

تأثیر جایگزینی جنگل‌های تخریب یافته شمال با جنگلکاری بر حاصلخیزی و ترسیب کربن خاک

نیلوفر حق دوست^۱، مسلم اکبری نیا^{۲*}، سید محسن حسینی^۳، سعید ورامش^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۲۵

چکیده

تغییر کاربری اراضی تأثیر بسزایی بر خصوصیات اکوسیستم‌ها، بخصوص ذخیره کربن خاک داشته و منجر به افزایش غلظت CO₂ اتمسفری در سطح جهانی شده است. از این رو مطالعه تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ترسیب کربن خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش به بررسی تأثیر جنگلکاری پس از ۱۸ سال، با گونه‌های افرا (پلت) و توسکا بیلاقی بر ترسیب کربن و حاصلخیزی خاک، در منطقه‌ای که قبلاً توده طبیعی تخریب یافته بود، می‌پردازد. دو توده جنگلکاری پلت و توسکا بیلاقی و یک توده طبیعی تخریب یافته بلوط- آزاد واقع در منطقه چمستان استان مازندران انتخاب شدند، سپس در هر یک، ۱۰ پلات ۲۵ مترمربعی مستقر و نمونه‌برداری خاک به صورت ترکیبی از چهار گوشه پلات‌ها و در سه عمق (کمتر از ۱۵، ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری) انجام گرفت. در نمونه‌های خاک علاوه بر کربن آلی، ۱۰ شاخص فیزیکی و شیمیایی دیگر نیز بر طبق روشهای استاندارد اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد جایگزینی گونه‌های مذکور باعث افزایش چشمگیر حاصلخیزی خاک نسبت به توده طبیعی تخریب یافته اولیه شده است. همچنین جنگلکاری پلت موجب افزایش ترسیب کربن خاک به میزان ۳۳/۶۱ (تن در هکتار) و توسکا بیلاقی نیز سبب کاهش آن به مقدار ۲۰/۵۵ تن در هر هکتار در مقایسه با توده طبیعی تخریب یافته اولیه شده بود، ولی این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبودند. نتایج این تحقیق مبین اهمیت کشت گونه‌های درختی مختلف، خصوصاً در جنگل‌های تخریب شده، از نظر تأثیر بر ترسیب کربن و حاصلخیزی خاک و لزوم انجام مطالعات بیشتر در این زمینه است.

کلید واژه

تغییر اقلیم، جنگل‌های هیرکانی، جنگلکاری، حاصلخیزی خاک، ترسیب کربن خاک.

سر آغاز

تشدید پدیده گرمایش جهانی خواهد شد (Kan Chen, et al., 1980)، که افزون بر ایجاد مضرات فراوان اقتصادی- اجتماعی، باعث از بین رفتن پایداری اکوسیستم‌های طبیعی نیز خواهد شد. از این رو تلاش برای تعدیل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی از طریق راهکارهای مدیریتی مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در پایان به توسعه پایدار خواهد انجامید. با توجه به این که کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر از طریق روشهای صنعتی (مانند فیلتر کردن) هزینه‌های فراوانی را به دنبال دارد و عملاً در سطوح کلان عملیاتی نیست، نیاز مبرم و اساسی جهان امروز برای کاهش CO₂ می‌تواند از طریق فن‌آوری‌های ارزاتر، مانند ترسیب آن با گیاهان، فراهم شود (Lackner, 2003). ترسیب کربن فرایندی

تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌ها در توسعه پایدار است که تأثیرات منفی چشمگیری بر اکوسیستم‌های خشکی و دریایی دارد (UNDP, 2000). این پدیده در اثر مصرف روزافزون سوخت‌های فسیلی و همچنین تغییر کاربری اراضی طبیعی و در پی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، بخصوص دی‌اکسید کربن در اتمسفر، به وجود آمده است (حق دوست و همکاران، ۱۳۸۹). بر طبق نتایج مطالعات محققان پیش‌بینی می‌شود غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر تا سال ۲۰۲۵ بین ۴۱۵ تا ۴۲۱ ppm افزایش یابد (Anastasi, et al., 1980). این افزایش با نگاهی خوشبینانه در قرن ۲۱ سبب افزایش درجه حرارتی معادل ۲ درجه سانتیگراد و

مواد و روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در قطعه ۳۴ مجموعه ۱۲ از حوزه آبخیز ۵۱ جنگل‌های شمال کشور واقع در منطقه چمستان از توابع شهرستان نور استان مازندران انجام گرفت (شکل شماره ۱). تیپ جنگلی غالب این منطقه، بلوط-آزاد (*Quercus - Zelkova*) است که در اثر بهره‌برداری بی‌رویه تخریب یافته است. در سال ۱۳۷۰ قسمت‌هایی از این جنگل پاک‌تراشی و با گونه‌های پلت (*A. velutinum*) و توسکا بیلاقی (*A. subcordata*) با فاصله کاشت ۲×۲ متر جنگلکاری شد (بی نام، ۱۳۷۳).



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای مطالعه تأثیرات تبدیل توده طبیعی تخریب یافته به جنگلکاری با گونه‌های مذکور؛ دو توده دست کاشت پلت و توسکا بیلاقی و همچنین قسمتی از توده طبیعی (هر یک به مساحت تقریبی ۱۰ هکتار)، پس از بازدهی متعدد از منطقه، انتخاب شد. شایان ذکر است توده‌های انتخاب شده در مجاورت یکدیگر قرار داشته و طبق تحقیقات صورت گرفته، مشخص شد قبل از جنگلکاری با توده‌های فوق، پوشش مناطق جنگلکاری، تیپ بلوط-آزاد تخریب یافته بوده که پس از پاک‌تراشی به صورت لکه‌ای، اقدام به کاشت گونه‌های مذکور شده است.

بنابراین اطمینان حاصل شد که خاک منطقه از شرایط یکسانی در زمان جنگلکاری برخوردار بوده است؛ و مقایسه خاک توده اولیه با خاک جنگلکاری‌ها می‌تواند تا حدود زیادی نشان دهنده تأثیر جایگزینی توده طبیعی تخریب یافته اولیه با جنگلکاری گونه‌های مذکور بر خصوصیات خاک باشد.

است که طی آن دی‌اکسیدکربن از اتمسفر گرفته شده و در بافت‌های گیاهی به صورت هیدرات‌های کربن ذخیره شده و سپس بخشی از آن به صورت کربن لاشبرگ و کربن آلی خاک ذخیره می‌شود (عبدی، ۱۳۸۵).

از آنجا که ترسیب کربن با جنگل‌ها و جنگلکاری‌ها یکی از مهمترین راهکارها برای مقابله با بحران گرمایش جهانی است، محققانی نظیر بردبار و مرتضوی جهرمی (۱۳۸۵) و ورامش و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۸۹) به بررسی تأثیر جنگلکاری با گونه‌های مختلف بر ترسیب کربن خاک پرداخته‌اند. اما متأسفانه با وجود سطح گسترده جنگلکاری‌ها در مناطق تخریب یافته شمال کشور، تاکنون در ایران پژوهشی در زمینه تأثیر تبدیل جنگل‌های تخریب یافته با جنگلکاری‌های گونه‌های مختلف بر ترسیب کربن خاک صورت نگرفته است.

حال آنکه تا کنون محققان زیادی از جمله Wang, et al., 2008, Vallet, et al., 2009, Niu, et al., 2009، تأثیر جایگزینی جنگل‌های طبیعی و تخریب یافته با جنگلکاری‌ها، بر ترسیب کربن خاک را مورد مطالعه قرار داده و بر اهمیت این گونه مطالعات تأکید کرده‌اند.

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 (Tabari & Pourmajidian, 2001)، که گونه‌های افرا و توسکا درصد چشمگیری از این جنگلکاری‌ها را به خود اختصاص داده‌اند (هدایتی، ۱۳۸۰؛ قلیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). در بسیاری موارد توده‌های طبیعی که تخریب شده‌اند به صورت لکه‌ای پاک‌تراشی می‌شوند و جای خود را به جنگلکاری با گونه‌های مختلف می‌دهند که مسلماً با توجه به نوع گونه‌ها، تأثیرات آنها بر خاک متفاوت خواهد بود. ولی متأسفانه تاکنون مطالعات چندانی در زمینه تأثیر تبدیل توده‌های طبیعی تخریب یافته به جنگلکاری با گونه‌های مختلف از جمله افرا پلت و توسکا بیلاقی، بر میزان ترسیب کربن خاک صورت نگرفته است.

از این رو این تحقیق به منظور بررسی تأثیر تبدیل و جایگزینی توده طبیعی تخریب یافته با جنگلکاری‌های پلت و توسکا بیلاقی بر ترسیب کربن و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام گرفت تا با استفاده از نتایج آن گامی مؤثر در برنامه‌ریزی‌های آتی جنگلکاری‌ها در این گونه مناطق برداشته شود.

نمونه‌برداری میدانی

در هر توده به صورت تصادفی - سیستماتیک ۱۰ پلات به ابعاد ۵ × ۵ متر مستقر گردید (Hernandez, et al., 2004). برای کم کردن خطا، نمونه‌برداری به صورت ترکیبی و از چهار گوشه پلات‌ها انجام گرفت (Paul, et al., 2002; Gao, et al., 2007). به این صورت که در چهار گوشه پلات پس از کنار زدن لاشبرگ و پوشش علفی کف، گودالی به عمق ۵۰ سانتیمتر حفر شد و نمونه‌برداری از سه عمق کمتر از ۱۵، ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری خاک صورت گرفت، سپس نمونه‌های هر عمق به صورت جداگانه در هر پلات با یکدیگر مخلوط و به آزمایشگاه انتقال یافت.

روش تحقیق آزمایشگاهی

پس از خشک کردن نمونه‌های خاک در هوای آزاد و دور از نور خورشید، آسیاب و از الک دو میلیمتری (الک شماره ۱۰) عبور داده شدند. بافت خاک از روش هیدرومتري بایکاس تعیین شد. اسیدپته با استفاده از دستگاه pH متر الکترونیکی و هدایت الکتریکی خاک با استفاده از دستگاه EC سنج الکترونیکی اندازه گیری شد. سپس وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه محاسبه شد (زرین کفش، ۱۳۷۲؛ جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). درصد رطوبت اشباع خاک نیز پس از تهیه گل اشباع و خشک کردن آن در آون (به مدت ۲۴ ساعت) و توزین محاسبه شد.

فرم قابل جذب عناصر غذایی در خاک شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم، پس از تهیه عصاره از محلول ۱:۵ آب و خاک، با استفاده از روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همچنین فسفر قابل جذب خاک نیز با استفاده از روش اسپکتوفتومتری و دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد. درصد ازت کل خاک نیز با دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (زرین کفش، ۱۳۷۲).

در پایان برای تعیین درصد کربن آلی خاک، از روش والکی-بلک (Nosetto, et al., 2006؛ زرین کفش، ۱۳۷۲) استفاده و ترسیب کربن خاک بر حسب کیلوگرم بر هکتار بر اساس رابطه شماره ۱ محاسبه شد (ورامش و همکاران، ۱۳۸۹؛ Hernandez, et al., 2004):

$$\text{OC} = 10000 \times \% \text{OC} \times \text{Bd} \times \text{E} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که در این رابطه، OC = کربن آلی (g/m^2)، $\% \text{OC}$ = درصد کربن آلی، Bd = وزن مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3)، E = ضخامت لایه خاک (cm) هستند.

تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی آنها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نرمال و همگن بودن داده‌ها، مقایسه کلی با آزمون ANOVA و مقایسه چند گانه با آزمون دانکن انجام شد. برای تعیین مهمترین شاخص‌های خاکی تأثیر گذار بر درصد کربن آلی از رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام استفاده و معادلات مربوط تعیین شدند.

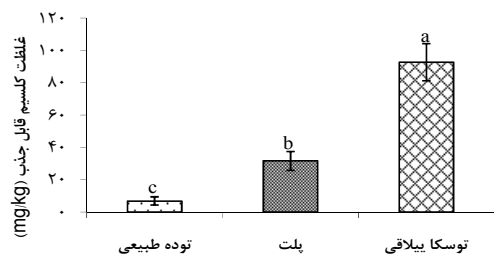
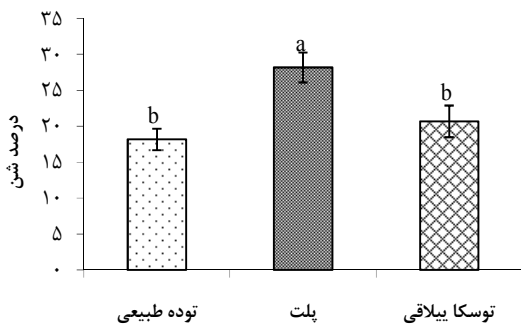
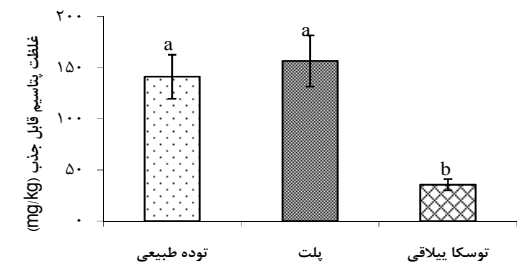
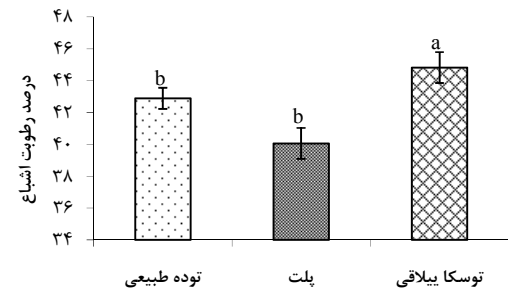
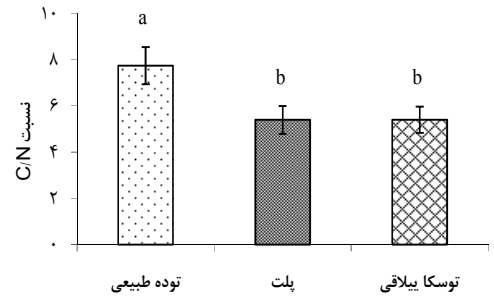
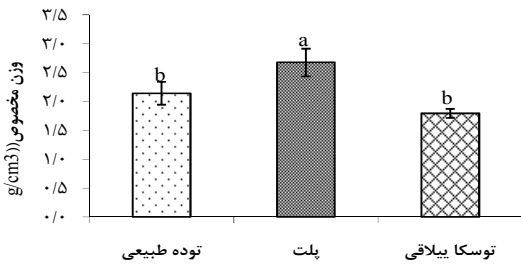
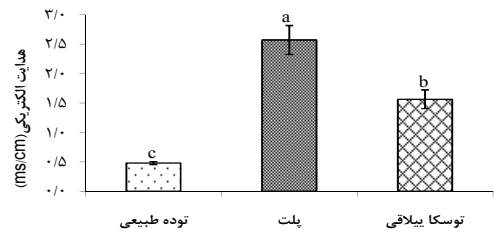
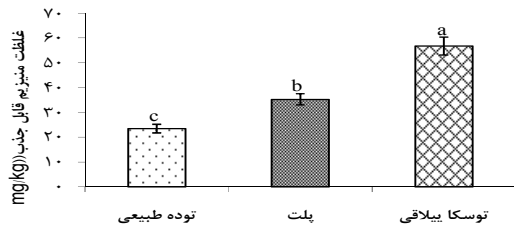
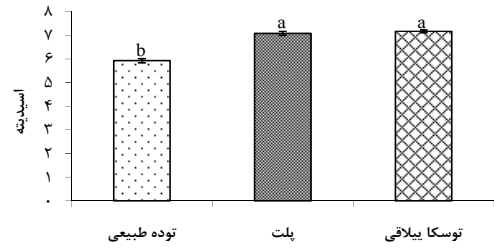
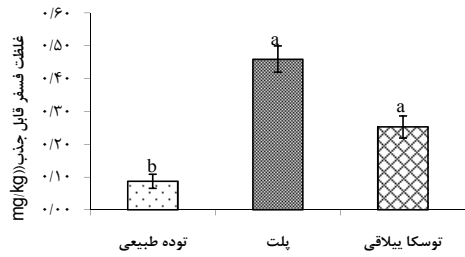
نتایج

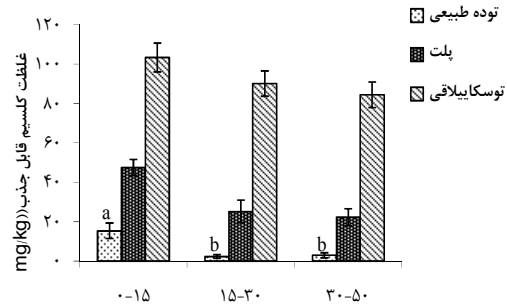
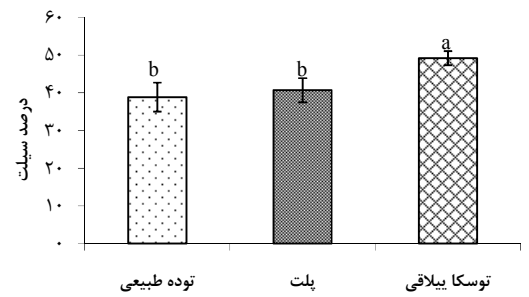
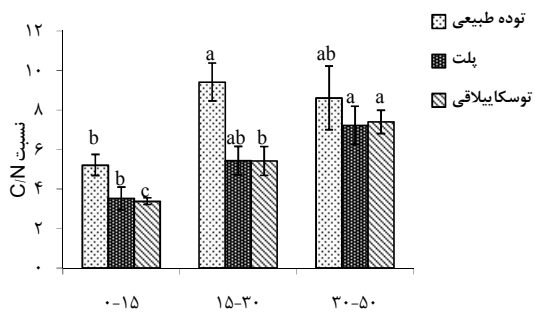
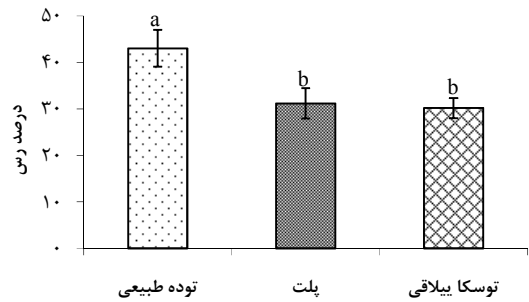
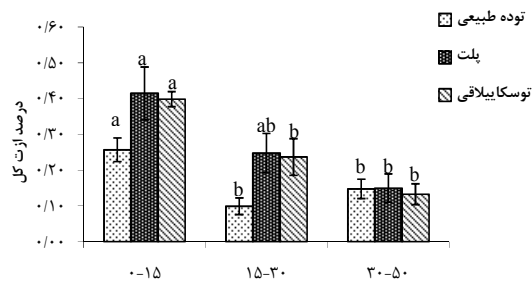
شکل شماره (۲) مقایسه میانگین خصوصیات خاک توده طبیعی تخریب یافته بلوط - آزاد با دو توده جنگلکاری شده را نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل شماره (۲) مشاهده می‌شود، نتایج این پژوهش نشان داد که جنگلکاری با پلت و توسکا بیلاقی سبب ایجاد تغییرات چشمگیری در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به توده طبیعی تخریب یافته اولیه شده است.

تفاوت آماری معنی‌داری بین جنگلکاری‌های مورد مطالعه و توده اولیه از نظر مقدار کربن آلی و ازت خاک مشاهده نشد، ولی در مورد سایر عناصر غذایی تفاوت‌های آماری وجود داشت، به طوری که افزایش معنی‌داری در غلظت فسفر، کلسیم و منیزیم قابل جذب خاک پس از جنگلکاری با دو گونه مذکور مشاهده می‌شود. همچنین جنگلکاری توسکا باعث کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم قابل جذب نسبت به توده تخریب یافته اولیه شده بود (شکل شماره ۲).

شکل شماره (۳) نیز مقایسه میانگین‌های سه عمق مورد بررسی خاک (کمتر از ۱۵، ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری) از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را در هر یک از توده‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل شماره (۳) مشاهده می‌شود، در جنگلکاری پلت تفاوت آماری معنی‌داری از نظر درصد کربن آلی، درصد ازت کل، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت اشباع خاک بین سه عمق مورد مطالعه وجود داشت.

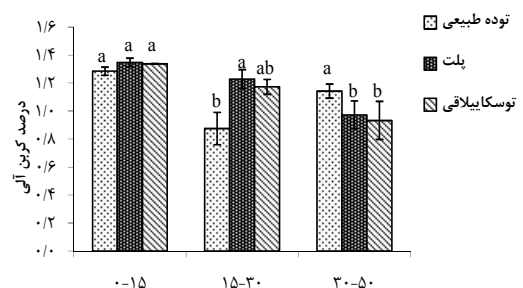
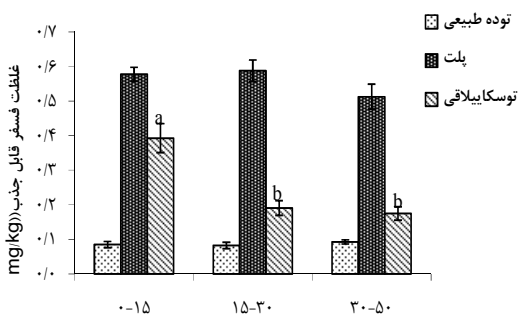
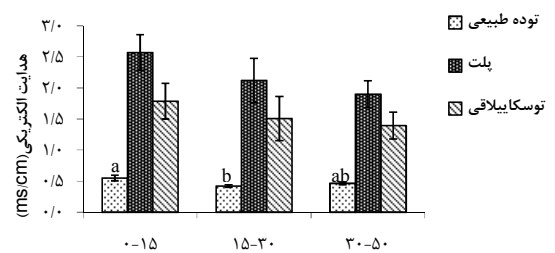
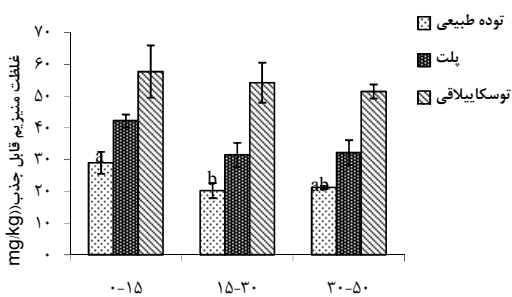
همچنین نتایج مبین اختلاف معنی‌دار از نظر درصد کربن آلی، درصد نیتروژن کل، غلظت فسفر قابل جذب و درصد رطوبت اشباع خاک بین سه عمق مورد بررسی در توده توسکا بیلاقی بود. در توده طبیعی تخریب یافته بلوط - آزاد نیز اختلاف آماری معنی‌داری بین سه عمق خاک از نظر درصد کربن آلی، درصد ازت کل، منیزیم قابل جذب، کلسیم قابل جذب، هدایت الکتریکی و درصد رطوبت اشباع خاک مشاهده شد.





شکل شماره (۲): مقایسه میانگین‌های خصوصیات خاک توده های مورد مطالعه

سایر مشخصه‌های مورد بررسی نیز در توده‌های مورد نظر اختلاف آماری معنی‌داری بین سه عمق خاک نشان ندادند (شکل شماره ۳).



توده دست کاشت توسکا بیلاقی تفاوت معنی دار آماری از این نظر بین سه عمق مورد بررسی مشاهده نشد (جدول شماره ۲).

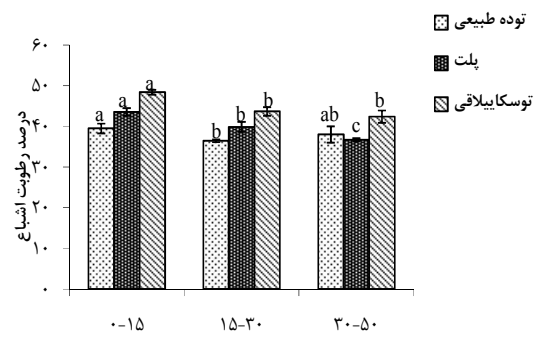
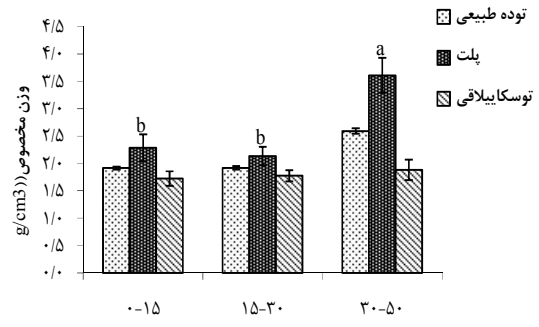
جدول شماره (۲): ترسیب کربن خاک توده طبیعی،

جنگلکاری های پلت و توسکا بیلاقی در سه عمق مورد مطالعه

توده	عمق لایه خاک (cm)	درصد کربن آلی	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	ترسیب کربن (Tc/ha)
توده طبیعی	< ۱۵	۱/۲۹	۱/۹۲	۳۶/۹۵ ^{ab}
	۱۵ تا ۳۰	۰/۸۸	۱/۹۳	۲۵/۱۸ ^b
	۳۰ تا ۵۰	۱/۱۴	۲/۵۹	۵۹/۳ ^a
پلت	< ۱۵	۱/۳۵	۲/۲۸	۴۶/۰۸ ^b
	۱۵ تا ۳۰	۱/۲۳	۲/۱۳	۳۹/۳۱ ^b
	۳۰ تا ۵۰	۰/۹۷	۳/۶۱	۷۰/۰۱ ^a
توسکا بیلاقی	< ۱۵	۱/۳۴	۱/۷۲	۳۴/۵۶ ^{ns}
	۱۵ تا ۳۰	۱/۱۷	۱/۷۷	۳۱/۲۱ ^{ns}
	۳۰ تا ۵۰	۰/۹۳	۱/۸۸	۳۵/۱۱ ^{ns}

شکل شماره (۴) مقایسه میانگین های مجموع ترسیب کربن خاک تا عمق ۵۰ سانتیمتری در توده های مورد مطالعه را نمایش می دهد. همان گونه که در شکل شماره (۴) مشاهده می شود، جنگلکاری های پلت و توسکا بیلاقی به ترتیب باعث افزایش و کاهش ترسیب کربن خاک (تا عمق ۵۰ سانتیمتری) نسبت به توده طبیعی تخریب یافته اولیه شده اند اما این تغییرات از نظر آماری معنی دار نیستند. همچنین در بین توده های جنگلکاری شده مورد مطالعه، ترسیب کربن خاک (تا عمق ۵۰ سانتیمتری) توده دست کاشت پلت به طور معنی داری بالاتر از توسکا بیلاقی است (شکل شماره ۴).

در مجموع بر طبق نتایج این پژوهش، میانگین ترسیب کربن تا عمق ۵۰ سانتیمتری خاک در توده های جنگلکاری شده پلت و توسکا بیلاقی به ترتیب معادل ۱۵۵/۰۴ و ۱۰۰/۸۸ تن در هر هکتار و در توده طبیعی بلوط- آزاد نیز معادل ۱۲۱/۴۳ تن در هر هکتار محاسبه شد.



شکل شماره (۳): مقایسه میانگین های خصوصیات خاک سه عمق مورد مطالعه در توده های جنگلکاری و طبیعی مورد بررسی

نتایج حاصل از رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام نشان داد در منطقه مورد مطالعه مهمترین شاخص های فیزیکی و شیمیایی خاک که بر درصد کربن آلی و به تبع آن ترسیب کربن خاک مؤثرند، درصد ازت کل و وزن مخصوص ظاهری خاک هستند (جدول شماره ۱).

جدول شماره (۱): رگرسیون چند متغیره گام به گام درصد

کربن (متغیر تابع) با دیگر شاخص های خاکی مورد بررسی

معادله	ضریب تبیین (R ²)
$Y = 0.921 + 0.643X_1$	۰/۷۸
$+ 0.613 X_1 - 0.231 X_2$	۰/۸۲
$Y = 1/0.03$	
$Y =$ درصد کربن آلی، $X_1 =$ درصد ازت کل، $X_2 =$ وزن مخصوص ظاهری	

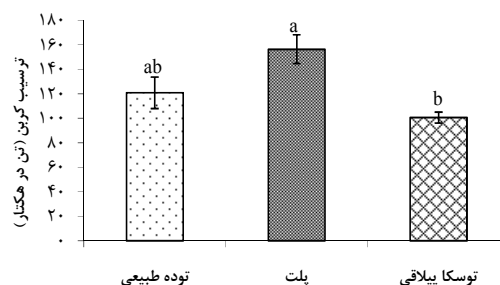
همچنین نتایج این پژوهش نشان داد در توده طبیعی تخریب یافته بلوط- آزاد و توده جنگلکاری پلت اختلاف آماری معنی داری از نظر مقدار ترسیب کربن بین سه عمق مورد بررسی وجود دارد. اما در

اثر کاهش تراکم درختی و درصد تاج پوشش) است. افزون بر این آثار فرسایش و آبشویی عناصر نیز در خاک زیر این توده مشاهده شد (بالاتر بودن مقادیر این عناصر در عمق سوم خاک). همچنین با توجه به این که تولید و برداشت بیوماس به طور بالقوه اثری اسیدی کننده بر خاک جنگل دارد مگر این که مواد غذایی موجود در بیوماس به خاک برگردند (Fisher & Binkley, 2000) در نتایج مشاهده شد که خاک توده طبیعی مورد بحث تقریباً اسیدی است. بنابراین همانطور که از نتایج استنباط می‌شود، خاک توده طبیعی مورد مطالعه در اثر بهره‌برداری بی‌رویه تخریب شده و از نظر عناصر غذایی و کربن آلی از وضعیت مطلوبی برخوردار نبود.

مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته نشان‌دهنده اهمیت جنگلکاری‌ها در ترمیم و بازسازی خاک جنگل‌های تخریب یافته است (Wang, et al., 2008; Niu, et al., 2009). نتایج این تحقیق نیز نشان داد تبدیل جنگل‌های طبیعی تخریب یافته به جنگلکاری با گونه‌های پلت و توسکا بیلاقی تأثیر مثبتی بر خواص خاک منطقه داشته است، به طوری که باعث افزایش معنی‌دار عناصر غذایی قابل تبادل خاک شامل فسفر، کلسیم و منیزیم و کاهش حالت اسیدی خاک شده است.

تأثیر کاشت گونه‌های مذکور بر درصد کربن آلی، درصد ازت کل از نظر آماری معنی‌دار نبوده است، اما با وجود این در این موارد نیز تغییراتی هرچند جزئی مشاهده شد. در این میان نکته قابل توجه کاهش معنی‌دار پتاسیم قابل جذب در خاک توده دست کاشت توسکا بیلاقی نسبت به توده طبیعی اولیه است. با توجه به اینکه که پتاسیم از عناصر اصلی مؤثر در رویش گیاهان به شمار می‌رود (ملکوتی و همایی، ۱۳۷۳) و توده مورد نظر نیز در مراحل اولیه رشد خود قرار دارد (۱۸ سالگی)، می‌توان این موضوع را به جذب بیشتر پتاسیم توسط درختان و ذخیره در بیوماس آنها (Hagar, et al., 2006; Montagnini, 2000; Onvekwelu, et al., 1991) به دلیل تعداد بالاتر درختان در واحد سطح و شبکه ریشه‌ای گسترده‌تر (El Tahir, et al., 2009) نسبت داد.

مطالعات نشان داده است گونه‌های درختی پهن برگ تولید لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و در ترمیم حاصلخیزی خاکهای جنگل‌های تخریب یافته مفیدند (Wang, et al., 2008). از این رو، می‌توان اظهار داشت افزایش میزان ورودی مواد آلی و عناصر غذایی خاک از طریق افزایش میزان لاشبریز ورودی به کف جنگل، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی، تغییر در



شکل شماره (۴): مقایسه میانگین ترسیب کربن خاک توده‌های مورد مطالعه

بحث

تخریب و تغییر کاربری اراضی جنگل‌های طبیعی همواره با تخریب خاک و از دست رفتن ذخیره کربن آلی آن همراه است که پایان منجر به از بین رفتن پایداری اکوسیستم می‌شود. احداث جنگلکاری‌ها به صورت بالقوه می‌تواند نقش مؤثری در ترمیم و بازسازی خاک اکوسیستم‌های جنگلی مخروبه ایفا کند (Wang, et al., 2008; Niu, et al., 2009). گونه‌های متفاوت نیروهای متفاوتی در بازسازی خاک اکوسیستم از طریق تفاوت تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تعامل با دیگر اجزای اکوسیستم دارند. (Binkley, 1995; Augusto, et al., 2002). تفاوت در کیفیت لاشبرگ و وضعیت مواد غذایی، فعالیت‌های ریشه و جذب عناصر غذایی، جلوگیری از رسوب اتمسفری آثار متقابل تاج پوشش و آبشویی و همچنین تغییر در میکروکلیم و جوامع بیولوژیکی خاک، می‌تواند در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زیر گونه‌های مختلف تفاوت ایجاد کند (Hagen-Thorn, et al., 2004).

در یک سیستم بسته تفاوت بین گونه‌ها در تأثیر بر شیمی خاک بیشتر منعکس کننده بازگشت عناصر به خاک مرتبط با تقاضا و جذب مواد غذایی هر گونه است (Hagen-Thorn, et al., 2004). اما در طبیعت، وضعیت پیچیده‌تری وجود دارد. برای نمونه ورودی‌ها (ترسیب و هوازدگی) و خروجی‌های سیستم (آبشویی و حذف مواد غذایی در اثر بهره‌برداری) نیز ممکن است تحت تأثیر نوع گونه‌ها باشد (Augusto, et al., 2002).

توده طبیعی مورد نظر در این پژوهش در اثر بهره‌برداری شدید به توده‌ای تخریب یافته تبدیل و عملاً از چرخه تولید خارج شده بود. مقادیر پایین عناصر غذایی و کربن آلی در خاک این توده در اثر پایین بودن بازگشت آنها از طریق لاشریز ورودی به کف جنگل (در

ترسیب کربن یکی از معیارهای سنجش پایداری اکوسیستم است. بنابراین با گسترش کشت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن دارند و همچنین شناسایی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرایند ترسیب کربن در هر منطقه، می‌توان اصلاح و احیای اراضی را از منظر ترسیب کربن تا رسیدن به پایداری مطلوب در اکوسیستم دنبال کرد (ورامش و همکاران، ۱۳۹۰). از این رو جنگلکاری در مناطق تخریب یافته شمال کشور و جایگزینی توده‌های طبیعی تخریب شده با جنگلکاری‌های گونه‌های مناسب می‌تواند گامی مؤثر به‌منظور رسیدن به پایداری در این گونه اکوسیستم‌ها باشد.

محققان زیادی بر اهمیت جنگلکاری‌ها در ترسیب کربن تأکید کرده‌اند (Niu, et al., 2009; Richards, et al., 2007; Fang, et al., 2007). از طرفی جایگزینی گونه‌ها و تبدیل جنگل‌های طبیعی به جنگلکاری‌ها نیز تغییرات عمده‌ای در ذخیره کربن خاک ایجاد می‌کند (Niu, et al., 2009; Vallet, et al., 2009).

همانطور که در نتایج این پژوهش مشاهده شد جنگلکاری پلت باعث افزایش ذخیره کربن خاک به مقدار ۳۳/۶۱ تن در هر هکتار و جنگلکاری با توسکا بیلاقی موجب کاهش آن به میزان ۲۰/۵۵ تن در هکتار نسبت به توده طبیعی تخریب یافته اولیه شده بودند. مطالعاتی که تا کنون صورت گرفته نشان داده‌اند که جانمایی گونه‌ها که منجر به جابه‌جایی جنگل‌های اولیه و قدیمی با جنگلکاری‌ها می‌شوند، منجر به از دست رفتن و اتلاف ذخیره کربن خاک می‌شود (Fleming & Freedman, 1998; Schroth, et al., 2002; Erb, 2004; Vallet, et al., 2009).

این کاهش به دلیل از دست رفتن کربن آلی خاک در مراحل اولیه توسعه جنگلکاری بر مبنای ورودی کمتر کربن آلی نسبت به خروجی آن از طریق تنفس خاک است (Arevalo, et al., 2009). سپس با افزایش سن جنگلکاری‌ها، کربن آلی خاک افزایش یافته و این افزایش تا رسیدن به یک تعادل پایدار ادامه دارد (Vallet, et al., 2009) که در گونه‌های مختلف مقادیر این ورودی‌ها و خروجی‌های کربن متفاوت است و به تبع آن سرعت رسیدن به تعادل پایدار کربن آلی در خاک نیز متفاوت خواهد بود. این موضوع می‌تواند دلیل موجهی بر تغییرات مشاهده در ترسیب کربن خاک جنگلکاری‌های مورد بحث نسبت به توده طبیعی تخریب یافته اولیه باشد، به این صورت که جنگلکاری باعث کاهش ذخیره کربن آلی خاک در سنین اولیه رشد توده شده و پس از آن با گذشت زمان با توجه به افزایش ورودی‌های کربن با افزایش سن و همچنین با

میکروکلیم، افزایش فعالیت‌های ریشه در گردش عناصر (Hagen-Thorn, et al., 2004) و همچنین تأثیر مثبت تاج پوشش درختان در کاهش آبشویی عناصر و فرسایش از دلایل قابل ذکر برای این افزایش در عناصر غذایی و کربن آلی خاک این جنگلکاری‌ها در مقایسه با توده طبیعی تخریب یافته هستند. در مجموع با نظر به نتایج این پژوهش و با توجه به سن پایین جنگلکاری‌های مورد بحث (۱۸ سال) پیش‌بینی می‌شود این روند مثبت ادامه یابد.

خصوصیات فیزیکی خاکها نیز تحت تأثیر گونه‌های موجود در اشکوب بالا تغییر می‌کند که مطالعات دلیل آن را تغییر در وضعیت فون خاک نشان داده‌اند (Augusto, et al., 2002)، نتایج این تحقیق نیز مبین تأثیرات متفاوت جنگلکاری با گونه‌های مورد بحث بر خصوصیات فیزیکی خاک نسبت به توده طبیعی اولیه بود.

بیشترین مقدار عناصر غذایی و کربن آلی در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری خاک اندازه‌گیری شد و در مقادیر آنها کاهش معنی‌داری با افزایش عمق خاک مشاهده می‌شود که دلیل آن می‌تواند شروع روند تدریجی تبدیل لاشبرگ به هوموس از لایه‌های سطحی خاک باشد (ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). وقوع فرسایش و آبشویی نیز علت بالاتر بودن مقادیر کربن آلی، ازت کل، کلسیم و منیزیم قابل جذب و هدایت الکتریکی در عمق سوم خاک نسبت به عمق دوم خاک در توده طبیعی تخریب یافته است. همچنین مشخص شد مهمترین عوامل خاکی مؤثر بر میزان کربن آلی خاک در این تحقیق درصد ازت کل و وزن مخصوص ظاهری بودند. مطالعات مختلفی ازت را مهمترین عامل خاکی مؤثر بر ذخیره کربن آلی خاک دانستند (Dalal & Mayer, 1986; Brown & Lugo, 1990; Richards, et al., 2007; Neff, et al., 2002). همچنین بیان شده است که کربن آلی خاک به عوامل دیگری از قبیل وزن مخصوص ظاهری خاک نیز بستگی دارد (Singh, et al., 2003).

ورامش و همکاران (۱۳۸۹) نیز در مطالعه آثار جنگلکاری بر ترسیب کربن خاک، دریافتند درصد رس و ازت خاک از مهمترین عوامل مؤثر بر ترسیب کربن هستند. با توجه به این مطالب می‌توان اظهار داشت که مدیریت روابط کربن آلی خاک با سایر خصوصیات خاک نظیر ازت (برای نمونه از طریق کوددهی) می‌تواند نقش مؤثری در افزایش ذخیره کربن در خاک ایفا کند (Richards, et al., 2007).

چراگاه دام جنگل نشینان و روستانشینان اطراف جنگل‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این استفاده‌های نادرست و غیراصولی افزون بر این که باعث از دست رفتن ارزش اقتصادی این جنگل‌ها در اثر از بین رفتن تولید بالقوه چوب و درآمدهای حاصل از آن گشته، آثار منفی دیگری نیز همچون از بین رفتن پایداری اکوسیستم، کاهش تنوع زیستی، تخریب محیط زیست جانداران، تخریب و کاهش حاصلخیزی خاک، تغییر میکروکلیم و ماکروکلیم و وقوع سیل را نیز در پی داشته است. مجموع عوامل فوق منجر به فاصله گرفتن از توسعه پایدار می‌گردند.

با توجه به اهمیت جنگل‌های هیرکانی، حفظ و احیای این جنگل‌ها نیز به موضوعی قابل تأمل از نظر محققان بدل شده است. علاوه بر استفاده از روشهای نو و علمی بهره‌برداری و جلوگیری از گسترش تخریب، ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب به منظور بازسازی این اکوسیستم‌های ارزشمند نیز می‌تواند در وضعیت فعلی این جنگل‌ها مفید باشد.

در سالهای اخیر محققان ترسیب کربن خاک را یکی از ملاک‌های سنجش پایداری اکوسیستم‌ها معرفی کرده‌اند. در نتیجه مطالعه عوامل مختلف مؤثر بر آن (مانند نوع پوشش گیاهی و نحوه مدیریت اراضی) و همچنین ارائه راهکارهای مناسب در جهت افزایش مقدار ترسیب کربن خاک در هر اکوسیستم، می‌تواند گامی مؤثر در جهت رسیدن به توسعه پایدار محسوب شود.

همان‌گونه که در نتایج این پژوهش مشاهده شد، جایگزینی توده طبیعی تخریب یافته با جنگلکاری‌های پلت و توسکا بیلاقی آثار شگرفی بر حاصلخیزی خاک منطقه داشته و تا حدود زیادی باعث بهبود وضعیت و احیای خاک منطقه از این منظر شده است.

همچنین جایگزینی مذکور سبب ایجاد تغییراتی در میزان ترسیب کربن خاک نیز شده بود که پیش‌بینی می‌شود با افزایش سن جنگلکاری‌های مورد بحث آثار مثبت آن از این منظر نیز بیش از پیش آشکار شود. از این رو می‌توان اظهار داشت که افزایش جنگلکاری در مناطق تخریب یافته جنگل‌های هیرکانی، بویژه با گونه‌هایی که توانایی ترسیب کربن بالایی دارند، می‌تواند افزون بر کاهش آثار منفی تخریب راهکار مدیریتی مناسب برای رسیدن به پایداری در این‌گونه اکوسیستم‌ها، ایفا کند.

توجه به تخریب شدن توده طبیعی مورد بحث، کربن آلی خاک افزایش یافته است و این افزایش تا رسیدن به حالت تعادل پایدار ادامه خواهد داشت (Vallet, et al., 2009).

در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که پس از استقرار جنگلکاری کاهش ورودی‌های کربن خاک (از طریق لاشبرگ و شاخ و برگ مرده گیاهان) نسبت به کاربری قبلی عرصه به همراه افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک در اثر اختلال به وجود آمده در اکوسیستم، باعث کاهش ذخیره کربن آلی خاک می‌گردند (Turner, et al., 2005; Richards, et al., 2007).

تحقیقات نشان داده است که در برخی اکوسیستم‌ها ذخیره کربن آلی خاک حتی پس از گذشت ۵ تا ۱۰ سال از جنگلکاری به حالت تعادل نمی‌رسد و کاهش کربن آلی خاک ممکن است تا پایان دوره بهره‌برداری نیز باقی بماند (Arevalo, et al., 2009). از سوی دیگر، الگوهای ذخیره و سرعت رسیدن به تعادل کربن آلی خاک نیز با توجه به موقعیت منطقه، شرایط آب و هوایی، نوع خاک و گونه‌های درختی جنگلکاری‌ها متنوع است (Turner, et al., 2005).

با توجه به این که جنگل طبیعی مورد بحث توده‌ای تخریب یافته بود، می‌توان پیش‌بینی کرد با افزایش سن جنگلکاری‌های مذکور ذخیره کربن خاک آنها نیز افزایش چشمگیری نسبت به جنگل طبیعی اولیه داشته باشد که در این مورد به نظر می‌رسد سرعت رسیدن به تعادل پایدار کربن آلی خاک در گونه پلت تا این سن بالاتر از توسکا بیلاقی بوده است و نیاز به انجام مطالعات بیشتر در سنین بالاتر در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

تغییر کاربری اراضی طبیعی یکی از مهمترین دلایل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است که متأسفانه در دهه‌های گذشته در ایران و بویژه در شمال کشور رواج داشته است.

جنگل‌های هیرکانی یکی از مهمترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور هستند که افزون بر مزایای فراوان اقتصادی-اجتماعی، می‌توانند نقش مؤثری در دستیابی به توسعه پایدار نیز ایفا کنند. اما باید توجه داشت که اکثر جنگل‌های طبیعی مناطق پایین بند شمال کشور طی سالیان طولانی در معرض بهره‌برداری‌های بی‌رویه و گاهی غیرقانونی قرار گرفته‌اند، و یا به صورت متمادی به عنوان

منابع مورد استفاده

بردبار، س.ک.، مرتضوی جهرمی، س.م. ۱۳۸۵. بررسی پتانسیل ذخیره کربن در جنگلکاری‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) و آکاسیا (*Acacia salicina* Lindl) در مناطق غربی استان فارس، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۷۰، ۹۵ تا ۱۰۳.

بی نام. ۱۳۷۳. طرح جنگلداری سری ۱۲ اشتروش، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۳۵۳ صفحه.

جعفری حقیقی، م. ۱۳۸۲. روش‌های تجزیه خاک، نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی، انتشارات ندای ضحی، تهران، ۲۳۶ صفحه.

حق دوست، ن. و همکاران. ۱۳۸۹. ترسیب کربن، راهکاری نوین جهت دستیابی به مدیریت پایدار، در: مجموعه مقالات همایش ملی جنگل و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا، ۵ و ۶ خرداد ماه، ۱۲ صفحه.

زرین کفش، م. ۱۳۷۲. خاک‌شناسی کاربردی ارزیابی و مرفولوژی و تجزیه‌ای کمی خاک-آب-گیاه، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۴۲ صفحه.

عبدی، ن. ۱۳۸۵. معرفی ترسیب کربن به‌عنوان شاخصی جهت سنجش توسعه پایدار منابع طبیعی، در: چکیده مقالات سومین همایش راهکارهای تحقق توسعه پایدار در کشاورزی و منابع طبیعی، اراک ۵ دی ماه، ۵۷ تا ۶۲.

قلی‌زاده، م.ن.، پورمرادی، ص.، مهدوی، ر. ۱۳۸۳. تعیین فواصل مناسب کاشت دو گونه درختی افرا و توسکا در مناطق پایین بند جنگل‌های شمال، مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۲(۳)، ۳۲۷ تا ۳۳۸.

ملکوتی، م.ج.، همایی، م. ۱۳۷۳. حاصلخیزی مناطق خشک، مشکلات و راه‌حل‌ها، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.

ورامش، س.، حسینی، س. م.، عبدی، ن. ۱۳۸۹. اثرهای جنگلکاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک، مجله جنگل ایران، سال دوم، شماره ۱، ۲۵ تا ۳۵.

ورامش، س.، حسینی، س. م.، عبدی، ن. ۱۳۹۰. برآورد نیروی جنگل شهری در ترسیب کربن اتمسفری، محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، ۱۱۳ تا ۱۲۰.

هدایتی، م. ۱۳۸۰. سیر تحول جنگلکاری در شمال کشور، تنگناها و راهکارها، در: مجموعه مقالات همایش ملی جنگل‌های شمال و توسعه پایدار، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، نشر گستره، تهران، ۱: ۳۴۴ تا ۳۷۰.

Anastasi, C., R., Hudson, V.J., Simpson. 1980. Effects of future fossil fuel use on CO₂ levels in the atmosphere, Energy Policy, 8, 318-330.

Arevalo, C.B.M., et al. 2009. Ecosystem carbon stocks and distribution under different land-uses in north central Alberta, Canada, Forest Ecology and Management, 257(8), 1776-1785.

Augusto, L., et al. 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility, Annals of Forest Science, 59, 233-253.

Binkley, D. 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns, In: Mead, D.J. and Cornforth, I.S., 1994. Proceedings of the Trees and Soil Workshop, Lincoln University Press, Canterbury, 1-33.

Brown, S., A.E., Lugo .1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands, *Plant and Soil*, 124, 53-64.

Dalal, R.C., R.J., Mayer .1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland, I: overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Australian Journal of Soil Research*, 24, 265-279.

El Tahir, B.A., et al .2009. Changes in soil properties following conversion of *Acacia senegal* plantation to other land management systems in North Kordofan State, Sudan, *Journal of Arid Environments*, 73, 499-505.

Erb, K.H. 2004. Land use-related changes in aboveground carbon stocks of Austria's terrestrial ecosystems. *Ecosystems*, 7, 563-572.

Fang, S., J., Xue, L., Tang .2007. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns, *Journal of Environmental Management*, 85, 672-679.

Fisher, R.F., D., Binkley .2000. *Ecology and Management of Forest Soils*, 3rd edition, Wiley, 123 p.

Fleming, T.L., B., Freedman .1998. Conversion of natural, mixed-species forests to conifer plantations: implications for dead organic matter and carbon storage, *Ecoscience*, 5, 213-221.

Gao, Y.H., et al .2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an alpine meadow on the Eastern Tibetan Plateau. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 642-647.

Hagar, J.P., et al .1991. Phosphorous availability under alley cropping and mulched and un-mulched sole cropping systems in Costa Rica, *Plant and Soil*, 137, 275-283.

Hagen-Thorn, A., et al .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, 373-384.

Hernandez, R., P., Koohafkan, J., Antoine .2004. Assessing Carbon Stocks and modeling win-win Scenarios of carbon sequestration through land-use change, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 162 p.

Kan Chen, R., C., Winter, M.K., Bergman .1980. Carbon dioxide from fossil fuels: Adapting to uncertainty, *Energy Policy*, 10(2), 320-333.

Lackner, K.S. 2003. A guide to CO₂ sequestration, *Science*, 300, 1677-1678.

Montagnini, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland, *Forest Ecology and Management*, 13(1-3), 257-270.

Neff, J.C., et al. 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon, *Nature*, 419, 915-917.

Niu, D., S., Wang, Z., Ouyang .2009. Comparisons of carbon storages in *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macculurei* plantations during a 22-year period in southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 801- 805.

Nosetto, M.D., E.G., Jobbagy, J.M., Paruelo .2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia, *Journal of Arid Environment*, 67, 142-156.

Onyekwelu, J.J., R., Mosandl, B., Stimm .2006. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria. *Forest Ecology and Management*. 229: 214-227.

Paul, K.I., et al .2002. Change in soil carbon following afforestation, *Forest Ecology and Management*, 168, 241-257.

Richards, A.E., R.C., Dalal, S., Schmidt .2007. Soil carbon turnover and sequestration in native subtropical tree plantations, *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 2078-2090.

Schroth, G., et al .2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years, *Forest Ecology and Management*, 163, 131-150.

Singh, G., et al .2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India, *Indian Forester*, 129(7), 859-864.

Tabari, M., M.R., Pourmajidian .2001. Influence of Thinning on Atlas Cedar (*Cedrus atlantica menetti*) in the North of Iran. *International meeting on Silviculture of Cork (Quercus suber L.) and Cedar (Cedrus atlantica Endl.)* Rabat, Morocco, 27, 217- 224.

Turner, J., M.J., Lambert, D.W., Johnson .2005. Experience with patterns of change in soil carbon resulting from forest plantation establishment in eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 220, 259-269.

UNDP. 2000. Carbon sequestration in the desertified rangelands of Hossein Abad, through community based management, Program coordination, 1-7.

Vallet, P., et al .2009. Species substitution for carbon storage: Sessile oak versus Corsican pine in France as a case study, *Forest Ecology and Management*, 257, 1314-1323.

Wang, Q.K., S.L., Wang, Y., Huang .2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China, *Forest Ecology and Management*, 255, 1210-1218.