



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"

دوره هشتم، شماره شانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

اثر جنگل کاری با گونه‌های بومی و غیربومی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن از سطح خاک (پژوهش موردی: جنگل دارابکلا ساری)

سید محمد حجتی^{۱*}، سید احمد هاشمی^۲، سید محمد حسینی نصر^۳، مریم اسدیان^۴، محیا تفضلی^۵
^۱دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

^۳دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
^۴دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
^۵دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۳

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی تنفس در توده‌های دست‌کاشت افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، بلوط بلندمازو (*Pinus brutia*) و ون (*Fraxinus excelsior* L.) و کاج بروسیا (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) و مقایسه آن با توده طبیعی واقع در جنگل آموزشی پژوهشی داربکلا بود. برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر توده، تعداد ۱۰ نقطه به‌صورت تصادفی منظم انتخاب و از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری با روش استوانه فلزی نمونه تهیه شد. درصد رطوبت، چگالی ظاهری، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری تنفس خاک، در اوایل شهریور در هریک از توده‌های موردبررسی تعداد ۶ لوله (قطر و ارتفاع = ۱۰ سانتی‌متر) در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری نصب و با استفاده از دستگاه CO₂-Port (ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین مقدار مشخصه‌های واکنش خاک (۷/۳۳±۰/۰۷) در جنگل کاری افرا پلت و کم‌ترین میزان درصد رطوبت (۳۵/۲۱±۰/۸۶)، واکنش خاک (۶/۸۳±۰/۰۷) و قابلیت هدایت الکتریکی (۰/۲۶±۰/۰۲) دسی زمینس بر متر) در جنگل کاری بروسیا مشاهده شد. بیشترین میزان تنفس خاک به ترتیب در توده‌های افرا پلت (۱۶/۹۱) مول کربن در ساعت در مترمربع) و بلندمازو (۱۶/۵۲) مول کربن در ساعت در مترمربع) و کمترین میزان آن در توده‌های کاج بروسیا (۹/۰۶) مول کربن در ساعت در مترمربع) و ون (۱۰/۴۸) مول کربن در ساعت در مترمربع) ثبت شد. همچنین تنفس تنها در توده‌های

*نویسنده مسئول: s_m_hodjati@yahoo.com

کاج بروسیا و ون به طور معنی داری کمتر از توده شاهد بود. با توجه به یافته‌های این پژوهش و همچنین اهمیت تنفس خاک در بوم‌سازگان جنگلی، درختان افرایلت و ون (به صورت خالص یا آمیخته) برای جنگل‌کاری در مناطق مشابه (بوم‌شناسی و رویشگاهی) پیشنهاد می‌شود.
واژه‌های کلیدی: توده دست کاشت، تنفس خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد گرمایش جهانی پدیده انتشار غیرمجاز گازهای گلخانه‌ای است که مهم‌ترین آن‌ها شامل دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و متان (CH_4) هستند (Osabohien et al, 2019)؛ اما با توجه به حجم بیشتر تجمع دی‌اکسید کربن در اتمسفر، این گاز یکی از کلیدی‌ترین گازها در پدیده گرمایش جهانی کره زمین مطرح گردیده است (Srivastava et al, 2012). جنگل‌ها از جمله مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی به حساب می‌آیند و نقش مهمی در چرخه گاز دی‌اکسید کربن ایفا می‌کنند و یکی از مهم‌ترین محل ذخیره کربن می‌باشند (Pan et al, 2011). خاک جنگل منبع مهمی برای ذخیره کربن در اکوسیستم جنگل می‌باشد (Dixon et al, 1994).

تنفس خاک جنگل نقش مهمی در تنظیم مقدار کربن خاک و چرخه کربن در اکوسیستم‌های زمینی دارد که به طور مستقیم بر غلظت دی‌اکسید کربن در جو و پدیده تغییر اقلیم تأثیرگذار خواهد بود (Bond-Lamberty and Thomson, 2010; Peoplau et al 2019)؛ بنابراین هر عاملی که منجر به تغییر در میزان تنفس خاک جنگل شود به طور مستقیم روی پدیده تغییر اقلیم مؤثر می‌باشد. تنفس خاک یا به عبارت دیگر انتشار کربن دی‌اکسید که با جذب اکسیژن و آزادسازی دی‌اکسید توسط ریز جانداران خاک انجام می‌گیرد حدود ۳۰ تا ۸۰ درصد از تنفس را در اکوسیستم جنگلی به خود اختصاص می‌دهد که مقدار آن بستگی به محل توده و شرایط اقلیمی دارد (Davidson and Janssens, 2006) انتشار دی‌اکسید کربن از خاک، در زمان و مکان بسیار متغیر می‌باشد و تحت تأثیر عواملی از جمله، دمای خاک، رطوبت، حاصلخیزی رویشگاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و جوامع میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد (Cannell et al, 1995; Rahman et al, 2008). به عبارت دیگر، تولید دی‌اکسید کربن اولاً ناشی از تنفس اتوتروفیک به وسیله ریشه‌ها و قارچ‌های همزیست با آن‌ها می‌باشد و دوماً ناشی از تنفس هتروتروفیک به وسیله اکسیداسیون بقایای گیاهی (تجزیه لاشبرگ)، ترشحات ریشه و هوموسی شدن مواد آلی، می‌باشد (Han et al, 2007).

در میان متغیرهایی که می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه هم روی شدت و هم روی فرآیند تنفس خاک جنگل و در نتیجه روی چرخه کربن داشته باشد فعالیت‌های مدیریتی در جنگل هستند که به تنهایی این قابلیت را دارند که جنگل را از محل ذخیره کربن به محلی برای تولید کربن تبدیل کنند (North

et al, 2009)؛ بنابراین مطالعه اثرات فعالیت مدیریتی در جنگل روی تنفس خاک عامل مهمی در تخمین توازن چرخه جهانی کربن دارد (Raich et al, 1995; Schimel, Sullivan et al, 2008). همچنین با اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک می‌توان به کیفیت خاک و میزان تجزیه و بازگشت مواد آلی در چرخه عناصر غذایی اکوسیستم جنگل، پی برد (صالحی، ۱۳۸۴).

از جمله فعالیت‌های مدیریتی در جنگل می‌توان به فعالیت جنگل‌کاری اشاره کرد. جنگل‌های شمال کشور به دلیل بهره‌برداری‌های غیراصولی و عدم تجدید حیات طبیعی در مناطق مختلف در معرض تهدید قرار گرفته است و از این جهت می‌توان با انجام عملیات جنگل‌کاری به احیاء آن‌ها کمک نمود، اما نکته قابل توجه این است که پس از جنگل‌کاری عوامل زیستی رویشگاه تحت تأثیر گونه کاشته شده تغییر می‌یابند. جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی می‌تواند روی تنفس اتوتروفیک و هتروتروفیک خاک از طریق کاهش بیوماس و تغییر در کمیت و کیفیت مواد ورودی به کف جنگل و همچنین تأثیر روی درصد تاج‌پوشش که منجر به تأثیر روی فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود، اثرگذار باشد (Masyagina et al, 2010). به‌طور کلی، اجرای عملیات جنگل‌شناسی و مدیریت جنگل روی پویایی کربن از طریق تغییر توازن انرژی در کف جنگل، رطوبت خاک، عناصر غذایی در دسترس و تولید بیوماس، اثرگذار می‌باشد (Cannell and Dewar, 1995)؛ بنابراین انتخاب گونه مناسب در امر جنگل‌کاری حائز اهمیت می‌باشد (Vesterdal et al, 2008).

بر اساس اطلاعات موجود تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با اثر جنگل‌کاری روی تنفس خاک جنگلی در جنگل‌های شمال کشور صورت نگرفته است؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی میزان تنفس خاک در توده‌های دست‌کاشت افرا پلت، بلوط بلندمازو، ون و کاج بروسیا (جهت تعیین نقش هرکدام از این گونه‌ها در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از خاک) و مقایسه آن با توده طبیعی واقع در جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری- داربکلا بود.

مواد و روش‌ها

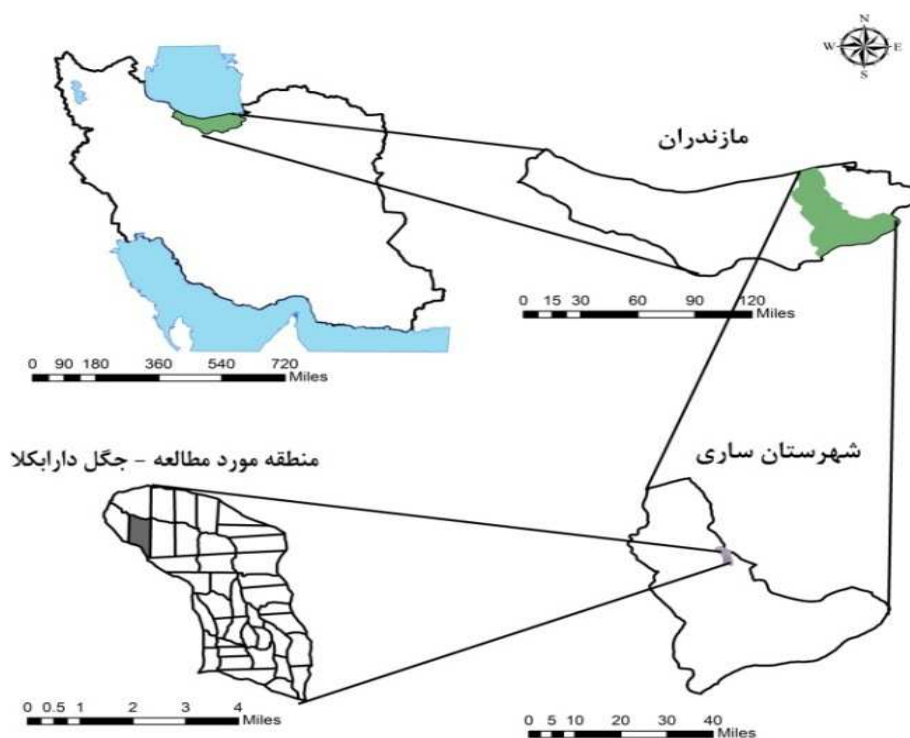
منطقه مورد مطالعه

به منظور انجام این تحقیق، توده‌های دست‌کاشت (بلوط بلندمازو، کاج بروسیا، زبان‌گنجشک و افرا پلت) و توده طبیعی بلوط - ممرز واقع در قطعه ۳۹ (طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی) جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری (سری یک طرح جنگل‌داری دارابکلا) انتخاب شدند. جهت عمومی منطقه شمال و شمال غربی و متوسط شیب حدود ۲۰ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که متوسط سن توده‌های مختلف دست‌کاشت برابر بوده و در حدود ۲۵ سال می‌باشد. فاصله کاشت توده‌ها (۲/۵ × ۲/۵ متر) نیز با هم برابر

می‌باشد. متوسط ارتفاع از سطح دریا در این منطقه ۳۶۰ متر می‌باشد و میانگین بارندگی به میزان ۷۰۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است (کتابچه طرح جنگل دارابکلا، ۱۳۷۵).

جدول ۱- مشخصات کمی توده‌های مورد مطالعه در پارسل ۳۹ طرح جنگل داری دارابکلا ساری

گونه	نام علمی گونه‌ها	مساحت (هکتار)	قطر (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)
ون	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	۰/۵	۹/۵±۲/۵	۱۲/۸۵±۱
بلندمازو	<i>Quercus castaneifolia</i> C.A.Mey.	۱	۲۱±۵	۱۸±۳
کاج بروسیا	<i>Pinus brutia</i> Ten.	۰/۶۵	۱۴±۳	۱۲±۱
افرا پلت	<i>Acer velotinum</i> Boiss.	۱/۱	۲۰±۵	۱۹±۳
طبیعی	-	۲/۵	۷۰±۱۰	۲۵±۴



شکل ۱- موقعیت توده دست‌کاشت افرا پلت در جنگل آموزشی و پژوهشی دارابکلا

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پس از بازدید و شناسایی دقیق منطقه، برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌صورت تصادفی تعداد ۱۰ نقطه در هر یک از توده‌های مورد مطالعه انتخاب و در مجموع تعداد ۵۰ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر با روش استوانه فلزی (قطر هشت سانتی‌متر) تهیه شدند. به‌منظور بررسی میزان ترسیب کربن خاک، در مجاورت نقاط مذکور، دو نمونه از عمق‌های ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متر با روش استوانه فلزی تهیه شدند.

پس از نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه درصد رطوبت به روش توزین و خشک‌کردن، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک به روش هیدرومتری، اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه مخصوص قابلیت هدایت‌گر الکتریکی (EC متر)، کربن آلی به روش والکی بلاک، نیتروژن کل به روش کجلدال، اندازه‌گیری شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲).

اندازه‌گیری تنفس خاک

به‌منظور اندازه‌گیری تنفس خاک، در اوایل شهریور در هریک از توده‌های مورد بررسی تعداد ۶ لوله PVC (قطر و ارتفاع = ۱۰ سانتی‌متر) در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری (لایه معدنی خاک) در همان نقاطی که نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی برداشته شده بود، نصب گردید. بعد از گذشت مدت‌زمان ۲۴ ساعت از نصب لوله‌ها در خاک (نرمال شدن وضعیت خاک بعد از به هم خوردگی) تنفس خاک با استفاده از دستگاه CO₂-Port (ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد (Hojjati et al, 2009). لازم به ذکر است که این تنفس از نوع تنفس کل (مجموع تنفس میکروبی و ریشه) بوده است.



شکل ۲- دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری تنفس خاک (CO₂-Port) ساخت آلمان

محاسبات

میزان ترسیب کربن خاک برحسب کیلوگرم بر هکتار بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:
رابطه ۱ $OC = 10000 \times OC \% \times BD \times E$

در این معادله OC مقدار ترسیب کربن آلی برحسب کیلوگرم بر مترمربع، % OC درصد کربن آلی، BD وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E عمق نمونه‌برداری خاک برحسب سانتی‌متر است (محمودی طالقانی و همکاران، ۱۳۸۶).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه تحلیل آماری و مقایسه مشخصه‌های موردنظر در توده‌های مختلف پس از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها (آزمون کولوموگروف-اسمیرونوف) و همگنی واریانس (آزمون لون) از طریق آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن در محیط نرم‌افزار SPSS 16.0 و رسم نمودار در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج

مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های مورد مطالعه

نتایج نشان داد که مشخصه رطوبت خاک در بین توده‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری بوده است. بیش‌ترین میزان این مشخصه در توده بلندمازو و کم‌ترین میزان آن در توده بروسیا مشاهده شد (جدول ۱). نتایج حاکی از آن است که توده بروسیا به‌طور معنی‌داری بیش‌ترین میزان چگالی ظاهری خاک و توده ون کم‌ترین میزان این مشخصه را به خود اختصاص داده‌اند. بیش‌ترین میزان مشخصه درصد کربن آلی خاک در توده ون و کم‌ترین میزان آن در توده طبیعی مشاهده شد. نتایج نیتروژن کل خاک نشان می‌دهد که علی‌رغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین توده‌های مختلف مورد مطالعه، بیش‌ترین میزان این مشخصه در توده کاج بروسیا و کم‌ترین میزان آن در توده افرا پلت مشاهده شد. کم‌ترین میزان مشخصه نسبت کربن به نیتروژن در توده طبیعی و بیش‌ترین مقدار آن در جنگل کاری ون مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان ترسیب کربن در عمق ۵-۰ در توده افرا پلت (۴۸/۷۵ تن در هکتار) و در عمق ۱۰-۵ در توده کاج بروسیا (۳۸/۰۹ تن در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از سایر توده‌ها بوده است.

جدول ۲- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (اشتباه معیار ± میانگین) در توده‌های مورد مطالعه

متغیر	توده				
	افرا پلت	ون	کاج بروسیا	بلندمازو	طبیعی
رطوبت (درصد)	۳۷/۵۷± ۱/۷ ^{bc}	۴۲/۴۵± ۰/۷۲ ^{ab}	۳۵/۲۱± ۰/۸۶ ^c	۴۳/۹۳± ۲/۳ ^a	۴۳/۴۶± ۰/۷۷ ^a
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۷۸± ۰/۰۸ ^{ab}	۱/۵۲± ۰/۰۱ ^b	۲/۱۱± ۰/۱۵ ^a	۱/۷۳± ۰/۰۶ ^{ab}	۱/۸۲± ۰/۱۶ ^{ab}
واکنش خاک	۷/۳۳± ۰/۰۷ ^a	۶/۹۸± ۰/۰۵ ^b	۶/۸۳± ۰/۰۷ ^b	۷/۳۹± ۰/۰۶ ^a	۶/۹± ۰/۱۱ ^b
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۵۳± ۰/۰۴ ^a	۰/۴۶± ۰/۰۴ ^{ab}	۰/۲۶± ۰/۰۲ ^c	۰/۰۲ ^{ab} ۰/۴۵±	۰/۳۹± ۰/۰۴ ^b
کربن آلی (درصد)	۴/۱± ۰/۲ ^b	۵/۱± ۰/۲۲ ^a	۳/۹± ۰/۲۷ ^b	۴/۱± ۰/۲۹ ^b	۲/۸± ۰/۱۲ ^c
نیتروژن کل (درصد)	۰/۴۸± ۰/۰۵ ^c	۰/۵۶± ۰/۰۲ ^b	۰/۶۲± ۰/۰۳ ^a	۰/۵۱± ۰/۰۲ ^{bc}	۰/۵۴± ۰/۰۶ ^c
کربن / نیتروژن	۸/۴۶± ۱/۱ ^{abc}	۹/۱۰± ۰/۷ ^{ab}	۶/۲۷± ۰/۷ ^{ab}	۸/۰۸± ۰/۶ ^{ab}	۵/۲۱± ۱/۰ ^c

حروف مختلف لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) در بین توده‌های مختلف می‌باشد.

جدول ۳- نرسیب کربن خاک (تن در هکتار) در توده‌های مورد مطالعه

عمق	توده				
	افرا	ون	کاج بروسیا	بلوط	طبیعی
۰-۵	۴۸/۷۵± ۳/۱۹ ^a	۴۳/۴۰± ۴/۶۳ ^a	۴۱/۴۴± ۴/۰۳ ^a	۴۱/۹۰± ۳/۰۴ ^a	۲۵/۹۱± ۳/۷۹ ^b
۵-۱۰	۲۴/۸۱± ۳/۰۹ ^a	۳۳/۵۳± ۲/۶۹ ^{ab}	۳۸/۰۹± ۵/۵۲ ^b	۲۸/۴۹± ۳/۳ ^{ab}	۲۴/۹۱± ۳/۱۸ ^a

حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) در بین توده‌های مختلف می‌باشد.

تنفس خاک

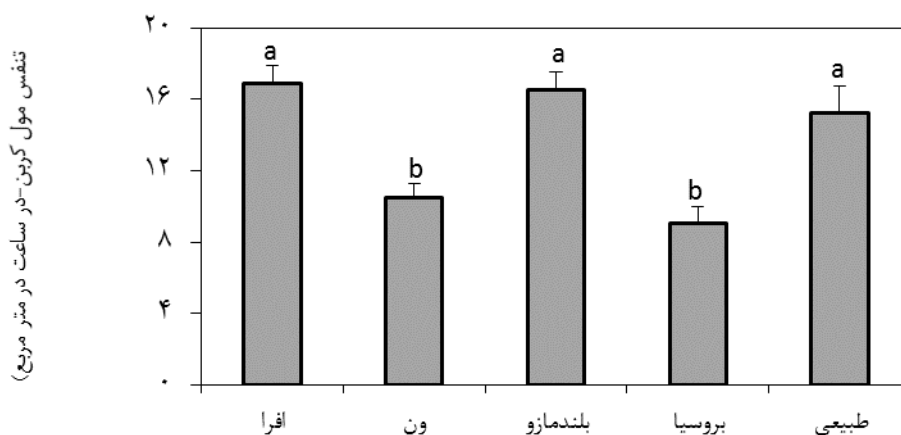
نتایج آنالیز واریانس تنفس خاک نشان داد که بین توده‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۴).

جدول ۴- آنالیز واریانس میزان تنفس خاک ($\text{mC-CO}_2 \text{ h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	بیانگین مربعات	مقدار F
بین گروه	۳۱۵/۵۳۸	۴	۷۸/۸۸۴	۳۹/۰۰۱**
درون گروه	۵۰/۵۶۶	۲۵	۲/۰۲۳	
کل	۳۶۶/۱۰۴	۲۹		

** نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

بیشترین میزان تنفس خاک به ترتیب در توده‌های افرا پلت و بلندمازو و کمترین میزان آن در توده‌های کاج بروسیا و ون مشاهده شد. نتایج آزمون LSD نشان داد میزان تنفس تنها در توده‌های کاج بروسیا و ون به‌طور معنی‌داری کمتر از توده شاهد بود و سایر توده‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با توده شاهد نداشتند (شکل ۳). نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که مقدار تنفس خاک با مقدار رطوبت، چگالی ظاهری و مقدار کربن آلی خاک دارای همبستگی منفی و معنی‌داری می‌باشد (جدول ۴).



شکل ۳- تنفس خاک در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده‌های مورد مطالعه

(حروف غیرمشابه لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد با کمک آزمون LSD بین توده‌های مختلف می‌باشد).

جدول ۴- همبستگی پیرسون تنفس خاک با مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

رطوبت	چگالی ظاهری	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن	نیترژن
۰/۵۹ ^{**}	۰/۴۰ ^{**}	۰/۰۰۱	۰/۳۲	۰/۶۰ ^{**}	۰/۱۶

×× نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که درصد رطوبت در توده‌های کاج بروسیا و افرا پلت به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد (طبیعی) بود. علت کمتر بودن درصد رطوبت در توده کاج بروسیا را می‌توان در بیشتر بودن مقدار باران‌رایی توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگان (Loshali and Singh, 1992) و نیز ضخیم بودن لایه لاشبرگ در توده‌های سوزنی‌برگ (Fan et al, 2014) بیان کرد که باعث کاهش مقدار آب رسیده به خاک جنگل می‌شود. دلیل کمتر بودن درصد رطوبت در توده افرا پلت را نیز می‌توان در بیشتر بودن چگالی ظاهری و نفوذ سریع‌تر آب بیان کرد. همچنین زیاد بودن میزان این شاخص در جنگل طبیعی، به دلیل آشفته‌گی و اختلال در خاک و به هم خوردن ساختمان خاک صورت گرفته و میزان نفوذپذیری آب در خاک کاهش و تجمع آب در لایه‌های سطحی افزایش می‌یابد. این نتیجه با یافته‌های نیل و همکاران (Neill et al, 1997) همخوانی دارد.

از نظر مشخصه وزن مخصوص ظاهری خاک نتایج بیانگر این مطلب است که توده‌های مورد مطالعه دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بوده‌اند. به‌گونه‌ای که توده ون دارای میزان چگالی ظاهری بسیار پایین‌تری در بین توده‌های مورد مطالعه می‌باشد. علت این امر را می‌توان به زیادتر بودن ماده آلی در خاک زیر این توده نسبت داد که سبب کاهش وزن مخصوص ظاهری شده است. مشکلی (۱۳۸۴) نیز بیان نمود که وزن مخصوص ظاهری با مواد آلی موجود در خاک در ارتباط بوده و خاک‌های دارای وزن مخصوص ظاهری کمتر دارای مقدار مواد آلی بیشتری می‌باشند. نتایج این تحقیق همسو با نتایج نوبخت و همکاران (۱۳۸۹) و اسدیان و همکاران (۱۳۹۰) بود.

در مورد مشخصه‌های واکنش خاک نتایج نشان داد مقدار آن در توده‌های بلندمازو و افرا پلت نسبت به توده شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و سایر توده‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با توده شاهد نشان ندادند. علت بالا بودن میزان pH خاک در جنگل کاری افرا پلت را می‌توان به تجزیه سریع لاشبرگ این‌گونه و در نتیجه غنی بودن محتوی مواد مغذی موجود در لاشبرگ آن که خود، بازگشت مقادیر زیادی از کاتیون‌های بازی به خاک را به همراه دارد، دانست (Norden, 1994).

مقدار EC (قابلیت هدایت الکتریکی) به ترتیب در توده‌های افرا پلت و کاج بروسیا دارای بالاترین و پایین‌ترین مقدار، نسبت به سایر توده‌ها و نیز دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به توده شاهد می‌باشد دلیل بالا بودن میزان هدایت الکتریکی در توده افرا پلت را می‌توان سرعت بالای تجزیه لاشبرگ در این توده بیان کرد. از جمله دلایلی که می‌توان برای کم بودن میزان هدایت الکتریکی در کاج بروسیا عنوان کرد، اشاره به پایین بودن نرخ تجزیه لاشبرگ در این توده می‌باشد. بطوریکه در نتیجه تجزیه آهسته لاشبرگ و متعاقب آن تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، غلظت این عناصر در خاک کاهش یافته و در نتیجه از میزان هدایت الکتریکی در خاک این توده کاسته می‌گردد (Hagen-Thorn et al, 2004).

نتایج نشان داد مقدار کربن و مواد آلی در همه توده‌های مورد بررسی، دارای اختلاف معنی‌داری با توده شاهد است. بر اساس نتایج، میزان کربن آلی خاک در توده طبیعی کمتر از سایر توده‌ها بوده که علت آن را می‌توان در نوع گونه‌های موجود در آشکوب فوقانی و آمیخته بودن و قدمت توده طبیعی نسبت به توده‌های دست‌کاشت بیان نمود (Dinakaran and Krishnaya, 2008). محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در این ارتباط در جنگل‌های مدیریت شده شمال کشور به این نتیجه رسیدند که تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها، از عوامل اصلی در افزایش ذخیره کربن در افق‌های معدنی خاک می‌باشد. همچنین میزان کربن آلی خاک در توده کاج بروسیا دارای کمترین مقدار است که این مسئله را می‌توان به سرعت پایین تجزیه لاشبرگ این گونه و در نتیجه کاهش ورودی مواد آلی به خاک این توده ارتباط دارد.

بیشترین و کمترین درصد ازت کل به ترتیب در توده‌های کاج بروسیا و توده افرا پلت مشاهده شد؛ اما نتایج بیانگر آن است که هیچ‌یک از ۴ توده جنگل‌کاری شده از نظر مشخصه ازت کل، با توده شاهد (طبیعی) تفاوت معنی‌داری نداشتند. آزادی و همکاران (۱۳۹۳) و نوبخت و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق خود بیان کردند که میزان نیتروژن در توده سوزنی‌برگ بیشتر از پهن‌برگ بود. علت کمتر بودن میزان نیتروژن در توده پهن‌برگ را می‌توان به آبسویی بیشتر نیتروژن مرتبط دانست. همچنین مجد طاهری و جلیلی (۱۳۷۴) به بررسی اثرات جنگل‌کاری با کاج الداریکا و افاقیا روی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در پارک جنگلی چیتگر تهران پرداخت در این مطالعه بین میزان ازت کل در بین دو توده اختلاف معنی‌داری مشاهده نکرد.

نتایج در این بررسی نشان داد که در تمام توده‌های مورد مطالعه، میزان کربن موجود در لایه ۵-۰ سانتی‌متر بیشتر از ۱۰-۵ سانتی‌متر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های ورامش و همکاران (۱۳۸۹)، اسدیان و همکاران (۱۳۹۱)، اسچومن و همکاران (Schuman et al, 2002) مطابقت دارد و علت آن را می‌توان در تجمع لاشبرگ در سطح خاک و تجزیه کند آن‌ها بیان کرد. همچنین این تحقیق نشان داد که به‌طور کلی در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر، ترسیب کربن کاج بروسیا بیشتر از سایر توده‌ها بوده است. نوبخت و همکاران (۱۳۹۰) طی مطالعه خود در زمینه تأثیر جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و

پهن برگ روی ترسیب کربن خاک (عمق ۲۰-۰ سانتی متر) گزارش کردند که میزان ترسیب کربن در پیسه آ بیشتر از ون و بلوط بوده است.

علت بیشتر بودن میزان ترسیب کربن در گونه های سوزنی برگ نسبت به پهن برگ را می توان در تجمع لاش برگ در سطح خاک و حفاظت بیشتر توده های سوزنی برگ از خاک و جلوگیری از هدر رفتن کربن در آن ها ذکر کرد (نوبخت و همکاران، ۱۳۸۹). علت اصلی تفاوت در میزان ترسیب کربن خاک در توده های مورد مطالعه مربوط به نوع گونه های موجود در آشکوب فوقانی می باشد که تأثیر زیادی روی میزان ورود کربن به خاک دارد (Dinakaran and Krishnaya, 2008).

به طور کلی تنفس خاک نشان دهنده میزان فعالیت میکروارگانیسم های خاک و همچنین فعالیت ریشه گیاهان در خاک می باشد (Chen et al, 2019). Weber, 1990) بیشتر بودن تنفس خاک می تواند نشان دهنده بیشتر بودن مقدار تجزیه لاش برگ و بازگشت عناصر غذایی به خاک باشد (صالحی، ۱۳۸۴). نتایج این بررسی نشان داد که میزان تنفس خاک در توده کاج بروسیا نسبت به توده های دیگر، به طور معنی داری کمتر از توده شاهد بود. به طور کلی پیش بینی شده است که زمانی شرایط اقلیمی و خاک یکسان باشد، میزان تنفس خاک در توده های سوزنی برگ به میزان ۱۰ درصد کمتر از توده های پهن برگ می باشد (Raich and Tufekcioglu, 2000). مطالعات متعددی کمتر بودن میزان انتشار گاز CO₂ خاک در توده های سوزنی برگ نسبت به توده های پهن برگ گزارش کردند. دلیل اصلی آن مربوط به کمتر بودن فعالیت میکروارگانیسم های خاک در این توده ها می باشد (Yavitt, 1997; Raich et al, 2002; Fernandez et al, 1993). دلیل اصلی کمتر بودن میزان انتشار گاز CO₂ در توده ون را می توان در تجزیه سریع لاش برگ های این گونه بیان کرد. به این مفهوم که در زمان اندازه گیری تنفس خاک در این تحقیق (شهریورماه)، تجزیه لاش برگ های این گونه به اتمام رسیده بود و فعالیت ارگانیسم ها در این زمان کاهش می یابد و در نتیجه میزان انتشار CO₂ کاهش می یابد.

نتایج این بررسی نشان داد که مقدار تنفس خاک با مقدار رطوبت، کربن و همچنین با چگالی ظاهری خاک همبستگی منفی و معنی دار داشت. بیشتر بودن فضای منافذ خاک منجر به بهبود فرآیند تهویه، نفوذ آب، نفوذ ریشه، بیشتر بودن فعالیت ریشه و همچنین فعالیت میکروارگانیسم های خاک می شود؛ بنابراین، هر چه مقدار چگالی خاک کمتر باشد، مقدار فعالیت ریشه و میکروارگانیسم ها بیشتر می شود و در نتیجه مقدار تنفس خاک افزایش می یابد. دلیل همبستگی منفی بین مقدار رطوبت و تنفس خاک می توان به این شکل بیان کرد که در صورتیکه رطوبت خاک بالا باشد، فضای منافذ آن با آب پر خواهد شد و در نتیجه میزان تهویه و جابه جایی گازها کاهش و به واسطه ایجاد شرایط بی هوازی، انتظار می رود میزان تنفس کاهش یابد.

به‌طور کلی یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که توده‌های افرا پلت و ون آثار مثبتی بر خصوصیات خاک داشته‌اند. این درختان موجب افزایش معنی‌دار در pH، هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شده‌اند. همچنین جنگل‌کاری با گونه کاج بروسیا منجر به کاهش معنی‌داری در رطوبت، pH، EC، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، نسبت به توده شاهد شده است. کمترین میزان تنفس خاک در توده‌های ون و بروسیا و بیشترین میزان آن در توده افرا گزارش شده است. توده‌های افرا، ون و بروسیا دارای قابلیت بالایی در ترسیب کربن خاک بوده‌اند. نتایج حاکی از آن بوده است که ترسیب کربن بالا در توده‌های ون و بروسیا می‌تواند منجر به کاهش میزان تنفس شده باشد. این در حالی است که در توده افرا ما شاهد بالا بودن میزان تنفس در خاک بوده‌ایم. دلیل این امر را می‌توان به سهمی از تنفس که توسط ریشه صورت گرفته و بالا بودن بیوماس ریشه در توده افرا نسبت داد. در مطالعه حاضر جنگل‌کاری‌ها به‌صورت تک کشتی صورت گرفته بوده است. تک‌کشتی بودن جنگل‌کاری‌ها مسئله‌ای است که در بسیاری از مطالعات به آن اشاره شده است؛ زیرا در روش تک‌کشتی، ریشه‌ها در یک عمق معین متمرکز شده و دائماً از یک قشر ثابت تغذیه می‌نمایند، در نتیجه پس از مدتی حاصلخیزی خاک کم شده و برگشت مواد غذایی به خاک با اختلالاتی همراه می‌گردد (آینده‌ای که می‌توان برای کاج بروسیا به‌عنوان یک‌گونه سوزنی‌برگ با گذشت زمان متصور شد). از این‌رو جنگل‌کاری به‌صورت ترکیب گونه‌های بومی پهن‌برگ مانند ون و افرا پلت که در تحقیق حاضر نتایج مطلوبی را بر خصوصیات خاک به همراه داشته و منجر به بهبود وضعیت خاک و توده جنگلی می‌گردد، پیشنهاد می‌شود. با توجه به اهمیت مبحث تغییر اقلیم و محدود بودن مطالعات در ارتباط با مقدار انتشار گازهای مانند CO_2 ، CH_4 و N_2O از سطح خاک‌های جنگلی، پیشنهاد می‌شود در سایر مطالعات اثر نوع پوشش گیاهی، اثرات مدیریت جنگل و تغییرات کاربری اراضی روی مقدار انتشار این گازها از خاک مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- اسدیان، م.، حجتی، س.م.، فلاح، ا.، پورمجیدیان، م.ر. ۱۳۹۰. تأثیر انواع مختلف کاربری اراضی روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا، ساری)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۸۶ صفحه.
- اسدیان، م.، حجتی، س.م.، فلاح، ا.، پورمجیدیان، م.ر. ۱۳۹۱. بررسی تنوع زیستی و خصوصیات خاک در جنگل-کاری‌های کاج سیاه و زبان‌گنجشک (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا، ساری)، مجله جنگل و صنوبر ایران، (۲) ۲۰: ۲۹۹-۳۱۲.

- کتابچه طرح جنگلداری. ۱۳۷۵. جنگل آموزشی و پژوهشی داربکلا. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ساری. ۱۷۵ صفحه.
- آزادی، ا.، حجتی، س.م.، جلیلود، ح.، نقوی، ح. ۱۳۹۳. بررسی ترسیب کربن خاک و تنوع زیستی زیرآشکوب جنگل کاری های سوزنی برگ و پهن برگ شهر خرم آباد (مطالعه موردی: مخمل کوه)، مجله جنگل و صنوبر ایران، ۲۱(۴): ۷۰۲-۷۱۵.
- جعفری حقیقی، م. ۱۳۸۲. روش های تجزیه خاک (نمونه برداری و آنالیز خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک)، انتشارات ندا ضحی، ۲۳۶ صفحه.
- صالحی، ا. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات کمی و کیفی جنگل کاری سوزنی برگان (مطالعه موردی: جنگل خیرود کنار، نوشهر)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ۱۰۰ صفحه.
- مجد طاهری، ح.، جلیلی، ا. ۱۳۷۴. اثر جنگل کاری با کاج الدار و اقاچیا بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و زیرآشکوب. فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۳۲: ۶-۱۵.
- محمودی طالقانی، ع.، زاهدی امیری، غ.، عادل، ع.، ثاقب طالبی، خ. ۱۳۸۶. ارزیابی ترسیب کربن در لایه های خاک جنگل مدیریت شده. مجله جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۳): ۲۴۱-۲۵۰.
- مشکی، ا. ۱۳۸۴. اثر جنگل کاری با گونه های درختی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی سوکان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۸۹ صفحه.
- نویخت، ا.، پورمجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی توده های جنگل کاری سوزنی برگ و پهن برگ (مطالعه موردی: سریک، طرح جنگلداری دهمیان، جنگل فریم)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶۶ صفحه.
- نویخت، ا.، پورمجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا. ۱۳۹۰. مقایسه ترسیب کربن خاک در توده های خالص سوزنی برگ و پهن برگ، (مطالعه موردی، طرح جنگلداری دهمیان، مازندران)، مجله جنگل ایران، ۳(۱): ۳-۲-۱۳.
- ورامش، س.، حسینی، س.م.، ابدی، ن.، اکبری نیا، م. ۱۳۸۹. افزایش ترسیب کربن خاک و ارتباط آن با برخی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک، مجله جنگل ایران، ۲(۱): ۲۵-۳۵.
- Bond-Lamberty, B., Thomson, A. 2010. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, 464(7288): 579p.
- Cannell, M.G.R., Dewar, R.C. 1995. The carbon sink provided by plantation forests and their products in Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 68(1): 35-48.
- Chen, X., Chen, H. 2019. Plant diversity loss reduces soil respiration across terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*.
- Davidson, E.A., Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440 (7081): 165p.

- 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. *Research Articles*, 94(9): 1144-1150.
- Dixon, R.K., Solomon, A.M., Brown, S., Houghton, R.A., Trexler, M.C., Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144): 185-190.
- Fan, J., Oestergaard, K.T., Guyot, A., Lockington, D.A. 2014. Measuring and modeling rainfall interception losses by a native *Banksia* woodland and an exotic pine plantation in subtropical coastal Australia, *Journal of Hydrology*, 515: 156–165.
- Fernandez, I.J., Son, Y.W., Kraske, C.R., Rustad, L.E., David, M.B. 1993. Soil carbon-dioxide characteristics under different forest types and after harvest. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57(4): 1115–1121.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., Nihlgard, B. 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195(3): 373-384.
- Han, G., Zhou, G., Xu, Z., Yang, Y., Liu, J., Shi, K. 2007. Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2): 418–425.
- Hojjati, S. M., Hagen-Thorn, A., Lamersdorf, P. 2009. Canopy composition as a measure to identify patterns of nutrient input in a mixed European beech and Norway spruce forest in central Europe. *Eur J Forest Res*, 128(1): 13–25.
- Loshali, D.C., Singh, R.P. 1992. Partitioning of rainfall by three Central Himalayan forests, *Forest Ecology and Management*, 53: 99–105.
- Masyagina, O.V., Prokushkin, S.G., Koike, T. 2010. The influence of thinning on the ecological conditions and soil respiration in a larch forest on Hokkaido Island. *Eurasian Soil Science*, 43(6): 693-700.
- Neill, C., Piccolo, M.C., Cerri, C.C., Steudler, P.A., Melillo, J.M., Brito, M. 1997. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. *Oecologia*, 110(2): 243-252.
- Norden, U. 1994. Influence of broad-leaved tree species on pH and organic matter content of forest topsoils in Scania, South Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9(1-4): 1-8.
- North, M., Hurteau, M., Innes, J. 2009. Fire suppression and fuels treatment effects on mixed-conifer carbon stocks and emissions. *Ecological applications*, 19(6): 1385-1396.
- Osabohien, R., Oluwatoyin, M., Busayo, A., Tomike, O. 2019. Greenhouse Gas Emissions and Crop Production in West Africa: Examining the Mitigating

- Potential of Social Protection. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(1): 57-66.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045): 988-993.
- Poepflau, C., Helfrich, M., Dechow, R., Szoboszlai, M., Tebbe, C.C., Don, A., Geerts, R. 2019. Increased microbial anabolism contributes to soil carbon sequestration by mineral fertilization in temperate grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 130:167-176.
- Raich, J.W., Tufekciogul, A. 2000. Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*, 48(1): 71-90.
- Raich, J.W., Potter, C.S., Bhagawati, D. 2002. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Global Change Biol*, 8 (8):800–812.
- Rahman, M.M., Hicks, L., Verheyen, K., Rousk, J., Carnol, M. 2008. Effects of drought legacy and tree species admixing on bacterial growth and respiration in a young forest soil upon drying and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*. 127: 148-155.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle. *Global Change Biol*, 1 (1): 77–91.
- Schuman, G.E., Janzen, H.H., Herrick, J.E. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental pollution*, 116(3): 391-396.
- Sullivan, B.W., Kolb, T.E., Hart, S.C., Kaye, J.P., Dore, S., Montes-Helu, M. 2008. Thinning reduces soil carbon dioxide but not methane flux from southwestern USA ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 255(12): 4047-4055.
- Srivastava, K.A., Gaiser, T., Heiko, P., Ewert, F. 2011. The impact of climate change on Yam (*Dioscorea alata*) yield in the savanna zone of West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 153(15): 57–64.
- Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Callesen, I., Nilsson, L.O., Gundersen, P. 2008. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 255(1): 35-48.
- Weber, M.G. 1990. Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 31(1-2): 1-14.
- Yavitt, J.B. 1997. Methane and carbon dioxide dynamics in *Typha Latifolia* (L.) wetlands in central New York state. *Wetlands*, 17(3): 394-406.