دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره پنجم، شماره یازدهم، پاییز و زمستان ۹۶
http://pec.gonbad.ac.ir

بررسی میزان توانایی ترسیب کربن پوشش درختی و خاک حاشیه بزرگراه در زیست‌بوم جنگلی زاگرس (مطالعه موردی: بزرگراه خرم‌آباد – اندیمشک)

فرهاد قاسمی آقباش[۱*]، شریفه حیدریان[۲]، عیسی سلگی[۳]

[۱]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر
[۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر
[۳]استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه ملایر، ملایر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲

چکیده

دی‌اکسیدکربن عمده‌ترین گاز گلخانه‌ای است که فعالیت‌های انسانی غلظت آن را در اتمسفر افزایش داده است. ترسیب کربن در پوشش درختی، گیاهی و خاک‌های تحت آن ساده‌ترین و به لحاظ اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن جهت کاهش کربن اتمسفری محسوب می‌شود. لذا این پژوهش به منظور بررسی توانایی ترسیب کربن پوشش درختی، علفی و خاک حاشیه جاده در بزرگراه خرم آباد- اندیمشک انجام شد. جهت دستیابی به اهداف مورد نظر، چهار ترانسکت به فاصله ۱۰۰ متری از همدیگر به صورت عمود بر بزرگراه پیاده شدند که در هر کدام از ترانسکت‌ها هشت پلات مربعی شکل به فواصل ۱، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متری از همدیگر پیاده شدند. همچنین در مجاورت این ترانسکت‌ها زمین عاری از پوشش درختی و گیاهی به‌عنوان قطعه شاهد انتخاب شد. در داخل هر پلات کربن ترسیب شده در پوشش درختی، پوشش علفی و خاک (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد مقدار کربن ترسیب شده به‌ترتیب افزایش فاصله از بزرگراه در درختان به ترتیب ۱۰۴/۳۰، ۴۱/۱۵، ۳۳/۷۶ و ۲۹/۰۱ تن در هکتار، در پوشش علفی به ترتیب ۴۹/۰۳، ۱۵۵/۳۶، ۸۲/۴۳ و ۱۱۳/۰۳ تن در هکتار، در خاک به‌ترتیب ۳۲/۱۷، ۳۹/۸۲، ۴۷/۳۷ و ۴۷/۸۰ تن در هکتار و در خاک عاری از پوشش گیاهی ۶/۱۹ تن در هکتار بود. براساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که بیشترین ترسیب کربن در حاشیه بزرگراه مربوط به درختان است. پوشش علفی نیز بیشترین مقادیر ترسیب کربن را در هریک از اجزای مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند.

***واژه‌های کلیدی*: اثرات بزرگراه، پوشش علفی، ترسیب کربن، خاک، سرشاخه و برگ درختان**

*نویسنده مسئول: f.ghasemi@malayeru.ac.ir

مقدمه

جنگل‌ها در حدود ۸۵ الی ۹۰ درصد بیوماس پوشش گیاهی اکوسیستم‌های زمینی را به خود اختصاص داده‌اند و چیزی در حدود ۱۰ درصد کربن اتمسفر طی فرایندهای فتوسنتز و تنفس توسط درختان در حال مبادله است (Hu et al., 2017). بنابراین برآورد میزان ذخیره کربن پوشش جنگلی و نقش آن‌ها در چرخه جهانی کربن از اهمیت بسزایی برخوردار است. در قرن حاضر مسایل محیط زیستی شامل تخریب زمین و بیابان‌زایی، تهدید تنوع زیستی، تضعیف منابع آب، تخریب جنگل‌ها و مراتع و بالاخره تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین از چالش‌های مهم در توسعه پایدار به شمار می‌روند (جعفریان و سید علیخوانی، ۱۳۹۲). از جمله عواقب گرم شدن کره زمین، بروز مشکلات محیط زیستی و افزایش حوادث و بلایای طبیعی مانند طوفان‌ها و گردبادها، آتش‌سوزی‌های شدید در جنگل‌ها، جزر و مد و حرکت افقی آب دریا، سیل، قحطی و خشکسالی، هجوم حشرات و غیره است که در چند دهه اخیر نیز افزایش چشمگیری داشته است. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد پذیرش اکثرکشورهای جهان واقع شده است. عمده‌ترین مسئله پیش رو مدیریت مطلوب میزان کربن است که برای رسیدن به این هدف راهکارهایی پیشنهاد شده است که عبارتند از: کارایی انرژی مصرفی، افزایش مصرف حامل‌های انرژی با کربن کمتر و یا بدون کربن (انرژی باد، انرژی هسته‌ای و انرژی زیستی) و جدیدترین راهکار شناخته شده روش ترسیب کربن (به دام انداختن و ذخیره کربن اتمسفری) است. ترسیب کربن به عنوان بخشی از چرخه کربن واژه‌ای است که برای تشریح تبادل کربن (به اشکال گوناگون مانند دی‌اکسیدکربن) میان جو، اقیانوس، زیست‌کره خشکی و رسوبات زمین-شناسی به کار می‌رود، که به صورت تبادل اندک بین منابع اتفاق می‌افتد (ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). از آن‌جایی که پالایش کربن با روش های مصنوعی مثل فیلتر و غیره هزینه‌های سنگینی را در بر دارد، بنابراین ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکار ممکن برای کاهش دی‌اکسید کربن در جو ترسیب آن در زیست توده گیاهی و خاک است (Subedi et al., 2010). تبدیل بوم سازگان جنگلی و مرتعی به اراضی زراعی موجب هدر رفت حدود ۳۰ تا ۵۰ تن کربن در هکتار در سال می‌شود. بنابراین مدیریت منابع خاکی و به خصوص کنترل فرسایش و رسوب می‌تواند سبب مهیا نمودن ترسیب کربن شود (جوادی طبالوندانی و همکاران، ۱۳۸۹). افزایش ترسیب کربن در بوم سازگان جنگلی به آسانی میسر نیست و ساز و کارهای موثر بر نهاده‌های ئورودی کربن و چرخه ماده آلی خاک پیچیده هستند و با زمان تغییر می‌کنند، به‌طوری‌که در نتایج تحقیقات انجام گرفته درباره تاثیر جنگل‌کاری بر ترسیب کربن خاک تناقض‌هایی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در حالی که ژائو و همکاران (Zhao et al., 2007) و نئوفدت و همکاران (Neufedt et al., 2002) نشان دادند که جنگل‌کاری، ترسیب کربن خاک را کاهش می‌دهد، پژوهش‌های دیگر (Cheng et al., 2007; Xiao-Wen et al., 2009) افزایش قابل توجه ترسیب کربن خاک در اثر جنگل‌کاری را گزارش کرده‌اند (ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). میزان ترسیب کربن در مناطق مختلف با توجه به نوع گونه‌های گیاهی، روش احیاء و شرایط محیطی به ویژه مقدار بارندگی متفاوت است.

میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رویشی گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، تغییر

کاربری اراضی، نوع عملیات احیایی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Schuman, 2002). نتایج مطالعات عبدی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که کربن آلی خاک با پوشش گیاهی همبستگی مثبت دارد. همچنین براساس گزارش نقی‌پور و همکاران (۱۳۸۷)، در مجموع ۱۸۱۴ میلیون تن کربن در کل پوشش گیاهی و خاک‌های جهان نگهداری می‌شود که با احیاء یا تغییر مدیریت آن‌ها می‌توان توانایی آن‌ها برای ذخیره کربن را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. اثر فعالیت-های انسانی نظیر مدیریت جنگل و تغییر کاربری اراضی در ترسیب کربن در سطوح مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. اما مطالعات مربوط به پویایی کربن درخصوص شبکه جاده بسیار محدود بوده و خلاء اطلاعاتی درخصوص ارتباط بین شبکه جاده و ذخیره کربن وجود دارد (Hu et al., 2017). بوچارد و همکاران (Bouchard et al., 2013) با بررسی ظرفیت و نقش پوشش علفی حاشیه بزرگراه‌ها گزارش دادند که ترسیب کربن با سن پوشش علفی و همچنین مرطوب بودن خاک حاشیه بزرگراه ارتباط مستقیمی دارد. رمی و همکاران (Remy et al., 2016) با بررسی تغییرات ذخایر کربن در حاشیه جنگل-های معتدله در کشورهای بلژیک و دانمارک گزارش دادند که ذخایر کربن در حاشیه جنگل در مقایسه با قسمت‌های داخلی آن بیشتر بود (۶۴۶ کیلوگرم در هکتار در سال). نتایج بررسی هو و همکاران (Hu et al., 2017) نشان داد که با افزایش فاصله از جاده میزان ترسیب کربن پوشش جنگلی کاهش پیدا می‌کند و این نتایج مشابه با نتایج بررسی‌های انجام شده توسط این محققان در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۲ بود. چاپلین-کرامر و همکاران (Chaplin-Kramer et al., 2015) با بررسی اثرات حاشیه‌ای جنگل بر میزان ذخیره کربن درختان در جنگل‌های حاره‌ای گزارش دادند که این میزان در ۵۰۰ متر اول حاشیه جنگل در حدود ۲۵ درصد کمتر از قسمت‌های داخلی جنگل است. این میزان کاهش زی‌توده در ۱/۵ کیلومتری حاشیه جاده به ۱۰ درصد تقلیل پیدا می‌کند. تحقیق حاضر با هدف اصلی بررسی میزان ذخیره کربن در حجم سرپای درختان و پوشش علفی حاشیه بزرگراه خرم آباد - اندیمشک در محدوده پل زال انجام گرفت. در این تحقیق فرض شد که بین میزان ذخیره کربن در حجم سرپای درختان و پوشش علفی حاشیه بزرگراه با کربن خاک ارتباط و همبستگی مثبت معنی داری وجود دارد.

مواد و روش‌ها

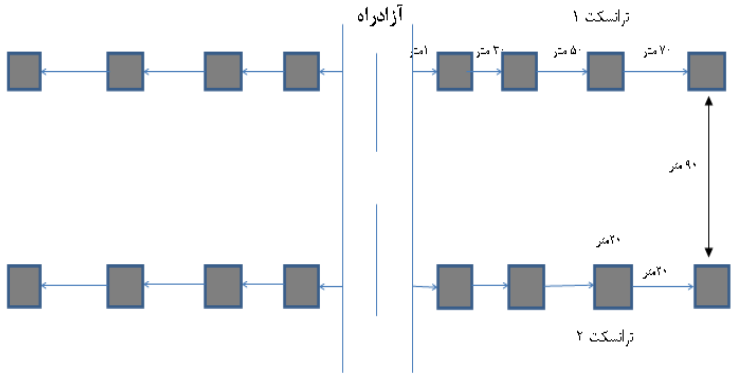
منطقه مورد مطالعه

بزرگراه خرم آباد- اندیمشک به طول ۱۰۴ کیلومتر در دل کوه‌های زاگرس احداث شده است. منطقه مورد مطالعه در فاصله هفت کیلومتری از شهرستان خرم آباد در ارتفاع ۱۳۹۴ متر از سطح دریا قرار گرفته است. منطقه شاهد نیز در مجاورت منطقه مورد مطالعه در اراضی، خالی از پوشش گیاهی انتخاب شد. براساس آمار و اطلاعات بلندمدت ایستگاه‌های آب و هواشناسی هم جوار (پل دختر، معمولان، افرینه و خرم آباد) ریزش‌های جوی در منطقه مورد مطالعه به صورت برف و باران بوده و میزان آن ۵۱۱/۱ میلی‌متر در سال است. میانگین سالانه دما نیز ۱۷/۰۴ درجه‌سانتی‌گراد است. با استفاده از روش آمبرژه اقلیم منطقه

نیمه خشک معتدل تعیین شد. بافت خاک از لوم شنی تا لوم رسی شنی متغیر است. افق‌های تحتانی خاک به دلیل وجود آهک و ماده آلی کم از قهوه‌ایی متمایل به زرد تا قهوه‌ایی متمایل به زرد روشن متغیر هستند. اسیدیته خاک های منطقه بین ۷/۵ تا ۸/۲ متغیر است. هدایت الکتریکی عصاره اشباع این خاک‌ها نیز کمتر از یک میلی موس بر سانتی‌متر بوده و محدودیتی برای رشد پوشش گیاهی ایجاد نمی‌کند (خوش صولت و فریدونی، ۱۳۸۰). بلوط ایرانی به تنهایی در برابر کلیه گونه‌های درختی و درختچه ای دیگر دارای بیش از ۹۵ درصد پوشش در اراضی جنگلی بوده و به‌عنوان تیپ غالب در فرم های پرورشی مختلف اعم از دانه‌زاد، شاخه‌زاد - دانه‌زاد و شاخه‌زاد و تراکم‌های تاج پوشش مختلف وجود دارد. گونه‌های همراه و به‌ترتیب فراوانی پوشش شامل گونه‌های زالزالک، بنه و افرا کیکم بوده که درصد فراوانی آن ها از نظر وضعیت پوشش ایجاد شده بسیار نزدیک به هم هستند.

روش‌ها

روش نمونه‌برداری میدانی: پس از بازدید مقدماتی از چندین منطقه برای برآورد میزان ترسیب کربن خاک و پوشش گیاهی حاشیه بزرگراه به‌طور انتخابی محدوده مورد مطالعه به منظور محل نمونه‌برداری در عرصه انتخاب شد. در دو طرف بزرگراه چهار ترانسکت به صورت عمود بر جاده به فاصله ۹۰ متر پیاده شد که در روی هر ترانسکت ۸ پلات ۲۰×۲۰ متر مربعی مستقر شد که در مجموع ۳۲ پلات که اولین پلات در فاصله نیم تا یک متری از جاده بوده و پلات‌های بعدی با فاصله ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متر از حاشیه بزرگراه پیاده شدند (Bouchard et al., 2013).



شکل ۱- تصویرشماتیک از نحوه‌استقرارترانسکت‌هادر مکان نمونه‌برداری

در داخل هر پلات برخی مشخصه‌های درختان از جمله ارتفاع و قطر برابر سینه اندازه‌گیری شدند. نمونه برداری از پوشش علفی نیز در مراکز پلات‌ها و در میکروپلات‌های ۱×۱ مترمربعی انجام شد (Naghipour Borj et al., 2010). برای نمونه‌برداری از خاک در داخل پلات‌های اصلی، پس از کنار زدن لایه لاشبرگ، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. برای به حداقل رساندن خطای آزمایش،

نمونه‌برداری در چهار گوشه و مرکز پلات انجام شده و یک نمونه خاک ترکیبی به وزن تقریبی یک کیلوگرم برداشت شد. نمونه‌های خاکی در هوای آزاد خشک شده و بعد از خردکردن کلوخه‌ها،جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و سایر ناخالصی‌ها، از الک دو میلیمتری (مش۲۰) عبور داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند (ورامش و همکاران، ۱۳۹۰).

روش تحقیق آزمایشگاهی

در آزمایشگاه برخی از خصوصیات فیزیکی خاک شامل وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه در پارافین جامد بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Rossi et al., 2008) و ماده آلی خاک به روش سوزاندن در کوره اندازه‌گیری شد (Heiri, 2001) که در نهایت ۵۴ درصد از ماده آلی خاک به عنوان کربن آلی خاک محاسبه شد (فروزه و همکاران، ۱۳۸۷).

رابطه ۱ $OC= 0.54\ OM$

که OM = ماده آلی، OC = کربن آلی

مقدار کربن آلی خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار تعیین شد (Lemma *et al*., 2006) که به تن بر هکتار تبدیل شد:

رابطه ۲ $(A)\ Cs = 10000 \times \%\ OC \times Bd \times E$

که Cs = کربن آلی (kg/ha)، % OC = درصد کربن آلی، Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، = E عمق نمونه‌داری (cm)

میزان کربن ذخیره شده در درخت با استفاده از ارتفاع و قطر درختان و براساس رابطه ۴ محاسبه شد. به این منظور قطر درختان توسط رابطه ۳ محاسبه شد (زبیری، ۱۳۹۰).

رابطه ۳ $d = \frac{c}{\pi}$

که d = قطر برابر سینه درختان (cm)، c = محیط درخت (cm)

سپس کربن موجود در درختان سرپا محاسبه شد (Subedi et al., 2010).

رابطه ۴ $AGTB = 0.112\times (\rho D^2H)^{0.916}$

$C_{AGTB} = AGTB\times 0.4$

که AGTB = بیوماس درختان روی سطح زمین، ρ= دانسیته ویژه چوب g/cm3

D = قطر درخت در ارتفاع برابر سینه (cm)، H = ارتفاع درخت (m)

کربن موجود در اندام‌های زیر زمینی (BB) (Subedi et al., 2010).

رابطه ۵ $BB = AGTB\times 20\%$

رابطه ۶ $C_{BB}=BB\times 47\%$

تعیین کربن پوشش علفی

در ابتدا وزن نمونه‌های تازه میدانی، شامل برگ‌های افتاده، علف‌ها و گیاهان، در منطقه اندازه‌گیری و به آزمایشگاه منتقل شد سپس در محیط آزمایشگاه به مدت ۱۲ ساعت نمونه‌ها در فضای آزاد خشک و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت نمونه‌ها در آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه در داخل آون قرار داده شدند (عدل، ۱۳۸۶). سپس نمونه‌ها خارج و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (وزن خشک). کربن موجود در پوشش علفی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد (Subedi et al., 2010).

رابطه ۷

$$LHG = Wfield \times \frac{wsubsample\,dry}{wsubsample\,wet} \times \frac{1}{1000}$$

$$C_{LHG}=LHG\times 47\%$$

که LHG = بیوماس برگ‌های افتاده، علف‌ها و گیاهان خشک (t/ha)

Wfield = وزن نمونه‌های تازه میدانی شامل برگ‌های افتاده، علف‌ها و گیاهان خشک (g)

Wsubsample-dry= وزن خشک شده در آون شامل برگ‌های افتاده، علف‌ها و گیاهان انتقال یافته به آزمایشگاه (g)

Wsubsample-Wet = وزن تر برگ‌های افتاده، علف‌ها و گیاهان انتقال یافته به آزمایشگاه (g)

ترسیب کربن کل

کربن ذخیره شده در حجم سرپا، ریشه و پوشش علفی

رابطه ۸

$$B = C_{AGTB} + C_{BB} + C_{LHG}$$

کربن کل (CT) بر حسب تن در هکتار:

رابطه ۹

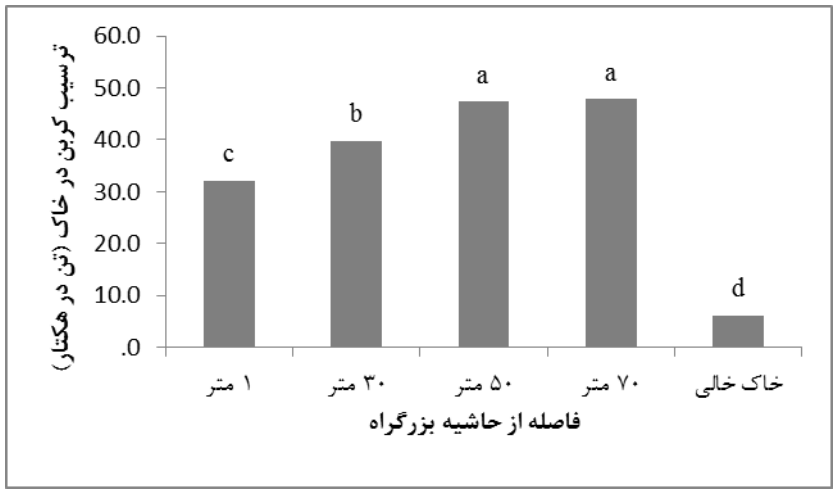
$$CT = A+B$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov بررسی شد که نتایج این آزمون حاکی از نرمال بودن داده‌ها بود. سپس همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Leven مورد تایید قرار گرفت. برای مقایسه کلی ترسیب کربن گونه‌های درختی از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. برای مشخص کردن همبستگی بین کربن آلی خاک، درختان و پوشش علفی از همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیه آزمون‌های آماری با استفاده از نرم افزار آماری Spss Var.20 و ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

ترسیب کربن در خاک: نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن با افزایش فاصله از جاده به‌ترتیب ۳۲/۱۷، ۳۹/۸۲، ۴۷/۳۷ و ۴۷/۸۰ تن در هکتار بود. همچنین در منطقه شاهد میزان ترسیب کربن در مقایسه با مناطق دارای پوشش گیاهی کمتر بود (۶/۱۹ تن در هکتار) (شکل ۲).



شکل ۲- میزان ترسیب کربن خاک (تن در هکتار) در حاشیه بزرگراه

میزان برخی از صفات اندازه‌گیری شده در خاک: مقادیر کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، اسیدیته و نیتروژن خاک در فواصل مختلف از جاده در جدول ۱ آورده شده است. از نظر میزان نیتروژن فاصله ۱ متری، از نظر کربن آلی و هدایت الکتریکی فاصله ۵۰ متری و از نظر وزن مخصوص ظاهری و اسیدیته فاصله ۷۰ متری بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده بودند.

جدول ۱- مقادیر برخی از صفات اندازه‌گیری شده در خاک در فواصل مختلف از جاده

	فاصله از جاده (متر)			
	۱	۳۰	۵۰	۷۰
کربن آلی (%)	۱/۲۶ b	۱/۴۲ b	۱/۷۳ a	۱/۴۱ b
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۰/۹۹ b	۰/۸۹ b	۰/۹ b	۱/۱۴ a
هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۱۶ c	۰/۱۸ b	۰/۱۹ a	۰/۱۸ b
اسیدیته	۷/۲۷ b	۷/۱۷ c	۷/۱۳ c	۷/۳۴ a
نیتروژن (%)	۰/۲۶ a	۰/۲۱ b	۰/۱۹ b	۰/۲۱ b

تجزیه همبستگی کربن آلی با برخی صفات اندازه‌گیری شده خاک

بررسی تجزیه همبستگی بین کربن آلی با برخی از صفات اندازه‌گیری شده خاک در فواصل مختلف

جاده و همچنین منطقه شاهد نشان داد که کربن آلی خاک با نیتروژن و درصد شن رابطه مثبت معنی‌دار و با اسیدیته، درصد سیلت و درصد رس رابطه منفی معنی‌دار دارد (جدول ۲).

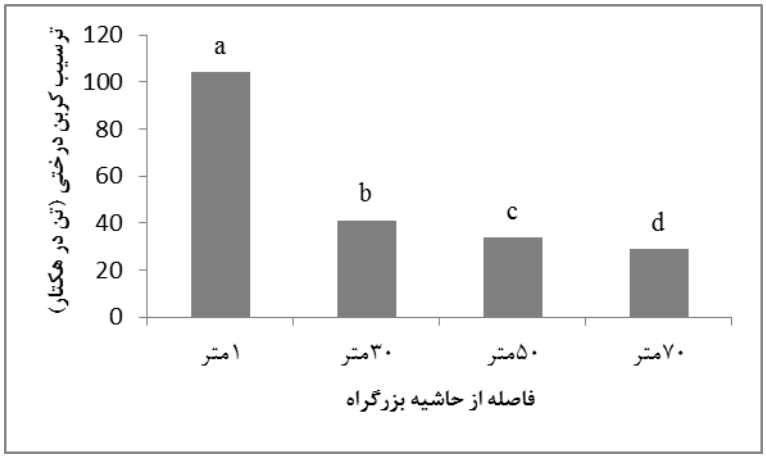
جدول ۲- تجزیه همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده خاک در فواصل مختلف از جاده و منطقه عاری از درخت

	اسیدیته	هدایت الکتریکی	ماده آلی	کربن آلی	وزن مخصوص ظاهری	نیتروژن	کربن/نیتروژن	سیلت	رس	شن
اسیدیته	۱									
هدایت الکتریکی	۰/۵۵	۱								
ماده آلی	-۰/۷۵	-۰/۹۵	۱							
کربن آلی	-۰/۶۶×	-۰/۹۳	۰/۹۹××	۱						
وزن‌مخصوص ظاهری	۰/۹۶×	-۰/۲۹	-۰/۵۲	-۰/۵۲	۱					
نیتروژن	-۰/۵۵×	-۰/۹۹×	۰/۹۱×	۰/۹۱×	-۰/۳۱	۱				
کربن/نیتروژن	-۰/۷۷	-۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۵۶	-۰/۹۶×	۱			
سیلت	۰/۴۴	-۰/۸۹	-۰/۷۵×	-۰/۷۵×	-۰/۲۳	-۰/۹۵	-۰/۸۵	۱		
رس	۰/۷۶×	۰/۱۱	-۰/۱۹×	-۰/۱۹×	۰/۸۹	-۰/۱۲	-۰/۱۷×	۰/۲۳×	۱	
شن	-۰/۱×	-۰/۸	۰/۵۷×	۰/۵۷×	-۰/۱۳	۰/۸۵	۰/۶۷×	-۰/۹۴×	-۰/۵۶×	۱

× و ×× به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار درسطح ۵ و ۱ درصد هستند.

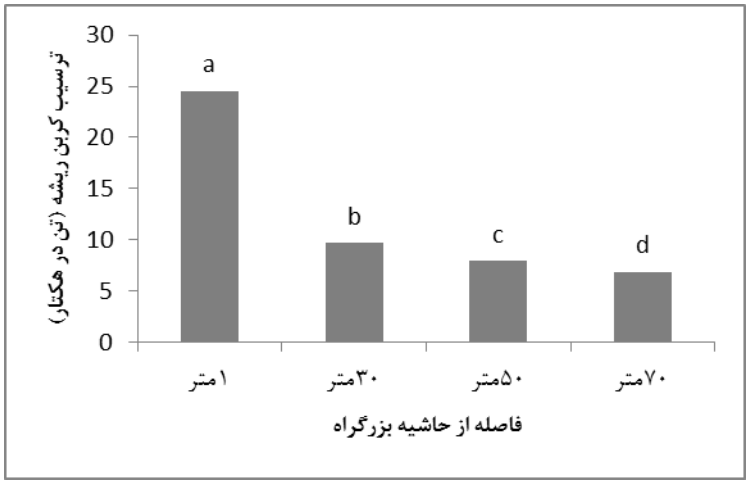
ترسیب کربن در پوشش درختی

براساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که میزان ترسیب کربن درختی در فواصل ۱، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متر به ترتیب ۱۰۴/۳۰، ۴۱/۱۵، ۳۳/۷۶ و ۲۹/۰۱ تن در هکتار بود (شکل ۳).



شکل ۳- میزان ترسیب کربن درختان (تن در هکتار) در حاشیه بزرگراه

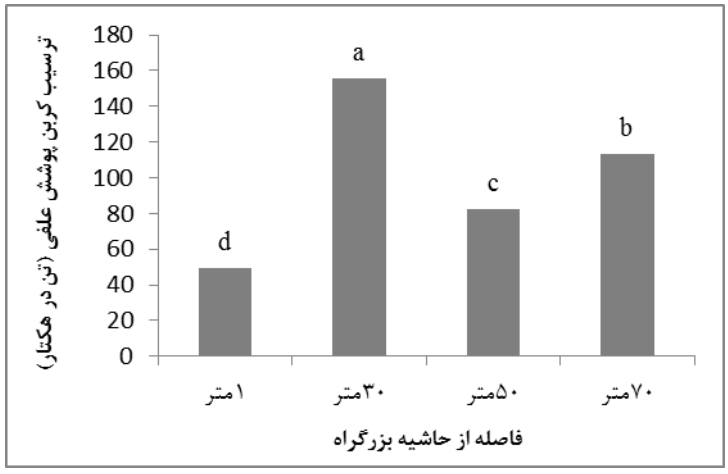
همچنین نتایج مربوط به ترسیب کربن ریشه در فواصل مورد مطالعه نشان داد که این مقادیر به ترتیب ۲۴/۵۱، ۹/۶۷، ۷/۹۳ و ۶/۸۱ تن در هکتار بودند (شکل۴).



شکل ۴- میزان ترسیب کربن ریشه درختان (تن در هکتار) در حاشیه بزرگراه

ترسیب کربن در پوشش علفی

براساس نتایج مشخص شد که در فواصل ۳۰ و ۱ متر به ترتیب بیشترین (۱۵۵/۳۶ تن در هکتار) و کمترین (۴۹/۰۳ تن در هکتار) مقدار ترسیب کربن بوده است (شکل ۵).



شکل ۵- میزان ترسیب کربن پوشش علفی (تن در هکتار) در حاشیه بزرگراه

ترسیب کربن کل

نتایج ترسیب کربن کل نشان داد که پوشش علفی، تاثیرگذارترین عامل بر ترسیب کربن بزرگراه بوده است (شکل ۵).

به طور متوسط کربن ذخیره شده در حجم سرپا، ریشه و پوشش علفی بر حسب تن در هکتار :

(A) $C_{AGTB} + C_{BB} + C_{LHG}$ = ۵۲/۰۵ +۱۲/۳۳ + ۹۹/۹۷=۱۶۴/۳۵

میزان کربن آلی ذخیره شده در خاک بر حسب تن در هکتار:

(B) Cc = 10000× % OC× Bd× E = ۴۱/۸

کربن کل (CT) بر حسب تن در هکتار: CT = A+B =۱۶۴/۳۵+۴۱/۸ =۲۰۶/۱۵

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه ترسیب کربن در لاشبرگ و خاک از ترسیب کربن در پوشش درختی ناشی می‌شود و کربن موجود در بافت‌های درخت با قرار گرفتن در چرخه کربن، به کربن موجود در لاشبرگ و خاک تبدیل می‌شود، بنابراین بررسی ترسیب کربن در پوشش درختی از اولویت بیشتری برخوردار است (سادات آریاپاک و همکاران، ۱۳۹۱). یافته‌های این تحقیق نشان داد درختانی که در فاصله یک متری از بزرگراه واقع شده‌اند به دلیل مسن بودن کربن بیشتری را در مقایسه با درختان دورتر از حاشیه بزرگراه ذخیره و ترسیب کرده‌اند و با افزایش فاصله از جاده به دلیل جوان بودن درختان ترسیب کربن کمتری انجام شده است. این یافته‌ها با نتایج اشلنسینگ (Schelensinge, 1999) مطابقت دارد. براساس یافته‌های تحقیق ایشان، درختان جوان سرعت ترسیب کربن بیشتری نسبت به درختان مسن دارند اما درختان مسن کربن را به میزان بیشتری و برای مدت زمان طولانی‌تری ترسیب می‌کنند. اشالیه و لاست (Schaulieheand Lust, 1999) در گزارشی بیان داشتند که توده‌های مسن‌تر جنگلی اهمیت بیشتری در ذخیره کربن خاک مخصوصاً کربن پایدار خاک دارند. به دلیل بالا بودن میزان تردد وسایل نقلیه و تصاعد بالای گاز دی-اکسیدکربن خروجی از دود وسایل نقلیه، میزان جذب این گاز توسط درختان نزدیک به جاده بیشتر است (Nowak, 2002).

نتایج تحقیقات زیادی (Lemma et al., 2006; Lal, 2008; Fensham and Guymer, 2009) نشان دهنده تاثیر مثبت پوشش درختی در ترسیب کربن اتمسفری است (ورامش، ۱۳۸۸). در تحقیق حاضر نیز این مساله تایید شد. علاوه بر پوشش درختی، ریشه‌ها نیز یکی از مهم‌ترین اجزای ذخیره کربن در جنگل‌ها هستند (Laclau, 2003). بیوماس ریشه‌ها، یک منبع مهم کربن تلقی می‌شود، زیرا ۴۰-۱۰ درصد کل بیوماس را تشکیل می‌دهد، اما برآورد میزان کربن آن‌ها پرهزینه است (عبدی و همکاران، ۱۳۸۷). ریشه‌های درخت به ذخیره سازی زیرزمینی کربن به ویژه ماده آلی خاک که پایدارترین مخزن سطح کربن است، کمک می‌کنند. نتایج این تحقیق در مطابقت با یافته‌های سئولمانس و همکاران (Ceullemans et al., 1999) نشان داد که بین بیوماس درختان و ریشه ارتباط مستقیمی وجود دارد و

این مساله می‌تواند در اثر رویش و بازگشت زیاد ریشه، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های ریشه، ذخایر زیاد بیوماس میکروبی و افزایش فعالیت میکروبی و افزایش انتشار کربن خاک از طریق تنفس باشد. در اکثر مطالعات نشان داده شد که در جنگل‌های پهن‌برگ (مثل جنگل‌های زاگرس) که ریشه‌دوانی درختان تا لایه-های زیرین خاک زیادتر می‌شود باعث تجمع مواد آلی در لایه‌های معدنی خاک شود که در نتیجه تاثیر مستقیمی در مقادیر ذخایر کربن دارد (Cardinael et al., 2017). در کنار پوشش درختی، پوشش علفی نیز می‌تواند در درازمدت کربن آلی خاک را افزایش دهد زیرا تغییرات کربن آلی خاک تدریجی است (Naghipour Borj et al., 2010). برخلاف پوشش درختی، میزان ترسیب کربن پوشش علفی روند کاهشی با افزایش فاصله از بزرگراه را نشان نداده به طوری که در فاصله ۳۰ متری بیشترین مقدار آن ثبت شد. به نظر می‌رسد دلیل این مساله اسیدیته پایین خاک در فاصله ۷۰ متر باشد. تغییرات pH خاک موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط درختان می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند. مغایر با نتایج وانگ و همکاران (Wang et al., 2016) و موافق با یافته‌های ورامش و همکاران (۱۳۹۰) و رمی و همکاران (Remy et al., 2016) مشاهده شد که میزان کربن آلی خاک در خاک‌هایی با میزان اسیدیته پایین بالاست. لازم به ذکر است که در خصوص بررسی ارتباط بین ترسیب کربن با اسیدیته خاک تحقیقات کمتری با نتایج کاملا متفاوت انجام شده است. نوربخش و همکاران (۱۳۸۲) گزارش دادند که بین pH با مواد آلی خاک رابطه منفی معنی‌داری وجود دارد که موید نتایج این تحقیق است. با افزایش مواد آلی خاک، مقدار گاز دی‌اکسیدکربن حاصل از تجزیه آن نیز افزایش می‌یابد که این مساله ناشی از فعالیت بالای میکروارگانیسم‌های خاک است. با افزایش گاز دی‌اکسیدکربن، اسید کربنیک بیشتری حاصل می‌شود که باعث کاهش pH می‌شود.

موافق با نتایج وانگ و همکاران (Wang et al., 2016) میزان ذخیره نیتروژن خاک با اسیدیته خاک ارتباط منفی معنی‌دار دارد. وجود نیتروژن در خاک باعث افزایش تولید و در نتیجه ذخیره کربن در درازمدت افزایش می‌یابد (Fowler et al., 2015). در تحقیق حاضر نیز ارتباط مثبت معنی‌داری بین میزان ترسیب کربن و نیتروژن خاک مشاهده شد. در کل نیتروژن خاک با تحریک تجزیه لاشریزه‌های تازه کف جنگل در مراحل ابتدایی و همچنین تثبیت مواد آلی و فساد هوموس در مراحل آخر فرایند تجزیه نقش مؤثری در تغییرات ذخایر کربن خاک دارد (Jandl et al, 2007). مطابق با نتایج عبدی و همکاران (۱۳۸۴) و ورامش و همکاران (۱۳۹۰) میزان بالای کربن آلی خاک با درصد شن ارتباط مثبتی دارد. ایشان سازگاری بالای گونه‌ها را در خاک‌های سبک عنوان کرده‌اند. بر خلاف نتایج این تحقیق، جیمنز و همکاران (Jimenez et al., 2007) با بررسی بافت خاک و ارتباط آن با کربن آلی خاک گزارش دادند که اگر میزان شن موجود در بافت خاک بیش از ۸۰ درصد باشد می‌تواند نقش مؤثرتری در هدر رفت کربن آلی و کاهش میزان ذخیره کربن خاک داشته باشد. همچنین ازلان و همکاران (Azlan et al., 2012) نیز به وجود ارتباط منفی بین ذخیره کربن خاک و درصد شن خاک اشاره داشته‌اند. گاها بافت خاک جنگل و ساختار فیزیکی آن نیز می‌تواند بر ذخایر کربن خاک تأثیر گذار باشد. مطابق با تحقیقات انجام گرفته (Jimenez et

al., 2007 و ورامش و همکاران، ۱۳۹۰) وجود ارتباط منفی بین میزان کربن آلی خاک و درصد رس خاک نیز در این تحقیق تایید شد. برخلاف یافته‌های تحقیق در خصوص ارتباط بین میزان کربن آلی خاک و درصد رس، ازلان و همکاران (Azlan et al., 2012) در جنگل‌های حاره و تحت حاره و همچنین ساکین (Sakin, 2012) در جنگل‌های جنوب‌شرق ترکیه به نقش رس در حفظ و نگهداری ذخایر کربن اشاره داشته و اذعان کردند که ذرات رس با ایجاد حایل از تجزیه میکروبی کربن ممانعت داشته و برخلاف شن ذخایر کربن را در خاک افزایش می‌دهد. به هرحال شرایط محیط زیستی در این خصوص بی‌تاثیر نبوده و می‌تواند باعث بروز اختلافاتی در این زمینه شود. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک منطقه مورد مطالعه در تمامی فواصل کمتر از یک دسی زیمنس بر متر است که خوشبختانه فاقد مشکل و محدودیت برای رشد و نمو گیاهان و پوشش علفی است (خوش صولت و فریدونی،۱۳۸۰) بنابراین این مساله می‌تواند در بالا بودن ظرفیت پوشش علفی در ترسیب بیشتر کربن در مقایسه با خاک و درختان حایز اهمیت باشد. رابطه بین وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی خاک، از نوع دو طرفه است، به نحوی که افزایش ماده آلی باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش خلل و فرج و بهبود نفوذپذیری خاک خواهد شد که خود باعث کاهش رواناب و کاهش فرسایش می شود. این فرایند باعث کاهش هدر رفتن کربن از طریق فرسایش می-شود (کلاهچی، ۱۳۸۴). به طور کلی کم بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در پوشش درختان پهن برگ را می‌توان به واسطه مقدار کربن بیشتر در خاک تحت پوشش گونه‌های پهن‌برگ عنوان کرد (شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۹). این یافته‌ها با نتایج تحقیق کاملا مطابقت داشت. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین ترسیب کربن در حاشیه بزرگراه مربوط به درختان بوده و پوشش علفی نیز بیشترین مقادیر ترسیب کربن را در هریک از اجزای مورد مطالعه به خود اختصاص داده بودند. همچنین یافته‌های تحقیق نشان داد که کربن آلی خاک با نیتروژن و درصد شن رابطه مثبت معنی‌دار و با اسیدیته، درصد سیلت و رس خاک نیز رابطه منفی معنی‌دار وجود دارد.

منابع

جعفریان، ز.، طایفه سیدعلیخوانی، ل. ۱۳۹۲. پتانسیل ترسیب کربن در اراضی زراعی گندم دیم منطقه کیاسر، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۱): ۳۱-۴۱.

جوادی طبالوندانی، م.ج.، زهتابیان، غ.ر.، احمدی، ح.، ایوبی، ش .ا.، جعفری، م.، علیزاده، م. ۱۳۸۹. نقش کاربری‌های مختلف در میزان ترسیب کربن خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نومه رود شهرستان نور)، فصلنامه علمی تخصصی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۱(۲): ۱۵۶-۱۶۶.

خوش صولت، س.م.، فریدونی، س. ۱۳۸۰. سنتز طرح مدیریت منابع جنگلی خلیل اکبر شهرستان پل دختر، اداره کل منابع طبیعی استان لرستان، ۶- ۲۱.

زبیری، م. ۱۳۹۰. آماربرداری در جنگل (اندازه‌گیری درخت و جنگل)، چاپ چهارم، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ صفحه.

سادات آریاپاک، س.، بایرامزاده، و.، معین، ا. ۱۳۹۱. برآورد کربن ترسیب شده در زیست‌توده و خاک پارک‌های جنگلی طالقانی و چیتگر با استفاده از گونه کاج تهران، نشریه حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، ۱(۲): ۱۵-۲۸.

شعبانیان، ن.، حیدری، م.، زینی‌وند زاده، م. ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بر تنوع گونه-های گیاهی و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: جنگل‌کاری دوشان سنندج)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۸(۲): ۴۳۷-۴۴۶.

عبدی، ن. ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون در استان‌های مرکزی و اصفهان، رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۹۴ صفحه.

فروزه، م.ر.، حشمتی، غ.، قنبریان، غ.، مصباح، س. ح. ۱۳۸۷. مقایسه توان ترسیب کربن سه گونه بوته‌ای گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی در مراتع خشک ایران (مطالعه موردی: دشت گربایگان فسا). مجله محیط‌شناسی، ۳۴(۴۶): ۶۵-۷۲.

کلاهچی، ن. ۱۳۸۴. بررسی ترسیب کربن در گیاهان بوته‌ای مراتع همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات.

نقی‌پور برج، ع.ا.، حیدریان آقاخانی، م.، دیانتی تیلکی، ق.ع.، توکلی، ح. ۱۳۸۷. نقش ترسیب کربن در کاهش آلودگی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی. سمینار تخصصی نفت، گاز و محیط‌زیست، شیراز، مرکز تحقیقات محیط زیست و توسعه پایدار دانشگاه شیراز.

نقی پور برج، ع.ا.، رادنژاد، ه.، متین‌خواه، س.ح. ۱۳۹۳. تاثیر جنگل‌کاری بر میزان ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مناطق خشک (مطالعه موردی: پارک جنگلی بختیار دشت اصفهان)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۱): ۹۹-۱۰۸.

نوربخش، ف.، جلالیان، ا.، شریعتمداری، ح. ۱۳۸۲. تخمین گنجایش تبادلی کاتیونی خاک با استفاده از برخی ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک، مجله علوم و فنون کشاورزی اصفهان، ۳: ۱۰۷-۱۱۷.

ورامش، س. ۱۳۸۸. مقایسه میزان ترسیب کربن گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل شهری (مطالعه موردی: پارک چیتگر تهران)، پایان نامه کارشناسی‌ارشد رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

ورامش. س.، حسینی. س.م.، عبدی. ن. ۱۳۹۰. تاثیر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ برترسیب کربن در خاک پارک جنگلی چیتگر، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵(۳): ۱۸۷-۱۹۶.

ورامش، س.، حسینی، س.م.، عبدی، و.ن.، اکبری نیا، و.م. ۱۳۸۹. اثرهای جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک، مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۲(۱): ۲۵-۳۵.

Azlan, A., Aweng, E.R., Ibrahim, C.O., Noorhaidah, A. 2012. Correlation between Soil Organic Matter, Total Organic Matter and Water Content with Climate and Depths of Soil at Different Land use in Kelantan, Malaysia. Applied Science Environment Management, 16(4): 353-358.

Bouchard, N.R., Osmond, D.L., Winston, R.J., Hunt, W.F. 2013. The capacity of roadside vegetated filter strips and swales to sequester carbon. Ecological Engineering, (54): 227-232.

Chaplin-Kramer, R., Ramler, I., Sharp, R., Haddad, N.M., Gerber, J.S., West, P.C., Mandle, L., Engstrom, P., Baccini, A., Sim, S., Mueller, C., King, H. 2015.

Degradation in carbon stocks near tropical forest edges. Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms10158.

Cardineal, R., Chevallier, T., Cambou, A., Beral, C., Barthes, B.G., Dupraz, Ch., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C. 2017. Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. Agriculture, Ecosystems and Environment, 236:243–255.

Ceulemans, R., Janssens, I.A., Jach, M.E. 1999. Effects of CO_2 Enrichment on Trees and Forests: Lessons to be learned in View of Future Ecosystem Studies. Ann-Bot. London, New York, 577–590.

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.

Fensham, R.J., Guymer, G.P. 2009. Carbon accumulation through ecosystem recovery. Environmental science and policy, ENVSCI-681, 6p.

Fowler, Z.K., Adams, M.B., Peterjohn, W.T. 2015. Will more nitrogen enhance carbon storage in young forest stands in central Appalachia? Forest Ecology and Management, 337: 144–152

Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G. 2001. Loss on Ignition as a method for Estimaiting Organic and Carbonate content in sediment: Reproducibility and comparability of Results. Journal of paleolimnology, 25(1):101-110.

Hu, X., Zhang, L., Ye, L., Lin, Y., Qio, R. 2017. Locating spatial variation in the association between road network and forest biomass carbon accumulation. Ecological Indicators, 73:214–223.

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 carbon sequestration? Geoderma, 137: 253–268.

Jimenez, J.J., Lal, A., Leblanc, H.A., Russo, R.O. 2007. Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. Forest Ecology and Management, 241: 134–144.

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.

Lal, R. 2008. Carbon sequestration, Philosophical Transactions of the Royal Society, 363: 815-830.

Lemma, B., Kleja, D.B., Nilsson, I., Olsson, M. 2006. Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the South Western Highlands of Ethiopia. Geoderma, 136: 886-898.

Naghipour Borj, A.A., Haidarian, M., Nasri Aghakhani, M. 2010. An investigation of carbon sequestration and plant biomass in modified rangeland communities (Case study: Sisab rangeland of Bojnord). Watershed Management Research, 94:19-25.

Neufeldt, H., Resck, D.V.S., Ayarza, M.A. 2002. Texture and land use effects on soil organic matter in cerrado oxisols, central Brazil. Geoderma, 107: 151-164.

Nowak, D.J. 2002. The effects of urban trees on air quality. U.S.D.A, Forest Service, Syracuse, NY, 4:1-4.

Remy, E., Wuyts, K., Boeckx, P., Ginzburg, SH., Gundersen, P., Demey, A., Den Bulcke, J.V., Acker, J.V., Verheyen, K. 2016. Strong gradients in nitrogen and carbon stocks at temperate forest edges. Forest Ecology and Management, 376: 45–58.

Sakin, E. 2012. Relationships between of Carbon, Nitrogen Stocks and Texture of the Harran Plain Soils in Southeastern Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 18(4): 626-634.

Schuman, G.E., Janzen, H., Herick, J.E. 2002. Soil carbon information and potential carbon sequesration by rangelands. Environmental Pollution, 116: 391-396.

Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Bahadur Rana, E., Bhattarai, S., Banskota, T.R., Charma-kar, S., Tamrakar, R. 2010. Asia Network for Sustainable agriculture and bio resources.Federation of community forest users, Nepal, international center for integrated mountain development,Norwegian agency for development cooperation, guidelines for measuring carbon stocks in community- managed forests, 16.

Wang, T., Kang, F., Cheng, X., Han, H., Ji, W. 2016. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. Soil and Tillage Research, 163:176–184.

Xiao-Wen, D., Shi-Jie, H., Yan-Ling, H., Yu-Mei, ZH. 2009. Carbon and Nitrogen Transformations in Surface Soils under Ermans Birch and Dark Coniferous Forests. Pedosphere, 19(2): 230-237.

Zhao, Q., Zeng, D.H., Lee, D.K., He, X.Y., Fan, Z.P., Jin, Y.H. 2007. Effects of Pinus sylvestris var. mongolica afforestation on soil phosphorus status of the Keerqin Sandy Lands in China. Journal of Arid Environments, 69: 568-582.