



دانشگاه گنبدکاووس

نشریه "حافظت 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 موردي: جنگل دارابکلا ساري)

سید محمد حجتی^{۱*}، سید احمد هاشمی^۲، سید محمد حسینی نصر^۳، مريم اسدیان^۴، محیا تفضلی^۵

^۱دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

^۲دانشآموخته 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

^۵دانشآموخته 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* L.) و کاج بروسیا (*Fraxinus excelsior* C.A.Mey.) (Ten.) و مقایسه آن با توده طبیعی واقع در جنگل آموزشی پژوهشی دارابکلا بود. برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر توده، تعداد ۱۰ نقطه به صورت تصادفی منظم انتخاب و از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری با روش استوانه فلزی نمونه تهیه شد. درصد رطوبت، چگالی ظاهری، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آبی، 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 ۰-۱۰ سانتی‌متری نصب و با استفاده از دستگاه CO₂-Port (ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار مشخصه‌های واکنش خاک ($7/133 \pm 0/07$) در جنگل کاری افرا پلت و کمترین میزان درصد رطوبت ($35/21 \pm 0/08$)، واکنش خاک ($6/83 \pm 0/07$) و قابلیت هدایت الکتریکی ($16/91 \pm 0/02$) دستی زیمنس 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 وون به طور معنی‌داری کمتر از توده شاهد بود. با توجه به یافته‌های این پژوهش و همچنین اهمیت تنفس خاک در بوم‌سازگان جنگلی، درختان افرایلت وون (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 (Pan 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 (Srivastava 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 روى 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 اتوترووفیک به وسیله ریشه‌ها و قارچ‌های همزیست با آن‌ها می‌باشد و دوماً ناشی از تنفس هتروترووفیک 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 روى فرآیند تنفس خاک جنگل و درنتیجه 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

2009 (et al, 2009)؛ بنابراین مطالعه اثرات فعالیت مدیریتی در جنگل روی تنفس خاک عامل مهمی در تخمین توازن چرخه جهانی کریں دارد (Raich et al, 1995; Schimel, Sullivan et al, 2008) (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). به‌طورکلی، اجرای عملیات جنگل‌شناسی و مدیریت جنگل روی پویایی کریں 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.

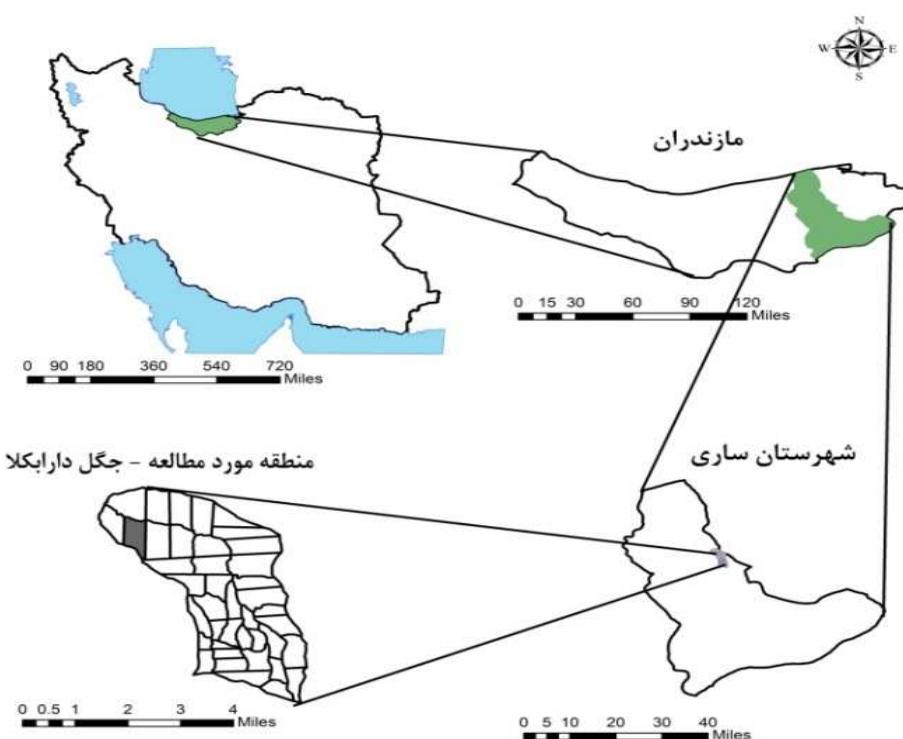
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

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 داربکلا) 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 دست کاشت برابر بوده و در حدود ۲۵ سال می‌باشد. فاصله کاشت توده‌ها $2/5 \times 2/5$ متر) نیز با هم برابر

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

جدول ۱- مشخصات کمی توده های مورد مطالعه در پارسل ۳۹ طرح جنگل دارابکلا ساری

گونه	نام علمی گونه ها	مساحت (هکتار)	قطر (سانتی متر)	ارتفاع (متر)	نام علمی گونه ها
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.	۰/۱۶۵	۱۴±۳	۱۲±۱	
افرا پلت	<i>Acer velutinum</i> Boiss.	۱/۱	۲۰±۵	۱۹±۳	
طبیعی	-	۲/۵	۷۰±۱۰	۲۵±۴	



شکل ۱- موقعیت توده دست کاشت 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، به صورت 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. به منظور بررسی میزان ترسیب کربن خاک، در مجاورت نقاط مذکور، دو نمونه از عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ 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 عصاره گیری 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

به منظور 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 سانتی‌متر (ایه معدنی خاک) در همان نقاطی که نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی برداشته شده بود، نصب گردید. بعد از گذشت مدت زمان 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 بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

$$OC = 10000 \times OC\% \times BD \times E$$

رابطه ۱

در این معادله OC مقدار ترسیب کربن آلی بر حسب کیلوگرم بر مترمربع، % OC درصد کربن آلی، BD وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E عمق نمونه‌برداری خاک بر حسب 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- اسمیرنوف) 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 موردمطالعه

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 خاک‌نشان می‌دهد که علی‌رغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین توده‌های مختلف موردمطالعه، 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 ۵-۱۰ در توده کاج بروسیا (۳۸/۰.۹ تن در هکتار) به طور معنی‌داری بیشتر از سایر توده‌ها بوده است.

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

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

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

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

عمق	توده	افرا	ون	کاج بروسیا	بلوط	طبیعی
-۵	۴۸/۷۵± ۳/۱ ^a	۴۳/۴۰± ۴/۶۳ ^a	۴۱/۴۴± ۴/۰ ^a	۴۱/۹۰± ۳/۰ ^a	۴۱/۹۱± ۳/۷۹ ^b	۲۵/۹۱± ۳/۷۹ ^b
۵-۱۰	۲۴/۸۱± ۳/۰ ^a	۳۳/۵۳± ۲/۶۹ ^{ab}	۳۸/۰۹± ۵/۵ ^b	۲۸/۴۹± ۳/۳ ^{ab}	۲۴/۹۱± ۳/۱۸ ^a	۲۴/۹۱± ۳/۱۸ ^a

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

تنفس خاک

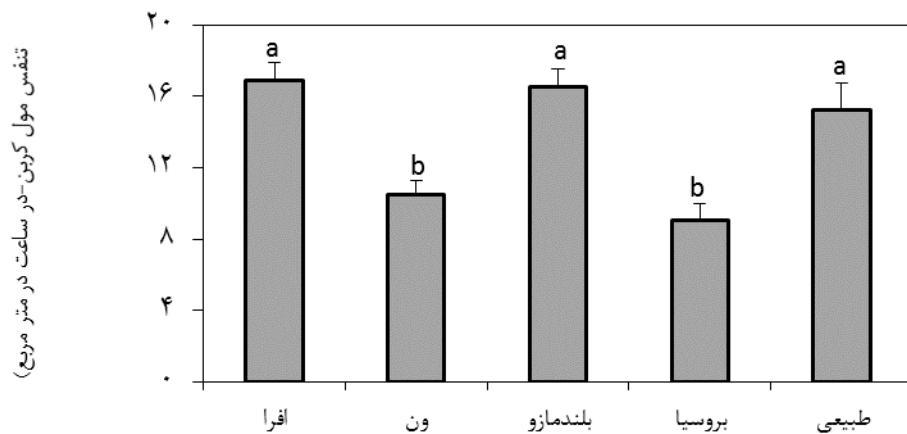
نتایج آنالیز واریانس تنفس خاک‌نشان داد که بین توده‌های موردمطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح درصد وجود دارد (جدول ۴).

جدول ۴- آنالیز واریانس میزان تنفس خاک ($mC \cdot CO_2 \cdot h^{-1} \cdot m^2$) در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده‌های موردمطالعه

منابع تغییرات	مجموع مربعات	برجه آزادی	سیانگین 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 موردمطالعه 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 موردمطالعه
(حروف غیرمشابه لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد با کمک آزمون LSD بین توده‌های مختلف می‌باشد).

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

تنفس خاک	-۰/۵۹ ^{xx}	-۰/۴۰ ^{xx}	۰-/۰۰۱	-۰/۳۲	-۰/۶۰ ^{xx}	-۰/۱۶	نیتروژن کربن الکتریکی اسیدیته چگالی ظاهری هدایت رطوبت

^{xx} 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 باران‌ربایی توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهنه‌برگان (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 آشفتگی 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.

ازنظر مشخصه وزن مخصوص ظاهری خاک نتایج بیانگر این مطلب است که توده‌های موردمطالعه دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بوده‌اند. به‌گونه‌ای که توده ون دارای میزان چگالی ظاهری بسیار پایین‌تری در بین توده‌های موردمطالعه 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. مشکی (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 موردمطالعه تفاوت معنی‌داری با توده شاهد نشان ندادند. علت بالا بودن میزان pH خاک در جنگل‌کاری افرا پلت را می‌توان به تجزیه سریع لاشبرگ این‌گونه و درنتیجه 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 درنتیجه تجزیه لاشبرگ و متعاقب آن تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، غلظت این عناصر در خاک کاهش یافته و درنتیجه 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 موردنبررسی، 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 Krishnayya, 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 درنتیجه کاهش وروودی 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 جنگل کاری 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 پهنه‌برگ بود. علت کمتر بودن میزان نیتروژن در توده پهنه‌برگ را می‌توان به آبشویی بیشتر نیتروژن مرتبط دانست. همچنین مجد طاهری و جلیلی (۱۳۷۴) به بررسی اثرات جنگل کاری با کاج الداریکا و افاقتیا 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 ۰-۵ سانتی‌متر بیشتر از ۵-۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های ورامش و همکاران (۱۳۸۹)، اسدیان و همکاران (۱۳۹۱)، اسچومون 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 ۵-۱۰ سانتی‌متر، ترسیب کربن کاج بروسیا بیشتر از سایر توده‌ها بوده است. نوبخت و همکاران (۱۳۹۰) طی مطالعه خود در زمینه تأثیر جنگل کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و

پهنه برگ روی ترسیب کربن خاک (عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر) گزارش کردند که میزان ترسیب کربن در پیشه‌آ بیشتر از ون و بلوط بوده است.

علت بیشتر بودن میزان ترسیب کربن در گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهنه برگ را می‌توان در تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت بیشتر توده‌های سوزنی‌برگ از خاک و جلوگیری از هدر رفتن کربن در آن‌ها ذکر کرد (نوبخت و همکاران، ۱۳۸۹). علت اصلی تفاوت در میزان ترسیب کربن خاک در توده‌های موردمطالعه مربوط به نوع گونه‌های موجود در آشکوب فوقانی می‌باشد که تأثیر زیادی روی میزان ورود کربن به خاک دارد (Dinakaran and Krishnayya, 2008).

به طور کلی تنفس خاک نشان‌دهنده میزان فعالیت میکرووارگانیسم‌های خاک و همچنین فعالیت ریشه گیاهان در خاک می‌باشد (Weber, 1990). Chen et al, 2019) بیشتر بودن تنفس خاک می‌تواند نشان‌دهنده بیشتر بودن مقدار تجزیه لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی به خاک باشد (صالحی، ۱۳۸۴). نتایج این بررسی نشان داد که میزان تنفس خاک در توده کاج بروسیا نسبت به توده‌های دیگر، به طور معنی‌داری کمتر از توده شاهد بود. به طور کلی پیش‌بینی شده است که زمانی شرایط اقلیمی و خاک یکسان باشد، میزان تنفس خاک در توده‌های سوزنی‌برگ به میزان ۱۰ درصد کمتر از توده‌های پهنه برگ می‌باشد (Raich and Tufekcioglu, 2000). مطالعات متعددی کمتر بودن میزان انتشار گاز CO_2 خاک در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به توده‌های پهنه برگ گزارش کردند. دلیل اصلی آن مربوط به کمتر بودن فعالیت میکرووارگانیسم‌های خاک در این توده‌ها می‌باشد (Yavitt, 1997) دلیل اصلی کمتر بودن میزان انتشار گاز CO_2 در توده ون را می‌توان در تجزیه سریع لاش برگ‌های این‌گونه بیان کرد. به این مفهوم که در زمان اندازه‌گیری تنفس خاک در این تحقیق (شهریورماه)، تجزیه لاش برگ‌های این‌گونه به اتمام رسیده بود و فعالیت ارگانیزم‌ها در این زمان کاهش می‌یابد و درنتیجه میزان انتشار CO_2 کاهش می‌یابد.

نتایج این بررسی نشان داد که مقدار تنفس خاک با مقدار رطوبت، کربن و همچنین با چگالی ظاهری خاک همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. بیشتر بودن فضای منافذ خاک منجر به بهبود فرآیند تهويه، نفوذ آب، نفوذ ریشه، بیشتر بودن فعالیت ریشه و همچنین فعالیت میکرووارگانیسم‌های خاک می‌شود؛ بنابراین، هرچه مقدار چگالی خاک کمتر باشد، مقدار فعالیت ریشه و میکرووارگانیسم‌ها بیشتر می‌شود و درنتیجه مقدار تنفس خاک افزایش می‌یابد. دلیل همبستگی منفی بین مقدار رطوبت و تنفس خاک می‌توان به این شکل بیان کرد که در صورتیکه رطوبت خاک بالا باشد، فضای منافذ آن با آب پر خواهد شد و درنتیجه میزان تهويه و جایه‌جایی گازها کاهش و به‌واسطه ایجاد شرایط بی‌هوایی، انتظار می‌رود میزان تنفس کاهش یابد.

به طور 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 به صورت تک کشتی صورت گرفته بوده است. تک کشتی بودن جنگل‌کاری‌ها مسئله‌ای است که در بسیاری از مطالعات به آن اشاره شده است؛ زیرا در روش تک کشتی، ریشه‌ها در یک عمق معین متوجه شده و دائمًا از یک قشر ثابت تغذیه می‌نمایند، درنتیجه پس از مدتی حاصلخیزی خاک کم شده و برگشت مواد غذایی به خاک با اختلالاتی همراه می‌گردد (آینده‌ای که می‌توان برای کاج بروسیا به عنوان یک گونه سوزنی‌برگ با گذشت زمان متصور شد). از این‌رو جنگل‌کاری به صورت 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.، فلاخ، ا.، پورمجیدیان، م.ر. ۱۳۹۰. تأثیر انواع مختلف کاربری اراضی روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (مطالعه موردنی: جنگل دارابکلا، ساری)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۸۶ صفحه.
- اسدیان، م.، حجتی، س.م.، فلاخ، ا.، پورمجیدیان، م.ر. ۱۳۹۱. بررسی تنوع زیستی و خصوصیات خاک در جنگل-کاری‌های کاج سیاه و زبان‌گنجشک (مطالعه موردنی: جنگل دارابکلا، ساری)، مجله جنگل و صنوبر ایران، 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.، جلیلوند، ح.، نقوی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی ترسیب کربن خاک و تنوع زیستی زیرآشکوب جنگل کاری‌های سوزنی برگ و پهن برگ شهر خرم‌آباد (مطالعه موردی: محمل کوه)، مجله جنگل و صنوبر ایران، (۴): ۲۰۲-۷۱۵.
- جعفری حقیقی، م.، ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک (نمونه‌برداری 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)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ۱۰۰ صفحه.
- مجد طاهری، ح.، جلیلی، ا.، ۱۳۷۴. اثر جنگل کاری با کاج الدار و افاقیا بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و زیرآشکوب. فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۳۲: ۶-۱۵.
- محمودی طالقانی، ع.، زاهدی امیری، غ.، عادلی، ع.، ثاقب طالبی، خ.، ارزیابی ترسیب کربن در لایه‌های خاک جنگل مدیریت شده. مجله جنگل و صنوبر ایران، (۳): ۲۴۱-۲۵۰.
- مشکی، ا.، ۱۳۸۴. اثر جنگل کاری با گونه‌های درختی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی سوکان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۸۹ صفحه.
- نوبخت، ا.، پور مجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا.، ۱۳۸۹. ارزیابی توده‌های جنگل کاری سوزنی برگ و پهن برگ (مطالعه موردی: سریک، طرح جنگل داری دهمیان، جنگل فریم)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶۶ صفحه.
- نوبخت، ا.، پور مجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا.، ۱۳۹۰. مقایسه ترسیب کربن خاک در توده‌های خالص سوزنی برگ و پهن برگ، (مطالعه موردی، طرح جنگلداری دهمیان، مازندران)، مجله جنگل ایران، (۱): ۳-۲.
- 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، (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., Trexier, 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.
- Poepelau, C., Helfrich, M., Dechow, R., Szoboszlay, 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.