du Que´bec, Que´bec, QC. Publication RN98-3054. 183p.

28- Janzen, H. H., 2004. Carbon cycling in earth system: a soil science perspective. Agriculture Ecosystem Environment, Vol. 104, pp. 399-417.

29- Malhi, Y., Baldocchi, D. D., Jarvis, P. G., 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. Plant. Cell. Environ. 22, Vol. pp. 715-740.

30- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, Vol. 220, pp. 242–258.

31- Aussenac, G., 1987. Effets de l'èclaircie sur l'écophysiologie des peuplements forestiers. Schweizerische Zeitschrift fur Forstwesen, Vol. 138, pp. 685–700.

32- Vesterdal, L. M., Dalsgaard, C., Felby, K., Raulund-Rasmussen, B. Jorgensen. B, 1995. Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in the forest floor of Norway spruce stands. Forest Ecology and Management, Vol. 77, pp. 1-10.

33- Knoepp, D. J., Swank, T. W., 1997. Forest management effect on surface soil organic carbon and nitrogen. Soil Science Society of America Journal, Vol. 61, pp. 928-935.

34- Block, R. M. A., Van Rees, K. C. J., Knight, J. D., 2006. A review of fine root dynamics in Populus plantations. Agroforestry Systems, Vol. 76, pp. 73–84.

35- Bazzaz, F. A., Pickett, S. T. A., 1980. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. Annual Reviews in Ecology and Systematics, Vol. 11, pp. 287–310.

36- Wells, C. E., Eissenstat, D. M., 2001. Marked differences in survivorship among apple roots of different

diameters. Ecology, Vol. 82, pp. 882-892.

37- Sundarapandian, S. M., Chandrasekaran, S., Swamy, P.S., 1996. Influence of disturbance on

38- fine root biomass and productivity in two deciduous forests of Western Ghats Tamil Nadu. Current Science, Vol. 70, pp. 242–246.

39- Jones, R.H., Mitchell, R.J., Stevens, G.N., Pecot, S.D., 2003. Controls of fine root dynamics across a gradient of gap sizes in a pine woodland. Oecologia, Vol. 134, pp. 132–143.

40- Rustad, L., Campbell, J., Marion, G., Norby, R., Mitchell, M., Hartley, A., Cornelissen, J., Gurevitch, J., 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. Oecologia, Vol. 126, pp. 543–562.

41- Johansson, M.-B., 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 9, pp. 170–179.

42- Zoongiie, S., Yanhui, W., Pengtao, Y., Lihong, X., Wei, X., Hao, G., 2008. Effect of rock fragments on the percolation and evaporation of forest soil in Liupan Mountains, China, Acta Ecological Sinica, Vol. 28, pp. 6090-6098.

43- Woodwell, G. M., MacKenzie, F. T., Eds., Biotic Feedbacks in the Global Climatic System: Will the Warming Feedthe Warming? (Oxford Univ. Press, New York, 1995), pp. 3–21. Roots of different diameters. Ecology, Vol. 82, pp. 882–892.

44- Colombo, J. S., Parker, C. W., Luckai, N., Dang, Q., Cai, T., 2008. The effects of forest management on carbon storage in Ontario، s forests. CCRR-03. Ontario. Canada. Applied Research and Development, 139 p.

45- 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.