علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره ده، دی ماه ۹۸

ترسیب کربن و رابطه آن با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک توده طبیعی بلوط و جنگل‌کاری‌های شهرستان ایلام

مونا کرمی[۱]

علی رستمی[۲] *

ali_rostami1974@yahoo.com

مهدی حیدری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: اثرات جنگل در ذخیره کربن به‌عنوان یک روش مقرون‌به‌صرفه در کاهش گرمای کره زمین به اثبات رسیده است. هرساله در کشور ما به‌ویژه استان ایلام به‌منظور افزایش سرانه فضای سبز سطوح قابل‌توجهی از اراضی مستعد، مورد جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف قرار می‌گیرد؛ اما اثرات این جنگل‌کاری‌ها روی ذخیره کربن خاک و ترسیب آن کم‌تر بررسی شده است. در این پژوهش سعی شد اثرات جنگل‌کاری‌های دست کاشت کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) همراه با اراضی جنگلی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) اطراف روی ترسیب کربن خاک در پارک جنگلی چغاسبز شهرستان ایلام مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. همچنین، رابطه بین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با ترسیب کربن توده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: برای این منظور تعداد ۱۵ اصله درخت بلوط ایرانی و ۱۵ درخت سوزنی‌برگ دست‌کشت کاج تهران و ۱۵ درخت سرو نقره‌ای و مجموعاً ۴۵ درخت به‌طور ترانسکت تصادفی انتخاب شده و نمونه‌های خاک در زیر تاج هر درخت در فاصله یکسان از تنه (۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و بررسی آن‌ها میزان ترسیب کربن با استفاده از میزان کربن آلی در نمونه‌های خاک و از طریق فرمول محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ترسیب کربن در خاک توده کاج تهران (۵۵/۷ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از توده سرو نقره‌ای (۳۹/۹۸ تن در هکتار) و توده بلوط ایرانی (۲۹/۴۵ تن در هکتار) اطراف است. نتایج آنالیز همبستگی نیز نشان داد که درصد ماده آلی،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران.

۲- استادیار، گروه منابع طبیعی، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران. * (مسؤول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

درصد نیتروژن، هدایت الکتریکی و جرم مخصوص ظاهری، به ترتیب از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار ترسیب کربن خاک در توده-های مورد بررسی هستند.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق پتانسیل ترسیب کربن برحسب گونه‌های گیاهی متفاوت است، بنابراین با شناخت گونه‌هایی که قابلیت بیش‌تری جهت ترسیب کربن دارا هستند و همچنین بررسی عوامل مدیریتی که بر فرآیند ترسیب تأثیرگذار هستند می‌توان اصلاح و احیاء اراضی را از منظر ترسیب کربن دنبال نمود.

واژه‌های کلیدی: پارک جنگلی چغاسبز، ترسیب کربن، شهرستان ایلام، گونه‌های سوزنی‌برگ.

December, 2019 J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.10,

Carbon Sequestration and its relation with some Physical and Chemical Characteristics in Soil of Natural Oak Forest and Afforestations in Ilam County

Mona Karami[1]
Ali Rostami[2*]
ali_rostami1974@yahoo.com
Mehdi Heydari[3]

Accepted: 2017.12.05 Received: 2017.06.19

Abstract

The effects of forestry on carbon storage as a cost-effective way to reduce global warming have been proven. In our country, especially in the province of Ilam, for the increase of green space per capita of significant areas of susceptible land, different types of forestry have been affected, but the effects of these forests on soil carbon storage and sequestration have been less studied. In this study, the effects of Tehran pine forest (Pinus eldarica Medw.) And silver cedar (Cupressus arizonica Green.) Along with Iranian oak (Quercus brantii Lindl) Forests on soil carbon sequestration in Choghbaz forest park of Ilam city were investigated. Examine and compare. Also, the relationship between some physical and chemical properties of soil with carbon sequestration of different soils was investigated.

Method: to achieve the above goals, 15 of *Quercus brantii* Lindl. 15 of planted conifer *Pinus eldarica* Medw and 15 of *Cupressus arizonica* Green, totally 45 trees were selectes based on random transects and soil samples under the crown of each tree at the same distance from stem (30-50 cm) at 0-30 depth were taken. After transferring the samples to laboratory and the relevant analysis, the amount of carbon sequestration was determined using appropriate formula by organic carbon in the soil samples.

Results: The results indicated that soil carbon sequestration of *Pinus eldarica* Medw. (55.7 ton/ha) was significantly more than *Cupressus arizonica* Green (39.98 ton/ha) and *Quercus brantii* Lindl. (29.45 ton/ha). Their economic values for mentioned species were computed 140, 101 and 74 million rial's respectively. The result of Correlation analysis showed that the percentages of organic matter, nitrogen, electrical conductivity and bulk density were respectively the most important factors for soil carbon sequestration.

Conclusion and discussion: based on the obtained results of this study, carbon sequestration potential of different plants species is not the same. Therefore, by identifying the species which have higher

1- MSc student of Silviculture and Forest Ecology, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
2- Assistant professor, Department of Natural Resources, Ilam Branch, Islamic Azad University, Ilam, Iran.
∗(Corresponding author)
3- Assistant professor, Department of Forest Science, Ilam University, Ilam, Iran.

capabilities for carbon sequestration and analyzing management factors affecting carbon sequestration, it is possible to advance the programs to revive the lands by carbon sequestration.
Keywords: Carbon sequestration, Chaghasabz forest park, Conifers species, Ilam County.

مقدمه

گرم شدن و تغییر اقلیم کره زمین به‌طور قابل‌توجهی موجب تخریب اراضی و کاهش محصولات کشاورزی، کاهش ذخایر آب، به خطر افتادن سلامت انسان و اکوسیستم‌های آبی و زمینی، افزایش خشک‌سالی، افزایش تبخیر و تعرق، تغییر در الگوی بارش، افزایش فرسایش بادی، افزایش شور شدن خاک‌ها و کاهش معدنی شدن کربن شده است (۱ و ۲). پس از شروع انقلاب صنعتی در اثر عواملی چون ازدیاد جمعیت، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی، غلظت گازکربنیک هوا افزایش‌یافته، به‌طوری‌که میزان آن از ppm ۲۸۸ در سال ۱۸۵۰ به ۴۰۰ppm در سال ۲۰۰۲ رسیده است. به‌گونه‌ای که نگرانی‌های ناشی از افزایش کربن اتمسفری روزبه‌روز در حال افزایش است. کشور ایران نیز به‌واسطه تولید نفت و فرآورده‌های نفتی به‌طور غیرمستقیم، سهم عمده‌ای در تولید مواد آلاینده ازجمله دی‌اکسید کربن در سطح جهان دارد. امروزه پالایش کربن با روش‌های مصنوعی مانند فیلتر، متضمن هزینه‌ای هنگفت است، به‌طوری‌که کشور امریکا این هزینه را حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ دلار برای هر تن کربن تخمین زده است (۳). به‌منظور کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری و ایجاد تعادل در محتوای گازهای گل‌خانه‌ای، کربن می‌باید جذب و در فرم-های گوناگون ترسیب شود.

ترسیب کربن عبارت از تغییر دی‌اکسید کربن اتمسفری به شکل ترکیبات آلی کربن دار توسط گیاهان و ترسیب آن در خاک برای مدت‌زمان معین می باشد (۴). ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک‌های تحت این زی‌توده، به‌عنوان یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکارها برای کاهش دی‌اکسید کربن مطرح است (۵). میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، تغییر کاربری اراضی، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (۶). در صورت استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل‌کاری می‌توان علاوه بر ایجاد فضای سبز و تولید چوب و سایر مزایای جنگل، به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز نایل آمد. با دست‌یابی به پتانسیل ذخیره کربن در جنگل‌های طبیعی و دست‌کشت زمینه خوبی برای توسعه جنگل و فضای سبز فراهم خواهد شد. نوبخت و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر جنگل‌کاری‌های طرح جنگل‌داری دهمیان بر میزان ترسیب کربن خاک در چهار توده پیسه‌آ، کاج سیاه، ون و بلند مازو، بررسی و به این نتیجه رسیدند که اختلاف معنی‌داری بین ترسیب کربن خاک در توده‌ها وجود دارد (۷). لی و لیو[1] (۲۰۱۱) پتانسیل ترسیب کربن در جنگل شهری شهر شنیانگ چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روابط بیومس بررسی و نشان داده شد که این جنگل‌ها با نرخ ترسیب کربن ۲۹۰۰۰ تن در سال (باارزش ۱/۱۹ میلیون دلار) ۳۳۷۰۰۰ تن کربن را ترسیب کرده‌اند که ارزش اقتصادی آن ۱۳/۸۸ میلیون دلار است (۸) آندرو[2] (۲۰۱۰) در بررسی میزان کربن در جنگل ایالت Clatsop امریکا با استفاده از آماربرداری از جنگل، میزان بیومس و کربن ذخیره‌شده در جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ به ترتیب ۲۸/۱۱ و ۱۳۶/۷ تن در هکتار به دست آمد (۹) لون و رامون[3] (۱۹۹۶) تأثیر جنگل‌کاری شاه‌بلوط چینی (*Castanea mollissima*) و جنگل طبیعی بازسازی‌شده بر کیفیت کربن آلی خاک در چین بررسی و مشاهده گردید که غلظت کربن و ازت در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) به‌طور معنی‌داری در جنگل‌کاری شاه درخت چینی و جنگل بازسازی‌شده کمتر از جنگل طبیعی پهن‌برگ همیشه‌سبز است (۱۰). نریمانی

1 - Li and Liu
2 - Andrew
3- Loan and Ramon

(۱۳۹۲) در مطالعه خود میانگین ترسیب کربن کل خاک در قطعات هر گونه را به ترتیب برای گونه‌های کاج الدار ۵۵/۳۸ تن در هکتار، سرو نقره‌ای ۴۷/۸۱ تن در هکتار و برای گونه بادام‌کوهی ۴۴/۸۵ تن در هکتار اندازه‌گیری کردند (۱۱).

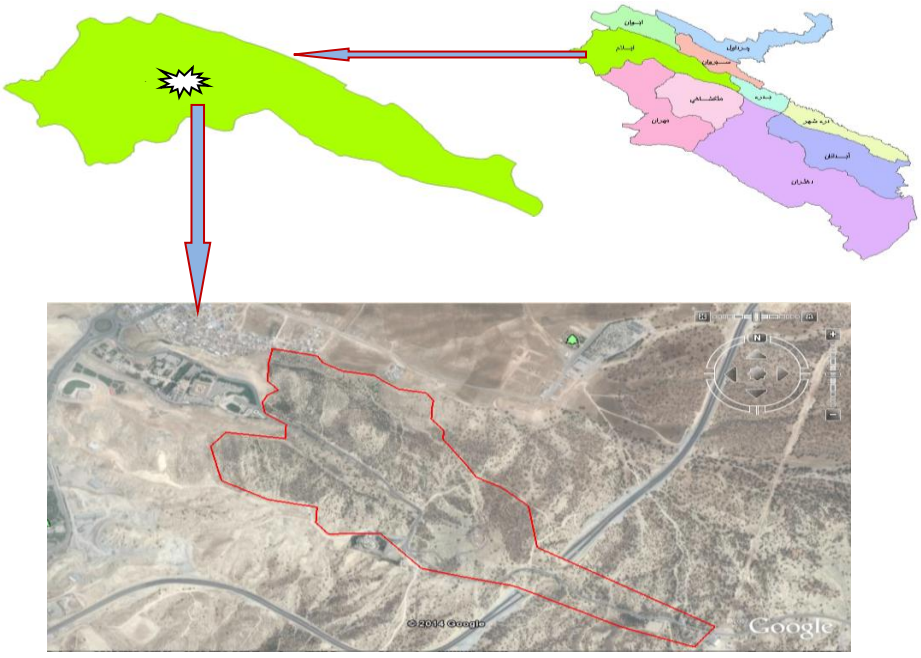
به‌طورکلی می‌توان گفت فرایند ترسیب کربن به بهبود کیفیت آب‌وخاک، افزایش حاصل‌خیزی، بهبود سیستم هیدرولوژی خاک و نیز جلوگیری از فرسایش و کاهش هدر رفت عناصر غذایی می‌انجامد، بنابراین مدیریت بهینه اکوسیستم‌های مختلف باید در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن باشد (۱۲).

با توجه به اهمیت خاک در تنظیم و ترسیب گاز دی‌اکسید کربن هوا، همچنین قرار گرفتن بخش عظیمی از اراضی کشور ایران در محدوده مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران جهت نگهداری و ترسیب CO_2 اتمسفر لازم است تحقیقاتی جهت بررسی و مقایسه خصوصیات خاک‌شناسی و میزان ماده آلی این مناطق صورت گیرد. از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی و ارجحیت بیش‌تر گونه‌های سوزنی‌برگ سریع الرشد به‌خصوص در سال‌های اخیر در زاگرس لازم است این جنگل‌کاری‌ها از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرند. تحقیق حاضر با هدف بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و ترسیب کربن خاک در عرصه‌های جنگل‌کاری شده با کاج تدا (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) در مقایسه با توده طبیعی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در شهرستان ایلام انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش پارک جنگلی چغاسبز ایلام است که در حاشیه شهر ایلام و در ضلع جنوبی و جنوب شرقی آن و از عرض جغرافیایی ″۱۸ ′۳۴ °۳۳ تا ″۴۸ ′۳۶ °۳۳ و طول شرقی ″۳۰ ′۲۵ °۴۶ تا ″۳۵ ′۲۸ °۴۶ واقع شده است. مساحت محدوده پارک به میزان ۲۰۵۷ هکتار بوده که بخشی از آن به‌عنوان محدوده فرودگاه و بخشی نیز جزء تأسیسات صنعتی و اداری و بخشی از آن نیز مورد کشت واقع می‌گردد (شکل ۱). متوسط ارتفاع از سطح دریای منطقه بنا بر بازدیدهای صحرایی انجام شده ۱۳۰۰ متر است



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

Figure 1- The location of studied areas

بر اساس داده‌های آماری ۲۷ ساله ایستگاه سینوپتیک ایلام میزان متوسط بارندگی سالیانه در حدود ۶۲۱ میلی‌متر است. حداقل مطلق درجه حرارت ۱۳/۶ – درجه سانتی‌گراد که مربوط به یکی از روزهای بهمن‌ماه سال ۱۳۸۳ و حداکثر مطلق با درجه حرارت ۴۰/۶ درجه سانتی‌گراد مربوط به یکی از روزهای مردادماه سال ۱۳۸۰ و تیرماه سال ۱۳۶۸ است. در کل، میانگین دمای حداکثر سالیانه در ایلام ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ماهیانه ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. تعداد روزهای یخبندان به‌طور متوسط ۳۲/۲ روز در سال می‌باشد. با توجه به جدول محدوده ضریب خشکی دو مارتن منطقه ایلام در اقلیم مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد. تیپ غالب درختان منطقه از گونه برودار (بلوط ایرانی) است؛ به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد جنگل‌های این منطقه از این گونه تشکیل شده است (۱۳).

روش پژوهش

جهت بی‌اثر کردن متغیرهای توپوگرافی، نمونه‌های خاک برای گونه‌های مختلف دو گونه دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای ۱۶ تا ۱۸ ساله با فاصله کاشت ۳ × ۳ متر و گونه بومی بلوط ایرانی شاخه زاد (با تاج پوشش کم‌تر از ۲۵ درصد و تقریباً همسال با توده‌های کاشته شده) با توجه به در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی یکسان ازلحاظ جهت دامنه، ارتفاع و شیب برداشت شد. برای این منظور تعداد ۱۵ درخت بلوط ایرانی و ۱۵ درخت سوزنی‌برگ دست‌کشت کاج تهران و ۱۵ درخت سرو نقره‌ای و مجموعاً ۴۵ درخت به‌صورت تصادفی انتخاب شد و نمونه‌های خاک در زیر تاج هر درخت در فاصله یکسان از تنه درخت (۳۰ یا ۵۰ سانتی‌متری) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌عنوان عمق ریشه دوانی مؤثر برداشت شد (۱۴) (برای لحاظ کردن اثر تاج در میزان کربن آلی خاک، نمونه‌ها از زیر تاج درختان برداشت شد) نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی مربوطه به آزمایشگاه خاک‌شناسی انتقال داده شدند. نمونه‌های خاک پس از خشک‌کردن، در هاون کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در این مطالعه بافت خاک، EC (هدایت الکتریکی)، pH (اسیدیته)، جرم مخصوص ظاهری، کربن آلی، مقدار ترسیب کربن، ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل‌جذب و فسفر قابل‌جذب اندازه‌گیری شد. برای تعیین بافت و درصد ذرات خاک از روش هیدرومتری الن[1] و همکاران (۱۹۷۴) استفاده شد (۱۵) و همچنین به کمک مثلث بافت خاک نوع بافت خاک نیز تعیین شد. هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک به روش رودز[2]، ۱۹۸۲ تعیین گردید (۱۶). با تهیه گل اشباع میزان اسیدیته خاک با استفاده از pH متر تعیین شد و با قرار دادن گل اشباع تهیه‌شده در سانتریفوژ با دور ۶ هزار دور به مدت ۱۰ دقیقه عصاره موردنظر برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی استفاده شده و توسط دستگاه EC سنج برحسب دسی زیمنس بر متر (ds/m) قرائت شد، وزن مخصوص ظاهری به روش استوانه و میزان درصد کربن به روش والکی و بلاک[3] (۱۹۳۴) تعیین گردید (۱۷). اندازه‌گیری کربن آلی به‌عنوان اساس اندازه‌گیری ماده آلی و نیتروژن کل نیز تلقی می‌گردد. ماده آلی خاک به‌طور متوسط حاوی ۵۸ درصد کربن آلی است که از طریق اندازه‌گیری کربن آلی خاک و ملحوظ کردن ضریب خاص (۱/۷۲۴) می‌توان به میزان ماده آلی خاک پی برد (۱۸). درنهایت با استفاده از فرمول زیر میزان ترسیب کربن آلی در نمونه‌های خاک به دست آمد:

$$Cc\ (g/m2) = 10000 * C\ (\%) * BD * D$$ فرمول- ۱

که در آن، C: میزان تراکم کربن به درصد، BD: وزن مخصوص ظاهری (برحسب g/cm3)، D: ضخامت لایه خاک به سانتی‌متر و Cc: میزان ترسیب کربن (برحسب g/m2) هستند. برای بررسی همبستگی خصوصیات خاک و ترسیب کربن هر گونه از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

Cc: میزان ترسیب کربن (کیلوگرم بر مترمربع) (۱۹)

ضمناً قطر برابرسینه و ارتفاع درختان به ترتیب با استفاده از خط‌کش دوبازو و شیب‌سنج سونتو اندازه‌گیری گردید. اطلاعات حاصل از نتایج آزمایش‌های نمونه‌های خاک و همچنین

1 -Allen
2- Rhoades
3- Walkley & Black

خصوصیات کمی درختان، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و نرم‌افزار Excel مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

مشخصات کمی و کیفی توده‌های موردبررسی

بررسی مشخصه‌های کمی توده‌های موردبررسی نشان داد که بیش‌ترین میانگین قطر برابرسینه مربوط به توده کاج تهران و بعد از آنبه ترتیب مربوط به توده‌های بلوط ایرانی و سرو نقره‌ای است و ازلحاظ میانگین ارتفاع درختان نیز بیشترین ارتفاع به ترتیب مربوط به توده کاج تهران، بلوط ایرانی و سرو نقره‌ای بود (جدول ۱)، اما ازنظر قطر تاج پوشش بیش‌ترین قطر تاج مربوط به توده بلوط و سرو بود.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های کمی درختان موردبررسی

Table 1- Descriptive statistics of quantitative factors of studied trees

متغیر	توده	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
قطر برابرسینه (cm)	سرو نقره‌ای	۱۰	۱۵	۱۲	۶/۲
	کاج تهران	۱۶	۳۲	۲۰	۶/۴
	بلوط ایرانی	۱۰	۳۰	۱۸	۴/۴
ارتفاع (m)	سرو نقره‌ای	۳/۵	۸/۸	۷	۱/۱
	کاج تهران	۱۲	۱۶	۱۳/۳	۱/۳
	بلوط ایرانی	۴/۵	۱۲	۹/۶	۱/۸
قطر تاج (m)	سرو نقره‌ای	۲/۲	۳	۲/۶	۲/۷
	کاج تهران	۲	۲/۹	۲/۴	۳/۶
	بلوط ایرانی	۲/۸	۴	۳/۸	۵/۲

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ترسیب کربن زیر تاج پوشش درختان توده‌های موردبررسی

نتایج بررسی تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین توده‌های موردبررسی ازنظر جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، اسیدیته، ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نیز ترسیب کربن اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ اما ازنظر درصد شن، رس و سیلت (بافت لومی-رسی) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه خصوصیات خاک زیر تاج توده‌های موردبررسی

Table 2- Results of anova table of soil characteristics under crown of investigated stands

مشخصه‌های خاک	df	F	سطح معنی‌داری
اسیدیته ($pH\ H_2o$)	۲	۳/۲۳۷	۰/۰۴*
جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	۲	۱۳/۵۶۷	۰/۰۱۶*
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۲	۹/۰۳۲	۰/۰۰۱**
درصد شن (درصد)	۲	۲/۶۳۰	۰/۰۹۰ ns
درصد رس (درصد)	۲	۵/۰۴۵	۰/۱۹ ns
درصد سیلت (درصد)	۲	۴/۷۸۰	۰/۱۰۴ ns
ماده آلی (درصد)	۲	۳۱/۶۷۹	۰/۰۰۰**
نیتروژن (درصد)	۲	۲۴/۰۳۴	۰/۰۰۰**
فسفر (Ava ppm)	۲	۲۰/۴۰۲	۰/۰۰۰**
پتاسیم (Ava ppm)	۲	۲۱/۲۳۱	۰/۰۰۰**
ترسیب کربن (تن در هکتار)	۲	۸/۴	۰/۰۱۶*

** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد * معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد ns عدم معنی‌داری

نتایج مقایسه میانگین دانکن نشان داد که بیش‌ترین جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی (EC) و فسفر خاک مربوط به جنگل‌کاری کاج تهران و سرو نقره‌ای (بدون اختلاف معنی‌دار باهم) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به توده طبیعی بلوط ایرانی است. اسیدیته خاک زیر تاج درختان بلوط ایرانی به سمت قلیایی بودن و اسیدیته خاک زیر تاج درختان سوزنی‌برگ به‌سوی اسیدی بودن تمایل داشت. بیش‌ترین مقدار کربن آلی و نیتروژن به ترتیب در گونه‌های کاج تهران، سرو نقره‌ای و بلوط ایرانی به دست آمد. از نظر میزان پتاسیم بیش ترین مقدار مربوط به توده کاج تهران و کم‌ترین مقدار آن در خاک زیر تاج درختان توده سرو نقره‌ای به دست آمد. مقدار ترسیب کربن در دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای (به ترتیب ۵۵/۷ و ۳۹/۹۸ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) بیش‌تر از بلوط ایرانی (۲۹/۴۵ تن در هکتار) است (جدول ۳)

جدول ۳- مقایسه میانگین مشخصه‌های خاک تحت تاج گونه‌های موردبررسی

Table 3-: The mean comparison of soil characteristics under crown of investigated trees

مشخصه‌های خاک	بلوط ایرانی	سرو نقره‌ای	کاج تهران
اسیدیته (pH H_2o)	۷/۶^{a}	۶/۸^{b}	۷^{b}
جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	۰/۹^{b}	۰/۹۲^{a}	۰/۹^{a}
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۷^{b}	۰/۸^{a}	۰/۸^{a}
شن (درصد)	۳۹^{a}	۳۲^{a}	۲۸^{a}
رس (درصد)	۳۰^{a}	۳۵^{a}	۳۲^{a}
سیلت (درصد)	۳۱^{a}	۳۳^{a}	۴۰^{a}
کربن آلی (درصد)	۲/۲^{c}	۲/۹^{b}	۳/۸^{a}
نیتروژن (درصد)	۰/۲^{c}	۰/۳^{b}	۰/۴^{a}
فسفر (Ava ppm)	۴/۲^{b}	۱۰^{a}	۱۱^{a}
پتاسیم (Ava ppm)	۴۷۵^{b}	۳۱۰^{c}	۵۴۰^{a}
ترسیب کربن (تن در هکتار)	۲۹/۴^{c}	۳۹/۸^{b}	۵۵/۷^{a}

حروف نامتشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین مشخصه‌هاست.

بررسی همبستگی ترسیب کربن خاک با مشخصه‌های آن

در بررسی همبستگی بین ترسیب کربن و مشخصه‌های خاک مشخص شد (جدول ۴) که ترسیب کربن هر سه گونه موردبررسی در سطح احتمال ۹۹ درصد با درصد ماده آلی و میزان نیتروژن همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. همچنین بین ترسیب کربن گونه کاج تهران و جرم مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی و همچنین بین ترسیب کربن سرو نقره‌ای و جرم مخصوص ظاهری در سطح احتمال ۹۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بین سایر مشخصه‌های خاک و ترسیب کربن گونه‌های مختلف همبستگی معنی‌دار آماری مشاهده نشد (جدول ۴).

جدول ۴- بررسی همبستگی پیرسون ترسیب کربن با مشخصه‌های خاک تحت تاج درختان موردمطالعه

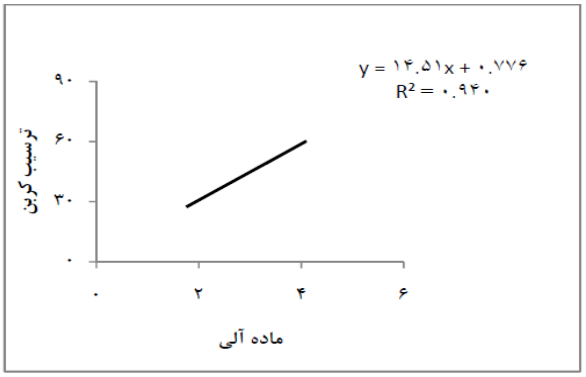
Table 4: Pearson correlation of soil characteristics under crown of investigated trees

مشخصه	ترسیب کربن کاج تهران	ترسیب کربن سرو نقره‌ای	ترسیب کربن بلوط ایرانی
درصد ماده آلی	۰/۷۵۲**	۰/۷۰۲**	۰/۶۷۵**
جرم مخصوص ظاهری (g/cm_3)	۰/۴۹۷*	۰/۴۳۲*	۰/۳۲۶
درصد شن	-۰/۲۳۲	-۰/۱۴۵	-۰/۱۲۱
درصد رس	-۰/۰۴۲	-۰/۱۵۶	-۰/۰۹۸
درصد سیلت	-۰/۳۶۷	-۰/۲۶۹	-۰/۱۸۷
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۶۵۹*	۰/۴۹۹	۰/۳۳۴
اسیدیته ($pH\ H_2O$)	-۰/۰۷۶	-۰/۰۸۹	-۰/۰۹۸
فسفر (درصد)	۰/۳۵۲	۰/۴۰۱	۰/۳۱۲
پتاسیم (درصد)	۰/۲۶۸	۰/۱۲۷	۰/۰۹۸
نیتروژن (درصد)	۰/۷۳۹**	۰/۶۸۷**	۰/۵۵۷**

** همبستگی در سطح ۹۹ درصد * همبستگی در سطح ۹۵ درصد ns عدم همبستگی

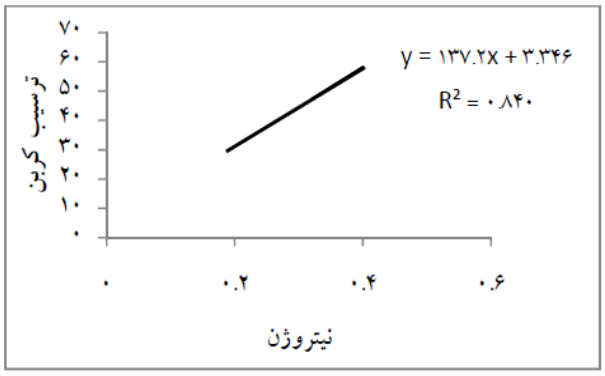
رابطه بین ترسیب کربن خاک با خصوصیات خاک

نتایج رابطه رگرسیونی در جنگل‌کاری کاج تهران، جنگل‌کاری سرو نقره‌ای و توده طبیعی بلوط نشان داد که بیش‌ترین ضریب تعیین (R^2) در معادله خطی بین ترسیب کربن با ماده آلی و نیز بین ترسیب کربن و نیتروژن وجود دارد. به عبارتی با اطمینان بالاتری می‌توان با استفاده از ماده آلی و نیتروژن خاک به متغیر وابسته یا همان ترسیب کربن دست‌یافت (اشکال ۲ تا ۱۰).



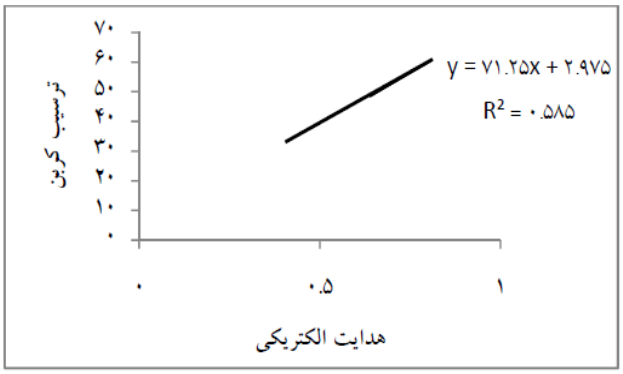
شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن کاج تهران و ماده آلی

Figure2- Regression relation between carbon sequestration of *Pinus eldarica* Medw. and organic



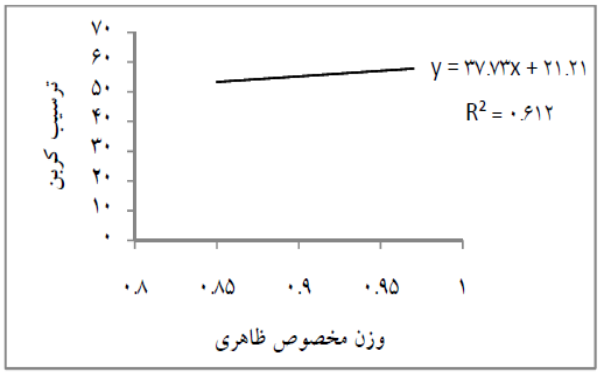
شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن کاج تهران و نیتروژن

Figure3- Regression relation between carbon sequestration of *Pinus eldarica* Medw. and nitrogen



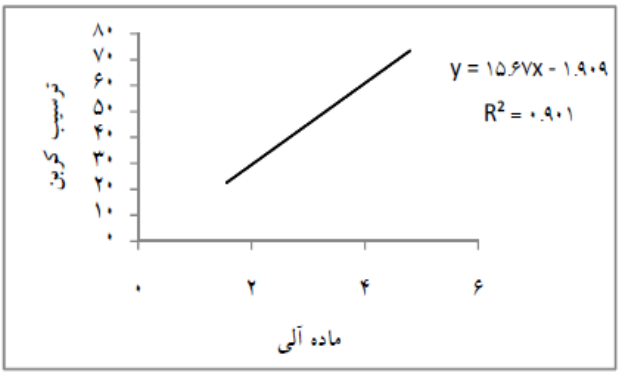
شکل ۴- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن کاج تهران و هدایت الکتریکی

Figure4- Regression relation between carbon sequestration of *Pinus eldarica* Medw. and The electrical



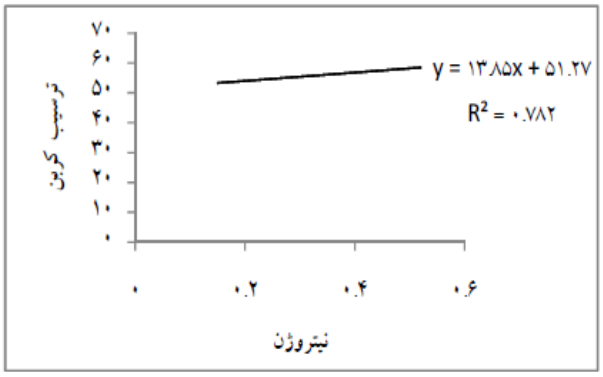
شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن کاج تهران و وزن مخصوص ظاهری

Figure5- Regression relation between carbon sequestration of *Pinus eldarica* Medw. and Bulk density



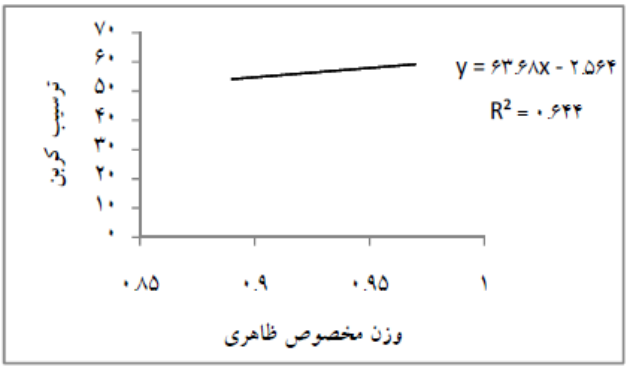
شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن سرو نقره‌ای و ماده آلی

Figure6- Regression relation between carbon sequestration of *Cupressus arizonica* Green. and organic mater



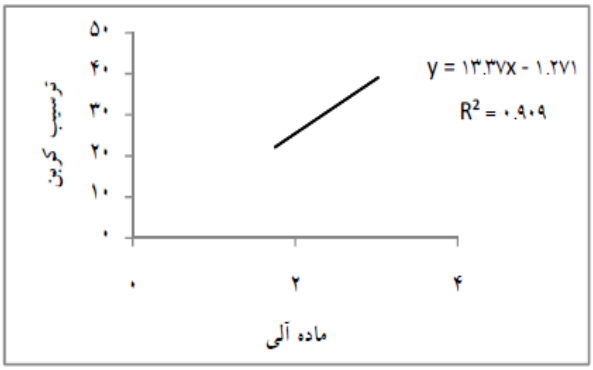
شکل ۷- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن سرو نقره‌ای و نیتروژن

Figure7- Regression relation between carbon sequestration of *Cupressus arizonica* Green. and nitrogen



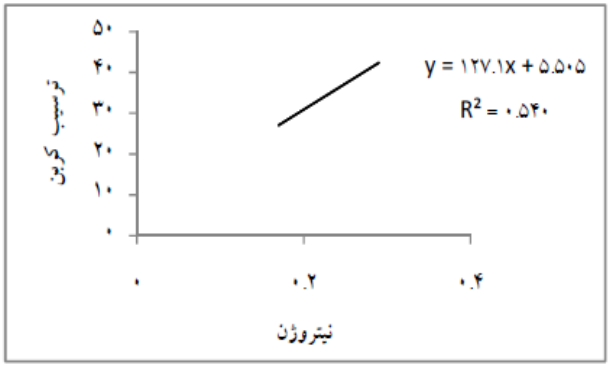
شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن سرو نقره‌ای و وزن مخصوص ظاهری

Figure8- Regression relation between carbon sequestration of *Cupressus arizonica* Green. and Bulk density



شکل ۹- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن بلوط ایرانی و ماده آلی

Figure9- Regression relation between carbon sequestration of *Quercus brantii* Lindl. and organic mater



شکل ۱۰- رابطه رگرسیونی بین ترسیب کربن بلوط ایرانی و نیتروژن

Figure10- Regression relation between carbon sequestration of *Quercus brantii* Lindl. and nitrogen

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر جنگل‌کاری منطقه چغاسبز واقع در حاشیه شهر ایلام به‌عنوان نمونه‌ای از جنگل‌کاری‌های صورت گرفته در استان ایلام جهت برآورد میزان ترسیب کربن گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد میزان کربن ترسیب شده در هکتار از پارک جنگلی چغاسبز برای گونه-های کاج تهران، سرو نقره‌ای و بلوط ایرانی به ترتیب ۵۵/۷ تن، ۳۹/۹۸ تن و ۲۹/۴۵ تن است (میانگین ترسیب کربن خاک تحت تاج درختان سوزنی‌برگ ۴۷/۸۴ تن در هکتار). مطابق با نتایج این تحقیق نریمانی (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای میانگین ترسیب کربن کل خاک را به ترتیب برای گونه‌های کاج الدار ۵۵/۳۸ تن در هکتار، برای سرو نقره‌ای ۴۷/۸۱ تن در هکتار و برای گونه بادام‌کوهی ۴۴/۸۵ تن در هکتار بیان کرد (۱۱). در این مطالعه نیز کاج تهران ۱۲ درصد بیش‌تر از درختان سرو نقره‌ای و ۲۰ درصد بیش‌تر از درختان بلوط ایرانی باعث ترسیب کربن خاک منطقه موردمطالعه شده است که این مسأله می‌تواند مربوط به همیشه‌سبز بودن گونه‌های سوزنی‌برگ و سطح برگ بیش‌تر آن‌ها باشد.

همچنین همسو با نتایج این مطالعه، آندرو (۲۰۱۰) در بررسی میزان کربن در جنگل ایالت Clatsop آمریکا، میزان بیومس و کربن ذخیره‌شده در جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ را به ترتیب ۲۸/۱۱ و ۱۳۶/۷ تن در هکتار نشان داد و بیان نمود که میزان ترسیب کربن در جنگل سوزنی‌برگ نسبت به جنگل پهن‌برگ به دلیل همیشه‌سبز بودن بیش‌تر است (۹)، در مطالعه ورامش و همکاران (۱۳۸۹) نیز نتیجه مشابهی به دست آمده است (۱۲).

پیچل و آریان[1] (۲۰۰۶) در بررسی میزان بیومس و ذخیره کربن در توده ۶۵ ساله کاج سفید در کانادا نشان دادند که میزان بیومس، ۱۰۰ تن در هکتار و کربن ذخیره‌شده در خاک این توده ۳۶/۷ تن در هکتار بود که در مقایسه با جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ منطقه موردمطالعه (۴۷ تن در هکتار)، چنین نتیجه‌گیری شد که توده سوزنی‌برگ در بخش پوشش گیاهی و خاک میزان کربن بیش‌تری را ذخیره می‌کند (۱۴).

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت گونه‌های کاشته شده در منطقه چغاسبز شهرستان ایلام در مقایسه با توده‌های اطراف که دارای گونه درختی بلوط ایرانی کم تراکم است، به ترتیب سبب افزایش و جذب کربن اتمسفری خاک برای توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در مدت ۱۶ تا ۱۸ سالی که از کاشت آن‌ها می‌گذرد شده‌اند.

در این پژوهش مشخص شد گونه کاج تهران ترسیب کربن بیش-تری نسبت به دو گونه دیگر داشت که دلیل آن را می‌توان

1- Richards

سازگاری بسیار بالای این‌گونه به شرایط محیطی و خاکی منطقه موردمطالعه و همچنین تولید بالای بیومس توسط برگ این‌گونه در منطقه عنوان کرد.

این تحقیق نقش تاج پوشش گیاهان بر میزان ذخیره کربن نشان داد به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین این مناطق در توده جنگلی طبیعی پهن‌برگ و دست کاشت سوزنی‌برگ وجود دارد که اهمیت پوشش گیاهی در افزایش پتانسیل خاک برای نگهداری کربن خاک و جلوگیری از صدور آن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در سایر مطالعات این مطلب به اثبات رسیده است (۳، ۵، ۲۰ و ۲۱).

ریچارد[1] و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که مدیریت روابط بین ترسیب کربن و سایر خواص خاک می‌تواند یک پیش‌شرط مهم برای حفظ و افزایش ترسیب کربن خاک مناطق جنگل‌کاری شده باشد (۲۲). در پژوهش حاضر بافت خاک منطقه اکثراً رسی لومی بود و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمون همبستگی مشخص شد که ارتباط معنی‌دار آماری بین میزان ترسیب کربن گونه‌های مختلف و بافت خاک منطقه یعنی درصد رس، سیلت و شن دیده نشد. در این خصوص در مطالعاتی رابطه واضح و معنی‌داری بین بافت خاک و ترسیب کربن مشاهده‌شده (۲۳ و ۲۴) که نتایج آن‌ها عکس نتایج حاصله این تحقیق بود.

در این پژوهش در توده بلوط ایرانی بیشترین همبستگی بین ترسیب کربن با ماده آلی خاک و نیتروژن به دست آمد و همچنین در توده کاج تهران و سرو نقره‌ای بیش‌ترین همبستگی بین ترسیب کربن با ماده آلی خاک، نیتروژن، جرم مخصوص ظاهری و هدایت الکتریکی وجود داشت. هم سو با نتیجه این تحقیق، در مطالعاتی بر روی توده‌های سوزنی‌برگ بیان شده که با افزایش مقدار ازت خاک (نیتروژن)، میزان تولید افزایش‌یافته و درنتیجه ذخیره کربن و ترسیب کربن نیز در درازمدت زیاد شده است (۲۴، ۲۵).

بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن بیش‌ترین مقدار کربن آلی، نیتروژن و ترسیب کربن در توده کاج تهران و پس‌ازآن سرو نقره‌ای مشاهده شد. کم‌ترین مقدار این عوامل مربوط به توده بلوط ایرانی بود. بیش‌ترین مقدار فسفر، هدایت الکتریکی و جرم مخصوص ظاهری در توده‌های کاج و سرو (بدون اختلاف آماری معنی‌دار) و کمترین مقدار در توده بلوط ثبت شد. در مورد پتاسیم توده کاج، بلوط و سرو به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین میزان را نشان دادند.

مقدار اسدیته خاک در توده بلوط ایرانی بیش‌ترین بود و دو توده سوزنی‌برگ اختلافی از این نظر نداشتند.

در خصوص ارتباط بین ترسیب کربن خاک و مقدار اسیدیته خاک تحقیقات اندکی صورت گرفته و نتایج متفاوتی نیز به‌دست‌آمده است. چنان‌که در مطالعه‌ای که با عنوان تغییرات pH در لایه‌های مختلف خاک دو توده نوئل و نراد در جنگل‌های سوئد انجام شده، مشخص شد که pH می‌تواند ارتباط معنی‌داری با کربن آلی و ترسیب کربن خاک داشته باشد (۲۶). درحالی‌که زاهدی (۱۹۹۸) در مطالعه‌ای که به‌منظور مقایسه میزان ترسیب کربن در دو توده پهن‌برگ راش- بلوط و افرا- زبان‌گنجشک انجام داد، نتیجه گرفت که اگرچه pH با برخی از عناصر خاک مانند نیتروژن ارتباطی خوبی دارد، اما ارتباط معنی‌داری بین ترسیب کربن و pH وجود ندارد (۲۷). در این پژوهش نیز هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری ازلحاظ آماری بین ترسیب کربن و اسیدیته خاک در توده‌های سوزنی‌برگ کاشته شده و پهن‌برگ بومی منطقه مشاهده نشد.

ازآنجایی‌که بحث تغییرات اقلیم و گازهای گل‌خانه‌ای یک فرایند جهانی بوده و هر فعالیتی در هر نقطه از جهان بر روند این تغییرات اثر خواهد گذاشت، بنابراین جلوگیری از تغییرات آب‌وهوا مستلزم عزم و اراده بین‌المللی بوده و کشورهایی که دارای منابع محدودی هستند باید در این راستا فعالیت نمایند. لذا کربن اتمسفری می‌بایست جذب و در فرم‌های متعددی ترسیب شود، همان‌گونه که نتایج این تحقیق نشان داد ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی بهترین، آسان‌ترین و به لحاظ اقتصادی عملی‌ترین

1 - Peichl and Arain

راهکار ممکن جهت کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری است. با توجه به نتایج این تحقیق پتانسیل ترسیب کربن برحسب گونه-های گیاهی متفاوت است، بنابراین با شناخت گونه‌هایی که قابلیت بیش‌تری جهت ترسیب کربن دارا است و همچنین بررسی عوامل مدیریتی که بر فرایند ترسیب تأثیرگذار هستند می‌توان اصلاح و احیاء اراضی را از منظر ترسیب کربن دنبال نمود. این امر می‌تواند یک نگرش سیستمی به اصلاح و احیاء اراضی تخریب‌شده و مناطق جنگلی کم تراکم (کم‌تر از ۲۵ درصد) باشد، چراکه ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی شرایط خاک، می‌تواند راهکاری جهت مقابله با آلودگی هوا، بحران تغییر اقلیم و درنهایت دست‌یابی به توسعه پایدار زیست‌محیطی تلقی گردد. بر اساس نتایج این تحقیق گونه کاج تهران و پس‌ازآن سرو نقره‌ای کارایی بیش‌تری در تثبیت کربن نشان دادند.

Reference

1. Batjes, N.H. 2005. Soil carbon stocks of Jordan and projected changes upon improved management of croplands, Geoderma 132: 361–371.
2. Thomas, R.J. 2008. Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmersin central and west Asia and north Africa to climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment 126 (2): 36–45.
3. Cannell, G.R. 2003. Carbon sequestration and biomass energy offset theoretical, potential and achievable capacities globally in Europe and the UK. Biomass and Bioenergy 24 (2) 97-116.
4. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123 (2): 1-22.
5. Noel, D. and Bloodworth, H. 2000. Global climate change and the effect of conservation practices in US agriculture. Global of Environmental Change10 (6): 197-209.
6. Post, W.M. and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology 6: 317-328.
7. Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M., Fallah, A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iranian Journal of Forest, 3(1):13-23. (In Persian)
8. Li, X. and Liu, C. 2011. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. Urban Forestry and Urban Greening 11 (2): 121–128.
9. Andrew, Y. 2010. Carbon estimating of forest biomass for the Clatsop state forest, Resources Planning Program, Oregon Dept. of Forestry.
10. Loan, R. and Ramon, V. 1996. Nutritional Status and Deficiency Diagnosis of Pinus radiate Plantations in Spain. Society of American Foresters. Forest Science 42 (2): 192-197.
11. Narimani, H. 2013. An Investigation and comparison of the carbon sequestration potential of indicator species in the green space of Isfahan Steel Company, Master of Science in Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yazd University.
12. 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. (In Persian)
13. Piri, Abdo-Salam, 2011. Natural Resources landscape of Ilam Province, Natural

Resources Department of Ilam Province, 55 pp.

14. Peichl, M. and Arain, M. A. 2006. Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pin plantation forest. Agricultural and Forest Meteorology 140 (4): 51-63.
15. Allen SE, Grimshow HM, Parkinson JA and Quarmby C, 1974. Chemical Analysis of Ecological Materials Osney Mead. Blackwell Scientific Publications Oxford, London, UK.
16. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: Page, A.L. (ed.), Method of soil analysis. part2. Chemical and microbiological Properties. Agronomy Monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI.
17. Walkly, A. and 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: 29-38.
18. Jafari Haghighi, M., 2003. Soil analysis, sampling and important physical and chemical analysis method with emphasis on theory and application basics. Nedaye zoha press, 240 p. (In Persian)
19. Li, Z. and Q.G. Zhao, 2001. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China, Plant Soil, 11: 175–185.
20. Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environmental Pollution 116 (3): 363-372.
21. Derner, J.D. and Schuman, G.E. 2007. Carbon sequestration andrangelands: A syntheisis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation 62 (2): 77-85.
22. Richards, A.E. Dalal, R.C. and Schmidt, S. 2007. Soil carbon turnover in native subtropical tree plantations. Soil Biology and Biochemistry 39 (8): 2078-2090.
23. Borchers, J. G. and Perry, D.A. 1992. The influence of soil texture and aggregation on carbon and nitrogen dynamics in southwest Oregon forests and clear cuts. Canadian Journal of Forest Research 22: 298-305.
24. Azadi, A., Hojati, S.M., Jalilvand, H., Naghavi, H., 2014. Investigation on soil carbon sequestration and understory biodiversity of hard wood and soft wood plantations of Khoramabad city (Makhamalkoh site). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(4): 702-715. (InPersian)
25. Pussinen, A. Karjalainen, T. Mäkipää, R. Valsta, L. and Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvest, in scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. Forest Ecology and management 158 (3): 103-115.
26. Atkin, J. and Dayal, P. 1999. Carbon Sequestraton using sustainable forestry management in South America. In proceeding of the Electric utilities Environmental Conference. 10 pp.
27. Zahedi, Gh. 1998. Relation between vegetation and soil characteristics in a mixed hard wood stand. Academic press, Ghent University (Belgium). 319 p.