فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۷، شماره ۲، صفحه ۳۴۲-۳۲۷، (۱۴۰۰)
DOI: 10.30466/jfrd.2021.121009
DOR: 20.1001.1.24763551.1400.7.2.11.4

مقالهٔ پژوهشی

بررسی ذخیره کربن خاک در پارک جنگلی لویزان تهران

مریم محمودی[۱]، الیاس رمضانی کاکرودی*[۲]، عباس بانج شفیعی[۳]، علی صالحی[۴]، مجید پاتو[۵] و امید حسین‌زاده[۶]

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (Maryammahmoodi63@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (e.ramezani@urmia.ac.ir)
۳- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)
۴- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (asalehi@guilan.ac.ir)
۵- دکتری جنگلداری، اداره منابع طبیعی شهرستان مهاباد، مهاباد، ایران. (patomajid@yahoo.com)
۶- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (o.hoseinzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۰۵

چکیده

این پژوهش در شش جنگلکاری شامل کاج تهران و سروسیمین (خالص سوزنی‌برگ)، اقاقیا و ون (خالص پهن‌برگ) و اقاقیا-ون و اقاقیا-سرو سیمین (آمیخته) در پارک جنگلی لویزان انجام شد. مقادیر کربن ذخیره‌شده در خاک اندازه‌گیری و رابطه بین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با مقدار کربن آلی خاک بررسی شد. در۶۰ نمونه خاک جمع‌آوری‌شده از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۳۰ سانتی‌متری این جنگلکاری‌ها اسیدیته، بافت، جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی و درصد کربن آلی اندازه-گیری شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کربن ذخیره‌شده در هر دو عمق خاک به‌ترتیب مربوط به تیپ‌های کاج تهران و ون است. مقدار ذخیره کربن در خاک همه زمین‌های جنگلکاری‌شده در عمق پایین (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) بیشتر بود. بیشترین مقدار ذخیره کربن در هر دو عمق مورد بررسی در جنگلکاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ به‌ترتیب در تیپ کاج و اقاقیا و در جنگلکاری‌های آمیخته، در تیپ اقاقیا-سرو سیمین مشاهده شد. همچنین نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که در بین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک، اسیدیته، جرم مخصوص ظاهری و رس و در بین مشخصات کمی درختان، قطر برابرسینه، ارتفاع و قطر تاج مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک در منطقه مورد بررسی هستند.

واژه‌های کلیدی: جنگلکاری، ذخیره کربن خاک، گرمایش جهانی، مناطق نیمه‌خشک.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۴۳۸۸۴۱۹۴

مقدمه

تغییر آب‌وهوا یکی از تهدیدهای بزرگ جهان است که از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2)، با مصرف سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی ناشی می‌شود (Loni et al., 2018). پژوهش‌های جدید نشان داده که میانگین دمای جهانی با نرخ بی‌سابقه‌ای در حال افزایش است (Zuidema et al., 2013). با آن‌که کربن یک عنصر اساسی برای زندگی بر روی زمین است، حدود نیمی از گرمای گلخانه‌ای از افزایش دی‌اکسیدکربن جو (اتمسفر) و جذب طول موج‌های بازتابی ناشی می‌شود.

مهم‌ترین منبع ذخیره‌سازی کربن در اکوسیستم‌های خشکی، پوشش گیاهی است. در جریان ترسیب کربن (carbon sequestration)، کربن موجود در هوا در ترکیبات آلی کربن‌دار در مدت زمان معین در گیاهان ذخیره می‌شود. به بیان دیگر، ترسیب کربن فرآیندی است که طی آن دی‌اکسیدکربن در جریان فتوسنتز از جو گرفته شده و در بافت‌های گیاهی به‌صورت کربوهیدرات ذخیره و سپس بخشی از آن به‌صورت کربن آلی در لاشبرگ و خاک ذخیره می‌شود. جوامع شهری بیش از ۷۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای جهان را تولید می‌کنند. انتظار می‌رود که این مقدار تا سال ۲۰۳۰ به‌دلیل افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و افزایش حجم حمل‌ونقل (ترافیک) به ۷۶ درصد افزایش یابد (Gratani et al., 2016). نواحی سبز شهری مانند پارک‌ها، باغ‌ها، زمین‌های ورزشی، درختان خیابانی و چپرهای سبز، نقش مهمی در چرخهٔ کربن شهری دارند (Svirejeva-Hopkins and Schellnhuber, 2006). گیاهان در فرآیند ترسیب کربن در جریان فتوسنتز، دی‌اکسیدکربن را به زی‌توده رو و زیر زمین انتقال می‌دهند و کربن را در ساقه، ریشه و شاخه ذخیره می‌کنند. همچنین، خاک جنگل‌های شهری مقدار زیادی از کربن آلی را قبل از انتشار آن در جو در خود ذخیره می‌کند.

بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های مختلف خاک نشان داده که مقدار کربن آلی آشکارا بیش از مشخصه‌های دیگر تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار می‌گیرد (Bejarano et al.,2010). از این‌رو انتخاب گونه یکی از گزینه‌های مدیریتی برای افزایش مقدار انباشت کربن است. بر این اساس اندازه‌گیری کربن ذخیره‌شده در خاک، در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی یکی از موضوعات مهم در نقاط مختلف دنیاست. تاکنون پژوهش‌های زیادی در داخل و خارج از کشور در این زمینه انجام شده است ومحققان زیادی بر نقش جنگلکاری در ترسیب کربن خاک تأکید کرده‌اند (Haghdoost et al., 2012).

Varamesh et al. (2010) در بررسی اثر جنگلکاری بر ترسیب کربن خاک در پارک جنگلی چیتگر تهران به این نتیجه رسیدند که اقاقیا بیشتر از کاج تهران کربن را درخاک ترسیب می‌کند. این پژوهش نشان داد که کربن آلی در عمق ۰–۱۵ سانتی‌متری خاک توده‌های جنگلکاری‌شده بیشتر از عمق ۱۵–۳۰ سانتی‌متری است (به‌جز در اراضی باز). نتیجه رگرسیون گام به گام نیز نشان داد که درصد رس و نیتروژن به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک هستند. در پژوهشی دیگر، که توده‌های دست‌کاشت سوزنی‌برگ و پهن‌برگ پارک مخمل‌کوه در خرم‌آباد از نظر ترسیب کربن خاک بررسی شد، Azadi et al. (2014) به این نتیجه رسیدند که مقدار ترسیب کربن در دو گونه سرونقره‌ای و کاج بروسیا به‌طور معنی‌داری بیشتر از ون و زیتون است. در یک پژوهش دیگر، اثرهای جنگلکاری شهری بر مقدار ترسیب کربن خاک در توده‌های اقاقیا–ون، اقاقیا و سرو نقره‌ای در دو عمق ۰–۱۵ و

۱۵-۳۰ سانتی‌متری در پارک پردیسان تهران بررسی شد (Fathi et al., 2015). در این پژوهش، بیش‌ترین مقدار ترسیب کربن در توده اقاقیا-زبان‌گنجشک مشاهده شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام کربن آلی با عوامل دیگر مورد بررسی نشان داد که درصد ماده آلی و نیتروژن خاک از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک است. Pato et al. (2017) در بررسی مقادیر وزنی ذخیره کربن و ارتباط آن با دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در چهار کاربری (جنگل بکر، جنگل حفاظتی، جنگل بهره‌برداری شده و باغی) در جنگل‌های میرآباد شهرستان سردشت (زاگرس‌شمالی) به این نتیجه رسیدند که درصد کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و درصد تخلخل بیشترین تأثیر را در مقدار ذخیره کربن دارند. Soleimani et al. (2019) در پژوهش اثرهای جنگل طبیعی و چهار جنگلکاری بر توان ذخیره کربن خاک و همچنین خصوصیات مختلف خاک در جنگل آموزشی پژوهشی دارابکلا به این نتیجه رسیدند که جنگلکاری می‌تواند نقش مهمی در جذب دی‌اکسیدکربن داشته باشد. البته عوامل مختلفی مانند گونه درختی، سن جنگلکاری، عمق خاک، شرایط رویشگاه وعملیات پرورشی جنگل می‌تواند بر ترسیب کربن تأثیرگذار باشد. در پژوهشی دیگر در چین، Liua and Li (2012) نتیجه گرفتند که مقدار ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در جنگل‌های شهری با ترکیب گونه‌ای و ساختار سنی مختلف، متفاوت است. Kulakova (2012) نیز در بررسی خود به این نتیجه رسید که گونه درختی بر مقدار کربن و نیتروژن خاک تأثیرگذار است و مقادیر کربن در مناطق جنگلی ۱/۱ تا ۶/۱ برابر بیشتر از مناطق استپی (علفزار) برآورد شد.

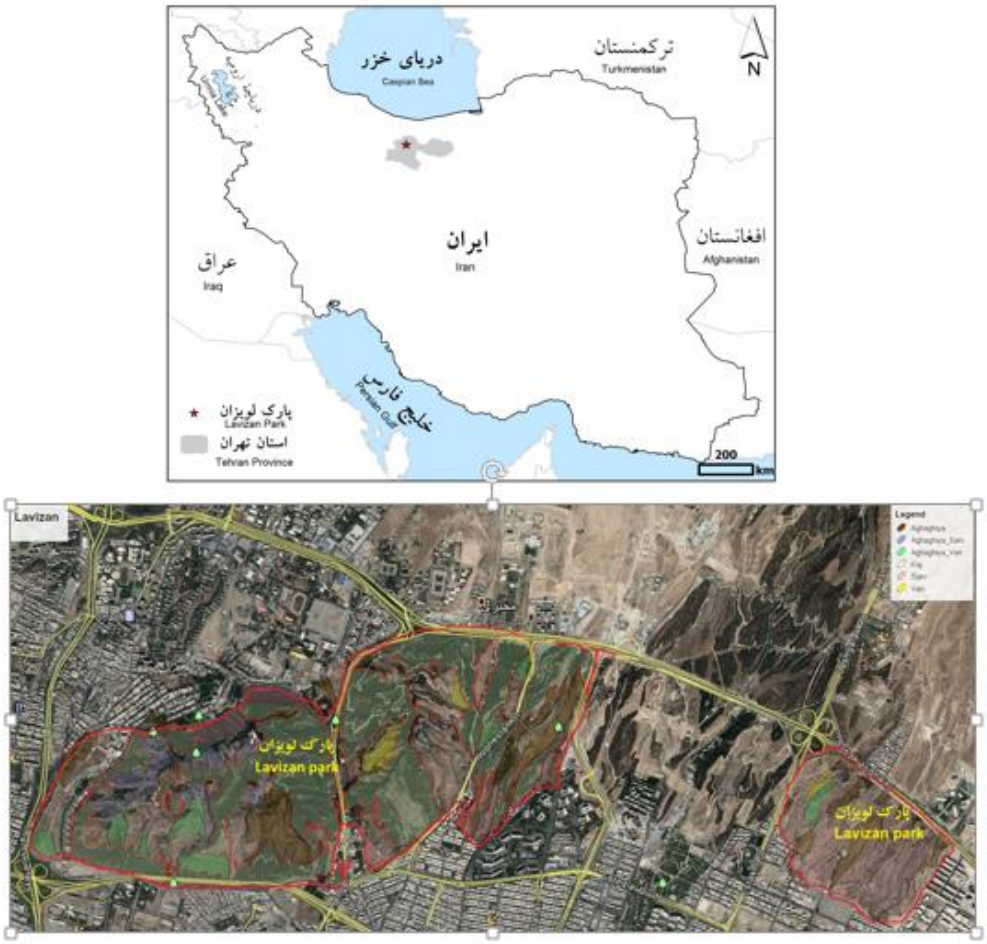
تاکنون پژوهشی درباره مقدار ذخیره کربن در خاک پارک جنگلی لویزان و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک در توده‌های مختلف جنگلی آن انجام نشده است. با توجه به اهمیت ذخیره کربن آلی خاک در کاهش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، به‌ویژه در شهرهای بزرگ مانند تهران، اندازه‌گیری ترسیب کربن در مناطق مختلف کشور داده‌های ارزشمندی را در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی قرار خواهد داد. هدف از این پژوهش مشخص کردن قابلیت مقدار ذخیره کربن خاک در تیپ‌های کاج تهران و سرو سیمین (خالص سوزنی‌برگ)، اقاقیا و ون (خالص پهن‌برگ) و اقاقیا-ون و اقاقیا-سرو (آمیخته) و مقایسه این تیپ‌ها با یکدیگر و همچنین بررسی ارتباط کربن آلی با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصه‌های کمی درختان در پارک جنگلی لویزان تهران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

پارک جنگلی لویزان (۱۵۹۰-۱۳۹۰متر از سطح دریا؛ ´´۴۴ ´۲۰ °۳۵ - ´´۴۵ ´۴۶ °۳۵ عرض شمالی؛ ´´۲۹ ´۰ °۵۱ - ´´۱۵ ´۳۴ °۵۱ طول شرقی) در سال ۱۳۴۱ احداث شد. این پارک با مساحتی در حدود ۷۶۳ هکتار در شمال شرق تهران قرار دارد (شکل۱). بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد، میانگین بارش سالیانه تهران ۲۳۲ میلی‌متر است. منطقه مورد بررسی در زون ایران مرکزی قرار دارد که مهمترین تشکیلات زمین‌شناسی آن شامل سازند نئوژن بوده و عموماً شامل آبرفت‌های قدیمی هستند. در پارک لویزان درختان سوزنی‌برگ سروسیمین وکاج تهران و پهن‌برگ اقاقیا، ون و آسمان‌دار از بیشترین فراوانی برخوردار بوده و گونه‌های داغداغان، چنار، توت سفید، بید، سنجد، جوالدوز، بادام و نارون به-

صورت تک‌پایه یا لکه‌ای کاشته شده‌اند (Kiaee and Jafari, 2014).



شکل ۱- موقعیت پارک جنگلی لویزان

Figure1. Location of Lavizan Forest Park

جمع‌آوری داده‌ها

پس از بازدید مقدماتی از منطقه مورد بررسی و با توجه به مساحت تیپ‌های جنگلکاری‌شده، شش تیپ با بیش‌ترین مساحت انتخاب شد. تیپ‌های کاج تهران و سرو سیمین (خالص سوزنی‌برگ)، اقاقیا و ون (خالص پهن‌برگ) و اقاقیا-ون و اقاقیا-سرو (آمیخته) مورد ارزیابی قرار گرفت و در هر یک از تیپ‌های انتخاب- شده، پنج قطعه‌نمونه ۱۰۰ مترمربعی (۱۰×۱۰ متر) پیاده شد. ملاک انتخاب این مساحت، قرارگرفتن حداقل ۱۰ تا ۱۲ اصله درخت در هر قطعه‌نمونه بوده است. اطلاعات مربوط به قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع کل (H) و دو قطر عمود بر هم تاج درختان در قطعات نمونه به‌ترتیب با کالیپر و متر نواری معمولی اندازه‌گیری و ثبت شد.

بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که جنگلکاری بیشترین تأثیر را بر لایه‌های بالایی خاک (عمق ۰-۱۰ سانتی‌متر) می‌گذارد و از طرف دیگر مقدارکربن آلی خاک در اعماق پایین‌تر از ۳۰ سانتی‌متر ناچیز است وافزایش معنی‌داری ندارد. بر این اساس، در هر قطعه- نمونه پس از کنار زدن لایه لاشبرگ از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌های خاک برداشت شد (Gruneberg et al., 2014). برای به حداقل رساندن خطا، نمونه‌بردای به‌صورت ترکیبی انجام شد؛ به این صورت که پنج نمونه خاک از چهار گوشه و مرکز

قطعه‌نمونه برداشت و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط شدند. در مجموع ۶۰ نمونه خاک از شش توده برداشت شد.

روش آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها و جداسازی ریشه‌ها، سنگ و ناخالصی‌های دیگر، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای نمونه‌های خاک، کربن آلی خاک با روش والکلی–بلک، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری بایکاس، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک به‌ترتیب با استفاده از روش کلوخه و روش پیکنومتری و اسیدیته خاک به روش پتانسیومتری با کمک دستگاه pH متر الکترونیکی در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان تعیین شد. پس از اندازه‌گیری درصد کربن آلی در هر لایه خاک، مقدار ذخیرهٔ کربن آلی به تفکیک هر لایه، مقدار ذخیرهٔ کربن آلی با مقیاس گرم در مترمربع از طریق رابطهٔ زیر محاسبه شد (Wong et al., 2008):

رابطهٔ (۱)
$$Cc(gr/m^2)= 1000\times C(\%)\times Bd(gr/cm^3)\times e(cm)$$

در این فرمول، Cc وزن (برحسب گرم) کربن ذخیره شده در سطح یک مترمربع، C کربن آلی در عمق مشخصی از خاک، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب و e ضخامت خاک بر حسب سانتی‌متر است.

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای انجام محاسبات آماری، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای مقایسهٔ میانگین‌های خصوصیات خاک و میانگین مشخصات کمی درختان درتیپ‌های مختلف جنگلکاری‌شده و عمق‌های خاک به‌ترتیب از آزمون دانکن و آزمون تی مستقل و برای تعیین اثرهای متقابل از تحلیل واریانس دوطرفه استفاده شد. از آزمون رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کربن خاک استفاده شد. آنالیزهای آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه۲۱ انجام شد.

نتایج

مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های خاک در تیپ‌های مختلف پارک جنگلی لویزان (جدول۱) نشان داد که در هر دو عمق مورد بررسی بیشترین و کمترین مقدار ذخیره کربن به‌ترتیب مربوط به تیپ‌های کاج تهران و ون بود. در همهٔ تیپ‌های مورد بررسی، مقدار ذخیره کربن در عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متری از عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری خاک بیشتر بود. همچنین، در هر دو عمق مورد بررسی، در بین تیپ‌های خالص سوزنی‌برگ، توده کاج، تیپ‌های خالص پهن‌برگ، توده اقاقیا، و تیپ‌های آمیخته، توده اقاقیا–سرو بیشترین ذخیره کربن را داشتند. در عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری خاک اختلاف آماری معنی‌داری بین تمامی تیپ‌های جنگلکاری‌شده مشاهده نشد و در عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متری خاک، بین تیپ‌های کاج، سروسیمین، اقاقیا–سرو و اقاقیا با تیپ ون اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

تحلیل واریانس دو طرفه ویژگی‌های مورد بررسی (جدول ۲) نیز نشان داد که همه ویژگی‌های خاک به‌جز جرم مخصوص ظاهری در بین تیپ‌های مورد بررسی معنی‌دار بودند. در بین دو عمق مورد بررسی تفاوت در مقدار کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، درصد رس و مقدار ذخیره کربن معنی‌دار بود. بررسی اثرهای متقابل توده و عمق نشان داد که درصد رس و ماسه و مقدار ذخیره کربن اختلاف معنی‌داری دارند.

جدول ۳ میانگین و اشتباه معیار مشخصات کمی (قطر برابر سینه، ارتفاع و میانگین قطر تاج) هر یک از درختان را در تیپ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین و اشتباه معیار برای ویژگی‌های خاک در دو بازه عمق درتیپ‌های مختلف جنگلکاری‌شده

Table 1. Mean and standard error for soil physico-chemical properties in two depth ranges under different plantation types

Sig.	F	ون *Fraxinus* sp.	سروسیمین *Cupressus arizonica*	کاج تهران *Pinus eldarica*	اقاقیا–ون *R. pseudoacacia-Fraxinus* sp.	اقاقیا–سرو سیمین *R. pseudoacac ia-C.arizonica*	اقاقیا *Robinia pseudoacacia*	عمق (سانتی متر) Depth (cm)	
0.02	3.11	8.02(±0.07) Aabc	8.05(±0.03) Aab	7.98(±0.07) Aabc	7.86(±0.04) Abc	7.82(±0.10) Ac	8.13(±0.03) Aa	0-10	اسیدیته pH
0. 02	3.15	8.19(±0.03) Aa	8.00(±0.04) Aabc	8.08(±0.10) Aab	7.78(±0.10) Ac	7.93(±0.09) Abc	8.08(±0.06) Aab	10-30	
0.32	1.22	1.66(±0.19) Aa	2.11(±0.03) Aa	2.54(±0.12) Aa	1.95(±0.04) Aa	2.32(±0.30) Aa	1.87(±0.33) Aa	0-10	کربن آلی Organic carbon (%)
0.016	3.50	0.87(±0.23) Bc	2.03(±0.41) Aab	2.19(±0.41) Aa	1.18(±0.31) Abc	2.14(±0.30) Aa	1.84(±0.10) Aab	10-30	
0.089	2.19	2.28(±0.02) Bab	2.51(±0.03) Ba	2.25(±0.07) Aab	2.14(±0.21) Ab	2.22(±0.04) Aab	2.48(±0.06) Aa	0-10	جرم مخصوص حقیقی Particle density (gr/cm3)
0.008	4.04	2.38(±0.02) Ab	2.67(±0.03) Aa	2.47(±0.10) Ab	2.49(±0.03) Ab	2.35(±0.04) Ab	2.5(±0.04) Ab	10-30	
0.50	0.89	1.44(±0.04) Aa	1.37(±0.05) Ba	1.41(±0.04) Ba	1.49(±0.04) Aa	1.36(±0.04) Aa	1.41(±0.05) Aa	0-10	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr/cm3)
0.53	0.836	1.51(±0.04) Aa	1.59(±0.05) Aa	1.61(±0.03) Aa	1.53(±0.04) Aa	1.49(±0.04) Aa	1.57(±0.07) Aa	10-30	
0.07	2.31	12.63(±0.77 Aab	12.34(±1.50) Bab	11.93(±0.95) Aab	14.85(±2.39) Aa	8.16(±3.10) Bb	7.41(±1.43) Bb	0-10	رس (درصد) Clay (%)
0.00	15.14	9.28(±1.61) Bd	20.01(±0.66) Ab	11.17(±1.80) Acd	8.18(±0.65) Bd	26.65(±3.18) Aa	15.26(±0.33) Abc	10-30	
0.92	0.27	29.20(±3.07) Aa	30.30(±1.69) Aa	27.71(±1.57) Aa	26.62(±2.43) Aa	29.84(±3.26) Aa	28.76(±2.43) Aa	0-10	لای (درصد) Silt (%)
0.013	3.65	34.83(±1.00) Aa	23.14(±1.94) Bc	27.60(±3.36) Abc	25.28(±3.50) Abc	31.18(±0.36) Aab	27.74(±0.46) Abc	10-30	
0.39	1.08	58.16(±3.82) Aa	57.62(±1.37) Aa	60.34(±0.64) Aa	58.52(±2.57) Aa	61.98(±1.47) Aa	63.81(±2.67) Aa	0-10	ماسه (درصد) Sand (%)
0.00	10.40	55.87(±0.58) Ab	56.84(±1.67) Ab	61.22(±1.57) Aab	66.53(±3.96) Aa	42.16(±4.06) Bc	56.99(±0.32) Bb	10-30	
0.50	0.88	24.17(±3.12) Aa	29.23(±5.42) Aa	35.8(±1.30) Aa	29.13(±5.35) Aa	31.63(±3.97) Ba	25.91(±5.58) Ba	0-10	ذخیره کربن Carbon storage (ton/ha)
0.02	3.38	26.81(±7.34) Ac	65.76(±14.45) Aab	71.11(±13.30) Aa	37.13(±10.52) Abc	63.65(±2.95) Aab	57.51(±1.13) Aab	10-30	

حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین میانگین عوامل اندازه‌گیری شده در عمق‌های مورد بررسی خاک است.

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین میانگین‌ها در تیپ‌های جنگلی مورد بررسی است.

Dissimilar uppercase letters refer to significant difference at 0.05 confidence level for the mean of the analysed parameters in the studied soil depths.

Dissimilar lowercase letters indicate significant difference at 0.05 confidence level for the mean of the analyzed parameters in the studied forest types.

جدول ۲- میانگین مربعات ویژگی‌های خاک در دو بازه عمق در تیپ‌های مختلف جنگلکاری همراه با اثرهای متقابل توده و عمق در پارک جنگلی لویزان براساس تحلیل واریانس دوطرفه

Table 2. Mean squares of soil physico-chemical properties in two depth ranges under different plantation types with the interaction of depth and type in Lavizan Forest Park based on two-way analysis of variance

Sig.	ذخیره کربن Carbon sequestration (ton/ha)	درصد ماسه Sand (%)	درصد لای Silt (%)	درصد رس Clay (%)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr/cm^3)	جرم مخصوص حقیقی Particle density (gr/cm^3)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	
6	2183.143**	930.253**	492.473**	122.182**	0.018	0.178**	3.595**	0.294**	تیپ Type
1	6659.875**	40.59	23.14	125.05**	0.401**	0.502**	3.367**	0.056	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)
6	875.970**	248.893**	44.409	203.559**	0.015	0.027	0.379	0.032	تیپ × عمق Type × Depth

**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱.

**Significant difference at 0.01 confidence level.

جدول ۳- میانگین و اشتباه معیار مشخصات کمی درختان درتیپ‌های مختلف جنگلکاری در پارک جنگلی لویزان

Table 1. Mean and standard error for quantitative characteristics of different plantation types in Lavizan Forest Park

Sig.	F	ون *Fraxinus* sp.	سرو سیمین *Cupressus arizonica*	کاج تهران *Pinus eldarica*	اقاقیا–ون *R. pseudoacacia-Fraxinus* sp.	اقاقیا–سرو سیمین *R. pseudoacac ia-C. arizonica*	اقاقیا *Robinia pseudoacacia*	
0.00	185.75	11.16(±0.25)^{c}	14.79(±0.32)^{b}	18.07(±0.35)^{a}	10.67(±0.26)^{c}	11.21(±0.34)^{c}	6.34(±0.1)^{d}	قطر برابرسینه (سانتی‌متر) DBH (cm)
0.00	343.58	3.49(±0.06)^{d}	6.73(±0.13)^{b}	8.34(±0.16)^{a}	3.59(±0.07)^{d}	5.30(±0.17)^{c}	2.49(±0.04)^{e}	ارتفاع درخت (متر) Tree height (m)
0.00	149.95	2.04(±0.03)^{d}	3.32(±0.063)^{a}	2.71(±0.05)^{b}	2.08(±0.03)^{d}	2.44(±0.07)^{c}	1.58(±0.02)^{e}	میانگین قطر تاج (متر) Mean crown diameter (m)

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بین میانگین‌ها در تیپ‌های جنگلی مورد بررسی است.

Dissimilar lowercase letters indicate significant difference at 0.05 confidence level for the mean of the analysed parameters in the studied forest types.

در جدول۴، ضرایب متغیرهای مستقل در هریک از مدل‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، متغیرهای اسیدیته، درصد رس و جرم مخصوص ظاهری خاک (ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیایی خاک) و متغیرهای قطر برابرسینه، ارتفاع و میانگین قطر تاج (مشخصات کمی درختان) به‌دلیل داشتن ضریب بتا بالا در تمامی مدل‌های تیپ‌ها نسبت به متغیرهای دیگر در مدل رگرسیونی از اهمیت بالایی برخوردار بودند. به این ترتیب مشخص شد که اسیدیته، درصد رس و جرم مخصوص ظاهری خاک (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) و قطر برابرسینه، ارتفاع و میانگین قطر تاج (مشخصات کمی درختان) ، بهترین متغیرها برای پیشگویی متغیر وابسته (کربن آلی) بودند.

مدل کلی با استفاده از رگرسیون گام به گام (جدول ۵) نشان داد که از بین متغیرهای اندازه‌گیری شده خاک و مشخصات کمی درختان، قطر برابر سینه درختان مؤثرترین متغیر در پیش‌بینی درصد کربن آلی خاک در کل پارک لویزان بود.

جدول ۴- ضرایب متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی کربن آلی (متغیر وابسته) در تیپ‌های جنگلکاری مختلف در پارک جنگلی لویزان براساس رگرسیون گام به گام

Table 5. Coefficients of independent variables to predict the organic carbon (dependent variable) under different plantation types in Lavizan Forest Park based on stepwise regression

تیپ جنگلکاری Plantation type	عمق خاک Soil depth	R^2تعدیل‌یافته Adjusted R square	متغیرهای مستقل Independent variables	ضرایب استانداردنشده Unstandardised coefficients		ضرایب استانداردشده Standardised coefficients	t	Sig.
				B	اشتباه معیار Std. error	Beta		
اقاقیا *Robinia pseudoacacia*	10-30	0.991	(مقدارثابت) (Constant)	7.258	0.683		10.624	0.009
			اسیدیته خاک pH	-0.377	0.082	-0.222	-4.618	0.044
			جرم مخصوص ظاهری (گرم/سانتی‌متر مکعب) Bulk density (gr/cm3)	-1.501	0.072	-1.000	-20.81	0.002
اقاقیا-سرو سیمین *R. pseudoacacia- C. arizonica*	۱۰-۰	0.993	(مقدار ثابت) (Constant)	-3.158	0.299		-10.550	0.009
			میانگین قطر تاج Mean crown diameter (m)	2.001	0.101	1.420	19.882	0.003
			رس (درصد) Clay (%)	0.060	0.007	0.616	8.628	0.013
	10-30	0.904	(مقدار ثابت) (Constant)	0.952	0.194		4.898	0.016
			میانگین قطر تاج Mean crown diameter (m)	0.477	0.077	0.963	6.216	0.008
اقاقیا-ون *R. pseudoacacia- Fraxinus* sp.	0-10	0.703	(مقدار ثابت) (Constant)	-3.603	1.728		-2.085	0.128
			قطر برابرسینه DBH (cm)	0.488	0.151	0.882	3.235	0.048

ادامهٔ جدول ۴.

Continued table 4.

Sig.	t	ضرایب استانداردشده Standardised coefficients	ضرایب استانداردنشده Unstandardised coefficients		متغیرهای مستقل Independent variables	R^2تعدیل‌یافته Adjusted R square	عمق خاک Soil depth	تیپ جنگلکاری Plantation type
		Beta	اشتباه معیار Std. error	B				
0.003	18.32		0.059	1.078	(مقدار ثابت) (Constant)	0.996	0-10	کاج تهران *Pinus eldarica*
0.012	8.92	0.466	0.02	0.175	میانگین قطر تاج (متر) Mean crown diameter (m)			
0.008	11.38	0.594	0.009	0.10	ارتفاع درخت Height (m)			
0.182	-1.731		0.924	-1.6	(مقدار ثابت) (Constant)	0.805	10-30	
0.025	4.184	0.924	0.045	0.19	قطر برابرسینه DBH (cm)			
0.006	-13.372		0.049	-0.661	(مقدار ثابت) (Constant)	0.999	0-10	سروسیمین *Cupressus arizonica*
0.014	-8.275	-0.074	0.002	-0.019	رس (درصد) Clay (%)			
0.000	107.842	0.962	0.002	0.188	قطر برابر سینه DBH (cm)			
0.021	4.448		14.652	65.17	(مقدار ثابت) (Constant)	0.815	10-30	
0.023	-4.309	-0.928	1.830	-7.88	اسیدیته خاک pH			
0.004	-8.247		2.379	-19.61	(مقدارثابت) (Constant)	0.952	0-10	ون *Fraxinus* sp.
0.003	8.947	0.982	0.296	2.65	اسیدیته خاک pH			
0.05	-3.17		0.646	-2.046	(مقدارثابت) (Constant)	0.833	10-30	
0.02	4.57	0.935	0.058	0.265	قطربرابرسینه DBH (cm)			

جدول ۵- ضرایب متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی کربن آلی (متغیر وابسته) در کل پارک جنگلی لویزان براساس رگرسیون گام به گام

Table 5. Coefficients of independent variables to predict the organic carbon (dependent variable) in the whole Lavizan Forest Park based on stepwise regression.

متغیرهای مستقل Independent variables	R^2تعدیل‌یافته Adjusted R square	ضرایب استانداردنشده Unstandardised coefficients		ضرایب استانداردشده Standardised coefficients	t	Sig.
		B	اشتباه معیار Std. error	Beta		
(مقدارثابت) (Constant)	0.345	0.746	0.217		3.440	0.001
قطربرابرسینه (سانتی‌متر) DBH (cm)		0.088	0.016	0.597	5.661	0.000

بحث

بسیاری از پژوهش‌های اخیر (Varamesh et al., 2010، Hopmans and Elms, 2009، Rossi et al., 2009، Wauthers et al., 2008، Bordbar and Jahromi, 2006)، نشان داده‌اند که جنگلکاری قابلیت زیادی در ذخیره کربن خاک دارد. نتایج این پژوهش (جدول ۱) نیز نشان داد که جنگلکاری سبب افزایش ذخیره کربن خاک می‌شود. تفاوت‌های مشاهده‌شده در مقدار کربن موجود در خاک‌های مورد بررسی در این پژوهش، نشانه بارز تأثیرگونه‌های مورد استفاده در جنگلکاری بر مقدار ذخیره کربن است. این موضوع نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف توانایی متفاوتی در بازسازی خاک اکوسیستم از طریق تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تعامل با دیگر اجزای اکوسیستم دارند. Dinakaran and krishnayya (2008) معتقدند که نوع پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مقدار ذخیره کربن خاک می‌گذارد؛ به‌طوری‌که تغییر در مقدار ذخیره کربن خاک، به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدررفت کربن از راه تجزیه بستگی دارد. نتایج تحقیقات Mahmoudi Taleghani et al. (2007) هم نشان داد که موجودی سرپای جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار بر ترسیب کربن است.

در این پژوهش، ذخیره کربن در تیپ کاج تهران بیشتر از تیپ‌های دیگر بود (جدول ۱). به‌نظر می‌رسد که تجمع لاشبرگ در سطح خاک و حفاظت بیشتر سوزنی‌برگان از خاک، تأثیر چشمگیری در جلوگیری از هدررفت کربن دارد. همچنین گونه‌های سوزنی‌برگ تندرشدتر و دارای سطح برگ بیشتری نسبت به گونه‌های پهن برگ هستند. بنابراین، در منطقه مورد بررسی مقدار ذخیره کربن خاک در تیپ‌های سوزنی‌برگ در مقایسه با پهن‌برگ بیشتر بوده است. Nobakht et al. (2011) در پژوهشی با هدف مقایسهٔ مقدار ذخیره کربن خاک در جنگلکاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در طرح جنگلداری دهمیان، مازندران به این نتیجه رسیدند که مقدار ذخیره کربن در خاک سوزنی‌برگان بیشتر از پهن‌برگان است. درحالی‌که، Varameshet al. (2010) در بررسی تأثیر جنگلکاری در افزایش ذخیره کربن و بهبود ویژگی‌های خاک در پارک چیتگر تهران نتیجه گرفتند که کربن ذخیره‌شدهٔ خاک در توده اقاقیا بیشتر از توده کاج تهران بود که علت این موضوع را به‌دلیل بالا بودن نیتروژن خاک در

توده اقاقیا نسبت به توده کاج تهران دانسته‌اند. از طرف دیگر در پارک چیتگر تهران، توده اقاقیا نسبت به توده کاج از زی‌توده بالاتری برخوردار بود که این امر به بیشتر بودن زی‌توده ریشه و افزایش ذخیره کربن در خاک این تیپ نسبت داده شد.

در بین سوزنی‌برگان مقدار ذخیره کربن در هر دو عمق مورد بررسی، در تیپ کاج بیشتر از تیپ سرونقره‌ای بود (جدول ۱) که علت آن را می‌توان به بیشتر بودن ضخامت لاشبرگ در تیپ کاج در منطقه مورد بررسی دانست. مقدار ذخیره کربن در هر دو عمق مورد بررسی، در تیپ آمیخته اقاقیا–سرو بیشتر از تیپ آمیخته اقاقیا–ون بود (جدول ۱). Cannel (1993) and Dewar در بررسی خود در جنگل‌های اسکاتلند به این نتیجه رسیدند که گونه‌های سوزنی‌برگ موجب افزایش تراکم لاشبرگ در سطح خاک و به‌عبارتی موجب افزایش کربن آلی خاک می‌شود. وارد کردن سوزنی‌برگان در توده‌های پهن‌برگ موجب افزایش کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک می‌شود، زیرا خاک در توده‌های سوزنی‌برگ اسیدی‌تر از توده‌های پهن‌برگ است. Augusto et al. (2002) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سوزنی‌برگان سبب کاهش pH خاک می‌شوند. بدیهی است که تغییرات pH خاک موجب تغییراتی در جذب نیتروژن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها و جذب مواد غذایی توسط درختان می‌شود و در مقدار کربن خاک تغییر ایجاد می‌کند.

در مقایسه بین پهن‌برگان در این پژوهش، مشخص شد که مقدار ذخیره کربن در خاک زیر تیپ اقاقیا بیشتر از زبان‌گنجشگ است (جدول ۱). دلیل این امر را می‌توان به قابلیت بالای گیاهان خانواده نیام‌داران (Fabaceae) در تثبیت نیتروژن و رابطه مستقیم بین ذخیره کربن و تثبیت نیتروژن نسبت داد (Aliarab et al., 2005). نتایج پژوهش Varamesh et al. (2010) در پارک جنگلی چیتگر نیز نشان داد که ترسیب کربن خاک در توده اقاقیا بیشتر از توده زبان‌گنجشگ است.

براساس جدول ۱، مقدار ذخیره کربن در تمامی تیپ‌ها در عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری خاک بود. درحالی‌که مشخص شد مقدار کربن آلی در تمامی تیپ‌ها در عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متری خاک است. ذخیرهٔ کربن کل خاک شامل اجزای فعال (مواد گیاهی تجزیه‌پذیر، مواد گیاهی مقاوم، زی‌تودهٔ میکروبی و مواد گیاهی هوموسی‌شده) و غیرفعال کربن است (Jimenez et al., 2011). بسیاری از بررسی‌ها نشان داده‌اند که کربن تجزیه شده از مواد آلی و سخت کف جنگل (شاخه‌ها، برگ‌ها، پوست و میوه) به لایه‌های سطحی خاک وارد می‌شود و سپس به‌وسیله پدیده جابه‌جایی به لایه‌های معدنی در عمق‌های پایین‌تر خاک انتقال می‌یابد و این فرآیند منجر به افزایش مقدار ذخیره کربن در لایه‌های معدنی خاک می‌شود (Peichl and Arain, 2006). همچنین، آبیاری و بارندگی، می‌تواند سبب انتقال مواد آلی کف جنگل و یا ترکیبات کربن‌دار لایه‌های سطحی به عمق‌های معدنی خاک شود. البته عوامل فیزیوگرافی، مانند شیب منطقه، هم می‌توانند تأثیرگذار باشد (Vahedi et al., 2014). Jimenez et al. (2011) بیان کردند که در خاک‌های رسی–سیلتی و به‌ویژه خاک‌هایی با درصد رس بیشتر، به‌دلیل چسبندگی ذرات خاک، حجم هدر رفت کربن در طی تبادلات، کم‌تر است و این موضوع سبب افزایش هر چه بیشتر ذخایر کربن آلی خاک می‌شود. در پارک لویزان، تیپ‌های اقاقیا، اقاقیا–سرو و سرو سیمین در عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متری خاک دارای درصد رس بیشتری نسبت به عمق ۰–۱۰ سانتی‌متری بودند و این امر بیشتربودن ذخیره کربن در عمق پایین‌تر خاک را توجیه می‌کند. Vahedi et al. (2014)

نیز در بررسی تغییرات ذخایر وزنی حوض کربن آلی خاک در ارتباط با تنوع زیستی به نتیجه مشابهی دست یافتند. همچنین، Pato et al. (2017) نشان دادند که مقدار ذخیره کربن در عمق ۰–۱۵ سانتی‌متری خاک با وجود بالابودن درصد کربن آلی در این عمق، کمتر از عمق ۱۵–۳۰ سانتی‌متر بوده است. همچنین در پژوهشی در جنگل گلبند در شمال کشور، مقدار ذخیره کربن خاک در عمق ۱۰–۳۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۰–۱۰ سانتی‌متر گزارش شد (Mahmoudi Taleghani et al., 2007).

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که اسیدیته، درصد رس و جرم مخصوص ظاهری خاک (مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک) و قطر برابر سینه، ارتفاع و میانگین قطر تاج (مشخصات کمی درختان) مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر کربن آلی خاک هستند. Skullberg (1991) با بررسی تغییرات pH در لایه‌های مختلف خاک در توده نوئل (*Picea abies*) به این نتیجه رسید که pH می‌تواند ارتباط معنی‌داری با کربن آلی خاک داشته باشد. درحالی‌که Zahedi (1998) در پژوهشی که به‌منظور مقایسه ترسیب کربن در دوتوده پهن‌برگ راش–بلوط و افرا–ون انجام داد، نتیجه گرفت که pH با برخی از عناصر خاک مانند نیتروژن رابطه معنی‌داری دارد، اما ارتباط معنی‌داری بین کربن و pH مشاهده نکرد. Varamesh et al. (2010) نیز نشان دادند که بین درصد کربن و مقدار اسیدیته خاک رابطه معنی‌داری وجود دارد. بالا بودن مقدار ذرات ریز خاک مانند رس و سیلت، که در بیشتر خاک‌های تکامل یافته دیده می‌شود، در حفظ و تثبیت کربن آلی نقش و اهمیت دارد (Muller and Hoper, 2004). خاک‌هایی با بافت ریز در مقایسه با خاک‌های درشت دانه، در درازمدت قابلیت بیشتری در ترسیب و ذخیره کربن دارند. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان‌دهنده ارتباط قطعی و معنی‌دار بین مقدار رس و کربن ذخیره‌ای خاک است (Joneidi et al., 2013). Sheidai et al. (2017) در بررسی ارتباط ذخیره کربن آلی خاک با برخی ویژگی‌های خاک در مراتع آذربایجان شرقی به این نتیجه رسیدند که رطوبت اشباع، اسیدیته، سیلت (لای)، هدایت الکتریکی و مقدار رس به‌ترتیب با ضرایب مسیر ۰/۴۴۳، ۰/۲۴۴–، ۰/۲۲۳، ۰/۲۰۴– و ۰/۱۷۵ اثر مستقیمی بر مقدار کربن آلی ذخیره‌ای خاک دارند. در پژوهشی دیگر با هدف تعیین روابط بین ذخیره کربن آلی خاک با برخی از متغیرهای رویشگاهی در توده آمیخته راش– ممرز نشان داده شد که رس، ساختمان خاک، رطوبت و حرارت خاک بیشترین سهم را در تخمین ذخیرهٔ کربن آلی خاک دارند (Moslehi et al., 2018).

بر اساس پژوهش پیش‌رو، افزون بر اسیدیته و درصد رس، جرم مخصوص ظاهری خاک هم بر درصد کربن آلی تأثیر می‌گذارد. بین جرم مخصوص ظاهری و درصد کربن آلی خاک رابطه‌ای متقابل وجود دارد؛ چنانکه افزایش مقدار مادهٔ آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری را کاهش و درصد منافذ و نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد که می‌تواند به کاهش رواناب منجر شود. با کاهش رواناب، هدررفت کربن از راه فرسایش کاهش می‌یابد (Mahmoudi Taleghaniet al., 2007). Pato et al. (2017) نیز در بررسی خود به نقش جرم مخصوص ظاهری خاک بر افزایش مقدار ذخیره کربن اشاره کردند. همچنین، Gholami et al. (2016) دریافتند که تغییر کاربری زمین‌های جنگلی به کشاورزی، موجب کاهش مقدار مواد آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها (تخریب ساختمان خاک) می‌شود که به‌نوبه خود، کاهش

تخلخل و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را در پی دارد.

نتایج این پژوهش نشان داد که قطر برابرسینه، ارتفاع و میانگین قطر تاج، متغیرهای مؤثری در تعیین کربن آلی خاک در تیپ‌های مختلف جنگلکاری در پارک جنگلی لویزان هستند (جدول۴). Mahmoudi et al. (2012) نیز نشان دادند که افزایش ارتفاع تاغ (*Haloxylon persicum*) دست‌کاشت در دشت حسین آباد استان خراسان جنوبی با مقدار کربن خاک همبستگی مثبت دارد. یافته‌های پژوهش پیش‌رو با نتایج Panahi et al. (2011) در باغ گیاهشناسی ملی ایران، که با هدف بررسی مقدار کربن خاک در زیر درختان بنه (*Pistacia atlantica*) و تأثیر قطر تاج درخت بر مقدار کربن خاک انجام شد، هم‌خوانی دارد. با افزایش سطح تاج درختان، مقدار جذب دی‌اکسیدکربن از جو بیشتر و امکان ترسیب کربن در خاک افزایش می‌یابد. از بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده خاک و مشخصات کمی درختان در کل پارک لویزان، قطر برابرسینه درختان قوی‌ترین متغیر پیش‌بینی‌کننده کربن آلی در خاک بود (جدول ۵). دلیل این امر را می‌توان در توانایی بالای درختان قطور در افزایش حاصلخیزی خاک و ایجاد چرخه بزرگ‌تر درخت–لاشبرگ–عناصر غذایی دانست (Bernhard, 1982). این یافته را می‌توان چنین تفسیر کرد که افزایش رشد قطری و ارتفاعی درختان و در پی آن افزایش لاشبرگ که منبع اصلی مواد آلیست، سبب افزایش توانایی درختان در نگهداشت و در نهایت بازگشت عناصری مانند کربن به خاک می‌شود. نتایج این پژوهش با یافته‌های Salehi et al. (2011)، که نشان دادند بین قطر برابرسینه درختان و کربن آلی خاک در مناطق کمتر تخریب‌یافته زاگرس رابطه‌ای مثبت وجود دارد، همسو است.

نتیجه‌گیری

افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه کربن در کلان–شهرهایی مانند تهران یکی از دغدغه‌های امروزی است. نتایج این پژوهش نشان داد که جنگلکاری تأثیری شگرف بر ذخیره کربن خاک دارد. از طرف دیگر، آمیختگی گونه‌ها و تیپ جنگلکاری بر مقدار ذخیره کربن در خاک بسیار مؤثر است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که این نتایج در مدیریت جنگلداری شهری مورد استفاده قرار گیرد. با شناخت گونه‌های دارای قابلیت بیشتر ذخیره کربن و همچنین بررسی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر این فرآیند، می‌توان به اصلاح و احیای اراضی از جنبه شاخص ذخیره کربن امیدوار بود. این نگرش سیستمی در اصلاح و احیای محیط زیست، ضمن تأمین حفاظت کمی و کیفی ویژگی‌های خاک، می‌تواند راهکاری مؤثر برای مقابله با آلودگی هوا وبحران تغییر اقلیم و در نهایت دست–یابی به توسعه پایدار باشد. پیشنهاد می‌شود که در مناطقی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشابه خاک، که هدف از جنگلکاری کاهش دی‌اکسید کربن جو است، از گونه کاج تهران برای مقابله با تغییر اقلیم و افزایش ذخیره کربن در خاک استفاده شود.

References

Aliarab, A.; Hoseini, M.H.; Jalali, GH., Effects of *Acer velutinum*, *Robinia pseudoacania*, *Populus balsamifera* and *Cupressus sempervirens* on some soil physico-chemical properties in eastern Haraz forestry, *Journal of water and soil* **2005**, 19, 104-116.

Azadi, A.; Hojati, S.M.; Jalilvand, H.; Naghavi, H., Investigation on soil carbon sequestration and understory biodiversity of hardwood and softwood plantations of Khoramabad city (Makhamalkoh site), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 21 (4), 702-715. (In Persian)

Bejarano, A.; Mataix-Solera, J. R.; Zornoza, C.; Guerrero, V.; Arcenegui, J.; Mataix-Beneyto, Cano-Amat, S., Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil, *European Journal of Forest Research volume* **2010**, 129, 15–24.

Bernhard, R.F., Biogeochemical cycle of nitrogen in semi-arid savanna, *Journal of Oikos* **1982**, 38: 321- 332.

DeGryze, S.; Six, J.; Paustian, K.; Morris, S. J.; Paul E. A.; Merckx, R., Soil organic carbon pool changes following land-use conversions, *Global Change Biology* **2004**, 10, 1120-1132.

Dinakaran, J.; Krishnayya, N. S. R., Variation in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic carbon in affecting sink capacity of tropical soils, *Current Science* **2008**, 94 (9), 1144-1150.

Fathi, m.; Babaei Kafakki, S.; Kiadaliri, H., Effects of afforestation on soil carbon sequestration rates in Pardisan Park of Tehran, *Renewable Natural Resources Research* **2015**, 6 (2), 1-12.

Gholami, L.; Davari, M.; Nabiollahi, Joneidi, K.; Jafari, H., Effect of land use changes on some soil physical and chemical properties (case study: Baneh), *Journal of Water and Soil Resource Conservation* **2016**, 5 (3), 13-27.

Gratani, L.; Varone, L.; Bonito, A., Carbon sequestration of four urban parks in Rome, *Urban Forestry & Urban Greening* **2016**, 19, 184–193.

Gruneberg, E.; Ziche, D.; Wellbrock, N., Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany, *Global Change Biology* **2014**, 20, 2644–2662.

Haghdoost, N.; Akbariniya, M.; Hoseini, M.; Varamesh, S., Effects of substitution of degraded natural, *Journal of Eenvironmental studies* **2012**, 38 (3), 135-146.

Jimenez, J. J.; Lal, R.; Leblanc H. A.; Russo, R. O.; Soil organic carbon pool under nativetree plantations in Caribbean lowlands of Costa Rica, *Forest Ecology and Management* **2011**, 241, 134–144.

Joneidi, H.; Azarnivand, H.; Zare Chahooki, M.A.; Jafari, M.; Nikoo, S., Study of the effects of some ecological factors and management practices on carbon sdorage in *Artemisia sieberi* species in rangelands using PCA analyze, *Journal of natural environment* **2013**, 65 (4), 451-464.

Kiaee, M.; Jafari, M., Investigation and consideration of forest tree reaction to climate and environmental changes (Case study: Lavizan forest park), *Journal of Plant Research* **2014**, 27, 130-141.

Kulakova, N., Impact of plant species on the formation of carbon and nitrogen stock in soils under semi-desert conditions, *European Journal Forest Research* **2012**, 131, 1717–1726.

Liua, X.; Li, X., Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China, *Urban Forestry & Urban Greening* **2012**, 11, 121– 128.

Loni, A.; Radnezhad, H.; Martynova-van kley, A.; Hassanvand, A.; Sadeghi, M.; Zaremanesh, H., The role of Haloxylon plantations in improving carbon sequestration potential of sand dunes of Iran, *Ecology and Environmental Research* **2018**, 16 (1), 321-333.

Mahmoudi, A.; Zahdiamire, G.H.; Adali, A., Estimates of carbon sequestration in managed forests (forest garland case study in the north), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2007**, 3,241-252. (In Persian)

Mahmoudi, A.A.; Zahedi, Gh.; Etemad, V., The investigation on the relationship between soil physical and chemical properties and succulence of natural and planted saxaul (Haloxylon spp) (Case study: Hosseinabad plain, Southern Khorasan province), *Iranian Journal of Forest* **2012**, 4 (4), 289-299.

Moslehi, M.; Habashi, H.; Rahmani, R.; Saghebtalebi, Kh., Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beechhornbeam stand, *Journal of Forest Research and Development* **2018**, 3 (4), 329-342.

Muller, T.; Hoper, H., Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications, *Soil Biol Biochem* **2004**, 36, 877–888.

Nobakht, A.; Pourmajidiyan, M. R.; Hojati, M.; Fallah, A., A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran), *Iranian Journal of Forest* **2011**, 3 (1), 13-23. (In Persian)

Pato, M.; Salehi, A.; Zahedi, G.H.; Shafiei, A., Soil carbon stock and its relationship with physical and chemical characteristics in soil

of different land-uses in Zagros region, *Journal of Forest and Wood Product* **2017**, 4: 747-756. (In Persian)

Panahi, P., Pourhashemi, M.; Hassani Nejad, M., Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of *Pistacia atlantica* in National Botanical Garden of Iran, *Iranian Journal of Forest* **2011**, 3 (1), 1-12. (In Persian)

Peichl, M.; Arain, M. A., Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an agesequence of white pine plantations in southern Onfario, Canada, *Agricultural and Forest Meteorology* **2006**, 140, 51–63.

Rossi, J., Govaerts, A.; Bruno, D.V.; Verbist, B.; Vevourt, A.; Poesen, J.; Muys B.; Deckers, J., Spatial structures of soil organic carbon in tropical forests, a case study of southeastern Tanzania, *Catena* **2009**, 77 (1), 19-27.

Sheidai Karkaj, A.; Barani, H.; Motamedi, J., Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan rangelands, *Journal of Rangeland* **2017**, 11 (2), 125-138.

Skullberg, U., Seasonal variation of pH_{H2O} and pH_{CaCL2} in centimeter- layers of mor humus in a *Picea Abies* (L.) Karst stand, *Scandinavian Journal of Forest Research* **1991**, 6, 3-18.

Soleimani, A., Hosseini, S.M.; Massah Bavani, A.R.; Jafari, M.; Francaviglia, R., The effects of tree species on soil organic Carbon and soil properties in natural forest and plantations of northern Iran (Case study: Darabkola Forest-Sari), *Journal of Environmental Science and Technology* **2019**, 21 (9), 173-183.

Svirejeva-Hopkins, A.; Schellnhuber, H., Modelling carbon dynamics from urban land conversion: fundamental model of city in relation to a local carbon cycle, *Carbon Balance and Management* **2006**, 1-8.

Varamesh, S.; Hosseini, S.M.; Abdi, N., Comparison of broad-leavedand needle-leaf species of carbon sequestration in urban forests (case studyCheetgar park Tehran), M.Sc. Thesis, Department of natural resources andmarine sciences. University of Moddaress. **2010**. 86p. (In Persian)

Vahedi, A.; Motaji, A.; Eshaghi Rad, J., Variation of soil organic carbon pool weight associated with plant biodiversity (case study: mixed-Beech forests of Glandrood in Nour), *Iranian Journal of Applied Ecology* **2014**, 3 (7), 1-12. (In Persian)

Wauters, JB.; Coudert, S.; Grallien, E.; Jonard, M.; Ponette, Q., Carbon stock in rubber tree plantations in western Gana and MatoGrosso (Brazil), *Forest Ecology and Management* **2007**, 225 (2008), 2347-2361.

Wong, V.; Murphy, B.; Koen, T.; Greene, R.; Dalal, R., Soil organic carbon stocks in saline and sodic landscapes, *Australian Journal of Soil Research* **2008**, 46, 378-389.

Zuidema, P.A.; Baker, P.J.; Groenendijk, P., Tropical forests and global change: filling knowledge gaps, *Trends in plant science* **2013**, 18, 413–419.

The study of soil carbon storage in Lavizan Forest Park, Tehran

M. Mahmoudi[1], E. Ramezani Kakroudi[*2], A. Banj Shafiei[3], A. Salehi[4], M. Pato[5] and O. Hosseinzadeh[6]

1- Ph.D. of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (Maryammahmoodi63@gmail.com)
2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (e.ramezani@urmia.ac.ir)
3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)
4- Associate Professor of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Gilan, I.R. Iran. (asalehi@guilan.ac.ir)
5- Ph.D. of Forest Sciences, Expert of Natural Resources and Watershed Management Department of Mahabad, I.R. Iran. (patomajid@yahoo.com)
6- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (o.hoseinzadeh@urmia.ac.ir)

Received: 03.08.2020 Accepted: 26.10.2020

Abstract

This study was performed in six plantations including *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* (pure coniferous), *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus* sp. (pure broadleaved) along with *R. pseudoacacia-Fraxinus* and *R. pseudoacacia-C. arizonica* (mixed) in Lavizan Forest Park. Soil carbon stock was measured and the relationship between some physico-chemical properties of soil with organic carbon was examined. Soil acidity, texture, bulk density, particle density and percentage organic carbon were measured in 60 soil samples collected from 0-10 cm and 10-30 cm depths under the plantations. According to the results, the maximum and minimum soil carbon stocks in both depths were seen in *Pinus eldarica* and *Fraxinus* types, respectively. In all plantations under consideration, carbon storage was greater at lower, i.e. 10-30 cm, soil depth. In both studied soil depths, the highest carbon storage in pure coniferous and hardwood types was respectively observed in *P. eldarica* and *R. pseudoacacia* plantations and among mixed types in *R. pseudoacacia-C. arizonica* type. Also, stepwise regression showed that of physic-chemical soil properties, pH, bulk density and clay and of quantitative characteristics of trees, DBH, hight and crown diameter were the most important factors affecting soil organic carbon in the study area.

Keywords: Global warming, Plantation, Semi-arid areas, Soil carbon storage.

[*] Corresponding author Tel: +989143884194