دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

تغییرات ترسیب کربن و برخی ویژگی‌های خاک در تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل‌های استان لرستان)

حمزه جعفری سرابی[۱]، بابک پیله‌ور[۲]، کامبیز ابراری واجاری[۳] و سید محمد واعظ موسوی[۴]

۱- دکترای جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران (نویسنده مسوول: pilehvar.b@lu.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۴- استادیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳
صفحه: ۱۴۲ تا ۱۵۱

چکیده

گونه‌های درختی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر ویژگی‌های خاک از طریق تولید لاشریزه بوده و نقش اساسی در چرخهٔ کربن و آزادسازی عناصر غذایی خاک دارند. پژوهش حاضر به بررسی تغییرات ترسیب کربن و برخی ویژگی‌های خاک در تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی، جنگل‌های استان لرستان، در ارتباط با گونه‌های درختی غالب منطقه می‌پردازد. در مطالعه حاضر برخی از ویژگی‌های زیستی درختان در تیپ‌های جنگلی بلوط ایرانی، دارمازو و گلابی وحشی با استفاده از ۲٤ قطعه‌نمونه ۵۰۰ متر مربعی تصادفی (۲۵×۲۰ متر) اندازه‌گیری شد. همچنین خاک زیراشکوب تیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از ٤۸ نمونه ترکیبی از عمق‌های ۱۰-۰ و ۳۰-۱۰ سانتی‌متری برداشت شد. پس از اندازه‌گیری متغیرهای مورد مطالعه، مقایسه آماری میانگین متغیرهای جنگل‌شناسی، خاکی و ترسیب کربن در تیپ‌های جنگلی با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه انجام گرفت. نتایج نشان داد که تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه بدون اختلاف معنی‌دار در مقادیر درصد تاج‌پوشش، دارای اختلاف معنی‌داری در پارامترهای ارتفاع تاج‌پوشش و تراکم بودند. تیپ‌های جنگلی ضمن اختلاف معنی‌دار در مقادیر ترسیب کربن، بافت، نیتروژن، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، پتاسیم، pH و رطوبت اشباع عمق اول، فاقد اختلاف در مقادیر آهک، هدایت الکتریکی، کلسیم، وزن مخصوص ظاهری و رطوبت اشباع عمق دوم بودند. بدین‌معنی که بیشترین میزان رس، سیلت و pH خاک در تیپ‌های جنگلی گلابی وحشی و بلوط دارمازو و بیشترین مقادیر ترسیب کربن، شن، پتاسیم، نیتروژن، کربن آلی و رطوبت اشباع عمق اول در خاک جنگلی بلوط ایرانی مشاهده شد. در این رابطه ارتفاع تاج‌پوشش مهمترین متغیری بود که با ترسیب کربن، نیتروژن، کربن آلی، پتاسیم، pH و رطوبت اشباع خاک همبستگی نشان داد. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ترسیب کربن و عناصر غذایی خاک در تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه بیشتر تحت‌تأثیر نوع تیپ جنگلی و ارتفاع تاج‌پوشش قرار می‌گیرد. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات سنجش از دور جهت برآورد ترسیب کربن خاک جنگل‌های زاگرس از داده‌های لیدار که قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع تاج‌پوشش را دارند استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بلوط، ترسیب کربن خاک، تیپ جنگلی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدمه

امروزه ترسیب کربن از مهم‌ترین رویدادهای طبیعی است که با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش گرمایش جهانی از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر رویدادهای اکولوژیکی برخوردار است (۵۳). براساس مطالعات انجام شده، میزان دی‌اکسیدکربن موجود در چرخهٔ طبیعت حدود ۲۰۰ میلیارد تن در سال برآورد شده که نتیجه جذب آن توسط گیاهان و اقیانوس‌ها، تعادل چرخهٔ گازکربنیک در طبیعت را به‌دنبال دارد (۵۱). متاسفانه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌طور خاص دی‌اکسیدکربن با بهم‌زدن تعادل این چرخه باعث ایجاد گرمایش زمین و به‌دنبال آن تغییر اقلیم شده است (۳۷). در این رابطه بوم‌سازگان‌های جنگلی با سطحی معادل ۳/۴ میلیارد هکتار به‌علت داشتن پتانسیل زیاد جذب کربن از طریق فتوسنتز و ترسیب کربن اتمسفر در خاک به‌عنوان تنظیم‌کننده اصلی ذخیره کربن، نقش قابل‌توجهی در کنترل تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند (۱۶). چراکه پوشش‌گیاهی بوم‌سازگان‌های جنگلی حدود ۸۲ تا ۸۶ درصد کربن روی‌زمینی را به‌خود اختصاص داده است (۱۸). همچنین خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی دو برابر کربن موجود در اتمسفر و حدود ۷۰ درصد ذخیره کربن آلی خاک کلیه بوم‌سازگان‌های خشکی را در خود ذخیره کرده‌اند (۱۸،۴۲). در این رابطه افق‌های بالایی خاک معدنی بیش از نیمی از کربن بوم‌سازگان‌های جنگلی را در خود جای داده است (۴۱). شایان ذکر است این میزان کربن عمدتاً در لایه‌های سطحی خاک تا عمق ۳۰ سانتیمتر انباشته شده است (۲۲). براساس تحقیقات، نوع و ترکیب گونه‌های موجود در آشکوب فوقانی جنگل از طریق تأثیر بر ورودی کربن خاک می‌تواند مقدار ترسیب کربن خاک را تغییر دهند (۴۵). از طرفی هرگونه تغییر در فراوانی و ترکیب کربن خاک می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر چرخه کربن جهانی، پارامترهای اقلیمی، میزان تولید زی‌توده‌های گیاهی و پویایی جنگل تاثیرگذار باشد (۴،۳۶). به‌طور مشابه، تغییرات در اقلیم و کاربری زمین فراوانی و ترکیب کربن آلی خاک را تغییر خواهند داد (۴۶). در کنار این عوامل اختلالاتی مانند دخالت‌های انسانی به‌همراه بعضی از عوامل طبیعی مثل آتش‌سوزی و سیل با تغییر در میکروکلیما، پوشش گیاهی و تعادل چرخه آب باعث کاهش ورود کربن آلی به خاک می‌شود (۵۰). مجموع این نتایج نشان می‌دهد که ترسیب کربن در لایه‌های زیستی زمین به‌ویژه در زی‌توده و خاک

بوم‌سازگان‌های جنگلی از مهم‌ترین، بهترین، ساده‌ترین، اقتصادی‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راه‌های کاهش خسارات بحران گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی است (۳۷،۴۹). از طرف دیگر شناخت ویژگی‌های خاک از مبانی اصولی مدیریت جنگل است (۱۱). چراکه برای ایجاد جنگلی پایدار حفظ عناصر غذایی خاک از اهمیت بسزایی برخوردار است (۳۸). در واقع خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی نه تنها نقش قابل توجهی در رابطه با ذخایر کربن و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن دارد، بلکه نقش مستقیمی در رابطه با چرخه عناصر غذایی و به‌دنبال آن افزایش تولید ایفا می‌کند (۳۶). در این رابطه گونه‌های درختی بوم‌سازگان‌های جنگلی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییر ویژگی‌های خاک بوده (۵۲) که از طریق ویژگی‌های متفاوتشان در تولید لاشه‌ریزه و به تبع آن بازگرداندن عناصر غذایی و ترکیبات شیمیایی ویژه، نقش اساسی در چرخهٔ کربن و عناصر غذایی بازی می‌کنند (۱۴،۳۴). مطالعات فراوانی اثر گونه‌های درختی بر ویژگی‌های خاک جنگلی را مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج آنها نشان‌دهنده اثر قابل توجه نوع گونه درختی آشکوب فوقانی بر حاصلخیزی خاک است (۸). لووت و همکاران (۳۲) بیان داشتند گونه‌های درختی می‌توانند از طریق تاج‌پوشش، چرخه کربن، نیتروژن و دیگر عناصر غذایی، خاک را تحت‌تأثیر قرار دهند. جعفری و همکاران (۲۵) بیان داشتند که بالا بودن مقدار کربن لاشبرگ گونه بلوط ایرانی باعث افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌شود. صالحی و همکاران (۴۴) افزایش درصد تاج‌پوشش درختی و به‌دنبال آن افزایش لاشبرگ را مهم‌ترین علت افزایش عناصر غذایی خاک مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم برشمردند. وستردال و همکاران (۵۲) ترکیب گونه‌ای و تیپ جنگلی را دو عامل بسیار مهم بر فرآیند ورودی اندوخته کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک عنوان کرده و بیان داشتند که با تغییر گونه‌های درختی می‌توان مقدار اندوخته کربن خاک را ۴۰ تا۵۰ درصد افزایش داد. نادی و همکاران (۳۵) بیان داشتند که مدیریت حفاظتی با افزایش پوشش گیاهی و توان تولید لاشبرگ، تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات شیمیایی خاک می‌گذارد. از طرفی نتایج باده‌یان و همکاران (۵۶) نشان داد که بین مقدار ترسیب کربن خاک موجود در تیپ‌های مختلف خالص، آمیخته و طبیعی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بدین‌معنی که مقدار ترسیب کربن خاک در تیپ‌های طبیعی بیشتر از سایر تیپ‌ها است.

به‌طورکلی و با توجه به نقش و اهمیت متفاوت تیپ‌های جنگلی در تغییرات ترسیب کربن و ویژگی‌های خاک، هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه اثرات اشکوب فوقانی غالب تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی بر مقادیر ترسیب کربن و برخی متغیرهای فیزیکو- شیمیایی خاک زیراشکوب است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر خاک تیپ‌های جنگلی مدیریت شده بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در منطقه قلعه‌گل خرم‌آباد، دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv.) منطقه شینه قلایی الشتر و گلابی وحشی (*Pyrus glabra* Boiss.) چم‌حصار دلفان در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. ذخیره‌گاه گلابی وحشی با مساحت ۱۰۰ هکتار دارای خاکی از رده اینسپی‌سول، اقلیم نیمه مرطوب، ۴۶۸ میلی‌متر بارندگی سالانه بوده و در عرض جغرافیایی ″۴۲′۰۲.۳۴° تا ″۴۷′۰۳.۳۴° شمالی و طول جغرافیایی ″۴۱′۳۴.۴۷° تا ″۳۹′۳۵.۴۷° شرقی واقع شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریای این منطقه ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است (۶). ذخیره‌گاه دارمازو شینه قلایی نیز با مساحت ۱۱۳ هکتار، در عرض جغرافیایی ′۳۴.۳۳° تا ′۵۱.۳۳° شمالی و طول جغرافیایی ′۱۲.۴۸° تا ′۴۰.۴۸° شرقی دارای خاکی جوان از رده‌های انتی‌سول و اینسپتی‌سول و ۶۶۵ میلی‌متر بارندگی در سال است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به‌ترتیب ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از سطح دریا است (۳۳). جنگل‌های بلوط ایرانی قلعه‌گل نیز با ۷۲۵ میلی‌متر بارندگی سالانه، ۹۴۹۱ هکتار مساحت و خاکی از رده اینسپتی‌سول در طول جغرافیایی ″۵۷′۲۰.۴۸° تا ″۲۰′۳۸.۴۸° شرقی و عرض جغرافیایی ″۵۱′۱۳.۳۲° تا ″۴۱′۱۹.۳۳° شمالی واقع شده است. این منطقه با حداقل ۱۵۰۰ و حداکثر۲۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا دارای اقلیم نیمه‌مرطوب سرد است. (۱۵).

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک:

در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از جنگل گردشی‌های گسترده، مناطق رویشی همگن از نظر فیزیوگرافی در توده‌های معرف انتخاب گردید. سپس با استفاده از ۲۴ قطعه نمونه تصادفی۵۰۰ مترمربعی (۲۰×۲۵ متر) مقادیر درصد تاج‌پوشش، تراکم درختی و ارتفاع تاج‌پوشش اشکوب درختی در سه تیپ جنگلی مورد بررسی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری متغیرهای خاکی هر قطعه نمونه، با استفاده از مته اوگر یک نمونه خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری و یک نمونه از عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری برداشت شد (۳). برای به حداقل رساندن خطاها نمونه‌ها به‌صورت ترکیبی از چهارگوشه و مرکز قطعه‌نمونه برداشت شدند (۳۰). نمونه‌های خاک پس از خشک‌شدن در هوای آزاد، خرد کردن کلوخه‌ها، جداکردن ریشه‌ها، سنگ و دیگر ناخالصی‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس بافت خاک به‌روش هیدرومتری بایکاس، pH خاک با pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی توسط هدایت‌سنج الکتریکی، درصد کربن آلی به‌روش والکی بلک و نیتروژن به‌وسیله دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد. پتاسیم و کلسیم با دستگاه جذب اتمی، وزن مخصوص به‌روش کلوخه، رطوبت اشباع به‌روش وزنی و درصد آهک به‌روش تیتراسیون برگشتی با استفاده از اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد (۵۳). مقدار ترسیب کربن خاک نیز در واحد سطح (تن در هکتار) براساس رابطه ۱ محاسبه شد (۴۰):

(رابطه ۱)

$$SOC = [SOC] \times Bulk\ Density \times Depth \times Coarse\ Fragments \times 10$$

در این رابطه: SOC = مقدار ترسیب کربن آلی خاک ($Mg\ C\ ha^{-1}$)، [SOC] = غلظت کربن آلی خاک در حجم خاک برداشت‌شده ($g\ C\ (kg\ soil)^{-1}$)، Bulk Density = وزن مخصوص ظاهری خاک ($Mg\ m^{-3}$)، Depth = عمق

نمونه‌برداری (m)، ۱۰ ضریب تبدیل واحد به $Mg\ C\ ha^{-1}$ و Coarse Fragments = ناخالصی و قطعات بزرگ ((۱۰۰/درصد حجم قطعات بزرگ)-۱) است.

تجزیه و تحلیل آماری:

در ابتدا بررسی نرمالیته داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. سپس مقایسه میانگین متغیرهای خاکی تیپ‌های مختلف جنگلی با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) انجام گرفت. همچنین پس از آزمون همگنی واریانس داده‌ها (آزمون Levene)، در صورت همگنی واریانس (داده‌های تاج‌پوشش، تراکم، ارتفاع تاج‌پوشش، رس، شن، سیلت، پتاسیم، pH، هدایت الکتریکی، کلسیم، رطوبت اشباع و وزن مخصوص) مقایسات چندگانه با آزمون دانکن و در صورت ناهمگنی واریانس (داده‌های آهک، نیتروژن، کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن) از طریق دانت‌تی‌تری بررسی شد. همبستگی داده‌ها نیز از طریق همبستگی پیرسون اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 22 انجام شد.

نتایج و بحث

وضعیت بافت خاک برداشت‌شده از عمق‌های اول و دوم مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد که بر اساس مثلث بافت خاک، بافت خاک تیپ‌های جنگلی گلابی وحشی و دارمازو عمدتاً بافت Clay-loam هستند. ضمن اینکه بافت خاک در تیپ جنگلی بلوط ایرانی Sandy-loam و یا Sandy-clay-loam است (جدول ۱).

جدول ۱- بافت خاک عمق اول (۱۰-۰ cm) و دوم (۳۰-۱۰ cm) در تیپ‌های جنگلی

Table 1. Texture soil of first depth (0-10 cm) and second depth (10-30 cm) in forest types

	پلات‌های برداشت شده در تیپ گلابی‌وحشی								پلات‌های برداشت شده در تیپ بلوط دارمازو								پلات‌های برداشت شده در تیپ بلوط ایرانی							
طبقه بافت عمق اول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Loam	*							*					*											
Clay-loam		*	*	*	*	*				*	*				*	*	*							
Sandy-loam									*					*					*		*	*	*	
Sandy-clay-loam												*						*		*				*
طبقه بافت عمق دوم	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Clay-loam	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	*										
Sandy-loam									*	*	*	*	*	*	*	*								
Sandy-clay-loam															*								*	
Clay		*																						
Silty-clay-loam																								

طبق نتایج، بیشترین میزان رس و سیلت دو عمق در خاک تیپ‌های جنگلی گلابی‌وحشی و بلوط دارمازو و بیشترین مقادیر شن در خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی ثبت گردید. این امر باعث شده که بافت خاک در تیپ‌های جنگلی گلابی وحشی و بلوط دارمازو از بافت متوسط تا سنگین (Clay-loam و loam) به بافت سبک (Sandy- loam و Sandy-clay-loam) در تیپ جنگلی بلوط ایرانی تغییر کند (جدول ۱). در این راستا نتایج دیگر مطالعات نیز بافت خاک را در رویشگاه‌های دارمازو متوسط تا سنگین گزارش کرده‌اند (۳۳). همچنین نتایج مطالعه‌ای نشان داد که گونه *Pyrus glabra* در رویشگاه‌هایی با خاک لومی از رشد بهتری برخوردار است (۲۱). برعکس نتایج این تحقیق، خان‌حسنی و همکاران (۲۸) بیان داشتند که در زاگرس شمالی خاک‌های سنگین با سرشت گونه برودارو و خاک‌های سبک با سرشت گونه دارمازو سازگاری بهتری نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های درختی آشکوب فوقانی نشان داد که تیپ‌های مورد نظر بدون اختلاف معنی‌دار در درصد تاج‌پوشش دارای اختلاف معنی‌داری در مقادیر ارتفاع تاج‌پوشش و میزان تراکم هستند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین و اشتباه معیار مشخصه‌های جنگل‌شناسی تیپ‌های جنگلی

Table 2. Comparison of mean and standard error of silviculturel characteristics of forest types

متغیر	تیپ جنگلی			آماره F
	گلابی وحشی	بلوط دارمازو	بلوط ایرانی	
تاج‌پوشش (٪)	۶۹/۰۶±۴/۵۷	۵۶/۸۴±۳/۶۶	۵۸/۸۱±۵/۱۹	۲/۱^{ns}
تراکم (تعداد در قطعه نمونه)	۱۴۲/۱۵±۹/۸۵^{a}	۷۰/۱۲±۹/۶۲^{b}	۷۸±۱۰/۸۶^{b}	۱۵/۲**
ارتفاع تاج‌پوشش (متر)	۳/۴۸±۰/۱۹^{a}	۳/۸۴±۰/۱۸^{a}	۶/۰۲±۰/۳۱^{b}	۳۳/۴**

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: بدون اختلاف معنی‌دار. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

همچنین نتایج مقایسه میانگین متغیرهای خاکی نشان می‌دهد که تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه فاقد اختلاف معنی‌داری در مقادیر آهک، هدایت الکتریکی، کلسیم و وزن مخصوص ظاهری دو عمق و رطوبت اشباع عمق دوم هستند. این در حالی است که تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه از نظر مقادیر رس، شن، سیلت، نیتروژن، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، پتاسیم، pH دو عمق و رطوبت اشباع عمق اول دارای اختلاف معنی‌داری هستند. بدین‌معنی که بیشترین مقادیر رس، سیلت و pH خاک در تیپ‌های جنگلی گلابی وحشی و بلوط دارمازو دیده می‌شود. ضمن اینکه بیشترین مقادیر شن، پتاسیم، نیتروژن، کربن آلی و رطوبت اشباع عمق

اول نیز در خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین و اشتباه معیار متغیرهای خاکی عمق اول (۱۰-۰ cm) و عمق دوم (۳۰-۱۰ cm) در تیپ‌های جنگلی
Table 3. Comparison of mean and standard error of edaphic factors of the first depth (0-10 cm) and second depth (10-30 cm) in forest types

متغیرهای عمق اول	تیپ جنگلی: گلابی وحشی	بلوط دارمازو	بلوط ایرانی	آماره F
Clay (%)	۲۸/۴۳±۲/۳۹^{a}	۲۶/۸۱±۲/۰۹^{a}	۱۸/۴۳±۱/۳۷^{b}	۷/۱۷**
Silt (%)	۳۰/۵۶±۱/۷۹^{a}	۲۹/۵۲±۱/۲۲^{a}	۷/۸۱±۰/۸۱^{b}	۹۱/۹۴**
Sand (%)	۴۱/۰±۳/۰۳^{b}	۴۳/۶۸±۲/۴۸^{b}	۷۳/۷۵±۱/۸۴^{a}	۵۲/۷۹**
T.N.V (%)	۱۲/۴۳±۰/۶۱	۱۸/۲۵±۲/۷۵	۱۴/۸۷±۳/۷۹	۱/۱۴^{ns}
K (mg.kg^{-1})	۱۷۴/۶۲±۲۸/۹۵^{b}	۱۸۷/۷۵±۱۵/۲۷^{b}	۴۱۱/۵±۳۵/۴۹^{a}	۲۲/۸**
N (%)	۰/۰۳۹±۰/۰۰۷^{b}	۰/۰۳۲±۰/۰۰۲^{b}	۰/۴۵±۰/۰۴۸^{a}	۷۱/۸**
O.C (%)	۱/۸۸±۰/۲۵^{b}	۲/۱۸±۰/۲۹^{b}	۳/۳۶±۰/۱^{a}	۱۱/۲۳**
pH	۷/۶۳±۰/۰۵۹^{a}	۷/۷±۰/۰۲۸^{a}	۷/۳۸±۰/۰۷^{b}	۸/۹**
E.C (dS.m^{-1})	۰/۸۲۵±۰/۱۰۴	۰/۷۴۴±۰/۰۷۵	۰/۷۹۴±۰/۰۵۱	۰/۲۶^{ns}
Ca (meq.lit^{-1})	۴/۷۷±۰/۴۵	۵/۹±۰/۹۳	۴/۴۲±۰/۸۹	۰/۹۴^{ns}
SP (%)	۴۲±۱/۹۹^{b}	۴۰/۶۲±۱/۴۹^{b}	۵۹/۱۲±۴/۴۹^{a}	۱۲/۰۶**
B. density (gr/cm^{3})	۱/۳۴±۰/۰۹	۱/۳۵±۰/۰۶۲	۱/۲۹±۰/۰۷۵	۰/۲^{ns}
C/N	۶۳/۴۱±۱۳/۴^{a}	۷۰/۴۲±۱۰/۲۶^{a}	۷/۹۵±۰/۷۲^{b}	۱۱/۹۷**
متغیرهای عمق دوم	گلابی وحشی	بلوط دارمازو	بلوط ایرانی	آماره F
Clay (%)	۳۶±۲/۱۳^{a}	۳۶/۰۲±۱/۱۶^{a}	۲۵/۱۸±۱/۸۹^{b}	۱۲/۴۵**
Silt (%)	۳۰/۱۸±۱/۹۶^{a}	۳۵/۲۵±۱/۹^{a}	۱۰/۵±۱/۵۷^{b}	۵۱/۴۷**
Sand (%)	۳۳/۸۱±۲/۷^{b}	۲۸/۶۸±۲/۷^{b}	۶۴/۳۱±۳/۲۲^{a}	۴۴/۴۸**
T.N.V (%)	۱۳/۳۷±۱/۰۳	۲۰/۶۲±۲/۵۶	۱۶/۸۱±۳/۷۲	۱/۸۳^{ns}
K (mg.kg^{-1})	۱۵۲/۷۵±۱۲/۱۷^{b}	۱۴۶/۳۷±۲۵/۳۸^{b}	۳۷۷/۸۷±۲۹/۷^{a}	۳۱/۱۴**
N (%)	۰/۰۲۲±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۲۸±۰/۰۰۷^{b}	۰/۲۷۳±۰/۰۲۹^{a}	۶۵/۹۵**
O.C (%)	۱/۵۹±۰/۱۸^{b}	۱/۶۲±۰/۱۹^{b}	۲/۵۷±۰/۲۶^{a}	۶/۵۵**
pH	۷/۶۵±۰/۱^{a}	۷/۸۸±۰/۱۰۵^{a}	۷/۳۷±۰/۰۷^{b}	۷/۴۵**
E.C (dS.m^{-1})	۰/۷۸۱±۰/۱۵۸	۰/۸۲۳±۰/۱۲۲	۰/۶۶۸±۰/۰۳۵	۰/۴۶^{ns}
Ca (meq.lit^{-1})	۵/۰۷±۰/۷۴	۶/۳۴±۰/۶۸	۵/۰۵±۰/۸۲	۰/۹۶^{ns}
SP (%)	۴۶/۸۷±۱/۷۱	۴۴/۶۲±۱/۶۸	۴۷/۶۲±۱/۹۱	۰/۷۷^{ns}
B. density (gr/cm^{3})	۱/۳۹±۰/۰۷۴	۱/۴۴±۰/۰۹	۱/۲۹±۰/۰۷۷	۰/۸^{ns}
C/N	۷۳/۶۲±۸/۴۸^{b}	۷۱/۸±۱۳/۰۳^{b}	۹/۶۱±۰/۴۵^{a}	۱۶/۴۵**

Clay= رس، Silt= سیلت، Sand= شن، T.N.V= آهک، K= پتاسیم، N= نیتروژن، O.C= کربن آلی، E.C= هدایت الکتریکی، Ca= کلسیم، SP= رطوبت اشباع، B. density= وزن مخصوص،**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ns: بدون اختلاف معنی‌دار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای خاکی با مشخصه‌های جنگل‌شناسی آشکوب فوقانی نشان داد که مقادیر نیتروژن، کربن آلی و پتاسیم دو عمق و رطوبت اشباع عمق اول با ارتفاع تاج‌پوشش همبستگی مثبت معنی‌داری نشان می‌دهد. حال آنکه مقادیر pH خاک دو عمق با ارتفاع تاج‌پوشش همبستگی منفی معنی‌داری نشان داد. به‌عبارتی این متغیرها با ارتفاع تاج‌پوشش و به تبع آن با میزان لاشریزه تولیدی همبستگی دارند. این در حالی است که همبستگی معنی‌داری بین مقادیر تراکم و متغیرهای خاکی اندازه‌گیری شده مشاهده نگردید (جدول ۴).

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین مشخصه‌های جنگل‌شناسی با برخی متغیرهای خاکی عمق‌های اول (۱۰-۰ cm) و دوم (۳۰-۱۰ cm)
Table 4. Pearson correlation between silvicultureal characteristics with some edaphic factors in first (0-10 cm) and second depths (10-30 cm)

متغیر	متغیرهای خاکی عمق اول: SP (%)	pH (-)	O.C (%)	N (%)	K (Mg.kg^{-1})	متغیرهای خاکی عمق دوم: SP (%)	pH (-)	O.C (%)	N (%)	K (Mg.kg^{-1})
تراکم (تعداد در قطعه نمونه)	-۰/۳۱	۰/۲۲	-۰/۳۶	-۰/۳۷	-۰/۳۴	-۰/۱۶	۰/۰۶	-۰/۲۳	-۰/۳۳	-۰/۳۴
ارتفاع تاج‌پوشش (متر)	۰/۶۶**	-۰/۵۶**	۰/۶۴**	۰/۸۱**	۰/۸**	۰/۱۱	-۰/۴۷*	۰/۶۷**	۰/۸۵**	۰/۷۸**

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

همان‌گونه که گفته شد تمامی قطعات نمونه در واحدهای رویشی نسبتاً همگنی برداشت شده‌اند لذا می‌توان گفت که نوع گونه آشکوب فوقانی و ویژگی‌های جنگل‌شناسی آن از مهمترین علل تغییرات در متغیرهای خاکی است (جدول ۲). بر این اساس و طبق نتایج اختلاف معنی‌داری در مقایر pH خاک تیپ‌های جنگلی زاگرس میانی مشاهده شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان pH دو عمق در خاک تیپ‌های جنگلی گلابی وحشی و دارمازو و کمترین میزان بدین لحاظ در خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی مشاهده شد. در واقع از آنجا که خاک‌های اکثر مناطق کوهستانی زاگرس روی تشکیلات آهکی شکل گرفته است، لذا دور از انتظار نبود که خاک تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه ضمن داشتن pH بالا، فاقد اختلاف معنی‌دار در مقادیر آهک و کلسیم خاک باشند (۵۵). در تائید این نتایج اولیایی و همکاران (۳۹) در بررسی تاثیر گونه بلوط بر اسیدیته خاک بیان داشتند که حضور گونه بلوط ایرانی موجب کاهش معنی‌دار pH در افق‌های سطحی و زیرین خاک مناطق مورد مطالعه شده است. همچنین مهدی‌فر و همکاران (۳۳) در بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر

ویژگی‌های کمی دارمازو منطقه شینه قلائی بیان داشتند مهمترین جزء مواد خنثی شونده خاک‌های منطقه آهک است که مقدار آن در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرین است. جریان دی‌اکسیدکربن خاک یا به اصطلاح تنفس خاک از مهم‌ترین فرایندهای چرخه کربن اکوسیستم است که در نتیجه تجزیه مواد آلی (معدنی شدن)، تنفس ریشه و ریزوسفر یا تنفس میکروبی خاک ایجاد می‌گردد (۲). محققان گزارش کردند که حدود۳۰ تا ۵۰ درصد از گاز CO_2 رها شده در فرایند تنفس خاک از تنفس ریشه و بقیه آن از تنفس ریز جانداران خاکزی آزاد می‌شود (۱). بر این اساس به‌نظر می‌رسد که به‌واسطه بیشتر بودن ارتفاع تاج‌پوشش در تیپ جنگلی بلوط ایرانی، مقدار ماده آلی بیشتری به خاک بر می‌گردد. همچنین از آنجا که جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شدیداً وابسته به مقدار کربن و ماده آلی خاک هستند (۱۸)، بنابراین در نتیجه این افزایش ماده آلی ورودی به خاک، فعالیت زی‌توده میکروبی در بوم‌سازگان‌های جنگلی افزایش و به‌دنبال آن میزان تولید دی‌اکسیدکربن و اسیدکربنیک (تنفس میکروبی) بیشتر شده است (۲۷). نهایتاً این امر با افزایش حلالیت کربنات کلسیم خاک می‌تواند منجر به کاهش pH خاک در تیپ جنگلی بلوط ایرانی شده باشد. وجود همبستگی منفی بالا بین میزان pH خاک و ارتفاع تاج‌پوشش از یک طرف و همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان کربن آلی خاک و ارتفاع تاج‌پوشش از طرف دیگر، می‌تواند این موضوع را تائید نماید. در این راستا هینسینگر و همکاران (۲۰) نیز بیان داشتند که تولید CO_2 در نتیجه تنفس ریشه می‌تواند اسیدیته یک خاک آهکی را از ۸/۳ به ۶/۷ کاهش دهد.

از نظر عناصر غذایی خاک بیشترین میزان کربن آلی، نیتروژن و پتاسیم در خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی و کمترین مقدار در خاک تیپ‌های گلابی وحشی و بلوط دارمازو مشاهده گردید. در تائید این نتایج محققان در مطالعه تاثیر درختان بلوط ایرانی بر برخی ویژگی‌های خاک بیان داشتند که درختان بلوط ایرانی در اکثر موارد موجب افزایش معنی‌داری در مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم تبادلی، هدایت الکتریکی، آهن، منگنز و روی خاک می‌شوند (۳۹). در این ارتباط واضح است که لاشبرگ و فرایند تجزیه آن مسیر اصلی انتقال عناصر غذایی و کربن آلی به خاک هستند (۷). از طرفی مرور منابع مختلف نشان می‌دهد تجمع ماده آلی در خاک تحت تأثیر نوع و ترکیب گونه‌های موجود در آشکوب فوقانی جنگل (۴۵) و یا به‌عبارتی تحت‌تأثیر تیپ جنگل قرار می‌گیرد (۴۸). بر این اساس و با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در مقادیر ارتفاع تاج‌پوشش و همچنین وجود همبستگی مثبت بین ارتفاع تاج‌پوشش و میزان کربن آلی خاک می‌توان گفت که بالا بودن کربن آلی در خاک تیپ‌های جنگلی بلوط ایرانی به‌واسطه ارتفاع بیشتر تاج‌پوشش بلوط ایرانی است. از طرفی مطالعات نشان داده که مقدار کربن آلی لاشبرگ بلوط ایرانی به‌مراتب بیشتر از مقدار کربن آلی برگ دیگر گونه‌های زاگرس مرکزی است (۲۵). بدیهی است که این امر نیز نقش مهمی در بالا بودن کربن آلی خاک در تیپ بلوط ایرانی دارد. از طرفی دیگر غلظت نیتروژن خاک همبستگی مثبت بالایی با غلظت کربن آلی خاک داشته و الگوی غلظت آن به‌شدت تحت‌تاثیر غلظت ماده آلی ورودی به خاک قرار می‌گیرد (۹). به‌طوری‌که در اغلب بوم‌سازگان‌های طبیعی، تجزیه مواد آلی، بیش از ۹۰٪ عناصر غذایی (مثل نیتروژن و فسفر) مورد نیاز گیاهان را تولید می‌کند (۳۱). بر این اساس می‌توان گفت که به‌واسطه ارتفاع بیشتر تاج‌پوشش در تیپ بلوط ایرانی ماده آلی ورودی به خاک بیشتر و به‌دنبال آن غلظت نیتروژن در خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی افزایش یافته است. بالا بودن میزان پتاسیم خاک در خاک تیپ‌های جنگلی بلوط ایرانی پیش از این نیز تائید شده بود. به‌طوری‌که اولیایی و همکاران (۳۹) در مطالعه تاثیر درختان بلوط ایرانی بر برخی ویژگی‌های خاک بیان داشتند پتاسیم خاک تحت تأثیر پوشش درخت بلوط ایرانی افزایش معنی‌داری را در تمامی مناطق و تقریبًا همه اعماق نشان می‌دهد. ایشان دلایل افزایش قابل ملاحظه پتاسیم در خاک رویشگاه‌های بلوط ایرانی را به آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار یا آزاد شدن آن طی فرایند تجزیه لاشبرگ ارتباط داد. در واقع از آنجا که گونه‌های درختی می‌توانند میزان ورودی و خروجی عناصر غذایی خاک را تحت‌تأثیر قرار دهند (۴۳)، لذا به‌نظر می‌رسد بالا بودن میزان ماده آلی ورودی به خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی (به‌واسطه ارتفاع تاج‌پوشش بیشتر) مهمترین علت افزایش پتاسیم خاک این تیپ جنگلی باشد (۱۰). زیرا اقلیم و سنگ بستر تقریبا مشابه باعث شده آزاد شدن پتاسیم از کانی‌های پتاسیم‌دار تحت‌تأثیر هوازدگی در تیپ‌های مورد مطالعه کمتر دست‌خوش تغییر باشد. وجود همبستگی مثبت معنی‌دار مقدار پتاسیم خاک با ارتفاع تاج‌پوشش می‌تواند دلیلی بر این موضوع باشد. بررسی نتایج رطوبت اشباع خاک تیپ‌های جنگلی نیز حاکی از بالا بودن میزان این متغیر در تیپ جنگلی بلوط ایرانی بود. میزان رطوبت اشباع خاک بیانگر توان خاک در نگهداری رطوبت خاک به‌مدت طولانی و در اختیار گیاه گذاشتن آن در مواقع خشک است. بر اساس مطالعات، افزایش ماده آلی ورودی به خاک سبب افزایش رطوبت اشباع خاک می‌شود (۴۷). این امر نشان می‌دهد که بالا بودن میزان رطوبت اشباع خاک در تیپ جنگلی بلوط ایرانی در نتیجه بالا بودن ماده آلی ورودی به خاک این تیپ است.

در مطالعه حاضر تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه از نظر ترسیب کربن خاک نیز اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. بدین‌معنی که خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی نسبت به دو تیپ دیگر مقدار بیشتری از کربن را در عمق‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک خود ترسیب کرده است (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین و اشتباه معیار ترسیب کربن در عمق اول (۱۰-۰ cm) و دوم (۳۰-۱۰ cm) خاک تیپ‌های جنگلی

Table 5. Comparison of mean and standard error of carbon sequestration in the first (0-10 cm) and second depth (10-30 cm) of forest types

ترسیب کربن	تیپ جنگلی			آماره F
	گلابی وحشی	بلوط دارمازو	بلوط ایرانی	
عمق اول (۱۰-۰ cm)	۲۰۸۹۳±۳۸۶۹^{b}	۲۶۰۳۸±۴۶۳۵^{b}	۳۷۳۰۶±۱۸۴۴^{a}	۵/۳۰*
عمق دوم (۳۰-۱۰ cm)	۳۰۷۵۱±۴۷۰۷^{b}	۳۳۳۶۵±۴۴۱۳^{b}	۵۴۶۷۰±۷۶۷۶^{a}	۵/۱۳*

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج همبستگی پیرسون بین مقادیر ترسیب کربن با مشخصه‌های جنگل‌شناسی آشکوب فوقانی و متغیرهای خاکی نشان داد که ترسیب کربن عمق‌های اول و دوم با مقادیر رس و سیلت همبستگی منفی و با مقادیر شن، رطوبت اشباع خاک، کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم و ارتفاع تاج‌پوشش همبستگی مثبت دارد (جدول ۶).

جدول ۶- همبستگی پیرسون بین ترسیب کربن عمق‌های اول (۱۰-۰ cm) و دوم (۳۰-۱۰ cm) با مشخصه‌های آشکوب فوقانی و متغیرهای خاکی

Table 6. Pearson correlation between carbon sequestration of first (0-10 cm) and second depths (10-30 cm) with silvicultureal characteristics and edaphic factors

ترسیب کربن	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	SP (%)	pH (-)	O.C (%)	N (%)	K ($Mg.kg^{-1}$)	تراکم (پلات/تعداد)	ارتفاع تاج‌پوشش (m)
عمق اول (۱۰-۰ cm)	-۰/۲۷	-۰/۴۹*	۰/۴۵*	۰/۴۵*	-۰/۱۵	۰/۹۱**	۰/۵۱*	۰/۴۵*	-۰/۳۰	۰/۴۷*
ترسیب کربن	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	SP (%)	pH (-)	O.C (%)	N (%)	K ($Mg.kg^{-1}$)	تراکم (پلات/تعداد)	ارتفاع تاج‌پوشش (m)
عمق دوم (۳۰-۱۰ cm)	-۰/۴۹*	-۰/۶۳**	۰/۶۲**	۰/۴۲*	-۰/۱۰	۰/۹۴**	۰/۷۰**	۰/۷۴**	-۰/۲۹	۰/۵۸**

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد

همانند دیگر متغیرهای معنی‌دار میزان ترسیب کربن خاک در عمق‌های اول و دوم تیپ بلوط ایرانی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو تیپ دیگر است. از آنجاکه تمامی قطعات نمونه در واحدهای رویشی نسبتا همگنی برداشت شده‌اند لذا می‌توان گفت که نوع و ویژگی‌های جنگل‌شناسی گونه آشکوب فوقانی از مهمترین علل تغییرات در مقدار ترسیب کربن خاک است. بر اساس مطالعات تغییر در مقدار ترسیب کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد (۱۳). از آنجا که درصد تاج‌پوشش مناطق مورد مطالعه تقریبا یکسان بود لذا به‌نظر می‌رسد به‌واسطه ارتفاع تاج‌پوشش بیشتر در تیپ بلوط ایرانی مقدار ورودی ماده آلی به خاک افزایش یافته و این امر با افزایش کربن آلی خاک باعث افزایش ترسیب کربن خاک شده است. همبستگی مثبت بین ارتفاع تاج‌پوشش با مقادیر کربن آلی و ترسیب کربن می‌تواند گواهی بر این ادعا باشد (جداول ۴ و ۶). همچنین بالا بودن مقدار کربن آلی لاشبرگ بلوط ایرانی نسبت به لاشبرگ دیگر گونه‌های زاگرس مرکزی می‌تواند دیگر عامل توجیه‌کننده این امر باشد (۲۵). این موضوع به‌وضوح نشان می‌دهد که گونه بلوط ایرانی به‌واسطه داشتن ارتفاع تاج‌پوشش بیشتر و کربن آلی بیشتر لاشبرگ، گونه بهتری برای ترسیب کربن پایدار در خاک معدنی است. از طرف دیگر در مطالعه حاضر ترسیب کربن خاک بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار را با مقادیر شیمیایی کربن آلی، نیتروژن و پتاسیم نشان داد (جدول ۶). در این راستا هنگل و همکاران (۱۹) نیز مهمترین عامل مؤثر در نوسان ترسیب کربن خاک‌های جنگلی را میزان نیتروژن خاک بیان کرد. چرا که لاشبرگ‌هایی با میزان بالای نیتروژن سبب افزایش نرخ تجزیه و در نتیجه باعث افزایش ذخیره کربن خاک می‌شود (۲۶). در این مطالعه نیز همانگونه که گفته شد بیشترین میزان همبستگی بین مقادیر ترسیب کربن با نیتروژن و کربن آلی خاک مشاهده گردید. همچنین در مرور منابع مشاهده می‌شود که بین کربن آلی و رس خاک‌های جنگلی همبستگی مثبتی وجود دارد، بدین معنا که با افزایش درصد رس میزان کربن آلی و به‌دنبال آن میزان ترسیب کربن خاک افزایش می‌یابد (۱۷). بر عکس در این مطالعه ترسیب کربن با مقادیر رس و سیلت همبستگی منفی و با شن همبستگی مثبت داشت (جدول ۶). در تائید این نتیجه مطالعه کوچ و همکاران (۲۹) نیز نشان دادند که با افزایش درصد شن بر مقدار ذخیره کربن خاک افزوده می‌شود (همبستگی مثبت) و با افزایش میزان رس و آهک میزان ترسیب کربن کاهش می‌یابد (همبستگی منفی). در مطالعه دیگری بایرامزاده (۵) نیز نشان داد که در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک رابطه مثبت و قوی بین ذخیره کربن خاک و درصد شن وجود دارد.

به‌طورکلی نتایج نشان داد در زاگرس میانی خاک تیپ جنگلی بلوط ایرانی نسبت به دو تیپ دیگر از بافت سبک‌تری برخوردار است. همچنین تیپ‌های جنگلی مورد مطالعه گرچه از نظر ارتفاع تاج‌پوشش آشکوب فوقانی و تراکم دارای اختلاف معنی‌داری بودند، اما ارتفاع تاج‌پوشش و نوع گونه اشکوب فوقانی مهمترین عواملی هستند که با تغییرات عناصر غذایی (نیتروژن، پتاسیم و کربن آلی)، رطوبت اشباع و ترسیب کربن خاک همبستگی مثبت و با pH خاک همبستگی منفی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در نتیجه ارتفاع بیشتر تاج‌پوشش جست‌گروه‌ها و به‌دنبال آن لاشه‌ریزی بیشتر، خاک تیپ‌های جنگلی بلوط ایرانی نسبت به خاک تیپ‌های جنگلی گلابی

وحشی و بلوط دارمازو از نظر عناصر غذایی حاصلخیزتر، از نظر ترسیب کربن و رطوبت اشباع خاک در سطح بالاتر و از نظر pH در سطح پایین‌تری است. به عبارتی با توجه به تاثیرات مثبت تائیدشده تیپ جنگلی بلوط ایرانی بر خاک می‌توان گفت که این گونه به‌واسطه ارتفاع تاج‌پوشش بیشتر و همچنین کربن بیشتر لاشبرگ گونه موثری برای تغییر در مقادیر ترسیب کربن خاک و بهبود ویژگی‌های کیفی خاک‌های جنگلی زاگرس میانی است. چنانچه قبلاً توانایی درختان بلندتر در ایجاد چرخهٔ بزرگتر از درخت- لاشبرگ- عناصر غذایی خاک تائید شده است (۲۳). بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی جنگل‌های زاگرس میانی، نقش ارتفاع تاج‌پوشش آشکوب فوقانی در بررسی‌های چرخه عناصر غذایی و ترسیب کربن مورد توجه قرار گیرد. به‌عبارتی در مطالعات سنجش از دور به‌منظور برآورد دقیقتر مقدار ترسیب کربن خاک جنگل‌های زاگرس میانی از داده‌های لیدار که قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع تاج‌پوشش را دارند استفاده شود.

منابع

1. Andrews, J.A., K.G. Harisson, R. Matamala and W.H. Schlesinger. 2000. Separation of root respiration from total soil respiration 13C labeling during Free-Air CO_2 Enrichment (FACE). Soil Science Society of America Journal, 63(5): 1429-1435.
2. Ball, B.C., A. Scott and J.P. Parker. 1999. Field N_2O, CO_2 and CH4 fluxes in relation to tillage Compaction and soil quality in Scotland. Soil and Tillage Research, 53: 29–39.
3. Barnes, B.V., D.R. Zak, S.R. Denton and S.H. Spurr. 1998. Forest ecology. John Wiley and Sons, Inc, New York, US, 774 pp.
4. Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, 47(2): 151-163.
5. .Bayramzadeh, V. 2014. Does tree species composition control the soil carbon stocks of the Hyrcanian forest in the Northern Iran? (A case study in Guilan province, Iran). Journal of Forestry Research, 25(1): 143-146.
6. Beiranvand, R., B. Shirzad, A. Azizian and A. A. Bozorgi. 2004. Chmhsar reservoir project of Delfan. Forest Rangeland and Watershed country, 105 pp (In Persian).
7. Berg, B. and C. McClaugherty. 2008. Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 338 pp.
8. Boley, J.D., P. Allan, A.P. Drew, E. Richard and R.E. Andrus. 2009. Effects of active pasture. Teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. Forest Ecology and Management, 257(11): 2254-2261.
9. Breuer, L., J.A. Huisman, T. Keller and H.G. Frede. 2006. Impact of a conversion from cropland tograssland on C and N storage and related properties: analysis of a 60 year Chrono sequence. Geoderma, 133(2): 6-18.
10. Camping, T.J., R.A. Dahlgren, K.W. Tate and W.R. Horwat. 2002. Changes in soil due to grazing and oak tree removal in California blue oak woodland. In: Sandiford, R.B., McCreary, D and Purcell, k.l. Oaks in California Changing Landscape. Berkeley, CA: USDA Forest Service General Technical Report, 184: 75-85.
11. Chen, C.R., Z.H. Xu and N.J. Mathers. 2004. Soil carbon pools in adjacent natural and plantation forests of subtropical Australia. Soil Science Society of America Journal, 68(1): 282-291.
12. Defen, K., D. Roobroeck, M.C. Wadu, P. Lootens and P. Boeckx. 2009. Microbial community composition and rhizodeposit-carbon assimilation in differently managed temperate grassland soils. Soil Biology and Biochemistry, 41(1): 144-153.
13. Dinakaran, J. and N.S. Krishnayya. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils. Current Science, 94(9): 1144-1150.
14. Durak, T. 2012. Changes in diversity of the mountain beech forest herb layer as a function of the forest management method. Forest Ecology and Management, 276: 154-164.
15. Farhadi, P., J. Soosani, K. Adeli and V. Alijani. 2014. Analysis of Zagros forest structure using neighborhood-based indices (Case study: Ghalehgol forest, Khorramabad). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(2): 294-306 (In Persian).
16. Gelman, V., V. Hulkkonen, R. Kantola, M. Nousianen, V. Nousianen and M. Poku-Marboah. 2013. Impact of Forest Management Practices on Forest Carbon, Interdisciplinary Approach to Forests and Climate Change. University of Helsinky, Helsinky, 20 pp.
17. Grüneberg, E., I. Schöning, D. Hessenmöller, E.D. Schulze and W.W. Weisser. 2013. Organic layer and clay content control soil organic carbon stocks in density fractions of differently managed German beech forests. Forest Ecology and Management, 303: 1-10.
18. Han, G., X. Hao, M. Zhao, M. Wang, B.H. Ellert, W. Willms and M. Wang. 2008. Effects of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 125(1): 21-32.
19. Hengl, T., G.B.M. Heuvelink and D.G. Rossiter. 2007. About Regression-Kriging: From equations to case studies. Computers and Geosciences, 33(10): 1301-1315.
20. Hinsinger, P., C. Plassard, C. Tang and B. Jaillard. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. Plant and Soil, 248: 43-59.

21. Huxley, A. 1992. The new RHS Dictionary of Gardening. MacMillan Press, 33-53.
22. IPCC. 2007. Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
23. Isichei, A.O. and J.I. Muoghalu. 1992. The Effects of Tree Canopy Cover on Soil Fertility in a Nigerian Savanna. Journal of Tropical Ecology, 8(3): 329-338.
24. Jafari Sarabi, H., B. Pilehvar, K. Abrari and S.M. Waez-Mousavi. 2018. Investigation on changes in vegetation by effects of environmental factors using conservatism species. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 25(4): 706-718 (In Persian).
25. Jafari Sarabi, H., B. Pilehvar, K. Abrari and S.M. Waez-Mousavi. 2019. Effects of tree species diversity on leaf litter decomposition and recognizing the humus forms in the central Zagros forests, Iran. Ph.D. thesis, Lorestan University, Khoramabad, IRAN, 230 pp (In Persian).
26. Jandel, R., M. Lindner, B. Bauwens, R. Baritz, F. Hageclorn, D.W. Johnson, K. Minkkinen and K.A. Byrne. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration. Geoderma, 137(3): 253-268.
27. Kara, O. and I. Bolat. 2007. The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Barton Province. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32(2): 281-288.
28. Khanhasani, M., Kh. Sagheb-Talebi, R. Akhavan and Z.h. Vardanyan. 2015. The effect of environmental factors on distribution of three oak species (*Q. brantii* Lindl. *Q. libani* Oliv and *Q. infectoria* Oliv.) In northern Zagros forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(3): 549-561 (In Persian).
29. Kooch, Y., S.M. Hosseini, C. Zaccone, H. Jalilvand and S.M. Hojjati. 2012. Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: The Darab Kola forest (north of Iran) case study. Journal of Environmental Monitoring, 14(9): 2438-2446 (In Persian).
30. Koorem, K. and M. Moora. 2010. Positive association between understory species richness and a dominant shrub species (*Corylus avellana*) in a boreonemoral spruce forest. Forest Ecology and Management, 260(8): 1407-1413.
31. Lambers, H., J.A. Raven, G.R. Shaver and S.E. Smith. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. Trends in Ecology & Evolution, 23(2): 95-103.
32. Lovett, G.M., K.C. Weathers and M.A. Arthur. 2002. Control of nitrogen loss from forested watersheds by soil carbon: nitrogen ratio and tree species composition. Ecosystems, 5(7): 712-718.
33. Mehdifar, D., R. Karamian, Kh. Sagheb-Talebi and M. Sepahvand. 2015. Effects of some physical and chemical soil properties on quantitative characteristics of *Quercus infectoria* Oliv at Shine Forest of Lorestan Province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(2): 234-245 (In Persian).
34. Moslemi Seyed Mahalle, S.M., S.G. Jalali, S.M. Hojjati and Y. Kooch. 2020. The Effect of Different Forest Types on Soil Properties and Biodiversity of Grassland Cover and Regeneration in Central Hyrcanian Forests (Case Study: Seri-Alandan-Sari). Ecology of Iranian Forests, 7(14): 10-21 (In Persian).
35. Nadi, H., V. Hosseini and K. Mohammadi Samani. 2018. The Effect of pear tree vegetation of chamhesar, Lorestan on Some Chemical Soil Properties. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 25(1): 167-179 (In Persian).
36. Nave, L.E., E.D. Vance, C.W. Swanston and P.S. Curtis. 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. Forest Ecology and Managemen, 259: 857-866.
37. Nijnik, M., G. Pajot, A.J. Moffat and B. Slee. 2013. An economic analysis of the establishment of forest plantations in the United Kingdom to mitigate climatic change. Forest Policy and Economics, 26: 34-42.
38. Onyekwelu, J.C., R. Mosandl and B. Stimm. 2006. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves. Nigeria Forest and Ecology and Management, 229(3): 214-227.
39. Owliaie, H.R., E. Adhami, H. Faraji and P. Fayyaz. 2011. Influence of Oak (*Quercus brantii* Lindl.) on selected soil properties of oak forests in Yasouj Region. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources Water and Soil Science, 15(56): 193-207 (In Persian).
40. Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, Th. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner. 2003. Good practices guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, Japan, 590 pp.
41. Powers, R.F., M.D. Busse, K.J. McFarlane, J. Zhang and D.H. Young. 2013. Long-term effects of silviculture on soil carbon storage: does vegetation control make a difference? Journal of Forestry, 86(1): 47-58.
42. Prentice, I.C. 2001. The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide, Climate Change 2001. The Scientific Basis IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
43. Quingkui, W., W. Silong and H. Yu. 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(3): 1210-1218.

44. Salehi, A., A. Mohammadi and A. Safari. 2011. Investigation and comparison of physical and chemical soil properties and quantitative characteristics of trees in less-damaged and damaged area of Zagross forests (Case study: Poldokhtar, Lorestan province). Iranian Journal of Forest, 3(1): 81-89 (In Persian).
45. Schulp, C.J.E., G.J. Naburus, P.H. Verburg and R.W. Waal. 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management, 256(3): 482-490.
46. Schulp, C.J.E., G. Nabuurs and P.H. Verburg. 2008. Future carbon sequestration in Europe -effects of land use change. Agriculture Ecosystems & Environment, 127(2): 251-264.
47. Silveria, M.L., N.B. Comerford, K.R. Reddy, J. Prenger and W.F. DeBusk. 2010. Influence of military land uses on soil carbon dynamics in forest ecosystems of Georgia, USA. Ecological Indicators, 10(4): 905-909.
48. Thorn, M.S., C.W. Swanston, C.C. Castanha and S.E. Trumbore. 2009. Storage and turnover of natural organic matter in soil: 219-273. In: Senesi, N., Xing, B. and Ming Huang, P. (Eds.). Biophysico-chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental System. Published by Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 784 pp.
49. Abedi, T., S. Mohammadi Limaei, A. Eslam Bonyad and J. Torkaman. 2020. Determination of Optimum Rotation Age of *Populus Deltoides* Plantation in Regard to Economic Value of Carbon Sequestration. Ecology of Iranian Forests, 8(15): 22-31(In Persian).
50. Toriyama, J., M. Hak, A. Imayaa, K. Hiraia and Y. Kiyono. 2015. Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. Forest Ecology and Management, 335: 147-155.
51. Turner, D.P., G.J. Koerper, M.E. Harmon and J.J. Lee. 1995. Carbon sequestration by forests of the United States-current status and projections to the year 2040. Tellus, 47(1): 232-239.
52. Vesterdal, L., N. Clarke, B.D. Sigurdsson and P. Gundersen. 2013. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? Forest Ecology and Management, 309: 4-18.
53. Wamelink, G.W.W., H.F. van Dobben, J.P. Mol- Dijkstra, E.P.A.G. Schouwenberg, J. Kros, W. de Vries and F. Berendse. 2009. Effect of nitrogen deposition reduction on biodiversity and carbon sequestration. Forest Ecology and Management, 258(8): 1774-1779.
54. Zarrinkafsh, M.K. 1993. Applied soil science, soil survey and soil-plant-water analysis. Tehran University Publication, Tehran, IRAN, 342 pp (In Persian).
55. Zarrinkafsh, M.K. 2002. Forestry Soil (Interaction of Soil and Plants Regarding Ecological Factors Forests Ecosystems), Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, IRAN, 361 pp (In Persian).
56. Badehian, Z., M. Mansoori, M. Foshat and S.M. Hosseini. 2016. Investigation on the soil carbon sequestration in natural forest and different plantation types (case study: Chamestan forest, Mazandaran). Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources), 69(3): 523-534 (In Persian).

Changes in Carbon Sequestration and some Edaphic Traits in Forest Types of CEntral Zagros (Case Study: The forests of Lorestan Province)

Hamzeh Jafari Sarabi[1], Babak Pilehvar[2], Kambiz Abrari[3] and Seyed Mohammad Waez-Mousavi[4]

1- Ph.D. of silviculture and Forest Ecology, Agriculture Faculty, Lorestan University, Khorramabad, I.R. Iran
2- Associate Professor, Department of Forestry, Agriculture Faculty, Lorestan University, Khorramabad, I.R. Iran (Corresponding author: pilehvar.b@lu.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Forestry, Agriculture Faculty, Lorestan University, Khorramabad, I.R. Iran
4- Assistant Professor, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran
Received: 13 January, 2020 Accepted: 13 September, 2020

Abstract

Tree species through litter fall have the most important effect on soil properties and play a fundamental role in the carbon cycle and nutrient release. This study aimed to investigate the corelation between tree species and changes in carbon sequestration and some soil properties in the forest types of central Zagros The tree species features in the Persian oak, Aleppo oak, and Wild pear forest types were measured by 24 plots of 500 m^2 (20×25 m) and soil properties were determined (at two depths of 0-10 & 10-30 cm) by 48 combined sample. Data on tree features, soil properties, and carbon sequestration variables were analyzed and compared by one-way ANOVA. Based on the results, unlike crown height and tree density, canopy area showed no significant difference. Significant differences among forest types were also observed in carbon sequestration, soil texture, N, OC, K, pH, and saturated humidity in the 1st sampling depth but the T.N.V, C/N ratio, EC, Ca, bulk density, and saturated humidity showed no significant differences in the 2nd sampling depth. The most values of clay, silt, and pH, were seen in both Wild Pear and Aleppo oak forest types while Persian oak forest type had the most values of carbon sequestration, sand, K, N, OC, and saturated humidity in the 1st sampling depth. The crown height was the most important variable that showed significant correlation with the changes of carbon sequestration, K, pH, and saturated humidity. It is concluded that the changes in carbon sequestration and soil nutrients in Zagros forest types is mostly affected by forest types and crown height. It is suggested that to estimate carbon sequestration by remote sensing in Zagros forest, the Lidar data that able to measure crown height be applied.

Keywords: Forest type, Oak, Soil carbon sequestration, Soil physiochemical properties