دانشگاه گنبدکاووس
نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"
دوره هشتم، شماره شانزدهم
http://pec.gonbad.ac.ir

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

سید محمد حجتی[1*]، سید احمد هاشمی[2]، سید محمد حسینی نصر[3]، مریم اسدیان[4]، محیا تفضلی[5]

[1]دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

[2]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

[3] دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

[4]دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

[5]دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱۷

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی تنفس در توده‌های دست‌کاشت افرا پلت (*Acer velotinum* Boiss.)، بلوط بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.)، ون (*Fraxinus excelsior* L.) و کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) 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 CO_2-Port (ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین مقدار مشخصه‌های واکنش خاک (۷/۳۳±۰/۰۷) در جنگل‌کاری 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 زیمنس بر متر) در جنگل‌کاری 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

کاج بروسیا و ون به‌طور معنی‌داری کمتر از توده شاهد بود. با توجه به یافته‌های این پژوهش و همچنین اهمیت تنفس خاک در بوم‌سازگان جنگلی، درختان افراپلت و ون (به‌صورت خالص یا آمیخته) برای جنگل‌کاری در مناطق مشابه (بوم‌شناسی و رویشگاهی) پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **توده دست‌کاشت، 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 ازجمله مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی به‌حساب 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 به‌طور 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 به‌طور مستقیم روی پدیده تغییر اقلیم مؤثر می‌باشد.

تنفس خاک یا به‌عبارت‌دیگر 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 ازجمله، دمای خاک، رطوبت، حاصلخیزی رویشگاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و جوامع میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد (Cannell et al, 1995; Rahman et al, 2008). به‌عبارت‌دیگر، تولید دی‌اکسید کربن اولاً ناشی از تنفس اتوتروفیک به‌وسیله 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 درنتیجه روی چرخه کربن داشته باشد فعالیت‌های مدیریتی در جنگل هستند که به‌تنهایی این قابلیت را دارند که جنگل را از محل ذخیره کربن به محلی برای تولید کربن تبدیل کنند (North

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 2002). همچنین با اندازه‌گیری تنفس میکربی خاک می‌توان به کیفیت خاک و میزان تجزیه و بازگشت مواد آلی در چرخه عناصر غذایی اکوسیستم جنگل، پی برد (صالحی، ۱۳۸۴).

ازجمله 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 قرارگرفته است و ازاین‌جهت می‌توان با انجام عملیات جنگل‌کاری به احیاء آن‌ها کمک نمود، اما نکته قابل‌توجه 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 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 ازاین‌گونه‌ها 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 موردمطالعه

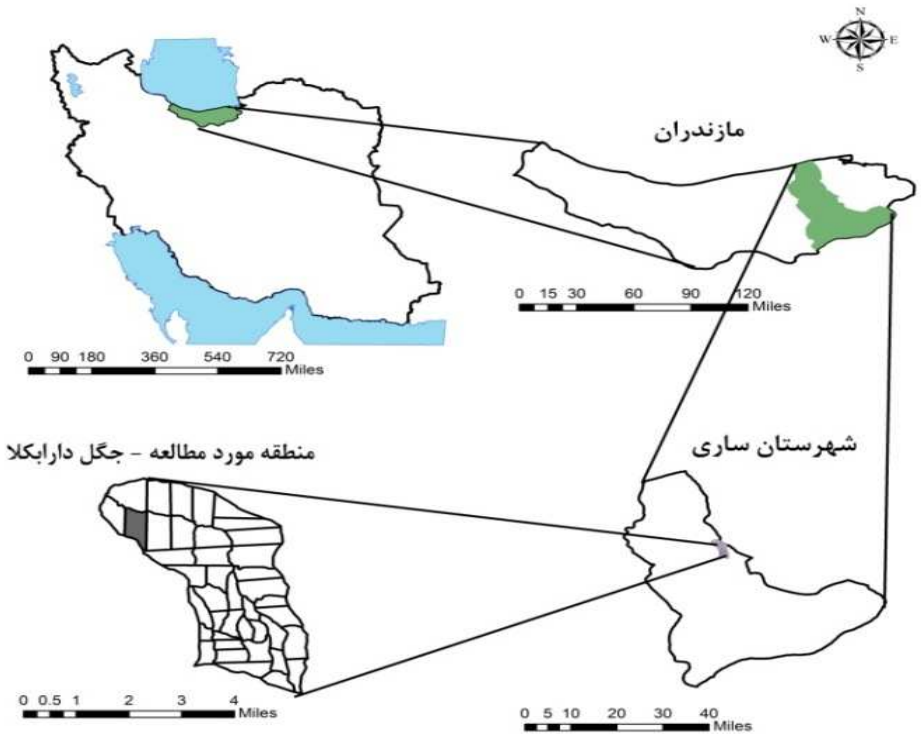
به منظور انجام این تحقیق، توده‌های دست‌کاشت (بلوط بلندمازو، کاج بروسیا، زبان‌گنجشک و افرا پلت) و توده طبیعی بلوط - ممرز واقع در قطعه ۳۹ (طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی) جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی ساری (سری یک طرح جنگل‌داری دارابکلا) انتخاب شدند.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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 موردمطالعه در پارسل ۳۹ طرح جنگل‌داری دارابکلا ساری

گونه	نام علمی گونه‌ها	مساحت (هکتار)	قطر (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)
ون	*Fraxinus excelsior* L.	۰/۵	۹/۵±۲/۵	۱۲/۸۵±۱
بلندمازو	*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.	۱	۲۱±۵	۱۸±۳
کاج بروسیا	*Pinus brutia* Ten.	۰/۶۵	۱۴±۳	۱۲±۱
افرا پلت	*Acer velotinum* 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 موردمطالعه انتخاب و درمجموع تعداد ۵۰ نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر با روش استوانه فلزی (قطر هشت سانتی‌متر) تهیه شدند. به‌منظور بررسی میزان ترسیب کربن خاک، در مجاورت نقاط مذکور، دو نمونه از عمق‌های ۵-۰ 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 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

به‌منظور اندازه‌گیری تنفس خاک، در اوایل شهریور در هریک از توده‌های موردبررسی تعداد ۶ لوله pvc (قطر و ارتفاع= ۱۰ سانتی‌متر) در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری (لایه معدنی خاک) در همان نقاطی که نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی برداشته‌شده 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 CO_2-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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۲- دستگاه قابل‌حمل اندازه‌گیری تنفس خاک (CO_2-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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 جنگل‌کاری 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 bc	۴۲/۴۵± ۰/۷۲ ab	۳۵/۲۱± ۰/۸۶ c	۴۳/۹۳±۲/۳a	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±۰/۰۶ab	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
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۵۳± ۰/۰۴a	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 ($p<۰/۰۵$) در بین توده‌های مختلف می‌باشد.

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

عمق	توده				
	افرا	ون	کاج بروسیا	بلوط	طبیعی
۰-۵	۴۸/۷۵± ۳/۱ ۹ a	۴۳/۴۰ ±۴ /۶۳ a	۴۱/۴۴± ۴/۰ ۳ a	۴۱/۹۰± ۳/۰ ۴a	۲۵/۹۱ ±۳/۷۹ b
۵-۱۰	۲۴/۸۱ ± ۳/۰۹ a	۳۳/۵۳± ۲/۶ ۹ ab	۳۸/۰۹± ۵/۵ ۲ b	۲۸/۴۹± ۳/۳ ab	۲۴/۹۱ ±۳/۱۸ a

حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) در بین توده‌های مختلف می‌باشد.

تنفس خاک

نتایج آنالیز واریانس تنفس خاک‌نشان داد که بین توده‌های موردمطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۴).

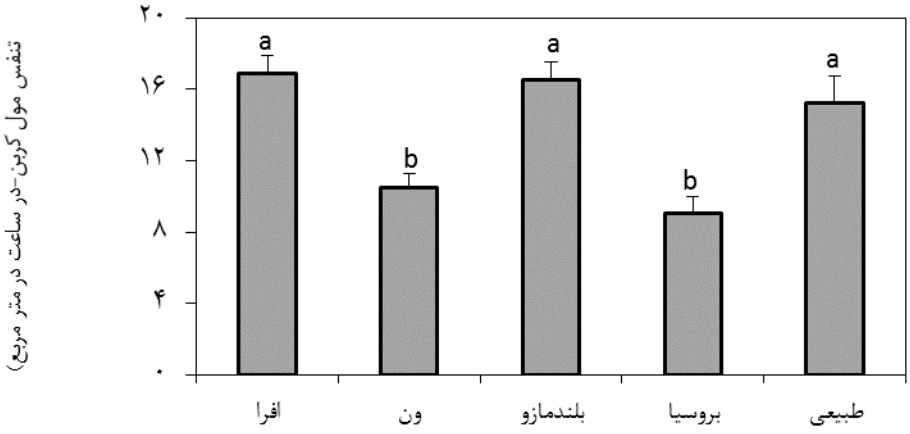
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین 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 ۱۰-۰ سانتی‌متر در توده‌های موردمطالعه

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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

	رطوبت	چگالی ظاهری	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن	نیتروژن
تنفس خاک	-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 باران‌ربایی 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 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 آن‌که خود، بازگشت مقادیر زیادی از کاتیون‌های بازی به خاک را به همراه دارد، دانست (Norden, 1994).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 سرعت‌بالای تجزیه لاشبرگ در این توده بیان کرد. ازجمله 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 آهسته لاشبرگ و متعاقب آن تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، غلظت این عناصر در خاک کاهش‌یافته 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 موردبررسی، 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) دراین‌ارتباط در جنگل‌های مدیریت‌شده 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 به‌سرعت پایین تجزیه لاشبرگ این‌گونه و درنتیجه 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 ازنظر 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 آبشویی بیشتر نیتروژن مرتبط دانست. همچنین مجد طاهری و جلیلی (۱۳۷۴) به بررسی اثرات جنگل‌کاری با کاج الداریکا و اقاقیا 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 موردمطالعه، 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 به‌طورکلی 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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

علت بیشتر بودن میزان ترسیب کربن در گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ 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).

به‌طورکلی تنفس خاک نشان‌دهنده میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های 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، به‌طور معنی‌داری کمتر از توده شاهد بود. به‌طورکلی پیش‌بینی‌شده است که زمانی شرایط اقلیمی و خاک یکسان باشد، میزان تنفس خاک در توده‌های سوزنی‌برگ به میزان ۱۰ درصد کمتر از توده‌های پهن‌برگ می‌باشد (Raich and Tufekcioglu, 2000). مطالعات متعددی کمتر بودن میزان انتشار گاز CO_2 خاک در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به توده‌های پهن‌برگ گزارش کردند. دلیل اصلی آن مربوط به کمتر بودن فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک در این توده‌ها می‌باشد (Yavitt, 1997 Raich et al, 2002; Fernandez et al, 1993;) 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 تهویه، نفوذ آب، نفوذ ریشه، بیشتر بودن فعالیت ریشه و همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود؛ بنابراین، هرچه مقدار چگالی خاک کمتر باشد، مقدار فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌ها 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 تهویه و جابه‌جایی گازها کاهش و به‌واسطه ایجاد شرایط بی‌هوازی، انتظار می‌رود میزان تنفس کاهش یابد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

به‌طورکلی 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 گزارش‌شده 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 اشاره‌شده است؛ زیرا درروش تک‌کشتی، ریشه‌ها در یک عمق معین متمرکزشده و دائماً 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 به‌عنوان یک‌گونه سوزنی‌برگ با گذشت زمان متصور شد). ازاین‌رو 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 گازهایی 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 موردتوجه 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ شهر خرم‌آباد (مطالعه موردی: مخمل کوه)، مجله جنگل و صنوبر ایران، (۴)۲۱: ۷۰۲-۷۱۵.

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 جنگل‌کاری سوزنی‌برگان (مطالعه موردی: جنگل خیرود کنار، نوشهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ۱۰۰ صفحه.

مجد طاهری، ح.، جلیلی، ا. ۱۳۷۴. اثر جنگل‌کاری با کاج الدار و اقاقیا 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. ۱۳۸۶. ارزیابی ترسیب کربن در لایه‌های خاک جنگل مدیریت شده. مجله جنگل و صنوبر ایران، (۳)۱۵: ۲۴۱-۲۵۰.

مشکی، ا. ۱۳۸۴. اثر جنگل‌کاری 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.، پورمجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی توده‌های جنگل‌کاری سوزنی‌برگ و پهن‌برگ (مطالعه موردی: سرییک، طرح جنگل‌داری دهمیان، جنگل فریم)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶۶ صفحه.

نوبخت، ا.، پورمجیدیان، م.ر.، حجتی، س.م.، فلاح، ا. ۱۳۹۰. مقایسه ترسیب کربن خاک در توده‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ، (مطالعه موردی، طرح جنگلداری دهمیان، مازندران)، مجله جنگل ایران، (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، (۱)۲: 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.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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 con-trolling 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

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]

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.

Poeplau, 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 inTypha Latifolia (L.) wetlands in central New York state. Wetlands, 17(3): 394-406.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-10-30]