نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان
سال دوم، شماره سوم، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۶۷ـ۷۶

پتانسیل ذخیرهٔ کربن در جنگل دست‌کاشت تاغ *Haloxylon aphyllum* حاشیهٔ جاده (مطالعهٔ موردی: اتوبان ایوان‌کی‌ـ گرمسار)

احمدرضا پناهیان[1*]، حمید رضا ناصری[2]، مجید کریم‌پور ریحان[3]، محمد جعفری[4]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران

پست الکترونیک نویسنده مسئول:
arpanahian@ut.ac.ir
[2] استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران
[3] دانشیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران
[4] استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۲

چکیده:

در این پژوهش، میزان ذخیرهٔ کربن در تاغزارهای حاشیهٔ جاده در محور ایوان‌کی‌ـ گرمسار که یکی از مهم‌ترین و پر ترددترین جاده‌های کشور که از لحاظ بار ترافیکی و ایجاد آلودگی هوا و نزدیکی به پایتخت بسیار حائز اهمیت است، اندازه‌گیری شد. بدین منظور، تعداد ۱۱ پلات ۵۰۰ متر مربعی در حریم جاده برای اندازه‌گیری پارامترهای پوشش گیاهی و خاک استفاده شد. نتایج نشان داد مجموع کل کربن ترسیب‌شده در پروفیل خاک جنگل دست‌کاشت تاغ برابر با ۴۷/۷۲ تن در هکتار است. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین دانکن نشان‌دهندهٔ عدم اختلاف معنی‌دار بین لایه‌های ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متری و اختلاف معنی‌دار این دو بخش با لایه سطحی خاک (۰ –۱۰ سانتی‌متری) در سطح پنج درصد خطای آزمایش است. همچنین درصد کربن اندام هوایی شامل برگ و ساقه با بیوماس زیرزمینی تاغ دارای تفاوت معنی‌داری بود. میزان کل کربن ذخیره‌شده از مجموع اندام هوایی و زیرزمینی گیاه تاغ برابر ۵۸۲/۲ کیلوگرم در هکتار است. با درنظرگرفتن عرض بزرگراه‌ها و شبکه راه‌های کشور، پتانسیل بزرگی برای ترسیب کربن وجود دارد. فواید ایجاد پوشش گیاهی حریم جاده‌ها علاوه بر ذخیره‌سازی کربن عبارت‌اند از: کاهش و کنترل فرسایش، ایجاد کریدور اکولوژیکی، چشم‌انداز عمومی، کاهش آلودگی صوتی و ایجاد میکروکلیما.

واژه‌های کلیدی: ذخیرهٔ کربن، حاشیهٔ جاده، تاغ، گرمسار.

مقدمه

خطری که اکنون ساکنان کرهٔ زمین را تهدید می‌کند، صرفاً از بین رفتن منابع آبی یا از دست رفتن منابع خاکی به‌علت از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع سرسبز و همچنین گسترش کویرها نیست؛ بلکه خطر امروز خطری به مراتب نگران‌کننده‌تر و فارغ از حدود مرزهای سیاسی و جغرافیایی و حتی قاره‌ای است و آن عبارت است از: افزایش آلودگی هوا. آلاینده‌های هوا بر محیط زیست جهانی، از جمله زیستگاه‌های حیات وحش، تنوع زیستی، سلامت و باردهی و میزان جنگل‌ها و سایر سیستم‌ها تأثیر می‌گذارند. اگر گرمایش جهانی پیش آید، محتمل‌ترین روش تطبیق با آن، کنارآمدن و زندگی‌کردن با آن است؛ اما شرط عقل این است که از انتشار دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر بکاهیم. لازمهٔ این کار انجام تغییرات در مدیریت زمین‌ها و همچنین مدیریت مصرف انرژی است؛ لذا راهبرد متناسب و توصیه‌کردنی، چیزی بین تخفیف کامل مسئله و یادگیری نحوهٔ کنارآمدن با این تغییرات است (پورخباز، ۱۳۸۱). بهبود شیوه‌های مدیریت اراضی، شرایطی را برای تعدیل افزایش غلظت دی اکسیدکربن فراهم می آورند که طی آن کربن اضافی، از طریق ذخیره‌شدن در بیوماس گیاهی و مواد آلی خاک، ترسیب می‌شود. این فرایند را اصطلاحاً ترسیب کربن خشکی[1] گویند (عبدی و همکاران، ۱۳۸۷). در طی قرون گذشته، فعالیت‌های بشری مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی، تبدیل مراتع به زراعت و سایر تغییر کاربری‌ها، سبب افزایش تراکم دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو زمین شده است (هارول و همکاران[2]، ۲۰۰۲). ترسیب کربن عبارت است از توانایی گیاهان و خاک برای جذب دی‌اکسیدکربن از اتمسفر و ذخیرهٔ آن به‌صورت کربن در اندام‌های گیاهی و خاک (رایس و همکاران[3]، ۲۰۰۴). وودبری و همکاران[4] (۲۰۰۶) بیان کردند فعالیت‌های انسان مواد آلی خاک را تغییر می‌دهد. تغییرات در اکوسیستم طبیعی تقریباً در همهٔ موارد، باعث کاهش‌یافتن و هدررفتن کربن خاک می‌شوند. تغییر مدیریت می‌تواند به طرق مختلف، این کمبود را جبران کند. بیشترین تأثیر انسان بر روی توزیع مواد آلی از طریق فرسایش است و به‌طور عمده، در زمین‌های کشاورزی و جنگل‌تراشی‌شده اتفاق می‌افتد. گرچه فرسایش، یک پدیدهٔ طبیعی است و در هر شرایطی اتفاق می‌افتد، اما فعالیت‌های انسان باعث تشدید آن می‌شود. براس و همکاران[5] (۱۹۹۹) بیان کردند فرایندهای اصلی ترسیب کربن در خاک شامل هوموسی‌شدن مواد آلی، تبدیل‌شدن مواد هوموسی به ترکیبات آلی- معدنی خاک، قرارگرفتن این ترکیبات در اعماق خاک، در مناطقی که شخم زده می‌شود، ریشه‌دوانی عمیق گیاهان و آهکی‌شدن است. لاملوم و ساویج[6] (۲۰۰۳) نشان دادند که گونه‌هایی با میزان لیگنین بالا، مقدار کربن بیشتری دارند. بر این اساس، گیاهان بوته‌ای و سوزنی‌برگ میزان کربن بیشتری در مقابل نهان‌دانگان دارند و تفاوت در میزان لیگنین، منجر به اختلاف در مقدار کربن در بافت‌های چوبی گیاهان می‌شود. کربی و پوتوین[7] (۲۰۰۷) با مقایسهٔ میزان ترسیب کربن در سه کاربری جنگل مدیریت‌شده، آگروفارستری سنتی و مرتع در شرق پاناما، مشاهده کردند که این میزان در جنگل مدیریت‌شده ۳۳۵ تن در هکتار، آگروفارستری سنتی ۱۴۵ تن در هکتار و در مرتع ۴۶ تن در هکتار است. بادهیان (۱۳۸۵) میزان ترسیب کربن در افق‌های معدنی خاک در یک جنگل راش را بررسی کرد. وی به این نتیجه رسید که میزان ترسیب کربن در افق‌های معدنی خاک در تودهٔ خالص بیشتر از تودهٔ آمیخته است. وی همچنین ارتباط بین ذخیرهٔ کربن و اسیدیته در لایه‌های آلی و معدنی خاک را بررسی کرد؛ اما ارتباط معنی‌داری بین میزان ترسیب کربن و pH به‌دست نیامد. این نتایج در تصمیم‌گیری برای چگونگی دخالت در توده‌ها جهت مدیریت بهتر جنگل‌های شمال ایران می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همت‌بلند و همکاران (۱۳۸۷) با مطالعهٔ اثر آتش‌سوزی بر میزان ترسیب کربن در جنگل‌های بلوط غرب در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴، اثر معنی‌دار آتش‌سوزی بر افزایش درصد کربن آلی در خاک‌های سطحی سوخته در مناطق آتش‌سوزی‌شده در مقایسه

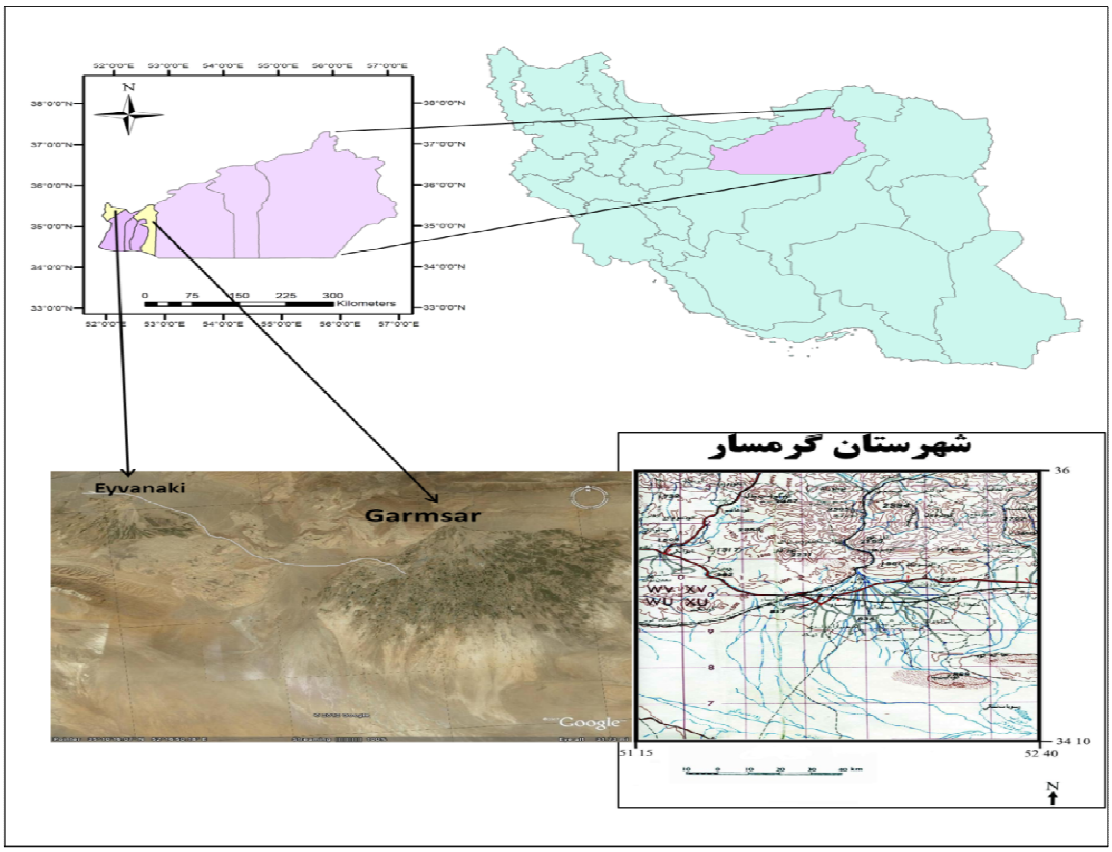
1. Terrestrial Carbon Sequestration
2. Harvell et al
3. Rice et al
4. Woodbury et al
5. Bruce et al
6. Lamlom and Savidge
7. Kirby and Potvin

با عرصه‌های کنترل‌شده را نشان دادند. ایشان دلیل افزایش کربن آلی پس از آتش‌سوزی را کاهش میزان معدنی‌شدن به‌دلیل کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی، از طریق کاهش تجزیهٔ مواد هوموسی و غیر هوموسی بر اثر سوختن، اتصال کربن آلی با مواد معدنی و حفاظت در مقابل تجزیهٔ بیوشیمیایی و تولید مواد آب‌گریز در سطح خاک و تکرار ورود گونه‌های تثبیت‌کنندهٔ ازت در عرصه‌های سوخته، بیان می‌کنند. ورامش و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی اثر جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک در پارک چیتگر تهران نشان دادند که توده‌های جنگل‌کاری‌شدهٔ کاج تهران و اقاقیا به‌ترتیب، سبب افزایش ترسیب کربن خاک به مقدار ۴۶/۱۸ و ۶۷/۳۷ تن در هکتار نسبت به زمین بایر (۱۰/۸ تن در هکتار) اطراف شدند و ارزش اقتصادی آن برای گونهٔ مذکور را به‌ترتیب ۲/۷۹ و ۳/۷۴۱ میلیون دلار برآورد کردند. نوبخت و همکاران (۱۳۹۰) با مقایسهٔ مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مازندران به این نتیجه رسیدند که ترسیب کربن خاک در تودهٔ پیسهآ با میزان ۱۲۴/۳ تن در هکتار به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) بیشتر از کاج سیاه به‌میزان ۹۴/۷ تن در هکتار، ون با ۸۷/۶ تن در هکتار و بلوط بلند مازو به‌میزان ۷۸/۱ تن در هکتار است. حق‌دوست و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی میزان ترسیب کربن در اراضی جنگلی تخریب‌شده به شالیزار و جنگل‌کاری با گونهٔ زربین در شمال ایران، میزان ذخیرهٔ کربن در تودهٔ تخریب‌شده را در حدود ۱۲۱ تن در هکتار و جنگل‌کاری را باعث افزایش آن به‌مقدار ۳۱ تن در هر هکتار و کشاورزی باعث کاهش ذخیرهٔ کربن به‌میزان ۲۳ تن در هکتار، محاسبه کردند. داسیلوا و همکاران[1] (۲۰۱۰) پتانسیل ترسیب کربن را با درنظرگرفتن نواحی مناسب برای ایجاد پوشش به‌وسیلهٔ گونه‌های بومی و غیربومی در حاشیهٔ بزرگراه در ایالت سائوپائولو را سناریوسازی کردند. در سناریو اول، گونه‌های بومی جنگل‌های بارانی آتلانتیک و در سناریو دوم، گیاهان غیربومی نظیر اکالیپتوس و کاج را بررسی کردند و مقدار کربن تثبیت‌شده را در گونه‌های بومی، ۱۲/۶۳ تن در هکتار و در گونه‌های غیربومی، ۶۳/۰۹ تن در هکتار به‌دست آوردند. حاشیهٔ جاده‌ها از جمله مناطقی است که قابلیت جذب کربن را دارند و از پتانسیل اکولوژیکی فراوانی نیز برخوردارند. با درنظرگرفتن عرض بزرگراه‌ها و شبکهٔ راه‌های کشور، پتانسیل بزرگی برای ترسیب کربن وجود دارد؛ درصورتی‌که در این مناطق، پوشش گیاهی ایجاد شود؛ البته تا کنون استعدادیابی نشده و مطالعات کمی روی آن صورت گرفته است. در این تحقیق، ارزیابی امکان‌سنجی ذخیرهٔ کربن در خاک و پوشش گیاهی کاربری جنگل دست‌کاشت (تاغ) در حریم جاده، در مناطق خشک و نیمه‌خشک بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، اتوبان تهران ـ مشهد در حد فاصل ایوانکی ـ گرمسار انتخاب شد (طبق قانون محدودهٔ حریم شهر، روستا و شهرک‌ها، وزارت راه و شهرسازی، به‌عنوان مسیر اصلی بوده که حریم آن ۷۶ متر از آکس به هر طرف مجموعاً ۱۵۲ متر است). علت انتخاب این مسیر که یکی از مهم‌ترین و پر ترددترین جاده‌های کشور (مسیر ترانزیتی) است، از لحاظ بار ترافیکی و ایجاد آلودگی هوا و نزدیکی به پایتخت بسیار حائز اهمیت است. شهرستان گرمسار در فاصلهٔ ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی منطقهٔ مورد مطالعه ۱۲۰ میلی‌متر، متوسط تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A ۳۲۰۰ میلی‌متر و براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن با میزان ۴/۰۵ در طبقهٔ اقلیمی خشک واقع شده است. متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۸۷۵ متر و شعاع مخروط‌افکنه گرمسار، حدود ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر است که شیب آن بین ۱/۴ درصد در قسمت شمالی و ۰/۵ درصد در بخش‌های جنوبی متغیر است؛ بنابراین، در محورهای رفت و برگشت در حاشیهٔ مسیر، اقدام به حفر پروفیل و نمونه‌برداری از گیاه و خاک گردید. مختصات جغرافیایی این نقاط عبارت‌اند از: عرض جغرافیایی ″۲۴ ′۱۴ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ″۲۱ ′۱۸ °۵۲ شرقی و ارتفاع ۸۵۰ متر در گرمسار. در مسیر برگشت گرمسار به ایوانکی دارای عرض جغرافیایی ″۳۴ ′۱۴ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ″۲۶ ′۱۸ °۵۲ شرقی و ارتفاع ۸۵۳ متر از سطح دریا در گرمسار.

1. Da Silva et al



شکل ۱: موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

در این مسیر و در منطقهٔ سردره در طی سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۳ (و تاکنون) ادارهٔ منابع طبیعی شهرستان گرمسار اقدام به تاغکاری کرده است؛ البته تاغکاری‌های سال ۱۳۴۸ که در قسمت بالادست این مسیر وجود دارد، به‌دلیل شیب زمین و نامرغوب بودن خاک منطقه، یکبار قطع شده است. از نظر زمین‌شناسی، حوضهٔ گرمسار به‌عنوان فروافتادگی[1] و یا مرکز رسوبگذاری نمک در شمال غربی و غرب حوضهٔ رسوبی کویر واقع شده است. فرونشست این حوضه، از کرتاسهٔ پیشین یعنی زمان بازشدگی[2] مهم فلات ایران، آغاز شده و رسوبات ائوسن را تاکنون در خود جای داده است (جکسون و همکاران[3]، ۱۹۹۰). گیاهان موجود در منطقهٔ مورد مطالعه، کاملاً سازگار با مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تاغ *Haloxylon aphyllum* (از خانوادهٔ Chenopodiaceae) درختچه‌ای سازگار با شرایط مناطق خشک و بیابانی است که رویشگاه اصلی آن در اراضی و تپه‌های شنی جنوب، شرق و مرکز ایران می‌باشد. در خاک‌های سبک تا نیمه‌سنگین و عمیق رویش می‌یابد و در اراضی بیابانی در تثبیت ماسه‌های روان و احیای اراضی بیابانی نقش دارد و مصرف خوراک دام داشته و چوب آن ارزش سوختی و ذغال‌گیری دارد. این گونهٔ درختچه‌ای به‌عنوان جنگل دست‌کاشت در مسیر گرمسار به ایوانکی و قبل از سردره در حاشیهٔ جاده به‌وفور یافت می‌شود. سن تاغ‌های موجود در منطقهٔ مورد مطالعه، سیزده ساله است. نمونه‌برداری از گیاه و خاک بدین صورت انجام گرفت که در حاشیهٔ جاده از آکس به طرفین (حریم جاده)، حداقل تعداد ۱۱ پلات ۵۰۰ متر مربعی برداشت شد و پس از آن، در هر پلات، تعداد افراد گونه‌های گیاهی غالب شمارش شد و تراکم هر گونه در واحد سطح

1. Embayment
2. Rifting
3. Jackson et al

محاسبه شد. برای نمونه‌برداری از گیاه، پس از استقرار پلات‌های نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ارتفاع و سطح تاج پوشش گیاهان موجود، تمامی بیوماس هوایی و زیرزمینی قطع شد و برای تعیین وزن خشک و میزان کربن به آزمایشگاه انتقال یافت تا تغییرات بیوماس مشخص شود؛ درنتیجه، تغییرات میزان کربن در گیاهان تعیین شد. مراحل انجام آزمایش پوشش گیاهی بدین صورت بود که پس از توزین و قراردادن نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ تا ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت برای خشک‌شدن و از بین رفتن رطوبت اولیه، نمونه‌ها در کورهٔ الکتریکی در دمای ۳۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفت و خاکستر حاصل از احتراق نمونهٔ گیاهی توزین شد. کاهش وزن حاصل از احتراق مادهٔ آلی (حدود ۵۰٪ مادهٔ آلی)، کربن در نظر گرفته می‌شود. در هر یک از پلات‌های نمونه‌برداری گیاهی در پای بوته‌ها و در فضای بین بوته‌ها، پروفیل خاک حفر شد و نمونه‌گیری در سه لایهٔ سطحی متأثر از ماده آلی، لایهٔ زیر سطحی و لایهٔ گسترش ریشه در پنج تکرار آزمایش انجام شد. نمونه‌برداری در هر پروفیل براساس عمق خاک و وسعت ریشه‌دوانی از عمق‌های متفاوتی انجام می‌شود (آذرنیوند و جنیدی جعفری، ۱۳۸۸). مطالعات فیزیکی و شیمیایی نیز بر آن‌ها صورت گرفت. عمق‌های نمونه‌برداری براساس توسعهٔ ریشه، ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متری است.

برای برآورد کربن آلی خاک از روش واکلی- بلاک که یک تکنیک احتراق مرطوب بدون حرارت است، استفاده شد. در این روش، یک فاکتور تصحیح برای تبدیل مقدار واکلی- بلاک به مقدار مادهٔ آلی محاسبه می‌شود (واکلی و بلاک[1]، ۱۹۳۴). مقدار این فاکتور با این فرض که ۵۸٪ مادهٔ آلی خاک، کربن آلی باشد، معمولاً ۱/۷۲۴ در نظر گرفته می‌شود. کربن آلی با استفاده از این روش، بر مبنای اکسیداسیون کربن آلی به‌کمک بیکرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملاً اسیدی H_2SO_4 اندازه‌گیری می‌شود (آلیسون[2]، ۱۹۶۵). اگر خاک ما دارای کربن معدنی باشد، برای اندازه‌گیری کربن آلی می‌توان از روش احتراق مرطوب استفاده کرد. در این روش، کربنات‌ها و کربن معدنی اندازه‌گیری نمی‌شود و می‌توان مستقیماً کربن آلی را اندازه‌گیری کرد. فرمول (۱).

$$\%OC=\frac{(A-B)n\times 0.39}{\text{وزن نمونه}} \qquad (۱)$$

در این فرمول، A حجم فروسولفات‌آمونیوم مصرفی برای نمونهٔ شاهد، B حجم فروسولفات‌آمونیوم مصرفی برای نمونهٔ خاک و n نرمالیتهٔ فروسولفات‌آمونیوم (۰/۵) است. برای محاسبهٔ میزان کربن ترسیب‌شده در خاک، پارامترهایی نظیر تخلخل خاک، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد کربن آلی و عمق خاک اندازه‌گیری می‌شود (زاهدی امیری[3]، ۱۹۹۸)، فرمول (۲).

$$C = 10000 \times \rho_i \times d_i \times oc_i \qquad (۲)$$

در این رابطه، ρ_i وزن مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، d_i عمق پروفیل خاک اندازه‌گیری بر حسب سانتی‌متر و oc_i درصد کربن آلی خاک است. پس از تعیین میزان کربن آلی تثبیت‌شده در خاک، به‌همراه کربن موجود در پیکرهٔ گیاه، مقدار کربن آلی در قسمت‌های مختلف گیاه مقایسه شده و رابطهٔ آن با میزان کربن خاک توسط آزمون-های آماری مقایسهٔ میانگین دانکن، تجزیهٔ واریانس و روابط همبستگی در سطح اطمینان ۹۵٪ با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 بررسی شد.

نتایج

جدول ۱ نتایج خاک‌شناسی حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای بافت خاک و ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن و وزن مخصوص ظاهری در پروفیل نمونه‌های خاک نشان‌دهندهٔ بافت لوم شنی در منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1. Walkley and Black
2. Allison
3. Zahedi Amiri

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی خاک در پروفیل نمونه‌برداری در حاشیهٔ جاده

عمق پروفیل	درصد سنگریزه	ρ (gr/Cm^3)	بافت خاک	درصد سیلت	درصد رس	درصد شن
۱۰ – ۰	۴۵	۱/۶۸ ±۰/۰۲	sandy clay loam / sandy loam	۲۲	۲۰	۵۸
۱۰ – ۰			sandy loam	۲۲	۱۸	۶۰
۳۰ – ۱۰	۵۱	۱/۶۸ ±۰/۰۲	sandy loam	۱۸	۱۸	۶۴
۳۰ – ۱۰			sandy clay loam / sandy loam	۲۰	۲۰	۶۰
۹۰ – ۳۰	۴۲	۱/۷	sandy loam	۱۶	۱۶	۶۸
۹۰ – ۳۰			sandy loam	۱۶	۱۸	۶۶

مجموع کل کربن ترسیب‌شده در بخش خاک جنگل دست‌کاشت تاغ برابر با ۴۷/۷۲ تن در هکتار است (جدول ۲). نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین دانکن نشان‌دهندهٔ وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار بین لایه‌های ۱۰تا۳۰ و ۳۰ تا۹۰ سانتی‌متری و اختلاف معنی‌دار این دو بخش با لایهٔ سطحی خاک (۰تا۱۰ سانتی‌متری) در سطح پنج درصد است (جدول ۳ و شکل ۲).

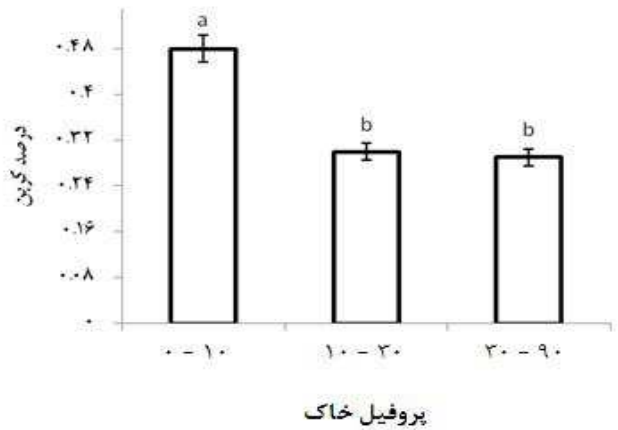
جدول ۲: خصوصیات شیمیایی خاک در پروفیل نمونه‌برداری در حاشیه جاده

عمق پروفیل نمونه‌برداری	فسفر (ppm)	درصد آهک	pH	EC (میلی موس بر سانتی‌متر)	C/N	کربن (گرم در متر مربع)	درصد ماده آلی	درصد کربن آلی
۱۰ – ۰	۱۳/۵۸	۲۴/۳۶	۷/۸	۳/۰۸	۱۱/۷	۸۰۶/۴	۰/۷۱	۰/۴۸
۳۰ – ۱۰	۷/۷۵	۲۳/۸	۷/۸	۳/۶	۱۰/۷۱	۱۰۰۸	۰/۵۲	۰/۳
۹۰ – ۳۰	۹/۶	۲۱/۱۷	۷/۷	۳/۱۶	۱۲/۶	۲۹۵۸	۰/۵۱	۰/۲۹

جدول ۳: تجزیهٔ واریانس درصد کربن آلی در پروفیل خاک جنگل دست‌کاشت تاغ

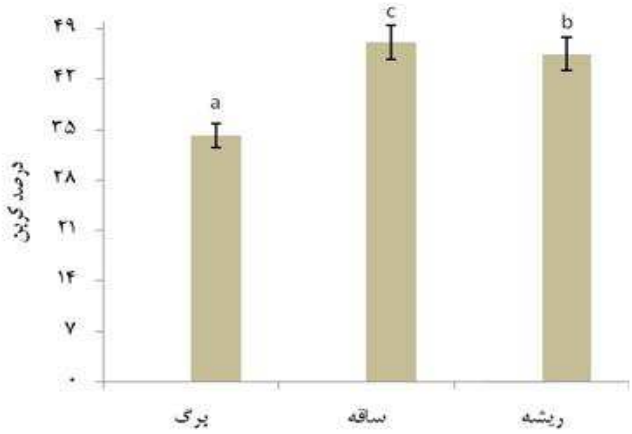
منابع متغیر	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	آماره F
واریانس بین گروهی	۰/۳۱۲	۲	۰/۱۵۶	۵/۰۶۴*
واریانس درون گروهی (خطا)	۱/۱۰۹	۳۶	۰/۰۳۱	
واریانس کل	۱/۴۲۱	۳۸		

* معنی‌داری در سطح پنج درصد

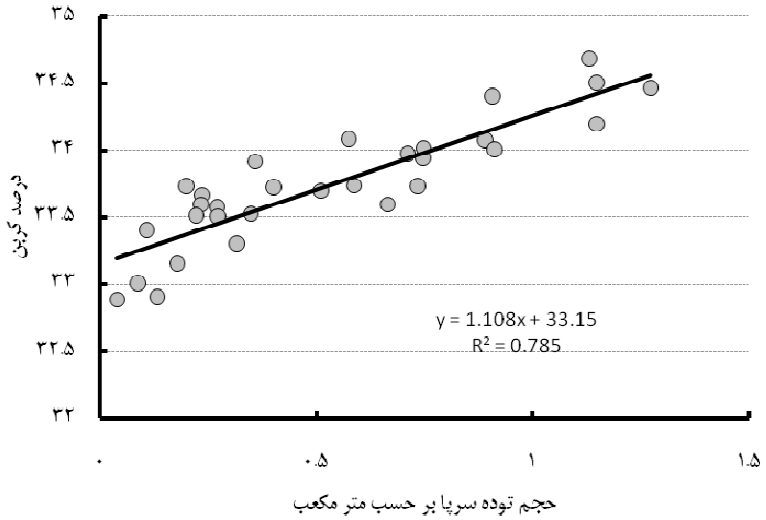


شکل ۲: مقایسهٔ درصد کربن آلی خاک در لایه‌های مختلف خاک جنگل دست‌کاشت تاغ

درصد کربن آلی موجود در برگ گیاه تاغ برابر ۳۴/۲ درصد بوده که با توجه به تراکم ۶۲۵/۴ پایه در هکتار، میزان کل کربن ذخیره‌شده در قسمت برگ ۵۷/۳۲ کیلوگرم در هکتار است. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین دانکن نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار درصد کربن آلی موجود در برگ گیاه تاغ با سایر اندام گیاه تاغ، شکل ۳ و همچنین رابطهٔ همبستگی بین درصد کربن آلی موجود در برگ با حجم توده سر پا گیاه تاغ مثبت است (شکل ۴).

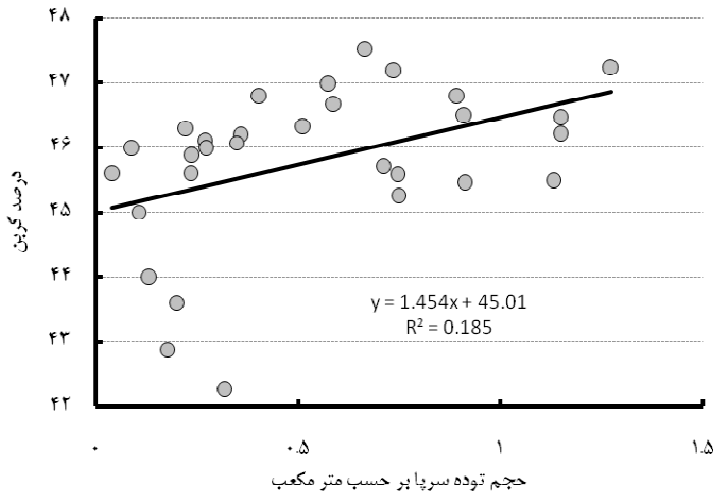


شکل ۳: مقایسهٔ درصد کربن آلی اندام‌های هوایی و زیرزمینی جنگل دست‌کاشت



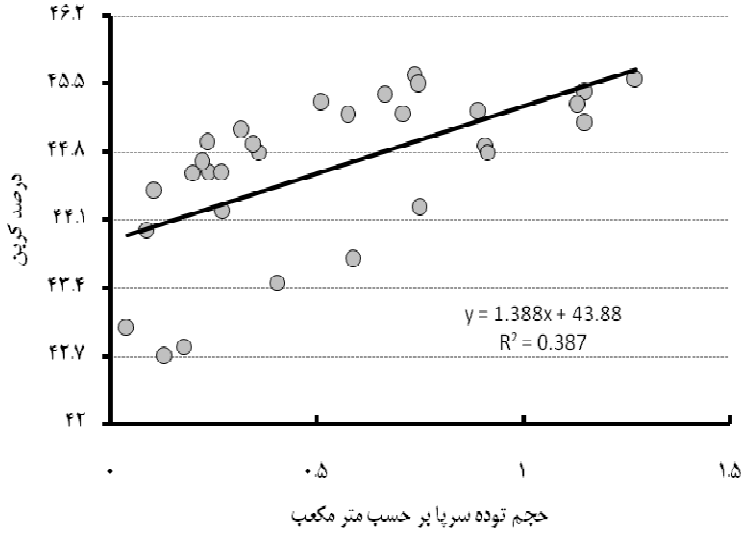
شکل ۴: رابطهٔ همبستگی درصد کربن برگ در جنگل دست‌کاشت تاغ و حجم تودهٔ سر پا

میزان درصد کربن آلی ساقه گیاه تاغ برابر ۴۷/۱ درصد و میزان کل کربن ذخیره‌شده در این بخش، ۱۱۳/۴ کیلوگرم در هکتار است. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگن دانکن نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین درصد کربن ساقهٔ گیاه تاغ با سایر اندام این گیاه دارد. نمودار همبستگی درصد کربن آلی در ساقه با حجم تودهٔ سر پای گیاه تاغ نیز، نشان‌دهندهٔ وجود همبستگی بسیار ضعیف بین آن به‌دلیل وجود اختلاف معنی‌دار درصد کربن آلی آن با سایر اندام گیاه تاغ است (شکل ۵).



شکل ۵: رابطهٔ همبستگی درصد کربن ساقه در جنگل دست‌کاشت تاغ و حجم تودهٔ سر پا

درصد کربن آلی موجود در انـدام زیرزمینـی گیـاه تـاغ در کاربری جنگل دست‌کاشت ۴۵/۵ درصـد و میـزان کـل کـربن ذخیره‌شده در ریشـه، برابـر ۴۱۲/۶ کیلـوگرم در هکتـار اسـت. نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین دانکن وجود اخـتلاف معنـی‌دار را بین میزان کربن اندام زیرزمینی گیاه تاغ با اندام هوایی این گیـاه نشان می‌دهد. همچنین رابطهٔ همبسـتگی ضـعیفی بـین درصـد کربن آلی ریشه و حجم تودهٔ سر پا گیـاه تـاغ وجـود دارد کـه بیانگر میزان ذخیرهٔ بیشتر کربن در انـدام زیرزمینـی نسـبت بـه اندام هوایی گیاه تاغ است؛ اما درصد کربن آلی آن از ساقه کمتر است (شکل ۶).



شکل ۶: رابطهٔ همبستگی درصد کربن ریشه در جنگل دست‌کاشت تاغ و حجم تودهٔ سر پا

بحث و نتیجه‌گیری

کنارهٔ جاده‌ها یکی از مناطقی است کـه قابلیـت جـذب کـربن را دارند و از پتانسیل اکولوژیکی زیادی نیز برخوردارند. فواید ایجاد پوشش گیاهی حـریم جـاده‌هـا عـلاوه بـر ذخیـره‌سـازی کـربن عبارت‌اند از: کاهش و کنترل فرسایش، ایجاد کریدور اکولوژیکی، چشم‌انداز عمومی، کاهش آلودگی صـوتی و ایجـاد میکروکلیمـا. نتایج حاصل از ایـن تحقیـق و مطالعـات دیناکـاران و کریشـنایا[1] (۲۰۰۸) در هند و جنیدی جعفری (۱۳۸۸) نشان می‌دهد که نـوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی، تأثیر معنی‌داری بر میـزان کـربن آلی خاک دارد و رابطه‌ای مثبت بین کربن آلـی خـاک بـا درصـد پوشش گیاهی و بیوماس وجود دارد. وومر و همکـاران[1] (۲۰۰۴)

1. Dinakaran and Krishnayya

با مطالعاتی که در کشور سنگال بر روی میزان کربن ذخیره‌شده در خاک و گیاه انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که حدود ۶۰ درصد از کربن آلی خاک، در عمق ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک ذخیره شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد. نتایج این تحقیق در اندازه‌گیری پتانسیل ترسیب کربن گونه‌های بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک در حاشیهٔ جاده، با مطالعات داسیلوا و همکاران[2] (۲۰۱۰) که پتانسیل ترسیب کربن را با درنظرگرفتن نواحی مناسب جهت ایجاد پوشش به‌وسیلهٔ گونه‌های بومی و غیربومی در حاشیهٔ بزرگراه در ایالت سائوپائولو را سناریوسازی کردند، مطابقت ندارد. ایشان مقدار کربن تثبیت‌شده را در گونه‌های بومی ۱۲/۶۳ تن در هکتار و در گونه‌های غیربومی ۶۳/۰۹ تن در هکتار به‌دست آوردند. مطالعات جنیدی جعفری (۱۳۸۸) بر روی مجموع کل کربن ترسیب‌شده در عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در تیمار تاغکاری در منطقهٔ ایوانکی میزان ۴۹/۵ تن در هکتار با نتایج این تحقیق مشابهت داشت؛ اما با میزان کربن ترسیب‌شده در عمق‌های مختلف متفاوت است. نتایج این تحقیق با تحقیقات جنیدی جعفری (۱۳۸۸) در بخش میزان کربن ذخیره‌شدهٔ بیوماس اندام هوایی گیاه تاغ با میزان ۷۲۳۹/۵ کیلوگرم در هکتار متفاوت است. همچنین این نتایج در بخش بیوماس اندام زیرزمینی به‌میزان ۴۴۰۵/۷ کیلوگرم در هکتار نیز مطابقت ندارد. امانی و مداح عارفی (۱۳۸۲) با مطالعهٔ قابلیت ترسیب کربن در تاغزارهای دست‌کاشت کشور، مقدار کربن ترسیب‌شده در اندام هوایی را معادل ۵ تن در هکتار و میزان کربن کل اندام هوایی و زیرزمینی و خاک را در این مناطق، معادل ۱۰ تن در هکتار برآورد کردند؛ اما این مطالعه با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد. احمدی و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که میزان ترسیب کربن در بین اندام‌های مختلف گونهٔ سیاه تاغ دارای تفاوت معنی‌داری بوده و بیشترین میزان کربن ترسیب‌شده به‌ترتیب در برگ، ساقهٔ اصلی، ریشه و ساقهٔ فرعی است؛ اما در تحقیق پیشرو، میزان کربن ذخیره‌شده به‌ترتیب در ریشه، ساقه و برگ دارای تفاوت معنی‌داری است. همبستگی بین درصد کربن آلی موجود در برگ با حجم تودهٔ سر پا گیاه تاغ مثبت بوده که دلیل آن بالابودن سطح و حجم اندام فتوسنتزکننده در گیاه نسبت به سایر اندام آن است. میزان کل کربن ذخیره‌شده از مجموع اندام هوایی و زیرزمینی گیاه تاغ برابر ۵۸۲/۲ کیلوگرم در هکتار و همچنین مجموع کل کربن ترسیب‌شده در بخش خاک و گیاه اکوسیستم جنگل دست‌کاشت تاغ ۵۳/۵۴ تن در هکتار است. جنیدی جعفری (۱۳۸۸) میزان کل کربن آلی ترسیب‌شدهٔ اکوسیستم در تیمار تاغکاری ناحیهٔ ایوانکی را ۶۱/۲ تن در هکتار محاسبه کرد که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد. بخش فراوانی از ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که دارای بارش سالیانه بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر هستند و قابلیت ترسیب کربن توسط گونه‌های سازگار در این مناطق که بعضاً از گونه‌های چوبی و بوته‌ای می‌باشد، بسیار زیاد است؛ اما متأسفانه تاکنون به توان بالقوه و بالفعل ترسیب کربن در این عرصه‌ها کمتر توجه شده است. در سنوات اخیر با توجه به تأکیدات جهانی، توجه ویژه‌ای به این امر شده و ازآنجاکه در آینده‌ای نه چندان دور، به احتمال زیاد کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی، موظف به ارائهٔ آمار و ارقامی از کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی یا اقدام در جهت ترسیب کربن خواهند شد، در ایران نیز، در کنار فعالیت‌های اصلاح و احیای پوشش گیاهی در سطح مراتع و اجرای برنامه‌های بیابان‌زدایی، کاشت گونه‌های چوبی به‌منظور ترسیب کربن، بیش از پیش مدّ نظر مدیران و برنامه‌ریزان قرار گرفته و براساس مطالعات انجام‌شده در کشور، هر هکتار از مراتع کشور سالانه، قادر به ترسیب ۰/۳۷ تن کربن و تولید ۹۷۷ کیلوگرم اکسیژن در هکتار هستند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷).

منابع

۱. آذرنیوند، حسین و جنیدی جعفری، حامد. ۱۳۸۸. بررسی اثر چرای دام بر ترسیب کربن و ذخیرهٔ ازت در مراتع با گونهٔ درمنه دشتی در استان سمنان. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۳ (۴): ۵۹۰-۶۱۰.

۲. احمدی، حمزه، حشمتی، غلامعلی، پسرکلی، محمد و ناصری، حمیدرضا. ۱۳۸۸. مقایسهٔ میزان ترسیب کربن در اندام‌های گونه تاغ؛ مطالعه موردی جنوب دریاچه نمک. چهارمین همایش ملی مرتع و مرتعداری ایران، ۲۸ لغایت ۳۰ مهرماه، مجتمع آموزش منابع طبیعی دکتر جوانشیر (کلاک) مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

1. Woomer et al
2. Da Silva et al

۳. امانی، منوچهر و مداح عارفی، حسن. ۱۳۸۲. بررسی قابلیت ترسیب کربن تاغزارهای دست‌کاشت کشور و استراتژی آینده. اولین همایش ملی تاغ و تاغکاری در ایران، ۲۷ لغایت ۲۹ خرداد ماه، کرمان.

۴. بادەیان، ضیاءالدین. ۱۳۸۵. بررسی ارتباط بین ذخیرۀ کربن و pH در لایه‌های آلی و معدنی خاک در یک جنگل آمیخته راش. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران.

۵. پورخباز، علیرضا و پورخباز، حمیدرضا. ۱۳۸۱. عمده‌ترین آشفتگی‌های زیست‌محیطی قرن حاضر، باران اسیدی، لایۀ ازن و گرمایش جهانی. انتشارات آستان قدس رضوی (شرکت به‌نشر)، ۳۷۶ ص.

۶. جنیدی جعفری، حامد. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر برخی عوامل بوم‌شناختی و مدیریتی بر میزان ترسیب کربن در رویشگاه‌های گونۀ درمنه دشتی Artemisia sieberi (مطالعۀ موردی مراتع استان سمنان). رساله دکتری مرتعداری، دانشگاه تهران، ۱۲۶ص.

۷. حق‌دوست، نیلوفر، اکبری‌نیا، مسلم، حسینی، سید محسن. ۱۳۹۰. تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگل‌های تخریب‌یافته شمال کشور بر میزان ذخیره کربن خاک مطالعۀ موردی منطقۀ چمستان استان مازندران. مجله جنگل و مرتع، ۹۲: ۶۰-۶۵.

۸. عبدی، نورالله، مداح عارفی، حسن، زاهدی امیری، قوام‌الدین. ۱۳۸۷. برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گون زارهای استان مرکزی؛ مطالعۀ موردی منطقه مالمیر شهرستان شازند. فصلنامه علمی‌پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵ (۲): ۲۶۹_۲۸۲.

۹. مهدوی، سیده خدیجه، مختاری‌اصل، ابوالفضل، مهدوی، فاطمه. ۱۳۸۷. توجه به نقش مراتع در ترسیب کربن. فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۷۹ و ۸۰، ۲۴-۳۱.

۱۰. نوبخت، عباسعلی، پورمجیدیان، محمدرضا، حجتی، سید محمد، فلاح، اصغر. ۱۳۹۰. مقایسۀ مقدار ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن برگ؛ مطالعۀ موردی طرح جنگل‌داری دهمیان، مازندران. مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۳ (۱): ۱۳-۲۳.

۱۱. ورامش، سعید، حسینی، سید محسن، عبدی، نورالله و اکبری‌نیا، مسلم. ۱۳۸۹. اثرهای جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک. مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۲ (۱): ۲۵-۳۵.

۱۲. همت‌بلند، ابراهیم، اکبری‌نیا، مسلم، بانج شفیعی، عباس. ۱۳۸۷. اثر آتش‌سوزی بر کربن آلی در خاک سطحی جنگل‌های بلوط غرب ایران منطقه مریوان. فصلنامه جنگل و مرتع، شمارۀ ۷۹ و ۸۰، ۸۳-۸۷.

13. Allison, L.E., 1965. Organic Carbon, Chemical and Microbiological Projects, American society of Agronomy Madison, P: 1367.
14. Bruce, J.P., Forme, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R., Faustian, K., 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of soil and water conservation, 54 (1): 382-389.
15. Da Silva, A.M., Braga, A.C., Alves, S.H., 2010. Roadside vegetation: estimation and potential for carbon sequestration. iForest Biogeosciences and Forestry, 3: 124-129.
16. 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. Current science, 94:1144-1150.
17. Harvell, A.D., Wienhoil, B.J., Black, A.L., 2002. Tillage nitrogen and cropping system effect on carbon sequestration. SSSA J, 66: 906-912.
18. Jackson, M.P.A., Cornelius, R.R., Craig, C.H., Gansser, A., Stocklin, J., Talbot, J.C., 1990. Salt Diapirs of the Great Kavir, Central Iran. Mem, Geol. Soc. Am. Vol. 177: 139 P.
19. Kirby, K.R., Potvin, C., 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management, 246: 208–221.
20. Lamlom, S.H., Savidge, R.A., 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation with and between 41 North America species. Biomass and bioenergy, 25: 381-388.
21. Rice, C.W., Garcia, F., Hampton, C., 1994. Soil microbial response in tall grass prairie to elevated CO_2. Plant and soil, 165: 62-75.
22. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci, 37: 29-38.
23. Woodbury, B.P., Heath, L.S., Smith, J.E., 2006. Land use change effects on forest carbon cycling throughout the southern United States. Environ, 35: 1348-1363.
24. Woomer, D., Tourc, L., Sall, A., 2004. Carbon Stocks in Senegal's Sahel transition zone. Journal of Arid Environments, 134-147.
25. Zahedi Amiri, G., Relation between ground vegetation and soil characteristics in a mixed hardwood. PhD thesis, Ghent University, pp. 319. 1998.