

## تأثیر جنگل کاری پهن برگ و سوزنی برگ بر میزان ذخیره کربن خاک در جنگل برنجستانک استان مازندران

حمید جلیوند<sup>۱</sup>، زینب جعفریان<sup>۲\*</sup>، مجید یوسفی<sup>۳</sup>

۱. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. کارشناس ارشد جنگل داری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۱۰)

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر جنگل کاری بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌ویژه ذخیره کربن خاک در جنگل برنجستانک انجام شده است. جنگل کاری‌ها شامل افرا پلت (*Acer velutinum Boiss.*)، زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior L.*)، صنوبر تبریزی (*Populus nigra L.*) و کاج بروسیا (*Pinus brutia Ten.*) بودند. یک جنگل شاهد با گونه‌های آمیخته نیز به‌منزله پتانسیل منطقه انتخاب شد. چهار پروفیل خاک در هر تیپ جنگل کاری و جنگل شاهد به‌طور تصادفی حفر و از هر پروفیل سه نمونه خاک از عمق‌های ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. در آزمایشگاه عوامل خاکی شامل وزن مخصوص ظاهری، درصد رطوبت اشباع خاک، اسیدیته، نیتروژن، پتاسیم قابل جذب، کلسیم و منیزیم قابل جذب، کربن آلی و ذخیره کربن خاک اندازه‌گیری شدند. برای بررسی اثر تیپ جنگل و عمق خاک بر ویژگی‌ها و توان ذخیره کربن خاک، تجزیه واریانس دوطرفه انجام شد. از آنجاکه اثر متقابل رویشگاه در عمق خاک در هیچ ویژگی معنادار نشد، مقایسه میانگین ویژگی‌های خاکی بین پنج رویشگاه و سه عمق خاک به‌طور جداگانه به کمک آزمون دانکن انجام گرفت. برای بررسی دقیق‌تر توان ذخیره کربن، همبستگی بین میزان ذخیره کربن با دیگر ویژگی‌های خاک در هر رویشگاه جداگانه محاسبه و سپس الگوی رگرسیونی ذخیره کربن پنج رویشگاه با روش گام‌به‌گام پس‌رونده تعیین شد. در رویشگاه شاهد ذخیره کربن خاک با نیتروژن، در رویشگاه افرا و زبان گنجشک با کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری، در رویشگاه کاج با کربن آلی و در رویشگاه صنوبر تبریزی با منیزیم همبستگی بیشتری داشته است. نتایج نشان داد که رویشگاه و عمق اثر معناداری بر میزان ذخیره کربن خاک داشتند. همچنین عمق اول بیشترین میزان ذخیره را داشت و دو عمق دیگر خاک ذخیره کمتری داشتند و با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند. میزان ذخیره کربن در رویشگاه زبان گنجشک بیشترین و صنوبر تبریزی کمترین بوده است.

**کلیدواژه‌ها:** پهن‌برگ، جنگل کاری، ذخیره کربن، سوزنی‌برگ، ویژگی‌های خاک.

## ۱. مقدمه

برای ترسیب کربن مهیا کند. Woomer و همکاران (2004) طی مطالعاتی در کشور سنگال بر روی میزان کربن ذخیره شده در گیاه و خاک در ۵ تیمار شامل اراضی مخلوط علفی-بوته، علفزار، اراضی بوته‌ای و درختی بیان کردند که حدود ۶۰ درصد از کربن آلی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک ذخیره شده است. بیش از ۹۷ درصد از کل ترسیب کربن را کربن آلی خاک تشکیل می‌دهد. تخریب خاک، به کاهش حاصل‌خیزی، کاهش مقدار و کیفیت زی‌توده برگشتی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌انجامد (Lal, 2004). افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن در ترسیب کربن در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای شود (Lal, 2001). سطوح کربن خاک جنگل، حاصل تعادل میان نهاده‌ها (بقایای گیاهان) و ستاده‌هایی (تجزیه میکروبی، آتش‌سوزی، فرسایش و آبشویی) است که به وسیله اقلیم، رژیم‌های آشفستگی، ترکیب جامعه گیاهی و میکروارگانیسم‌ها و زمان تغییر می‌یابد (Jenny, 1994). بنابراین، افزایش ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی در فرایندی طولانی انجام می‌شود که به همین دلیل باید مناطق تخریب‌یافته و بخش‌های بازشده جنگل را جنگل‌کاری یا بذرپاشی کرد تا در بلندمدت ذخیره و ترسیب کربن انجام پذیرد. جنگل‌کاری در اراضی بایر و تخریب‌شده و مدیریت بهینه آن، اثر زیادی بر ترسیب کربن خاک خواهد داشت (Veldkamp, 2001; Laclau, 2003). به عبارت دیگر، تشخیص شرایط خاک و فعالیت‌های مدیریتی چون جنگل‌کاری که تراکم و بقای کربن را افزایش می‌دهند، کار دشواری است (Busse et al., 2009). وسعت زمین‌های بایر و رهاشده در جهان حدود یک میلیارد هکتار است و اگر تولید در این عرصه‌ها سالانه ۱۲ تن ماده خشک در هکتار فرض شود (معادل ۶ تن کربن در هکتار در سال) حدود ۵ گیگاتن کربن در سال جذب خواهد شد (Birdsey, 1992). پس برای حفظ غلظت فعلی گاز کربنیک در هوا لازم است ۶۰ درصد مقدار آن کاهش یابد

شناخت ویژگی‌های خاک یکی از پایه‌های مدیریت جنگل است که بسیاری از گزینه‌های جنگل‌شناسی از جمله انتخاب گونه، تعیین حاصل‌خیزی رویشگاه، نرخ رویش توده و میزان سطح ذخیره‌گاه لازم در جنگل، پیش‌بینی درصد زنده‌مانی و رشد نهال‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین خاک‌ها بزرگ‌ترین مخازن چرخه کربن در خشکی هستند و حدود سه برابر پوشش گیاهی و دو برابر نسبت به میزان موجود در اتمسفر، کربن بیشتری را شامل می‌شوند (Batjes, 1996). با افزایش گازهای گلخانه‌ای زمین در حال گرم‌تر شدن است و گرم‌شدن هوا اثرات مخربی بر حیات موجودات دارد و سبب تخریب بوم‌سازگان‌های طبیعی، وقوع سیل و خشک‌سالی و برهم خوردن تعادل اقلیمی و بوم‌شناختی می‌شود (Abdi et al., 2008). در کنار کاهش انتشار سوخت‌های فسیلی، کاهش گاز کربنیک نیواری با ترسیب کربن در بوم‌سازگان‌های طبیعی مانند جنگل‌ها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش گازهای گلخانه‌ای و گرم‌شدن زمین ایفا کند. کربن در بخش‌های مختلف بوم‌سازگان‌های جنگلی قابل ترسیب است که مهم‌ترین آن‌ها خاک است (Schlesinger, 1999). هر ساله مقدار زیادی کربن (بیش از ۱۰۰ بلیون تن) در مقیاس جهانی ترسیب می‌شود که ذخیره کربن آلی خاک یکی از ذخایر بزرگ کربن در سطح زمین است، به طوری که این مقدار حدود ۱۵۰۰ گیگا تن برآورد شده است (Amundson, 2001). ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک‌هایی که تحت این زی‌توده هستند ساده‌ترین و از نظر اقتصادی عملی‌ترین راه کار ممکن برای کاهش Co2 اتمسفری است (Feruzeh et al., 2008).

McCarty & Ritcher (2000) به بررسی اثر عملیات مدیریت خاک بر ترسیب کربن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدیریت منابع خاکی به‌ویژه کنترل فرسایش و رسوب می‌تواند شرایط را

در هر کشور و منطقه‌ای گونه‌های مناسب بررسی و انتخاب شوند. هدف پژوهش حاضر مطالعه و مقایسه اثر چند جنگل کاری بر ویژگی‌های مهم خاک از جمله ترسیب کربن در شمال ایران بود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. منطقه مطالعه شده

جنگل‌های برنجستانک در جنوب شهر قائم‌شهر در محدوده جغرافیایی "۳۰° ۲۳' ۳۰" شمالی و ۳۰° ۵۴' ۵۲" شرقی واقع شده است. مطالعه حاضر در چهار قطعه جنگل کاری شده در ۲۴ سال قبل با مساحت ۴۲ هکتار که با جنگل طبیعی مخلوط احاطه شده انجام شد. جنگل کاری‌ها شامل افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior* L.)، صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.) و کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) هستند. دامنه ارتفاعی در جنگل کاری‌ها از ۱۸۰ تا ۲۲۰ متر است و شیب آن‌ها از ۰ تا ۳۰ درصد متغیر است. میانگین بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۱۰۴۳/۶ میلی‌متر و ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک از نیمه سنگین (لومی رسی) تا سنگین (رسی و رسی سیلتی) با زهکشی ضعیف و اسیدیته از ۵/۹ تا ۷/۷ متغیر است (طرح جنگل‌داری سری برنجستانک، ۱۳۷۵ و ۱۹۹۶). ویژگی‌های عمومی رویشگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

که مخارج لازم برای این کار در طول یک دوره ۹۰ ساله حدود ۵۲۰ میلیارد دلار خواهد بود و در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل کاری می‌توان علاوه بر تولید فضای سبز و چوب و سایر مزایای جنگل به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز نائل آمد (Barnes et al., 1998). در این راستا، بسیاری از پژوهشگران افزایش چشم‌گیر ترسیب کربن خاک تحت پوشش جنگل کاری‌ها را گزارش کرده‌اند (Cheng et al., 2007; Xiao - Wen et al., 2009; Varamesh et al., 2010, 2011). Varamesh (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر جنگل کاری با گونه‌های پهن برگ بر میزان ترسیب کربن خاک در پارک جنگلی چیتگر پرداختند و نشان دادند که این جنگل کاری‌ها سبب افزایش میزان ترسیب کربن شده است. Nobakht و همکاران در سال ۲۰۱۱ با مقایسه میزان ترسیب کربن در جنگل کاری سوزنی برگ با پهن برگ به این نتیجه رسیدند که جنگل کاری سوزنی برگ سبب افزایش بیشتر ترسیب کربن می‌شود. بنابراین، جنگل کاری در مناطق تخریب یافته به منزله راه کار مدیریتی برای احیای پوشش گیاهی و جلوگیری از هدررفت خاک و تولید رواناب و رسوب در نتیجه حفظ خاک و همچنین راه کاری برای ترسیب بیشتر کربن جهت کمک به کاهش گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن تغییر اقلیم در مقیاس جهانی قابل طرح است و در این راستا باید

جدول ۱. ویژگی‌های توپوگرافی و درصد تاج پوشش رویشگاه‌های مطالعه شده

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	جهت	شیب (%)	تاج پوشش (%)
شاهد (جنگل طبیعی)	۲۱۰	جنوبی	۱۰	۷۰
افرا	۲۱۰	غربی	۱۵	۸۰
زبان گنجشک	۲۰۰	جنوبی	۱۰	۸۵
کاج بروسیا	۲۰۰	جنوب غرب	۱۵	۸۰
صنوبر تبریزی	۱۹۴	جنوب غرب	۷	۷۵

## ۲.۲. نمونه برداری و آزمایش های خاک

تعداد چهار پروفیل خاک در چهار نقطه از هر تیپ جنگل کاری و جنگل شاهد به طور تصادفی حفر و از هر پروفیل سه نمونه خاک حدوداً یک کیلوگرمی از عمق های ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی متری (در مجموع ۶۰ نمونه) برداشت شد. سعی شد تا مکان پروفیل ها در هر تیپ از نظر ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و درصد آن تا حد ممکن شبیه باشند. نمونه ها در ارتفاع ۲۰۰ متری هر تیپ و از نقاط تصادفی برداشت شدند. نمونه های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه ابتدا در معرض هوا خشک شدند و بعد از جدا کردن ریشه ها، سنگ ها و سایر ناخالصی ها آسیاب و با الک دو میلی متری، الک شدند. عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری با روش استوانه نمونه گیری با حجم ثابت، درصد رطوبت اشباع خاک، اسیدیته به کمک آب مقطر، نیتروژن به روش کجلدال، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم، کلسیم و منیزیم قابل جذب به روش جذب اتمی و کربن آلی به روش والکی بلاک اندازه گیری شدند.

### اندازه گیری ذخیره کربن خاک

برای محاسبه میزان ذخیره کربن خاک بر حسب گرم در هر مترمربع از رابطه ۱ استفاده شد (Mahmoudi Taleghani et al., 2007).

$$Cc = 10000 \times C (\%) \times BD \times E \quad (1)$$

که در این رابطه Cc: میزان وزن کربن ذخیره شده در سطح یک مترمربع، C: درصد کربن اندازه گیری شده، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و E عمق نمونه برداری خاک بر حسب سانتی متر است. مهم ترین آماره های توصیفی ویژگی های خاک منطقه مطالعه شده در جدول ۲ آمده است.

### ۳.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده ها

برای بررسی اثر نوع رویشگاه (تیپ جنگل) و عمق خاک بر ویژگی ها و توان ذخیره کربن خاک، تجزیه واریانس دوطرفه انجام شد. از آنجا که اثر متقابل رویشگاه در عمق خاک در مورد هیچ ویژگی معنادار نشد، مقایسه میانگین ویژگی های خاکی بین پنج رویشگاه و سه عمق خاک به طور جداگانه به کمک آزمون دانکن انجام گرفت. برای بررسی دقیق تر توان ذخیره کربن، همبستگی بین میزان ذخیره کربن با دیگر ویژگی های خاک در هر رویشگاه جداگانه محاسبه و سپس الگوی رگرسیونی ذخیره کربن پنج رویشگاه با روش گام به گام پس رونده تعیین شد. در پایان نکویی برآزش الگوها به صورت پلات های پراکنش نقاط برآوردی توسط الگو نشان داده شد.

جدول ۲. آماره های توصیفی ویژگی های خاک در منطقه مطالعه شده

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین
ترسیب کربن (درصد)	۰/۵۶	۵۹/۱۵	۱۷/۵۲ ± ۱/۶۳
اسیدیته (pH)	۵/۵۹	۶/۶۸	۶/۲۵۳ ± ۰/۰۳۷
رطوبت اشباع (درصد)	۵۱	۹۸	۶۶/۲۱۶ ± ۱/۵۱۳
کربن آلی (درصد)	۰/۰۴	۶/۵	۱/۵۳۶ ± ۰/۱۵۸
نیتروژن (درصد)	۰/۰۲	۰/۵۴	۰/۱۲۸ ± ۰/۰۱۳
پتاسیم (قسمت در میلیون)	۶۰/۷	۱۰۲۹/۲	۸۲۱۷/۳۸ ± ۲۳/۸۶۲
منیزیم (قسمت در میلیون)	۱۲۲/۸	۶۴۴	۳۰۹/۲۰۳ ± ۱۵۸/۴۸۷
کلسیم (قسمت در میلیون)	۱۷۸۶/۴	۱۷۴۲۰	۳۴۸۳/۴۷۳ ± ۱۳/۴۸۴
وزن مخصوص ظاهری به عدد	۰/۸۵	۱/۵۲	۱/۲۶۲ ± ۰/۰۲۲

اعداد بعد از ± اشتباه معیار است.

## ۳. نتایج

مورد هیچ ویژگی معنادار نشده است (جدول ۳). با انجام آزمون دانکن مشخص شد که درصد رطوبت اشباع، میزان کربن آلی و نیتروژن، پتاسیم و کلسیم قابل جذب در عمق اول بیشترین مقدار بوده و با دو عمق دیگر تفاوت معناداری در سطح پنج درصد داشته است؛ ولی دو عمق دیگر خاک از نظر این عوامل با یکدیگر تفاوت معناداری نداشته‌اند. در مورد وزن مخصوص ظاهری نیز مقدار آن در عمق اول کمترین و در دو عمق دیگر تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۴). اسیدیته و منیزیم در سه عمق خاک تفاوت معناداری نداشتند.

## ۱.۳. نتایج تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های

## مطالعه شده خاک

همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد، رویشگاه‌ها از نظر میزان پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل جذب همچنین وزن مخصوص ظاهری تفاوت معنادار داشتند. عمق‌های مختلف خاک نیز از نظر میزان رطوبت اشباع، میزان کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم و کلسیم قابل جذب همچنین وزن مخصوص ظاهری تفاوت معنادار داشتند. اثر متقابل رویشگاه در عمق خاک در

جدول ۳. تجزیه واریانس دوطرفه عوامل خاکی با توجه به درجه آزادی و مقدار F در پنج رویشگاه مطالعه شده

منبع تغییر	درجه آزادی	اسیدیته	رطوبت اشباع (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (قسمت در میلیون)	منیزیم (قسمت در میلیون)	کلسیم (قسمت در میلیون)	وزن مخصوص ظاهری
رویشگاه	۴	ns ۱/۲۱۶	ns ۰/۹۲۳	ns ۲/۰۶	ns ۱/۸۷	*۳/۵۶۵	*۷/۴۹	*۱۸/۲۲	*۴/۴۰۳
عمق خاک	۲	ns ۱/۰۱۴	*۲۱/۸۵۴	*۲۳/۰۶	*۲۵/۱۵	*۴/۸۵۵	ns ۰/۲۵	*۱۸/۷۹۱	*۳۶/۶۸۹
رویشگاه × عمق خاک	۸	ns ۰/۲۸۶	ns ۱/۱۴۱	ns ۱/۲۵	ns ۱/۵۱	ns ۰/۴۴۳	ns ۱/۵۶	ns ۱/۴۴	ns ۱/۸۹۸
ضریب تغییرات		۴/۵۶	۱۷/۶۹	۲۰/۶	۱۹/۲	۲/۲۴۹	۱۳/۶۵	۱۰/۱۳	۱۳/۶۶۸
ضریب تبیین		۰/۱۶۹	۰/۵۵۶	۰/۵۸۸	۰/۶۰۸	۰/۵۳۸	۰/۷۲۷	۰/۴۸۸	۰/۶۹۱

جدول ۴. مقایسه میانگین عوامل خاکی در سه عمق خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	رطوبت اشباع (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن به درصد	پتاسیم (قسمت در میلیون)	کلسیم (قسمت در میلیون)	وزن مخصوص ظاهری
۱۰-۰	a۷۶/۸	a۲/۶۶۲	a۰/۲۲۲	a۳۱۱/۹۵	a۴۲۸۳/۷۱	b۱/۰۹۷
۲۰-۱۰	b۶۲/۷	b۱/۱۱	b۰/۰۹۳	b۱۶۳/۸۲	b۳۰۲۵/۴۴	a۱/۳۲
۳۰-۲۰	b۵۹/۱۵	b۰/۸۳۷	b۰/۰۷۱	b۱۷۶/۳۷	b۳۱۴۱/۲۷	a۱/۳۷۱

داشتند. میزان کلسیم بین رویشگاه‌های مختلف متفاوت بود و تنها دو رویشگاه افرا و کاج بروسیا با هم تفاوت معناداری از نظر کلسیم نداشتند. بیشترین میزان کلسیم مربوط به رویشگاه شاهد و

همچنین آزمون دانکن نشان داد که میزان پتاسیم در رویشگاه افرا بیشترین مقدار بود و با رویشگاه شاهد تفاوت معناداری نداشت اما این دو رویشگاه با سه رویشگاه دیگر اختلاف معناداری

### ۲.۳. نتایج تجزیه و تحلیل آماری ذخیره

#### کربن خاک

از آنجاکه هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی ذخیره کربن خاک در رویشگاه‌های مطالعه شده بود، بنابراین، بررسی دقیق‌تری بر روی آن صورت گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رویشگاه و عمق اثر معناداری بر میزان ذخیره کربن خاک داشتند به این معنا که میزان ذخیره کربن در رویشگاه‌ها و عمق‌های مختلف متفاوت بود؛ ولی اثر متقابل رویشگاه در عمق معنادار نشد (جدول ۶).

مقایسه میانگین ذخیره کربن در سه عمق خاک نشان داد که عمق اول بیشترین میزان ذخیره را داشت و دو عمق دیگر خاک ذخیره کمتری داشتند و با یکدیگر تفاوت معناداری نداشتند اما با عمق اول خاک از نظر ذخیره کربن متفاوت بودند (جدول ۷).

کمترین میزان آن مربوط به رویشگاه زبان گنجشک بود. بیشترین میزان منیزیم مربوط به رویشگاه افرا بود که با رویشگاه زبان گنجشک اختلاف معناداری نداشت و کمترین میزان آن مربوط به رویشگاه شاهد بود که با رویشگاه صنوبر تیریزی اختلاف معناداری نداشت. همچنین بین رویشگاه‌های صنوبر تیریزی و زبان گنجشک نیز اختلافی از این نظر مشاهده نشد. با کمک آزمون دانکن رویشگاه‌ها از نظر وزن مخصوص ظاهری در دو گروه قرار گرفتند. رویشگاه‌های شاهد، افرا و زبان گنجشک اختلاف معناداری از این نظر نداشتند و با دو رویشگاه دیگر تفاوت معناداری نداشتند (جدول ۵). شایان ذکر است که معناداری‌ها در سطح پنج درصد بررسی شدند. ویژگی‌های دیگر شامل اسیدیته، رطوبت اشباع، کربن آلی و نیتروژن تفاوت معناداری را بین پنج رویشگاه نشان ندادند.

جدول ۵. مقایسه میانگین عوامل خاکی در پنج رویشگاه مطالعه شده

منبع تغییرات	درجه آزادی	F مقدار
رویشگاه	۴	*۲/۷۸
عمق خاک	۲	*۹/۶۹
رویشگاه × عمق خاک	۸	<sup>ns</sup> ۱/۶۷
ضریب تغییرات		۵/۸۷۸
ضریب تبیین		۰/۴۹۳

جدول ۶. تجزیه واریانس دوطرفه ذخیره کربن خاک در پنج رویشگاه مطالعه شده

رویشگاه	پتاسیم (قسمت در میلیون)	کلسیم (قسمت در میلیون)	منیزیم (قسمت در میلیون)	وزن مخصوص ظاهری
شاهد	a۲۹۹/۱۶۶	a۴۸۷۰/۱۳۳	c۲۳۲/۲۵۰	a۱/۲۸۳
افرا	a۳۳۰/۳۰۸	cd۲۹۳۰/۶۶۷	a۴۰۴/۶۰	a۱/۳۲۰
زبان گنجشک	b۱۵۹/۱۵۸	d۲۵۴۵/۶۶۷	ab۳۲۸/۸۰	a۱/۳۱۲
کاج بروسیا	b۱۲۸/۰۵	bc۳۲۹۸/۳۱۷	b۲۹۹/۱۰	b۱/۲۳۴
صنوبر تیریزی	b۱۷۰/۲۱۷	b۳۷۷۲/۵۸۳	bc۲۷۱/۱۶۷	b۱/۱۶۳

اشباع، کربن آلی و نیتروژن، کلسیم و وزن مخصوص ظاهری در سطح یک درصد و با پتاسیم در سطح پنج درصد همبستگی معناداری نشان داد. میزان ذخیره کربن در رویشگاه کاج بروسیا رطوبت اشباع، کربن آلی و نیتروژن در سطح یک درصد همبستگی داشت و در رویشگاه صنوبر با اسیدیت و منیزیم در سطح پنج درصد همبستگی معناداری نشان داد (جدول ۷).

نتایج بررسی همبستگی‌ها نشان داد که در رویشگاه شاهد ذخیره کربن خاک با کربن آلی و نیتروژن همبستگی معناداری در سطح پنج درصد نشان داد. ذخیره کربن خاک در رویشگاه افرا با رطوبت اشباع، کربن آلی و نیتروژن در سطح یک درصد و با کلسیم و وزن مخصوص ظاهری در سطح پنج درصد همبستگی داشت. در رویشگاه زبان گنجشک میزان ذخیره کربن خاک با رطوبت

جدول ۷. مقایسه میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) ذخیره کربن بین پنج رویشگاه و سه عمق خاک مطالعه شده

رویشگاه	عمق خاک به سانتی متر	میانگین	میانگین سه عمق	کل ترسیب کربن به تن در هکتار
شاهد	۱۰-۰	۳۴/۶۶۷ ( $\pm ۲۰/۷۰۴$ )		۵۰/۳۸۵
	۲۰-۱۰	۸/۱۳۴ ( $\pm ۳/۷۷۸$ )		
	۳۰-۲۰	۷/۵۸۴ ( $\pm ۱/۵۳۸$ )	۱۶/۷۹۵ ( $\pm ۱۷/۱۹۶$ )ab	
افرا	۱۰-۰	۲۷/۹۴۵ ( $\pm ۱۵/۲۹۹$ )		۴۴/۸۴۳
	۲۰-۱۰	۶/۰۰۴ ( $\pm ۱/۵۰۵$ )		
	۳۰-۲۰	۱۰/۸۹۴ ( $\pm ۱۲/۵۲۹$ )	۱۴/۹۴۸ ( $\pm ۱۴/۲۷۴$ )ab	
زبان گنجشک	۱۰-۰	۳۴/۰۲۷ ( $\pm ۵/۰۵۳$ )		۶۷/۰۳۴
	۲۰-۱۰	۱۶/۸۲۲ ( $\pm ۱/۶۵۷$ )		
	۳۰-۲۰	۱۶/۱۸۵ ( $\pm ۱۳/۸۲۳$ )	۲۲/۳۴۵ ( $\pm ۱۱/۵۲۰$ )a	
کاج بروسیا	۱۰-۰	۲۸/۳۳۱ ( $\pm ۳/۵۲۲$ )		۶۲/۵۵۴
	۲۰-۱۰	۲۴/۳۸۸ ( $\pm ۹/۸۱۱$ )		
	۳۰-۲۰	۹/۸۳۵ ( $\pm ۴/۷۹۴$ )	۲۰/۸۵۱ ( $\pm ۱۰/۲۴۳$ ) ab	
صنوبر تبریزی	۱۰-۰	۱۱/۵۶۸ ( $\pm ۹/۴۱۱$ )		۳۸/۰۳۷
	۲۰-۱۰	۱۴/۳۷۲ ( $\pm ۷/۰۱۱$ )		
	۳۰-۲۰	۱۲/۰۹۷ ( $\pm ۴/۰۲۷$ )	۱۲/۶۷۹ ( $\pm ۶/۶۰۲$ )b	
میانگین هر عمق	۱۰-۰	۲۷/۳۰۷ ( $\pm ۴/۰۷۰$ )a		۲۶۳/۱۵۹
	۲۰-۱۰	۱۳/۹۴۴ ( $\pm ۸/۴۳۳$ )b		
	۳۰-۲۰	۱۱/۳۱۹ ( $\pm ۸/۳۷۱$ )b	۱۷/۵۲۳ ( $\pm ۱۲/۶۱۲$ )	

جدول ۸. همبستگی ذخیره کربن خاک با ویژگی‌های دیگر خاکی در پنج رویشگاه مطالعه‌شده

رویشگاه	اسیدیته (pH)	رطوبت (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	پتاسیم (درصد)	کلسیم (قسمت در میلیون)	منیزیم (قسمت در میلیون)	ظاهری وزن مخصوص
شاهد	ns_0/053	ns_0/476	*_0/689	*_0/692	ns_0/113	ns_0/392	ns_0/001	ns_0/385
افرا	ns_0/111	**_0/923	**_0/995	**_0/991	ns_0/217	*_0/618	ns_0/034	*_0/697
زبان گنجشک	ns_0/077	**_0/889	**_0/973	**_0/974	*_0/660	**_0/909	ns_0/341	**_0/712
کاج پروسیا	ns_0/133	**_0/824	**_0/920	**_0/917	ns_0/561	ns_0/358	ns_0/208	ns_0/201
صنوبر تبریزی	*_0/643	ns_0/011	ns_0/128	ns_0/136	ns_0/180	ns_0/072	*_0/662	ns_0/423

میزان کربن آلی و در رویشگاه صنوبر تبریزی، با میزان منیزیم قابل پیش بینی است (جدول ۸). الگوهای رگرسیونی رویشگاه‌های شاهد، افرا و زبان گنجشک در سطح یک درصد و بقیه الگوها در سطح پنج درصد معنادار شدند. طبیعتاً این الگوها ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) زیادتر و انحراف معیار خطای (RMSE) کمتری نیز داشتند.

الگوهای رگرسیونی بین ذخیره کربن خاک و ویژگی‌های خاکی همبسته با آن، در رویشگاه‌های مطالعه‌شده در جدول ذیل آمده است. همان‌طوری که دیده می‌شود میزان ذخیره کربن خاک در رویشگاه شاهد، با میزان نیتروژن، در رویشگاه‌های افرا و زبان گنجشک، با میزان کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری، در رویشگاه کاج پروسیا، با

جدول ۹. الگوهای رگرسیونی ذخیره کربن خاک در ارتباط با عوامل خاکی مطالعه‌شده در پنج رویشگاه مطالعه‌شده

رویشگاه	درجه آزادی	R <sup>2</sup> الگو	R <sup>2</sup> تطبیقی	RMSE	مقدار F	الگو
شاهد	۱	0/974	0/971	2/917	372/223**	CS1 = 2/323 + 111/328 N
افرا	۲	0/994	0/992	1/256	705/051**	CS2 = - 10/236 + 12/032 OC + 7/908 BD
زبان گنجشک	۲	0/982	0/979	1/696	252/172**	CS3 = - 34/607 + 13/45 OC + 24/868 BD
کاج پروسیا	۱	0/846	0/831	4/215	54/951*	CS4 = 4/139 + 9/551 OC
صنوبر تبریزی	۱	0/438	0/382	5/19	7/805*	CS5 = 34/952 - 0/082 Mg

باشد برآورد دقیق‌تر خواهد بود. مطابق شکل ۱ بهترین برازش در الگوی رویشگاه زبان گنجشک دیده می‌شود (محور افقی مربوط به داده‌های مشاهده‌ای و محور عمودی مربوط به داده‌های برآوردی میزان ذخیره کربن از معادله رگرسیونی و به تن در هکتار هستند).

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

شناخت ویژگی‌های خاک یکی از پایه‌های اصلی مدیریت پایدار جنگل است که بسیاری از

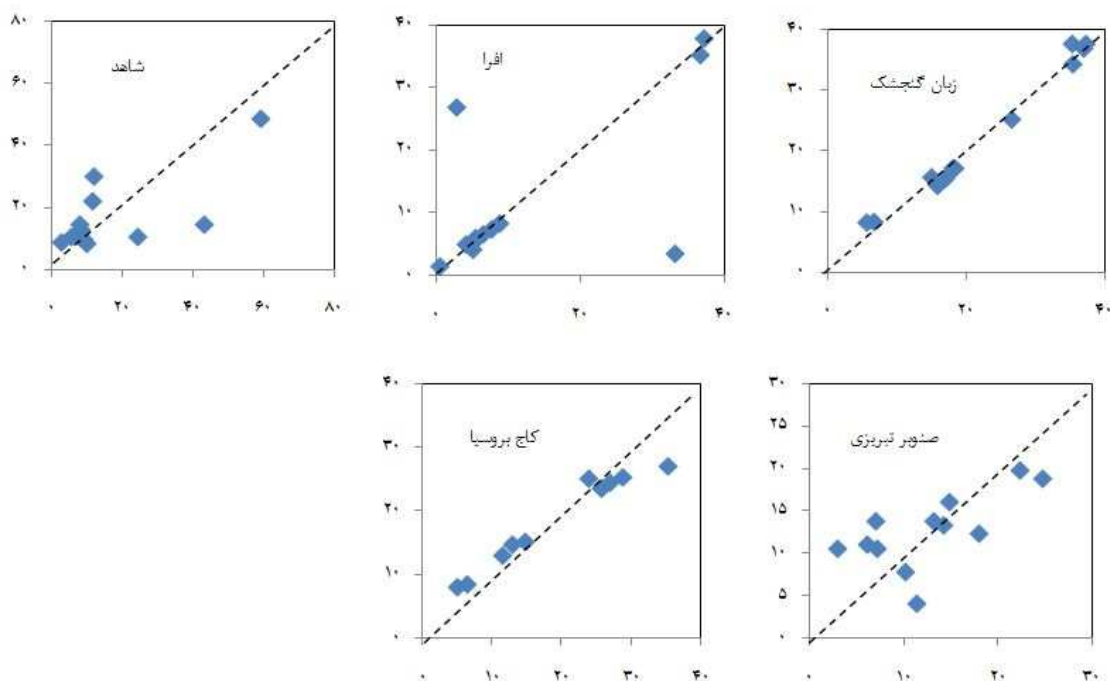
نیكویی برازش الگوهای رگرسیونی ذخیره کربن در رویشگاه‌ها در شکل زیر نشان داده شده است. اگر نقاط روی خط باشند الگو قوی‌تر خواهد بود و نشان‌دهنده این است که میزان برآوردی ذخیره کربن با کمک الگوی رگرسیونی با میزان واقعی آن برابر است. نقاط بالای خط نشان‌دهنده برآورد بیشتر از میزان واقعی و نقاط پایین خط نشان‌دهنده برآورد کمتر از میزان واقعی است و فاصله نقاط تا خط نشان‌دهنده فاصله میزان برآوردی با واقعی است. هرچه این فاصله کمتر



تبریزی سبب افزایش معناداری در توان ذخیره کربن خاک نسبت به منطقه شاهد شده است. Nobakht و همکاران (2011) و Varamesh و همکاران (2010) نشان دادند که جنگل کاری با گونه سوزنی برگ پیسه آ و گونه پهن برگ اقاچیا سبب افزایش ذخیره کربن خاک می شود. میزان ذخیره کربن خاک با بسیاری از عوامل از جمله درصد پوشش گیاهی، نوع گونه های گیاهی، نوع کاربری اراضی، مقدار و نوع لاشبرگ و نحوه مدیریت ارتباط دارد (Singh et al., 2003). گونه های سوزنی برگ با افزایش تراکم لاشبرگ در سطح خاک تأثیر مثبتی در میزان ذخیره کربن خاک دارند بنابراین، ورود این گونه ها در توده های پهن برگ سبب افزایش میزان کربن آلی خاک می شود (Cannel & Dewar, 1993). Paul و همکاران (2002) در پژوهش خود اظهار داشتند که ذخیره کربن خاک زمانی که گونه های پهن برگ خزان کننده یا گونه های تثبیت کننده ازت کاشته شوند، افزایش می یابد.

گزینه های جنگل شناسی از جمله انتخاب گونه، تعیین حاصل خیزی رویشگاه، نرخ رویش توده و میزان سطح ذخیره لازم در جنگل، پیش بینی درصد زندهمانی و رشد نهال ها را تحت تأثیر قرار می دهد (Aliarab et al., 2005).

مطالعاتی که تا کنون در زمینه ذخیره کربن خاک در توده های مختلف جنگلی صورت گرفته نشان داده است که گونه های مختلف درختی تأثیر زیاد و متفاوتی بر میزان ذخیره کربن خاک دارند (Varamesh et al., 2010; Nobakht et al., 2011; Schulp et al., 2008; Augusto et al., 2002). Dinakaran & Krishnayya (2008) معتقدند که نوع پوشش تأثیر معناداری بر ذخیره کربن خاک می گذارد به طوری که تغییر در مقدار ذخیره کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاشت گونه پهن برگ زبان گنجشک و گونه سوزنی برگ کاج بروسیا نسبت به دو گونه دیگر افرا و صنوبر



شکل ۱. نیکویی برازش الگوهای رگرسیونی ذخیره کربن در رویشگاه های مطالعه شده

(محور افقی مربوط به داده های مشاهده ای و محور عمودی مربوط به داده های برآوردی میزان ذخیره کربن از معادله رگرسیونی و به تن در هکتار هستند)

خاک در رویشگاه‌های افرا، زبان گنجشک و کاج بروسیا با رطوبت اشباع همبستگی معناداری در سطح یک درصد داشتند. از آنجا که رطوبت نقش مهمی در تجزیه مواد آلی، انتقال و آبشویی عناصر و مواد در خاک ایفا می‌کند، می‌تواند به منزله یک عامل تأثیرگذار بر میزان ذخیره کربن باشد.

اگرچه اختلاف معناداری بین مقدار منیزیم تبدالی در عمق‌های مطالعه شده وجود نداشت، ولی میزان آن در عمق سوم بیشتر بود. چراکه منیزیم به صورت کربنات مضاعف تحت آبشویی قرار می‌گیرد و به قسمت‌های عمیق‌تر انتقال می‌یابد. زمانی که میزان منیزیم تبدالی کمتر از ۰/۴ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک باشد سبب کمبود رشد و نمو گیاه می‌شود؛ بنابراین، در هیچ کدام از تیپ‌های بررسی شده کمبود منیزیم مشاهده نشد (Habibi kaseb, 1992; Zarinkafsh, 2001). ذخیره کربن در رویشگاه صنوبر با میزان منیزیم و اسیدیته در سطح پنج درصد همبستگی معناداری نشان داد که Varamesh و همکاران (2011) و Chandler, Scullberg (1991) در مورد pH و 1939 در مورد تبادل کاتیونی نشان دادند که تأثیرگذار بر میزان کربن خاک هستند.

بیشترین میانگین پتاسیم در عمق اول خاک و در جنگل کاری افرا بوده است. ازدیاد اسیدیته خاک و فراوانی یون کلسیم در محلول خاک سبب آزاد شدن یون جزئی پتاسیم از بین ورقه‌های رس می‌شود؛ زیرا یون کلسیم نسبتاً بزرگ‌تر از پتاسیم است و بر اثر نفوذ به ورقه‌های رس سبب آزاد شدن پتاسیم و افزایش پتاسیم تبدالی می‌شود (Habibi kaseb, 1992). ذخیره کربن با پتاسیم تنها در رویشگاه زبان گنجشک همبستگی معناداری نشان داد. کمبود کلسیم معمولاً در خاک‌های بسیار اسیدی ظاهر می‌شود ولی در خاک‌های قلیایی که کلسیم تبدالی کم و سدیم تبدالی زیاد دارند، نیز دیده شده است. در پژوهش حاضر بالاترین مقدار کلسیم در جنگل کاری صنوبر و کمترین مقدار آن در جنگل کاری کاج بروسیا دیده شده است که با نتایج اسیدیته آن‌ها مطابقت دارد. در رویشگاه‌های افرا و

در پژوهش حاضر میزان ازت و کربن آلی در عمق اول خاک بیشتر از عمق دوم و سوم است که می‌تواند سبب افزایش ذخیره کربن خاک در این عمق شود. همچنین تجزیه بیشتر لاشبرگ در لایه سطحی می‌تواند دلیل دیگر این افزایش باشد که با یافته‌های Varamesh و همکاران (2010)، Singh & Singh (1993) و Jimenez و همکاران (2007) مطابقت دارد. نتایج الگوهای رگرسیونی نیز نشان داد که از جمله عوامل خاکی تأثیرگذار بر میزان ذخیره کربن خاک، نیتروژن بوده است (Nobakht et al., 2011, Varamesh et al., 2010). میزان نیتروژن در جنگل کاری ون بیشتر بود، اگرچه در جنگل کاری‌های متفاوت اختلاف معناداری وجود نداشت و این جنگل کاری بالاترین میزان ذخیره را نیز نشان داده است. میزان ذخیره کربن در جنگل شاهد و همه جنگل کاری‌ها به استثنای صنوبر با نیتروژن و کربن آلی همبستگی قوی و معناداری داشت و همان طوری که مشخص شد جنگل کاری صنوبر کمترین میزان ذخیره را داشت. این نکات معلوم و تأییدکننده ارتباط نیتروژن خاک با توان ذخیره کربن آن است.

در جنگل کاری‌های افرا و زبان گنجشک حضور فراوان دام‌های حاشیه روستا سبب فشردگی بیشتر خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری در مقایسه با دیگر جنگل کاری‌ها شده است. به طوری که در این دو جنگل کاری ذخیره کربن خاک با وزن مخصوص ظاهری همبستگی معناداری به ترتیب در سطح پنج و یک درصد داشته و به همین دلیل در الگوهای رگرسیونی ذخیره کربن وارد شده است. نتایج Singh و همکاران (2003) نیز نشان داد که میزان ذخیره کربن به وزن مخصوص ظاهری بستگی دارد. رویش گیاه به تغذیه آن وابسته است و تغذیه گیاه منوط به ارتباط ریشه با محلول خاک است. در نتیجه رطوبت خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم رویش گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درصد رطوبت اشباع بین جنگل کاری‌های بررسی شده تفاوتی نداشت اما از سطح خاک به عمق خاک میزان آن کاهش یافت. ذخیره کربن

در نظر گرفته شود، ارزش اقتصادی حاصل از ترسیب کربن خاک در کل جنگل کاری مطالعه شده که معادل ۴۲ هکتار با توان ذخیره کربن ۲۱۲/۷۷۴ تن در هکتار بوده، معادل ۱/۷۹ میلیون دلار برآورد می شود. نتایج پژوهش حاضر مؤید آن است که از جنگل کاری با گونه های مناسب و با توان بالای ذخیره کربن می توان به منزله راه کاری برای احیای و اصلاح محیط به ویژه اراضی مخروبه جنگلی و مرتعی استفاده کرد و در کاهش گازهای گلخانه ای قدمی اساسی برداشت.

زبان گنجشک کلسیم با ذخیره کربن همبستگی معناداری نشان داده است. همان طوری که دیده می شود در رویشگاه های مختلف بین ذخیره کربن با خواص تبادل کاتیونی همبستگی وجود دارد که با نظر Chandler (1939) مبنی بر تأثیرپذیری کربن آلی با خواص تبادل کاتیونی منطبق است.

پالایش کربن نیواری با استفاده از روش های مصنوعی هزینه های سنگینی را در بر دارد؛ به طوری که این هزینه را در آمریکا حدود ۱۰۰-۳۰۰ دلار تخمین زدند (Cannel, 2003) در صورتی که متوسط هزینه ذخیره کربن به ازای هر تن ۲۰۰ دلار

## REFERENCES

- Abdi, N., Maadah Arefi, H., Zahedi Amiri, Gh., 2008. Estimation of Carbon Sequestration in Astragalus Rangelands of Markazi Province (Case Study: Malmir Rangeland in Shazand Region). Iranian Journal of Range and Desert Research 15(2), 269-282 pp. (In persian)
- Aliarab, A., Hosieni, M., Jalali, Gh., 2005. Effects of Acer velotimum Boiss, Populus deltoids Marsh, Robinia pseudacacia L. and Cupressus sempervirens L. on physical and chemical soil properties in east forestation of Haraz. Journal of water and soil science 19(1), 104-113 pp. (In persian)
- Amundson, R., 2001. The carbon budget in soils. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 29, 535-562 pp.
- 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 pp.
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., Spurr, S.H., 1998. Forest ecology, 4th edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 56 p.
- Batjes, N.H., 1996. Total C and N in soils of the world. European Journal of Soil Science 47, 151-163 pp.
- Birdsey, R.A., 1992. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems. Washington, DC: USDA Forest Service 12 p.
- Busse, M.D., Sanchez, F.G., Ratcliff, A.W., Butnor, J.R., Carter, E.A., Powers, R.F., 2009. Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues. Soil Biology & Biochemistry 41, 220-227 pp.
- Cannel, R., 2003. Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable opacities' globally, in Europe and UK. Biomass and Bioenergy 24, 97-116 pp.
- 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 p.
- Chandler, R.F., 1939: Cation exchange properties of certain forest soils in the Adirondack section. J. Agric. Res. 59: 491-505.
- Cheng, C.M., Wang, R.S., Jiang, J.S., 2007. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting Hevea brasiliensis in Hainan Island, China. Journal of Environmental Sciences 19(3), 348-352 pp.
- Dinakaran, J., Krishnayya, N.S.R., 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. India Environment Portal by Centre for Science and Environment 94, 1144-1150 pp.
- Feruzeh, M., Heshmati, Gh., Ghadirian, Gh., Mesbah, S.H., 2008. Comparing carbon sequestration potential of three shrub species Heliantemum lipii, Dendrostellera lessertii and Artemisia sieberi in arid rangeland of Iran. Journal of environmental of studies 46, 65-72 pp. (In persian)

15. Habibi kaseb, H., 1992. Basics of forest pedology. Tehran University Press, 421p. (In Persian)
16. Jenny, H., 1994. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Dover Press, New York, 191p.
17. Jimenez, J.J., Lal, R., Leblanc, H.A., Russo, R.O., 2007. Soil organic carbon pool under native tree plantation in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 241, 134-144 pp.
18. Laclau, P., 2003. Biomass and Carbon Sequestration of Ponderosa Pine Plantations and Native Cypress forests in Northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 180, 317-333 pp.
19. Lal, R., 2001. The potential of soil carbon sequestration in forest ecosystems to mitigate the greenhouse effect. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. Soil Science Society of America Special Publication 57. Soil Science Society of America, Madison, WI, 23p.
20. Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1 - 22 pp.
21. Mahmoudi Taleghani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, E., Sagheb-Talebi, Kh., 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. *Iranian journal of forest and populous* 15(3), 241-252 pp. (In Persian)
22. McCarty, G.W., Ritcher, J.C., 2000. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. *Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements, and Monitoring Conference*. In Raleigh, North Carolina, 3-5 pp. (In Persian)
23. Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M., Fallah, A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehman forest management plan, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest* 3(1), 13-23 pp. (In Persian)
24. Paul K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K., 2002. Change in soil carbon following a forestation. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3), 241-257 pp.
25. Schlesinger., 1999. Soil Organic matter a Source of atmospheric CO<sub>2</sub>. Department of Botany. North Carolina, USA, 111-125 pp.
26. Scullberg, U., 1991. Seasonal Variation of PH H<sub>2</sub>O and PH CaCl<sub>2</sub> in centimeter- layers of Moor Humus in a Picea Abies (L.) Karst stand. Sweden University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research, 12 p.
27. 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 pp.
28. Singh, G., Singh, N.T., 1993. Mesquite for revegetation of salt lands. *Central Soil Salinity Research Institute. Bulletin No, 18*, 20-26 pp.
29. Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. *Indian Forester* 129(7), 859-864 pp.
30. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., 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), 25-35 pp. (In Persian)
31. Varamesh, S., Hosseini, S.M., Abdi, N., 2011. Effect of forestation with deciduous species on soil carbon sequestration in Chitgar forest park. *Journal of soil researches* 25(3), 187-196. (In Persian)
32. Veldkamp, R.O., 2001. Evaluation of the CO<sub>2</sub> Sequestration, Potential of A forestation Projects and Secondary Forest in two different climate zones of South America, Project location in Ecuador and Argentina, 68p.
33. Woome, D., Toure, L., Sall, A., 2004. Carbon stocks in Senegal's Sahel transition zone. *Journal of Arid Environments* 499-510 pp.
34. Xiao-Wen, D., Shi-Jie, H., Yan-ling, Z., Yumei, H., 2009. Carbon and Nitrogen Transformations in Surface Soils under Ermans Birch and Dark Coniferous Forests. *Pedosphere*, 19(2), 230-237 pp.
35. Zarinkafsh, M., 2001. *Forest pedology*. Research Institute of Rangelands and Forests, 361p.