پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۹، شماره ۱۷، بهار و تابستان ۱۳۹۷، از صفحه ۱۱۱ تا ۱۲۰

تعیین ارزش اقتصادی ترسیب‌کربن خاک در گونه‌های مختلف جنگل‌کاری شده

ضیاءالدین باده‌یان[۱]، معصومه منصوری*[۲]، محمدعلی فخاری[۳]

۱ استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۲ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۳ کارشناس ارشد اداره منابع طبیعی شهرستان نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۷؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹)

چکیده

با توجه به شرایط آب‌وهوایی و روند نابودی و تخریب جنگل‌ها، جنگل‌کاری برای حفاظت از خاک، آب و تأمین نیازهای بشر، یک امر ضروری است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر جنگل‌کاری‌های طرح جنگلداری لاویج مازندران بر مقدار ترسیب‌کربن خاک و برآورد ارزش اقتصادی میزان کربن ترسیب شده در منطقه جنگل‌کاری شده لاویج مازندران انجام گرفته است. نمونه‌برداری خاک به‌صورت منظم تصادفی و از عمق‌های ۱۵–۰، ۳۰–۱۵ و ۴۵–۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت. در مجموع ۲۰ نمونه خاک از توده‌های ۲۱ ساله جنگل‌کاری‌شده افرا (*Acer pseudoplatanu*)، کریپتومریا (*Cryptomeria japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، تدا (*Pinus Teada. L*) و توده طبیعی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج نشان داد که میزان کربن موجود در توده طبیعی (۱۰۸ هکتار/تن) به طور معنی‌دار (P<0/01) بیشتر از افرا (۸۹ تن/هکتار)، کریپتومریا (۷۸/۵ تن/هکتار زربین (۷۹ تن/هکتار) و تدا (۷۸ تن/هکتار) است. برای ارزش‌گذاری‌این خدمت اکوسیستمی، از روش هزینه‌های خسارت اجتناب شده استفاده شد و ارزش اقتصادی آن برای گونه‌های مذکور به‌ترتیب معادل ۳/۰۱، ۲/۴۸، ۲/۱۹، ۲/۲۰ و ۲/۱۷ است. نتیجه رگرسیون گام به گام نیز نشان داد که درصد نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در توده‌های بررسی شده است.

کلیدواژه‌ها: ترسیب‌کربن، جنگل‌کاری، ارزشگذاری اقتصادی

* نویسنده مسئول
Email: Mansouri.ma@fa.lu.ac.ir

سرآغاز

اکوسیستم‌های جنگلی و مدیریت بهینه آن‌ها نقش بسیار مهمی در جذب کربن اتمسفر ایفا می‌کند (Kerr, 2001). با توجه به شرایط آب‌وهوایی و روند نابودی و تخریب جنگل‌ها، جنگل‌کاری برای حفاظت از خاک و آب و تأمین نیازهای بشر، یک امر ضروری است. بنابراین افزایش سطح جنگل از راه جنگلکاری در بسیاری از کشورهای جهان، به عنوان یکی از راه‌های کاهش آثار گرم‌شدن زمین، در مجامع مختلف محیط‌زیستی جهان، مورد توجه و تأکید قرار گرفته است. ترسیب کربن عبارت از، توانایی درختان و سایر گیاهان و خاک برای جذب دی‌اکسیدکربن از اتمسفر و ذخیره آن به صورت کربن در چوب، ریشه، برگ و خاک است. با توجه به تعاریف مختلف، می‌توان چنین استنباط نمود که ذخیره کربن در جنگل ناشی از تعادلی است که بین مراحل مختلف چرخه کربن از جمله فتوسنتز، رشد گیاه، تراکم و انباشت کربن در خاک‌ها از یک طرف و دفع کربن ناشی از تنفس اندام‌های زنده، نابودی درختان، تجزیه میکروبی لاشبرگ، اکسیداسیون کربن خاک و تخریب سرزمین از سوی دیگر صورت می‌گیرد (Atkin & Dayal, 1999). بسیاری از پروژه‌های اصلاحی مانند جنگلکاری سبب افزایش ذخیره کربن در خاک می‌شود و از طرفی افزایش کربن ساختاری منجر به بهبود ساختمان، تخلخل و نفوذپذیری خاک می‌شود. نکته حائز اهمیت دراین مورداین است که خدمات و کارکردهای محیط‌زیستی مانند ترسیب کربنی که توسط پوشش گیاهی انجام می‌شود رایگان نبوده و ارزش و بهای اقتصادی نهفته‌ای دارند که بسیار قابل ملاحظه است. در صورتی که این خدمات رایگان تلقی شوند، اکوسیستم‌های جنگلی مورد بهره‌برداری بی‌رویه قرار می‌گیرند که به تدریج منجر به کاهش توان اکوسیستم و در نهایت سبب تخریب اکوسیستم شده و یا به کاربری‌های دیگر تبدیل می‌شوند. بهره‌مندی از این خدمات شاید متضمن پرداخت هزینه‌های پولی خاصی نباشد. با وجود این، محرومیت از دست‌یابی به آن‌ها هزینه‌های گزافی را به زندگی فردی و اجتماعی انسان‌ها تحمیل خواهد نمود (پناهی، ۱۳۸۴؛ مشایخی، ۱۳۸۶). برای ساماندهی رویه‌های تصمیم‌گیری در مورد استفاده از منابع تحت مدیریت نه تنها باید هزینه و فایده‌های قابل کمی‌سازی (کالاها و خدمات مبادله‌ای) را به پول تبدیل نمود، بلکه لازم است هزینه و فایده‌های غیربازاری و نامحسوسی که تا کنون ارزش آن‌ها فقط از حیث مصرفی مورد توجه بوده نیز در حوزه دید و محاسبه‌های اقتصادی مرتبط گنجانده شوند (پناهی، ۱۳۸۴). به منظور برآورد ارزش ترسیب کربن به‌وسیله اکوسیستم‌های جنگلی، مطالعه‌های گسترده‌ای صورت گرفته است که به اندازه‌گیری زی‌توده هوایی و زیرزمینی درختان پرداخته‌اند. در بیشتر موارد، برآورد ارزش بر حسب سودهایی است که اکوسیستم به واسطه کنترل پدیده گرمایش زمین در جهان ایجاد می‌کند. از روش‌های مختلفی برای برآورد این ارزش استفاده شده است که در بیشتر موارد روش‌های هزینه مبنا می‌باشند. از قبیل: روش هزینه جایگزینی[۱]، هزینه پیش‌گیری[۲] و هزینه خسارت اجتناب‌شده[۳] جدول تمایل (۱)، خلاصه مطالعات ارزش‌گذاری کارکرد تثبیت کربن در اکوسیستم‌های جنگلی جهان را به اختصار نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول مشخص است، دامنه تغییرات ارزش تثبیت کربن در مطالعات گوناگون، بسیار متفاوت است. در برآوردی که پس از بررسی چندین گزارش ارزش‌گذاری کربن انجام شده است، مشخص شد که این تغییرات بین ۵۰۰- ۲ دلار به ازای هر تن کربن متغیر است (Pearce & Moran, 1994). استفاده از قیمت‌های بازاری برای کارکردهای اکوسیستمی مانند: ترسیب کربن دارای دشواری‌های زیادی است. زیرا، این خدمات در بازار عرضه نمی‌شوند و ارزش‌گذاری آن‌ها نیاز به رویکردهای متفاوتی دارد. اساس این رویکردها، میزان تمایل به پرداخت[۴] است.

برای ارزش‌گذاری کارکرد ترسیب کربن بیشتر از روش‌های هزینه مبنا مانند روش هزینه پیشگیری، هزینه جایگزینی، هزینه فرصت اجتماعی نهایی و هزینه اجتناب شده استفاده می‌شود (مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸). ارزش اقتصادی ترسیب کربن را می‌توان در قالب گرمایش جهانی و روش‌های جایگزین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر، مطرح نمود. به عبارتی اگر کربن بدین شکل ذخیره نشود و چاهکی برای آن وجود نداشته باشد، در هوا انتشار می‌یابد و این انتشار، افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو را در پی دارد که به دنبال آن افزایش گرمایش جهانی را شاهد خواهیم بود. اگر روند تغییر اقلیم متوقف نشود، خسارت‌هایی در پی خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به افزایش متوسط دمای کره زمین، تغییر الگوی بارش، افزایش حوادثی مانند: خشکسالی، سیل و بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها اشاره نمود. این تغییرات، آثار غیرقابل کنترل و نامطلوبی بر

فعالیت‌های اقتصادی خواهند داشت؛ که به یقین سبب بروز خسارت‌هایی خواهد شد. با پیش‌بینی چنین خسارت‌هایی می‌توان به ارزش‌گذاری کربن ذخیره شده توسط جنگل‌ها پرداخت. اما، خسارت‌های بالقوه مربوط به گرمایش جهانی نامشخص هستند. بنابراین، برخی از تحلیل‌گران، میزان مالیات پیشنهادی برای کربن را معادل ارزش فواید حاصل از ترسیب کربن برای جامعه می‌دانند.

جدول (۱): خلاصه مطالعات ارزشگذاری کارکرد ترسیب‌کربن در اکوسیستم‌های جنگلی (باده‌یان و همکاران، ۱۳۹۳)

ارزش برآورد شده	محل انجام مطالعه	روش ارزش‌گذاری	منبع مطالعه
۷/۳ دلار برای هر تن کربن	جنگل‌های آمازون	هزینه جایگزین	(Fearnside, 1997)
۶ بیلیون دلار در سال	جنگل‌های آمریکا	هزینه‌های اجتناب شده	(Pimentel et al., 1997)
۶۵ دلار برای هر تن	جنگل‌های ملی آمریکا	انتقال منافع	(Dunkied & Sugarman, 1998)
۱۵۳دلار در هکتار	جنگل‌های آمازون برزیل	انتقال منافع	(Torras, 2000)
۲۵ دلار به ازای هر تن کربن در هکتار	جنگل‌های زیمبابوه	هزینه خسارت	(Kundhlande et al., 2000)
۶۵ دلار برای هر تن کربن در هکتار	شمال شرق چین	انتقال منافع	(Thomas et al., 2007)
۱۴/۷ میلیون دلار در هکتار	مراتع استان اراک	هزینه جایگزین	(عبدی و همکاران، ۱۳۸۷)
۷۳۰ دلار در هکتار	جنگل‌های شمال‌ایران	هزینه جایگزین	(کریم‌زادگان، ۱۳۸۶)
۳/۹۳ میلیون ریال	جنگل‌های خزری	هزینه جایگزین	(مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸)
۱۸۱۸/۷ میلیون ریال در سال	مراتع حوزه آبخیز طالقان میانی	روش ارزش سایه‌ای	(موسوی، ۱۳۹۱)
۹/۵ میلیون ریال برای توده خالص راش و ۸/۳ میلیون ریال برای توده آمیخته راش در هکتار	جنگل‌های خیرودکنار نوشهر	هزینه خسارت اجتناب‌شده	(باده‌یان و همکاران، ۱۳۹۳)
۶۴۳۲۳ میلیون ریال در هکتار	جنگل‌های آذربایجان غربی و شرقی	آزمون انتخاب	(خداوردیزاده و همکاران، ۱۳۹۳)

در سال‌های اخیر، در ایران تلاش‌هایی برای ارزش‌گذاری کارکردها و خدمات برآمده از اکوسیستم‌های جنگلی صورت گرفته که در یکی از این پژوهش‌ها، کارکرد تنظیم گازها توسط جنگل‌های شمال کشور ۷۳۰ دلار در هکتار برآورد شده است (کریم‌زادگان، ۱۳۸۶). در بررسی دیگر، ضمن ارایه نقشه توزیع مکانی ارزش جذب دی‌اکسیدکربن توسط درختان جنگلی در شمال کشور، ارزش متوسطی معادل ۳/۹۳ میلیون ریال در هکتار در سال برای کارکرد ترسیب کربن، به بخشی از جنگل‌های خزری منتسب شده است (مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهشی دیگر، با بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر هزینه، متوسط ارزش ریالی (سال/هکتار) کارکرد جذب کربن جنگل‌های شمال را در دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۷۹، ۱/۸۲ میلیون ریال برآورد شده است (یزدانی و عباسی، ۱۳۸۹). در این مطالعات، میزان ترسیب کربن پوشش جنگلی برآورد و به آثار مختلف جوامع مختلف جنگلی بر این کارکرد جنگل کمتر پرداخته شده است. در حالی‌که توان ترسیب کربن بر حسب گونه‌ها و تیپ مختلف گیاهی، مکان و شیوه مدیریت متفاوت است (Mortenson & Schuman, 2002). هدف اصلی این مطالعه، برآورد ارزش اقتصادی یکی از کارکردهای چندگانه اکوسیستم جنگلی مورد مطالعه و کسب اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری درباره نحوه مدیریت جامع منابع جنگلی می‌باشد. در این مطالعه، به عنوان نمونه توان یکی از اکوسیستم‌های جنگلی شمال کشور در ترسیب کربن مورد بررسی قرار گرفته و ارزش اقتصادی این کارکرد برآورد شده است. مطالعه دارای دو بخش مجزا است. بخش اول، شامل برآورد میزان کربن ترسیب شده در خاک و زیست توده گیاهی منطقه مورد مطالعه و بررسی رابطه بین نوع تیپ گیاهی و میزان ترسیب کربن است. بخش دوم، به ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد مذکور با استفاده از روش‌های مبتنی بر هزینه و برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در جنگل مورد مطالعه می‌پردازد. با توجه به اهمیت ترسیب‌کربن در سطح جهانی، همان‌طوری که اشاره شد در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینه ترسیب‌کربن در مراتع، مناطق جنگلی، توده‌های جنگلکاری شده و جنگل شهری در نقاط مختلف جهان انجام گرفته، ولی متأسفانه تحقیقات چندانی در

ایران در زمینه تأثیر تبدیل جنگل‌های تخریب یافته با جنگلکاری‌های گونه‌های مختلف بر ترسیب‌کربن خاک صورت نگرفته است. به منظور مقابله با کاهش سطح و کیفیت جنگل‌های هیرکانی، سالانه در حدود ۳۰ تا ۴۰ هزار هکتار عملیات جنگلکاری در مناطق و جنگل‌های تخریب شده شمال کشور انجام می‌گیرد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۴). در این بررسی سعی بر این است که تیپ‌های مختلف جنگلکاری‌شده با گونه‌های کریپتومریا (*Cryptomeria japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، تدا (*Pinus Teada L.*) و افرا (*Acer pseudoplatanu*) مورد مقایسه قرار گیرند و همچنین ارزش اقتصادی میزان کربن ترسیب‌شده توسط این گونه‌ها برآورد شود. تا با استفاده از نتایج آن گامی مؤثر در برنامه‌ریزی‌های آتی جنگلکاری‌ها در این گونه مناطق برداشته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه لاویج نور در فاصله ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان نور و بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا بین ۱۹۰تا۲۲۰ متر است و بر اساس آمار بیست و دو ساله (۱۳۸۴–۱۳۵۴) ایستگاه هواشناسی منطقه، میانگین بارندگی سالانه آن، ۸۱۸ میلیمتر می‌باشد که بیشترین میزان بارندگی در ماه‌های شهریور تا آذر ماه اتفاق افتاده است. متوسط دمای منطقه نیز ۱۴ درجه سانتیگراد بوده و فصل خشک از اواسط خرداد ماه آغار و تا اواخر مرداد ماه ادامه دارد. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل (۱):موقعیت جغرافیایی منطقه لاویج نور، مازندران

روش تحقیق

در منطقه مورد مطالعه ۵ توده ۲۱ ساله کریپتومریا (*Cryptomeria japonica*)، زربین (*Cupressus sempervirens*)، تدا (*Pinus Teada L.*)، افرا (*Acer pseudoplatanu*) و جنگل طبیعی انتخاب شد. مساحت توده زربین ۸/۸ هکتار، تدا ۱۶/۸ هکتار، افرا ۱۰/۱ هکتار و کریپتومریا ۱/۵ هکتار بود. در هر توده ۵ پلات ۵×۵ متری و در هر پلات ۴ نمونه خاک اندازه‌گیری شد. به‌منظور از بین بردن آثار جانبی دو ردیف از درختان هر قطعه جنگلکاری حذف شد. با توجه به مطالعات انجام شده، عمده ذخیره کربن تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک صورت می‌گیرد. بنابراین، در چهار گوشه هر پلات آماربرداری، پس از کنار زدن لایه لاشبرگی، از سه عمق ۱۵–۰ و ۳۰–۱۵ و ۴۵ –۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد. به‌این‌ترتیب در هر توده و از هر عمق، ۲۰ نمونه برداشت و به منظور کاهش خطا نمونه‌ها در پلات‌ها با هم مخلوط شدند. بنابراین، در هر توده و از هر عمق ۵ نمونه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شده و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و دیگر ناخالصی‌ها، خاک آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۴).

عملیات آزمایشگاهی

ابتدا در آزمایشگاه درصد سنگ و سنگریزه محاسبه و سپس خصوصیات خاک شامل موارد زیر بررسی شد: بافت خاک با استفاده از روش دانسیمتری بایکاس[۵] وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه بر حسب گرم‌برسانتی‌متر مکعب، اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاهPH متر الکترونیکی، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و با استفاده از دستگاه Ec متر الکترونیکی و تعیین ازت کل خاک با دستگاه کجدال انجام گرفت (عبدی، ۱۳۸۴). ماده آلی و کربن آلی با استفاده از روش سرد و بر مبنای اکسیداسیون کربن آلی به کمک بیکربنات‌پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملاً اسیدی (H_2SO_4)، اندازه‌گیری شد (Allison, 1965). در پایان درصد رطوبت اشباع خاک نیز اندازه‌گیری شد. مقدار ترسیب‌کربن بر حسب کیلوگرم بر هکتار براساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$Cs = 10000 \times OC\ (\%) \times Bd \times E \qquad \text{فرمول (۱)}$$

Cs: کربن آلی بر حسب کیلوگرم بر هکتار، Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، OC %: درصد کربن آلی و E: عمق نمونه‌برداری خاک برحسب سانتی‌متر است

(Chiti et al., 2006).

روش تجزیه و تحلیل آماری

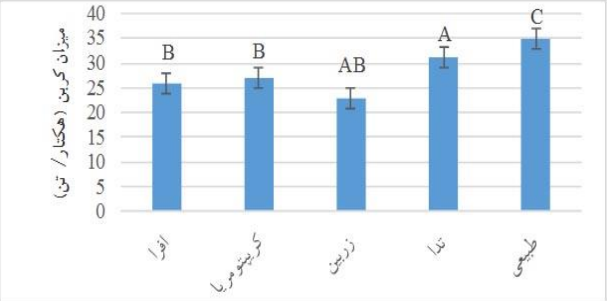
با توجه به هدف تحقیق جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، بعد از تعیین همگنی و نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف[۶]، از آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس[۷] استفاده شد. در این مطالعه برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل (مشخصه‌های خاک) و وابسته (مقدار ترسیب‌کربن خاک) از آزمون رگرسیون چند متغیره استفاده شد. در این مرحله، آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استاندارد شده انجام گرفت. آزمون عدم خودهمبستگی بین خطاها با استفاده از آماره دوربین-واتسون[۸] اجرا شد. در این بخش مقادیر نزدیک به دو پذیرفتنی است. بعد از تایید همه فرضیه‌های یاد شده رابطه رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و وابسته تعیین شد. برای انتخاب مدل مناسب و همچنین مؤثرترین متغیرهای مستقل مرتبط، از روش رگرسیون گام به گام استفاده شد. جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری در محیط نرم‌افزارهای آماری SPSS 16، SAS و EXCEL انجام گرفت.

برآورد ارزش پولی کارکرد ترسیب کربن

در این مطالعه، از روش هزینه‌های خسارت اجتناب شده به منظور برآورد ارزش پولی کارکرد ترسیب کربن استفاده شده است. در این روش، هزینه‌های اعمال شده برای جلوگیری از زیان‌ها در نبود خدمات تنظیمی اکوسیستم مانند: تنظیم گازهای آلاینده به‌عنوان معیاری برای منافع فراهم شده توسط اکوسیستم به‌کار می‌روند. در این مطالعه، هزینه‌های اجتماعی تخریب محیط‌زیست بر اثر مصرف حامل‌های سوخت فسیلی در کشور در سال ۱۳۸۵، برای گاز دی‌اکسیدکربن که بر اساس محاسبه‌های بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و نیز ضرایب EPA آمریکا[۹] می‌باشند، معادل ارزش خدمت ترسیب کربن توسط اکوسیستم جنگلی موردنظر در نظر گرفته شده است. به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار آلاینده‌ها را جبران نماید، هزینه تخریب یا هزینه اجتماعی گفته می‌شود.

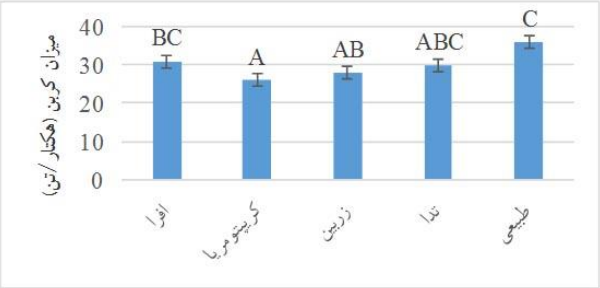
یافته‌ها

میانگین میزان کربن ترسیب‌شده در لایه‌های مختلف خاک در تیپ‌های مختلف در شکل‌های (۲ تا ۴) نمایش داده شده است. تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که بین میزان کربن موجود در توده‌های مختلف، در لایه‌های مختلف به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در لایه ۱۵-۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ و در لایه‌های بعدی شامل لایه ۳۰-۱۵ و ۴۵-۳۰ سانتی‌متری این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همان‌طور که در مقایسه‌های میانگین به روش دانکن[۱۰] در شکل زیر (شکل ۲) مشخص است، توده طبیعی بیشترین میزان ترسیب‌کربن را به خود اختصاص داده است (طبقه C). پس از آن توده دست کاشت افرا، کریپتومریا و توده تدا قرار دارند که در یک طبقه (B) قرار می‌گیرند. توده زربین نیز در دو طبقه A و B قرار می‌گیرد و توده دست کاشت تدا نیز کمترین میزان ترسیب‌کربن در این لایه را به خود اختصاص می‌دهد و در طبقه (A) قرار می‌گیرد.



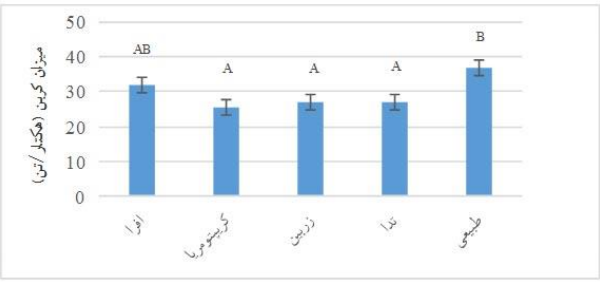
شکل (۲): میانگین کربن در لایه ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف

در لایه ۳۰-۱۵ سانتی‌متری همان‌طور که مقایسات میانگین در شکل (۳) نشان داده شده است نیز توده طبیعی بیشترین میزان ترسیب‌کربن را به خود اختصاص می‌دهد اما میزان ترسیب توده طبیعی در این طبقه با میزان ترسیب در توده دست کاشت افرا و تدا اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند. توده دست کاشت افرا با توده‌های تدا و زربین نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و هر چهار توده در یک گروه میانگین قرار می‌گیرند. از طرفی دیگر نیز توده‌های تدا و زربین با طبقه سوم (A) اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک طبقه قرار می‌گیرند. توده دست کاشت کریپتومریا اختلاف معنی‌داری با طبقه دست کاشت افرا و توده طبیعی نشان می‌دهد و کمترین میزان ترسیب در این توده اتفاق می‌افتد.



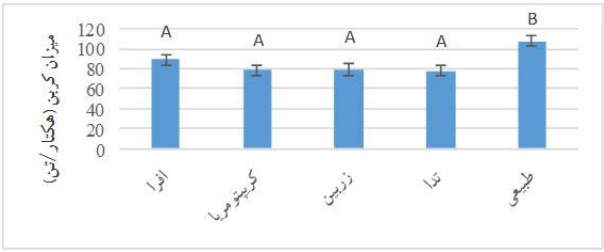
شکل(۳): میانگین کربن در لایه‌های ۳۰- ۱۵ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف

با توجه به نتایج آورده شده در شکل (۴)، در مقایسه میانگین انجام شده در لایه ۴۵-۳۰ سانتی‌متری، توده طبیعی به جز با توده افرا، اختلاف معنی‌داری را با سایر توده‌ها نشان داده و در طبقه بالاتری نسبت به سایر توده‌ها قرار می‌گیرد (طبقه B). توده افرا علاوه بر این که تفاوت معنی‌داری را با توده طبیعی نشان نمی‌دهد، تفاوت معنی‌داری را با سایر توده‌های دست کاشت نیز نشان نمی‌دهد. توده‌های زربین، کریپتومریا و تدا در طبقه پایین‌تری نسبت به توده طبیعی قرار می‌گیرند و کربن کمتری را ترسیب می‌نمایند.



شکل(۴): میانگین کربن در لایه‌های ۴۵- ۳۰ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف

نهایتاً با انجام مقایسه بین میانگین کربن در مجموع لایه‌های خاک (شکل ۵)، یعنی از صفر تا ۴۵ سانتی‌متری عمق خاک، تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ خطا بین توده‌ها مشاهده شد. همان‌طوری که در شکل (۵) مشخص شده است، توده طبیعی نسبت به سایر توده‌ها در طبقه بالاتری (B) قرار گرفته و در مجموع ۳ لایه خاک، کربن بیشتری را ترسیب می‌نماید. سایر توده‌ها نیز در یک طبقه میانگین (A) قرار می‌گیرند و کربن کمتری را ترسیب می‌نمایند.



شکل (۵): میانگین کربن در لایه‌های ۴۵-۰ سانتی‌متری خاک در تیپ‌های مختلف

برآورد ارزش دی‌اکسیدکربن ترسیب شده در منطقه

جهت برآورد ارزش دی‌اکسیدکربن ترسیب شده توسط اکوسیستم جنگلی، از روش هزینه اجتناب استفاده شده است. بدین‌منظور، از آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال ۱۳۸۵ استفاده شده است. برآوردها نشان می‌دهند که هر هکتار از درختان جنگلی واقع در توده طبیعی و جنگل‌کاری شده با گونه‌های افرا، کریپتومریا، زربین و تدا به‌ترتیب قادر به جذب ۱۰۸، ۸۹، ۷۸/۵، ۷۹ و ۷۸ هکتار/تن دی‌اکسیدکربن از جو هستند. این نتایج بیانگر آن است که توان ترسیب کربن جنگل‌های مذکور منجر به کاهش هزینه‌های اجتماعی و اجتناب از خسارت‌های ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن در جو می‌شود. از آن جایی که بر اساس مطالعات بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط‌زیست، هزینه‌های اجتماعی تخریب محیط‌زیست بر اثر مصرف حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۵ برای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، ۱۱۷۴۷ میلیارد ریال برآورد شده است، می‌توان اذعان نمود که انتشار هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، ۲۷۹۰۰ ریال هزینه در بر خواهد داشت. بنابراین، هر هکتار از جنگل‌های واقع در توده طبیعی محدود مطالعاتی با جلوگیری از انتشار ۱۰۸ تن دی‌اکسیدکربن در هکتار، ارزش اقتصادی معادل ۳/۰۱ میلیون ریال و توده دست کاشت افرا، کریپتومریا، زربین و تدا به‌ترتیب ارزشی معادل ۲/۴۸، ۲/۱۹، ۲/۲۰ و۲/۱۷ میلیون ریال (در هکتار/سال) را داراست. بدین‌ترتیب، عرصه ۳۶/۵ هکتاری توده طبیعی از ارزشی معادل ۳/۰۱ میلیون ریال و عرصه ۳۷/۲ هکتاری توده دست‌کاشت از ارزشی معادل ۹/۰۴ میلیون ریال تنها از بعد کارکرد ترسیب کربن اتمسفر برخوردار است و در مجموع ارزش اقتصادی ترسیب کربن در دو توده مورد مطالعه سالانه حدود ۱۲/۰۵ میلیون ریال است.

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که نتایج این بررسی نشان داد گونه‌های متفاوت نیروی متفاوتی در بازسازی خاک اکوسیستم‌ها از طریق متفاوت بودن تاثیرات بر خصوصیت‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در تعامل با دیگر اجزای اکوسیستم ایفا می‌کنند. در پژوهش حاضر نتایج مقایسه میانگین کربن در مجموعه لایه‌ها (۴۵-۰ سانتی‌متری) نشان داد، مقدار کربن ترسیب‌شده در توده طبیعی از سایر توده‌های جنگلکاری شده که از گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ خالص هستند، بیشتر است. در این راستا خادمی و همکاران (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدند که کربن آلی در اثر تغییر کاربری اراضی طبیعی (جنگل یا مرتع) به زمین زراعی یا با جنگلکاری کاهش می‌یابد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۹). (Aguilar et al., 1988)، کاهش مواد آلی در اثر کشت و کار را به دو دلیل به هم خوردن خاک سطحی و در نتیجه تسریع تجزیه بیولوژیکی مواد آلی، تشدید فرسایش خاک و به دنبال آن هدر رفت مواد آلی همراه با رواناب گزارش نمودند. (زرین‌کفش، ۱۳۷۲)، از دیگر دلایل به دست آمدن این یافته را برداشت سریع محصول در توده جنگلکاری شده با سوزنی‌برگان می‌داند که فرصت کافی را به تجزیه مواد نمی‌دهد. بالا بودن کربن خاک در لایه‌های پایین در منطقه مورد مطالعه نسبت به لایه‌های بالاتری مثل عمق ۱۵-۰، را می‌توان به دلیل حجم کم لاشبرگ در اثر تجزیه سریع‌تر آنها و احتمالاً هم اثر فرسایش و آبشویی مواد و پایین رفتن مواد و عناصر خاک دانست. با توجه به شکل (۵)، نتایج نشان داد که میزان ترسیب‌کربن گونه پهن‌برگ دست‌کاشت افرا نسبت به توده‌های دیگر به توده طبیعی شبیه‌تر است. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که گونه افرا می‌تواند کربن آلی خاک را نسبت به سایر گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ خالص با سرعت بیشتری گسترش دهد و با داشتن بالاترین مقدار کربن ذخیره شده می‌تواند به عنوان گونه مناسب برای جنگلکاری در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. که احتمالاً تولیدات ریشه و بازگشت آن به خاک می‌تواند از دلایل قوی این رخداد باشد اما متاسفانه اطلاعات زیادی در این زمینه در دست نیست و به مطالعات بیشتری در این مورد نیاز است. همچنین با توجه به این که درختان خزان‌کننده موجب افزایش فعالیت کرم‌های خاکی و دیگر بی‌مهرگان می‌شوند ماده آلی و در نتیجه کربن و ازت خاک را نیز افزایش می‌دهند (Jun & Pande, 1984). این مورد می‌تواند به‌این دلیل رخ دهد که گونه‌های درختی پهن‌برگ تولید لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی را از طریق افزایش لاشه‌ریزی کف جنگل، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، تتغیر در میکروکلیما، افزایش فعالیت‌های ریشه و همچنین تاثیر مثبت تاج پوشش در کاهش آبشویی و فرسایش از دلایل قابل ذکر برای این افزای‌ش در عناصر غذایی و کربن آلی خاک جنگلکاری‌ها با گونه‌های پهن‌برگ نسبت به سوزنی برگان دانست. با وجود اختلاف کل کربن موجود در توده‌های مختلف مورد مطالعه، توزیع نسبی کربن در این مناطق تقریباً ثابت است که با نتایج (Schuman et al., 1999; Paul et al., 2002)، مطابقت دارد. در مورد چنین نتایجی باید یادآور شد که یافته‌های این گونه تحقیقات در مناطق مختلف متفاوت است و علت اصلی این اختلاف در نتایج را می‌توان عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی‌های خاک، ترکیب جامعه گیاهی و اعمال مدیریتی مختلف بیان کرد (Schuman et al., 1999). در این مطالعه ضمن در نظر گرفتن تفاوت موجود بین میزان کربن موجود در توده‌های مختلف، نتایج نشان داد که میزان کربن ترسیب‌شده در توده‌های خالص تدا، زربین، کریپتومریا و افرا که به‌ترتیب معادل ۷۸، ۷۹، ۷۸/۵ و ۸۹ تن در هکتار بودند. در مقایسه با کربن موجود در توده طبیعی (شاهد) که معادل ۱۰۸ تن در هکتار بود مقادیر قابل توجهی را شامل می‌شوند. بنابراین، می‌توان بیان نمودکه به طورکلی نتایج تحقیقات گذشته (Skullberg, 1991 ;Yan et al., 2007) و نیز این تحقیق اثبات می‌کند که جنگلکاری نقش مهمی در جذب دی‌اکسیدکربن دارد. همان‌طوری که نتایج این پژوهش نشان داد جنگلکاری سبب ترسیب‌کربن شد اما این مقدار در هر یک از توده‌ها کمتر از میزان ترسیب‌کربن نسبت به مقدار آن در توده طبیعی بود. برخی از مطالعات که تاکنون انجام گرفته نشان دادند که جانشینی گونه‌ها که منجر به جابه‌جایی جنگل‌های اولیه و قدیمی با جنگلکاری‌ها می‌شوند منجر به از دست رفتن و اتلاف ذخیره کربن خاک می‌شوند (Aguilar et al., 1998). این کاهش به دلیل از دست رفتن کربن آلی خاک در مراحل اولیه توسعه جنگلکاری بر مبنای ورودی کمتر کربن آلفی نسبت به خروجی آن از طریق تنفس خاک است (عبدی، ۱۳۸۴). پس از آن با افزایش سن جنگلکاری‌ها کربن آلی خاک افزایش یافته و این افزایش تا رسیدن به یک تعادل پایدار ادامه دارد (نوبخت و همکاران، ۱۳۹۰) که در گونه‌های مختلف مقادیر این ورودی و خروجی‌ها متفاوت است و به تبع آن سرعت رسیدن به تعادل

پایدار کربن آلی خاک نیز متفاوت خواهد بود. این عامل می‌تواند توجیه محکمی برای متفاوت بودن مشاهده‌ها در مورد میزان ترسیب‌کربن خاک نسبت به توده طبیعی باشد. در واقع می‌توان این گونه بیان نمود که پس از استقرار جنگلکاری کاهش ورودی‌های کربن خاک از طریق لاشبرگ نسبت به کاربری‌های دیگر عرصه به همراه افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک در اثر اختلال به وجود آمده در اکوسیستم سبب کاهش سرعت تجزیه اکوسیستم می‌شوند (خادمی و همکاران، ۱۳۸۹).

در این مطالعه برای ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد ترسیب کربن از هزینه‌های اجتماعی عاید شده در وضعیت نبود این خدمت یا کارکرد استفاده شد با توجه به این که هر هکتار از جنگل‌های واقع در توده طبیعی محدود مطالعاتی با جلوگیری از انتشار ۱۰۸ تن دی‌اکسیدکربن در هکتار، ارزشی اقتصادی معادل ۳/۰۱ میلیون ریال و توده دست کاشت افرا، کریپتومریا، زربین و تدا به‌ترتیب ارزشی معادل ۲/۴۸، ۲/۱۹، ۲/۲۰ و۲/۱۷ میلیون ریال در هکتار/ سال برآورد شد. در بررسی‌های مشابه مبرقعی و همکاران (۱۳۸۸) با به‌کارگیری روش هزینه جایگزین، ارزش ترسیب کربن در آبخیز شماره ۱ از حوزه ۴۵ جنگل‌های خزری کشور را ۳/۹ میلیون ریال در هکتار برآورد نمودند که در این مطالعه تنها کارکرد ترسیب کربن توسط زی‌توده گیاهی طبیعی مورد ارزش‌گذاری قرار گرفته و کربن ترسیب شده در خاک منطقه مورد مطالعه مورد بررسی واقع نشده است. بنابراین، نتایج مربوط به ارزش‌گذاری اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در جنگل‌های منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده ارزش چشمگیر و قابل توجه این اکوسیستم‌ها می‌باشند. لازم به ذکر است که ارزش برآورد شده کلی (۱۲/۰۵ میلیون ریال) فقط مربوط به محدوده‌ای به وسعت حدود ۳۷ هکتار است و مقدار ترسیب در بخش هوایی، فقط برای قطرهای طبقه ۱۰ سانتیمتر به بالا محاسبه شده است. بدیهی است با احتساب ترسیب در این طبقات قطری، ارزش تخمینی بالاتر خواهد بود. همچنین اگر این ارزش برای کل منطقه لاویج برآورد شود، رقم قابل توجهی خواهد بود.این میزان برآورد ترسیب کربن در محدود مورد بررسی مربوط به دوره زمانی خاص نمی‌باشد و کل ترسیب صورت گرفته از بدو پیدایش این‌گونه جنگل‌ها می‌تواند قلمداد شود. همین‌طور، ترسیب صورت گرفته در زی‌توده گیاهی جنگل نیز متعلق به دوره زمانی خاصی نبوده و می‌توان با در نظر گرفتن نرخ رویش (۲٪ کل موجودی) نرخ ترسیب سالیانه در زیست‌توده گیاهی را برآورد نمود. همچنین، جنگل در کنار ترسیب کربن و تنظیم گازها کارکردها و خدمات دیگری از قبیل تنظیم جریانات هیدرولوژیکی، حفظ خاک، ارزش تفریحی، ارزش زیستگاهی و غیره نیز دارد که با برآورد آن‌ها می‌توان به ارزش اقتصادی کل[۱۰] جنگل دست یافت ولی این گونه مطالعات به زمان، هزینه و اطلاعات وسیع و جامعی نیاز دارد. از پژوهش انجام شده و پژوهش‌های مشابه چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود: از آن جایی که سرمایه‌های طبیعی و خدمات اکوسیستمی در آینده بیشتر تحت فشار قرار می‌گیرند و کمیاب‌تر می‌شوند، ضرورت دارد که با استفاده بهینه و درخور از این اکوسیستم‌های ارزشمند به حفاظت از این میراث طبیعی کمک نمود. ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات اکوسیستمی یک نقطه شروع مناسب برای درک ارزش خدمات متعدد اکوسیستم‌های جنگلی است و با دانستن ارزش اقتصادی کل اکوسیستم‌ها، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران قادر به تصمیم‌گیری جامع نگرتر و صحیح‌تر و تعیین اولویت بین گزینه‌های موجود خواهند بود.

یادداشت‌ها

1. Replace Cost Method
2. Preventive Expenditures
3. Damage Cost Avoided
4. Willingness to pay
5. Boyoucos
6. Kolmogorov-Smirnov Test
7. Kruskal–Wallis Test
8. Durbin-Watson Test
9. United States Environmental Protection Agency
10. Duncan Test

فهرست منابع

بادەیان، ض.؛ مشایخی، ز.؛ زبردست، ل. و مبرقعی، ن. ۱۳۹۳. برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب‌کربن در دو توده جنگلی خالص و آمیخته راش (مطالعه موردی: جنگل خیرود نوشهر)، پژوهش‌های محیط زیست، سال ۵، شماره ۹، ص ۱۴۷-۱۵۶.

پناهی، م. ۱۳۸۴. ارزش‌گذاری اقتصادی جنگل‌های خزری. رساله دکتری، دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران، ص ۲۹۴.

خادمی، ا.؛ عادلی، ا.؛ بابایی، س. و متاجی، ا. ۱۳۸۴. بررسی جنگلکاری‌های پارک جنگلی خوجین و هروآباد خلخال و معرفی گونه‌های سازگار،. مجله علمی – پژوهشی علوم کشاورزی، ۱۱: ۷۰-۵۹.

خادمی، ا.؛ عادلی، ا.؛ بابایی، س. و متاجی، ا. ۱۳۸۹. نقش جنگل‌های شاخه‌زاد در ذخیره کربن و جذب CO_2، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقاتی جنگل و صنوبرایران، ۲(۱): ۱۵۲-۱۴۲.

خداوردی زاده، م.؛ خلیلیان، ص.؛ حیاتی، ب. شمم و پیش بهار، ا .۱۳۹۳. برآورد ارزش پولی کارکردها و خدمات منطقه حفاظت شده مراکان با استفاده از روش آزمون انتخاب، مطالعات اقتصادی کاربردی‌ایران، ۳(۱۰) ۲۶۷-۲۹۰.

زرین کفش، م. ۱۳۷۲. خاکشناسی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۴۷ ص.

کریم زادگان، ح.؛ ارجمندی، ر.؛ منوری، م. و نائیجی، ش .۱۳۸۶ .تجزیه و تحلیل اقتصادی تأمین نیاز آبی زیست محیطی رودخانه هراز درطرح شبکه آبیاری و زهکشی دشت هراز استان مازندران. علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره دهم .شماره سه.

عبدی، ن. ۱۳۸۴. برآورد ظرفیت ترسیب کربن توسط جنس گون (زیر جنس *Tragacanth*) در استان‌های مرکزی و اصفهان، رساله دکتری علوم مرتع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ۲۰۲ ص.

عبدی، ن.؛ مداح عارفی، ح. و زاهدی‌امیری، ق. ۱۳۸۷. برآورد ظرفیت ترسیب‌کربن در گو ن‌زارهای استان مرکزی (مطالعه موردی: منطقه مالمیر شهرستان شازند)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵(۳): ص ۲۸۲-۲۶۹.

مبرقعی، ن.؛ شرزه‌ای، غ.؛ مخدوم، م.؛ یاوری، ا. و جعفری، ح. ۱۳۸۸. ارایه الگوی ارزش‌گذاری مکانی کارکرد جذب گاز دی‌اکسیدکربن در جنگل‌های خزری ایران. محیط‌شناسی. ۵۱: ۵۷-۶۸.

مشایخی، ز. ۱۳۸۶. ارزش‌گذاری اقتصادی اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس در کاهش رواناب سریع به عنوان یک خدمت محیط‌زیستی، مطالعه موردی: جنگل‌های بازفت استان چهارمحال‌بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده منابع‌طبیعی، ۱۳۶ ص.

موسوی، س، ع. ۱۳۹۰. مدیریت بهینه اراضی با تأکید بر ارزش اقتصادی کارکردهای اکوسیستمی و با استفاده از یک سامانه پشتیبان برنام هریزی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان میانی)، پایان نامه دکتری مرتع‌داری، دانشگاه تهران، ۳۱۸ ص.

نوبخت، ع.؛ پورمجیدیان، م.؛ حجتی، م. و فلاح، ا. ۱۳۹۰. مقایسه مقدار ترسیب‌کربن خاک در جنگلکاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ (مطالعه موردی: طرح جنگلداری دهمیان، مازندران)، مجله جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۳(۱): ۲۲-۱۳.

یزدانی، س. و عباسی، ا. ۱۳۸۹. برآورد ارزش اقتصادی منافع زیست‌محیطی جنگل‌ها (مطالعه موردی: بخش نمخانه جنگل خیرود در شهرستان نوشهر). تحقیقات اقتصاد کشاورزی۳: ۳۳-۵۴.

Allison, L.E. 1965. Organic carbon. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E., (Eds), Methods of soil analysis, Part 2, chemical and microbiological properties. American society of agronomy, Madison, Pp: 1367.

Aguilar. R.; Kelly, E.F. & Heil, R.D. 1988. Effect of cultivation of soils in northern Great Plains rangeland soil, Journal of Sci. Soc. Am, Vol 52. Pp: 1081-1085.

Atkin, J. & Dayal, p. 1999. Carbon sequestration using sustainable forestry management in south America. In proceeding of the electric utilities Environmental conference, Tucson, Az.

Chiti, T.; Cerini, A.; Puglisi, A.; Sanesi, A. & Capperucci, C. 2006. Effects of associating an N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in mine soils, Dunkiel, B. & Sugarman, S. 1998. Complaint for Declaratory, Mandatory and Injunctive Relife.United States District Court for the District of Vermont. Burlington, Vermont.

Fearnside, P. 1997. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonian. Ecological Economics, 20: 53- 70.

Geoderma Journal, 61: 35-43.

Kerr, A. 2001. Reducing Your Emissions Doesn't Result in Cleaner Air. Cascadia Times, 5(6), March-April.

Kundhlande, G.; Adamowicz, W. L. & Mapaure, I. 2000. Land use options in dry tropical woodland ecosystem in Zimbabwe. Ecological Economics. 33:401-412

Mortenson, M. & Chuman, G. 2002. Carbon sequestration in rangeland interceded with yellow-flowering alfalfaMedicago Sativa Spp. Falcata) USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouses Emission in University of Wyoming

Paul, K.; Polglase, I.; Nyakuengama, J.G. & Khanna, P.K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 168: 241-257.

Pearce, D. W. & Moran, E. 1994.The economic value of biodiversity. Earthscan publication, London.

Pimental, D.; Wilson, C.; McCullum, C.; Huang, R.; Daen, P.; Flack, J.; Tran, O.; Saltman, T. & Cliff, B. 1997.Economic and environmental benefits of biodiversity. Biological Science, 47(11): 747-757.

Schuman, G.E.; Reeder, J.P.; Manley, J.T.; Hart, R.H. & Manley, W.A. 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. Ecological Application, 9: 65-71.

Skullberg, U. 1991. Seasonal Variation of PH H_2o and PH Cacl2 in Centimeter Layers of Mor Humus a PiceaAbies (L). Karst Stand. Sweden University of Agricultural Sciences, Department of Forest Site Research.

Torras, M. 2000. The total economic value of Amazonian deforestation, 1978-1993.Ecological Economics. 33: 283-297.

Yan, H.; Cao, M.; Liu, J. & Tao, B. 2007. Potentialand sustainability for carbon sequestration withimproved soil management in agricultural soils of China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 121: 325-335.