

تأثیر احیای جنگل با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر ویژگی‌های خاک و ذخیره کربن

(مطالعه موردی: جنگل کُلت)

خدیجه اصغری آغوزگله، حمید جلیوند^۱ و حامد اسدی

گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

سابقه و هدف: خاک به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع کربن در زیست‌کره بوده و بیش از نیمی از کربن آن در بوم‌سازگان‌های جنگلی ذخیره می‌شود. با توجه به اهمیت بخش کربن خاک، هدف از این پژوهش بررسی چگونگی تأثیر گونه‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر ذخیره‌سازی کربن خاک جنگل با توجه به قابلیت متفاوت آن‌ها در ذخیره و استفاده از مواد مغذی خاک در جنگل کُلت است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ابتدا سه توده جنگل کاری پلت، توسکا ییلاقی، زربین و یک توده جنگل طبیعی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در هر توده تعداد ده قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی (۲۰×۲۰ متر) به‌صورت انتخابی پیاده شد. همچنین در هر قطعه نمونه از چهار گوشه و مرکز آن از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر نمونه خاک برداشت شد؛ سپس خاک‌ها باهم مخلوط و یک نمونه ترکیبی برای آزمایشگاه جدا (جمعاً ۴۰ نمونه) که به‌منظور مطالعه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (چگالی ظاهری، بافت خاک، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن آلی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب) به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای تجزیه متغیرهای مربوط به خاک از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس فاکتورهای اندازه‌گیری شده جهت تمایز بین توده‌های مورد مطالعه و تعیین مهم‌ترین فاکتور، با استفاده از بسته‌ی Vegan نرم‌افزار R مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث: بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان واکنش خاک، پتاسیم قابل جذب، رطوبت نسبی، کربن آلی، رس و ذخیره کربن خاک در بین چهار توده دارای اختلاف معنی‌داری بودند ($P < 0.01$). توده توسکا ییلاقی و پلت بیشترین مقدار ذخیره کربن را نسبت به توده زربین و جنگل طبیعی نشان داد. تفاوت مشاهده‌شده در میزان کربن آلی خاک در توده‌های مورد مطالعه به قابلیت‌های مختلف گونه‌های درختی در بازسازی خاک بوم سامانه جنگل بستگی داشت. کاشت گونه‌های پهن‌برگ در کوتاه‌مدت موجب ذخیره کربن بیشتری نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ شد، زیرا گونه‌های درختی پهن‌برگ تولید لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و در احیای خاک

¹ Corresponding Author: Email Address. khadijeh.as71@gmail.com

جنگل‌های تخریب یافته مؤثرتر است. و این به دلیل تجزیه سریع‌تر برگ، محتوای نیتروژن بیشتر و نسبت C/N کمتر است، درحالی‌که وجود مواد رزینی و فنلی در برگ گونه‌های سوزنی‌برگ تأثیر منفی در تجزیه لاشبرگ آن‌ها دارد.

نتیجه‌گیری: به‌طور خلاصه این تحقیق نشان داد که احیای جنگل با گونه‌های پهن‌برگ در قسمت‌های مختلف منطقه تأثیر زیادی بر ذخیره کربن خاک داشت و پتانسیل ذخیره کربن در خاک برحسب گونه‌های درختی متفاوت است و گونه‌های پهن‌برگ (افراپلت و توسکا) نقش مؤثری در میزان ذخیره کربن در خاک این منطقه داشتند.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، توسکا بیلاقی، خصوصیات فیزیکی خاک، آنالیز مؤلفه اصلی PCA.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در مقیاس جهانی تلقی شده است. یکی از عوامل مهم ایجاد گرمایش زمین و به دنبال آن تغییر اقلیم، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص گاز دی‌اکسید کربن در فضای نیواری است (Osabohien *et al.*, 2019). انسان به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی، تغییرات کاربری اراضی و جنگل‌زدایی به‌طور فزاینده‌ای باعث افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر می‌شود که این تغییرات به‌طور مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای اثر گذاشته و منجر به گرمایش جهانی می‌شود (Fallahzade and Hajabbasi, 2011). مطالعات اخیر در مورد ذخیره کربن خاک نشان داده است که در بیشتر جنگل‌ها تنها حدود یک‌سوم کربن به‌عنوان زیست‌توده در گیاهان زنده و دوسوم باقی‌مانده در خاک به شکل کربن آلی ذخیره می‌شود (Farooqi *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019). خاک بزرگ‌ترین منبع کربن در زیست‌کره است و بیش از نیمی از کربن خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی ذخیره می‌شود، بر این اساس ذخیره کربن به‌عنوان ماده آلی خاک به لحاظ کمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Jandl *et al.*, 2007; Lu *et al.*, 2021). هرساله مقدار زیادی کربن (بیش از ۱۰۰ میلیارد تن) در مقیاس جهانی ترسیب می‌شود که ذخیره کربن آلی خاک حدود ۱۵۰۰ گیگا تن برآورد شده است (Mohammadnejad Kiasari *et al.*, 2010). حفظ جنگل‌ها به خاطر نقش اصلی در ارائه خدمات بوم سامانه، ذخیره کربن و حفاظت از خاک و به دلیل نگرانی از تغییرات آب‌وهوا، اقلیم جهانی و حفظ منابع آب از موضوعات مهم در مدیریت جنگل‌ها است (Khalili ardali *et al.*, 2019; Sun and Liu, 2020). گونه‌های درختی مختلف ظرفیت‌های متفاوتی در ذخیره

کربن و استفاده از مواد مغذی خاک دارند که نشان می‌دهد گونه‌های مناسب می‌توانند مقدار ذخیره کربن جنگل را در بخش معدنی خاک افزایش دهند (Yu et al., 2019). با توجه به کاهش روزافزون سطح جنگل‌ها، جنگل‌کاری نه تنها یکی از روش‌های بازسازی اراضی تخریب‌شده است، بلکه اقدامی اساسی برای حفاظت از آب، خاک، مبارزه با بیابان‌زدایی، تهیه چوب و همچنین سبب ذخیره دوباره کربن آلی خاک شده و این موضوع نشان‌دهنده قابلیت سیستم خاک و گیاه برای نگاه‌داشت کربن خاک است (Puladi et al., 2013). از این رو درک روابط بین پویایی کربن در بوم سامانه جنگلی و گونه‌های مختلف درختی در توده‌های جنگل‌کاری شده لازم و ضروری است و بررسی تأثیر گونه‌های درختی بر ویژگی‌های مختلف خاک نشان داده که مقدار کربن آلی بیشتر از مشخصه‌های دیگر تحت تأثیر نوع گونه گیاهی است (Bejarano et al., 2010). در واقع انتخاب گونه یکی از گزینه‌های مدیریتی برای افزایش مقدار انباشت کربن در خاک است و با استفاده از پوشش گیاهی و کاشت درختان در قالب جنگل‌کاری می‌توان علاوه بر ایجاد فضای سبز و تولید چوب و سایر مزایای جنگل، به هدف ذخیره‌سازی کربن نیز رسید (Pilehvar et al., 2016). از طرفی با دست‌یابی به پتانسیل ذخیره کربن در جنگل طبیعی و دست‌کاشت زمین‌ه خوبی برای توسعه جنگل و فضای سبز فراهم خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت که با گسترش کشت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ذخیره کربن دارند و همچنین شناسایی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر فرآیند ذخیره کربن در هر منطقه، می‌توان اصلاح و احیای اراضی را از نظر ذخیره کربن تا رسیدن به پایداری مطلوب در بوم‌سامانه جنگل دنبال کرد. (Nobakht et al., 2011) در پژوهشی به بررسی میزان ذخیره کربن خاک در توده‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ پرداخته و دریافتند که گونه‌های سوزنی-برگ (پیشه‌آ و کاج سیاه) بیشترین میزان ذخیره کربن در خاک را نسبت به گونه‌های پهن‌برگ (ون و بلوط بلندمازو) داشتند. (Pilehvar et al., 2016) نیز در بررسی میزان ذخیره کربن خاک گونه‌های مختلف جنگل‌کاری شده در خرم‌آباد لرستان دریافتند که با وجود اینکه انتظار می‌رفت سوزنی‌برگان به علت تندرشد بودن و داشتن سطح برگ بیشتر نقش مهم‌تری در ذخیره کربن خاک داشته باشند اما میزان ذخیره کربن در پهن‌برگان بیشتر از سوزنی‌برگان به دست آمد، همچنین Soleimani et al. (2019) در پژوهشی با بررسی اثرات جنگل طبیعی و چهار جنگل‌کاری بر توان ذخیره کربن و خصوصیات مختلف خاک در جنگل دارابکلا دریافتند که جنگل‌کاری نقش مهمی در جذب دی‌اکسید کربن داشته و عواملی مثل: گونه درختی، سن جنگل‌کاری، عمق خاک، شرایط رویشگاه و عملیات پرورشی جنگل نیز بر میزان ذخیره کربن خاک تأثیرگذار هستند. به‌طور کلی بر اساس نظر پژوهشگران عوامل اقلیمی و محیطی از قبیل بارندگی و دما و عوامل انسانی می‌توانند سبب افزایش اندوخته کربن خاک شوند که این موضوع به اهمیت مدیریت صحیح اراضی جنگلی و انتخاب گونه‌های مناسب برای احیا در راستای

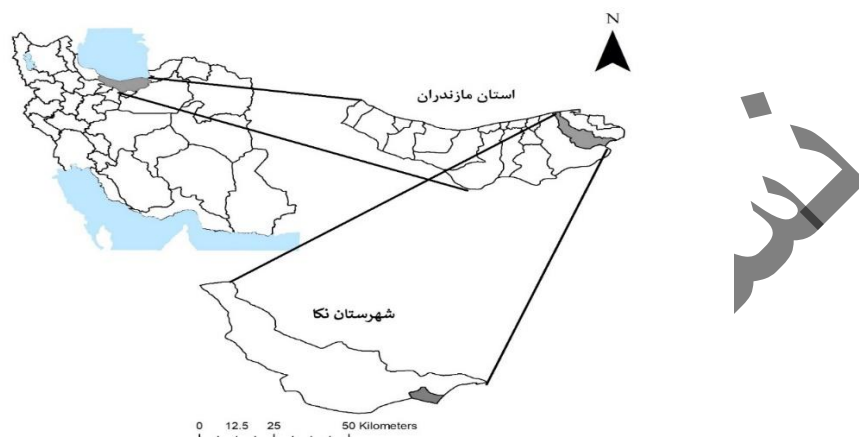
ترسیب بیشتر کربن اتمسفر در خاک دلالت دارد. بر این اساس این پژوهش با فرض بر این که توده طبیعی بیشترین میزان ذخیره کربن را نسبت به توده‌های جنگل کاری شده دارد و باهدف بررسی تأثیر جنگل کاری افراپلت (*Acer velutinum* Boiss)، توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.M) و زربین (*Cupressus sempervirens. var horizontalis*) بر میزان ذخیره کربن خاک و ارتباط آن با برخی ویژگی‌های خاک پرداخت و به دنبال پاسخگویی به این سوال است که در مناطق مشابه کدامیک از گونه‌های پهن برگ و سوزنی‌برگ مورد بررسی را می‌توان برای اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش کربن آلی مناسب‌تر دانست؟ که نتیجه آن برای چگونگی دخالت در توده‌های جنگلی و نیز انتخاب گونه مناسب برای احیا و بازسازی جنگل‌های مخروطه و حفظ و پایداری منابع آب‌و خاک، ذخیره کربن و به دنبال آن کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو و نیز جهت مدیریت بهتر جنگل‌های شمال می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در منطقه کُلت واقع در بخش سه طرح جنگلداری نکا- ظالم‌رود که در حوضه آبخیز ۷۷ و در جنوب شهرهای نکا و بهشهر در استان مازندران واقع شد. بخش سه طرح جنگلداری نکا- ظالم‌رود با وسعت حدود ۱۵۴۰۰ هکتار در حدفاصل ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل بخش، حدود ۱۳۵۶۵ هکتار می‌باشد که حدود ۱۸۱۷ هکتار آن را اراضی مزروعی و روستاهای منطقه تشکیل می‌دهد و از مجموع ۱۱۶۹۴ هکتار جنگل این بخش ۸۹۶/۱۹ هکتار آن جنگل کاری شده می‌باشد. کمینه ارتفاع منطقه کُلت در حدود ۹۰ متر و بیشینه آن ۸۲۰ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط منطقه ۴۵۵ متر است (Anonymous, 2017). بیشینه دمای مطلق در تیرماه ۳۵ درجه سانتی‌گراد و کمینه دمای مطلق ۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این منطقه از ارتفاعات کوتاه تا بلند با شیب توپوگرافی اغلب ملایم و عمق خاک ۱۱۰-۱۲۰ سانتی‌متر تشکیل شده است. در منطقه سه تیپ خاک شامل: راندزین تا راندزین شسته شده، قهوه‌ای شسته شده پسدوگلی و قهوه‌ای شسته شده با افق کلسیک وجود دارد و بافت خاک نیز رسی تا رسی- لومی بوده و تیپ جنگل ممرز- راش است. نهال کاری در فاصله ۲×۲ متر انجام شده و سال کاشت نهال‌ها مربوط به سال ۱۳۷۲ است. مساحت هر کدام از جنگل‌کاری‌های پلت، توسکا ییلاقی و زربین به ترتیب ۱۱، ۷ و ۱۵ هکتار می‌باشد. عملیات پرورشی در پنج سال اول شامل: وجین کردن و دو تا چهار سال برنامه‌ی آزاد کردن و طبق هر ده سال یک مرحله تنک کردن؛ انجام پذیرفت (Latifi et al., 2005). میانگین متوسط بارندگی در

جنگل کُلت بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی قراخیل قائم‌شهر ۹۶۰ میلی‌متر برآورد شده و با توجه به اقلیم نمای آمبرژه این منطقه در اقلیم نیمه مرطوب بازمستان سرد قرار دارد ($Q_2 = 77/9$).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی عرصه مورد مطالعه (طرح جنگل‌داری نکا- ظالم‌رود)
 Fig. 1- Geographical Location of the study area (Neka- Zalemrood forestry plan)

نمونه‌برداری و آزمایش‌های خاک

نمونه‌برداری خاک در فصل پاییز ۱۳۹۸ در سه توده جنگل کاری‌شده افراپلت، توسکا ییلاقی، زربین و توده طبیعی انجام شد. با توجه به مناطق مورد مطالعه در هر توده جنگل کاری‌شده و جنگل طبیعی (شاهد) مجاور توده‌های جنگل کاری‌شده با روش سیستماتیک - انتخابی ده قطعه‌نمونه مربعی شکل با ابعاد 20×20 متر (مساحت 400 مترمربع) پیاده شد که مجموعاً 40 قطعه‌نمونه با فاصله 50 متر از هم برداشت شد. اطلاعات مربوط به قطر برابر سینه (DBH) به سانتیمتر، ارتفاع کل (H) درختان به متر در هر قطعه‌نمونه به ترتیب با کالیپر و متر نواری معمولی اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در هر قطعه‌نمونه از چهار گوشه و مرکز آن با بیلچه از عمق $0-15$ سانتی‌متر نمونه خاک برداشت شد؛ سپس این خاک‌ها باهم مخلوط و یک نمونه ترکیبی برای آزمایشگاه جدا شد (جمعاً 40 نمونه). اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک به روش هیدرومتری (Jari Oksanen *et al.*, 2020)، واکنش خاک (pH) با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌متر، هدایت الکتریکی با تهیه گل اشباع، کربن آلی به روش والکی بلاک (Nelson and Sommers, 1996)، ازت کل با دستگاه کجلدال، فسفر قابل جذب با

روش اولسن (Olsen, 1954) و پتاسیم قابل جذب به روش فلیم فتومتری انجام شد (Nelson and Sommers, 1996). برای محاسبه میزان ذخیره کربن خاک برحسب کیلوگرم در هر هکتار از رابطه (۱) استفاده شد (Razakamanarivo, 2011).

$$Cs = 10000 \times OC (\%) \times Bd \times E \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه Cs: مقدار وزن کربن ذخیره شده در سطح یک مترمربع (Kg/ha)، OC: درصد کربن اندازه گیری شده، Bd چگالی ظاهری خاک (gr/cm^3) و E: عمق نمونه برداری خاک برحسب سانتی متر است. همچنین برای تجزیه متغیرهای مربوط به خاک از نرم افزار آماری SAS استفاده شد. نرمال بودن داده ها به روش شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس به روش لئون و سپس تجزیه واریانس از رویه ی یک طرفه در نرم افزار SAS انجام شد (Zare Chahouki *et al.*, 2010). مقایسه گروهی میانگین ها با فرض بر وجود شاهد (جنگل طبیعی) که در نزدیک ترین محل جنگل کاری ها قرار داشت به روش کمینه تفاوت معنی دار (الاس دی) در سطح پنج درصد انجام شد. تجزیه به مؤلفه های اصلی (PCA) بر اساس فاکتورهای اندازه گیری شده، جهت تعیین تمایز بین توده های مورد مطالعه و تعیین مهم ترین فاکتور، با استفاده از بسته ی Vegan نرم افزار R مورد استفاده قرار گرفت (Jari Oksanen *et al.*, 2020).

نتایج و بحث

مقایسه میانگین ویژگی های خاک در توده های مورد مطالعه جنگل کلت نشان داد که ازت، فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری، شن، سیلت در بین چهار توده مورد مطالعه اختلاف معنی داری نداشتند ($P > 0.05$) ولی میزان واکنش خاک در بین چهار توده اختلاف معنی داری داشت ($P < 0.05$) و میزان آن ابتدا در توده پلت و سپس در توسکا و زربین بیشتر از توده طبیعی بود (جدول ۱). واکنش خاک عامل مهمی در تغذیه شیمیایی و بیولوژیک گیاه بوده و بهترین واکنش خاک برای اغلب گیاهان حدود شش تا هفت است، زیرا حلالیت و قابلیت جذب اکثر عناصر غذایی در این واکنش خاک در حد مطلوب است (Heydari and Mahdavi, 2014). در واقع میزان واکنش خاک یکی از ویژگی های مهم در قابلیت تولید رویشگاه است و در خاک های جنگلی با تغییرات پوشش گیاهی دچار تغییر و تحول می شود (Zarin Kafsh, 2002). واکنش خاک تحت تأثیر مواد بازگشتی از پوشش گیاهی قرار می گیرد و اگر مواد بازگشتی از پوشش گیاه دارای کاتیون های بازی کمتری مانند پتاسیم باشد می تواند باعث کاهش میزان واکنش خاک شود (Zarin Kafsh, 2002). در پژوهش حاضر نیز با توجه به کمتر بودن میزان پتاسیم در توده طبیعی نسبت به توده های جنگل کاری شده می توان تفاوت کاهش واکنش خاک در توده طبیعی نسبت به توده های جنگل کاری شده را توجیه نمود. همچنین بالا بودن

میزان واکنش خاک در جنگل کاری پلت و توسکا را باید به تجزیه سریع لاشبرگ این گونه‌ها و در نتیجه غنی‌سازی محتوی مواد مغذی که خود بازگشت مقادیر زیادی از کاتیون‌های بازی به خاک را به همراه دارد، اشاره کرد (Norden, 1994) و کاهش واکنش خاک در توده زربین به واسطه سرعت تجزیه کند لاشبرگ و متعاقباً تولید اسید آلی و تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، توجیه‌پذیر است که با نتایج Gorik *et al.* (2015) همخوانی دارد. در حالی که Zahedi and Zargham (2018) در مطالعه‌ای که به منظور مقایسه میزان ذخیره کربن در دو توده پهن‌برگ راش- بلوط و افرا- زبان گجشک انجام داد، نتیجه گرفت که اگرچه واکنش خاک با برخی از عناصر خاک مانند نیتروژن ارتباط خوبی دارد، اما ارتباط معنی‌داری بین ذخیره کربن و واکنش خاک وجود ندارد. همچنین Karami *et al.* (2019) نیز ارتباط معنی‌داری بین واکنش خاک و ذخیره کربن خاک در توده‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مشاهده نکردند.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس یک طرفه خصوصیات خاک در چهار توده پلت، توسکا بیلاقی، زربین و جنگل طبیعی

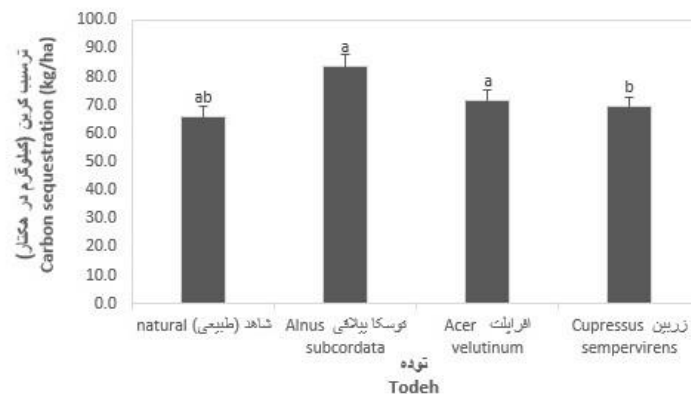
Table 1. The results of one-way variance analysis of soil properties in four stands of *Acer velutinum*, *Alnus subcordata*, *Cupressus sempervirens* and natural forest

معنی‌داری Significance	مقدار F F value	جنگل طبیعی Natural Forest	زربین <i>Cupressus sempervirens</i>	توسکا بیلاقی <i>Alnus subcordata</i>	افراپلت <i>Acer velutinum</i>	خصوصیات Specifications
0.9304 ^{ns}	0.015	0.27 ± 0.02 ^a	0.27 ± 0.02 ^a	0.26 ± 0.01 ^a	0.28 ± 0.03 ^a	ازت N (%)
0.0036 ^{**}	1.09	55.52 ± 7.86 ^b	58.33 ± 5.57 ^{ab}	71.25 ± 2.84 ^{ab}	90.51 ± 2.31 ^a	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
0.3701 ^{ns}	1.08	7.14 ± 1.72 ^a	9.34 ± 2.62 ^a	5.81 ± 1.02 ^a	12.20 ± 8.15 ^a	فسفر P (mg.kg ⁻¹)
0.2362 ^{ns}	1.48	0.46 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.03 ^a	0.56 ± 0.04 ^a	0.62 ± 0.08 ^a	هدایت الکتریکی Electrical ds.m ⁻¹ conductivity (°)
0.6311 ^{ns}	0.58	1.66 ± 0.07 ^a	1.80 ± 0.13 ^a	1.82 ± 0.08 ^a	1.86 ± 0.14 ^a	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (gr.cm ³)
0.0001 ^{**}	21.86	32.54 ± 2.89 ^b	20.12 ± 1.18 ^c	40.33 ± 1.43 ^a	40.78 ± 2.58 ^a	رطوبت نسبی (%) Moisture
0.0482 [*]	0.88	2.71 ± 0.43 ^a	2.61 ± 0.35 ^a	3.02 ± 0.40 ^b	2.69 ± 0.04 ^{ab}	مواد آلی OM (%)
0/0007 [*]	7.16	6.18 ± 0.21 ^b	6.32 ± 0.13 ^b	6.82 ± 0.11 ^a	6.99 ± 0.06 ^a	واکنش خاک (pH)
0.8331 ^{ns}	0/29	15.48 ± 2.18 ^a	22.44 ± 1.79 ^a	17.92 ± 1.83 ^a	20.60 ± 2.67 ^a	Soil reaction
0.001 ^{**}	1.95	43.57 ± 3.73 ^b	40.34 ± 3.31 ^a	39.32 ± 2.99 ^{ab}	39.96 ± 3.97 ^{ab}	شن (%) sand
0.4748 ^{ns}	0/85	40.94 ± 3.08 ^a	37.22 ± 2.65 ^a	42/75 ± 2.54 ^a	39.48 ± 1.70 ^a	رس (%) clay
0.0581 [*]	0/52	66.04 ± 10.06 ^{ab}	69.45 ± 9.83 ^b	83.86 ± 13.10 ^a	71.68 ± 11.26 ^a	سیلت (%) silt
						ذخیره کربن Carbon (kg/ha) inventory

حروف انگلیسی متفاوت در سطر، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح پنج درصد (*) و در سطح یک درصد (***) را نشان می‌دهد. ns معنی‌دار نیست.

The different English letters in the line show a significant difference between the means at the 5% level.

از طرفی میزان کربن آلی و ذخیره کربن نیز در چهار توده دارای اختلاف معنی داری بود و طبق نتایج میزان آن‌ها در توده توسکا بیشتر از توده‌های دیگر بود ($P < 0.05$) (شکل ۲)، با توجه به اینکه انتظار می‌رود سوزنی‌برگان به دلیل تند رشد بودن و داشتن سطح برگ بیشتر نقش مهم‌تری در ذخیره کربن خاک داشته باشند ولی در کوتاه‌مدت به دلیل سرعت پایین‌تر تجزیه سوزنی‌برگان میزان ذخیره کربن خاک در پهن‌برگان (افرا و توسکاییلالی) بیشتر است که با نتایج Pilehvar *et al.* (2016) که دریافتند گونه‌های پهن‌برگ در مقایسه با سوزنی‌برگان منجر به ذخیره کربن بیشتری در خاک می‌شوند، مطابقت دارد.



شکل ۲- میزان ذخیره کربن خاک (کیلوگرم در هکتار) در توده‌های مورد مطالعه (سطح معنی داری پنج درصد)
Fig. 2- The amount of soil carbon (kilograms per hectare) in the studied masses (significant level of five percent)

تفاوتی که در میزان کربن آلی موجود در خاک توده‌های مورد مطالعه مشاهده می‌گردد، بارزترین نتیجه از تأثیر نوع جنگل کاری انجام‌شده در منطقه کُلت است، زیرا گونه‌های مختلف توانایی‌های متفاوتی در بازسازی خاک بوم‌سامانه از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تعامل با دیگر اجزای اکوسیستم دارند (Augusto *et al.*, 2002). در واقع نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت گونه‌های پهن‌برگ در کوتاه‌مدت موجب ذخیره کربن بیشتری نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ می‌شود. گونه توسکاییلالی و پلت بیشترین میزان ذخیره کربن را نسبت به توده زربین و طبیعی داشتند. مطالعات نشان داده است که گونه‌های درختی پهن‌برگ تولید لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و در ترمیم و حاصلخیزی خاک جنگل‌های تخریب یافته مؤثرترند. بعد از عمل جنگل کاری در نتیجه رشد گیاهان، ورود مواد آلی به خاک به دلیل تجزیه ریشه و لاشبرگ افزایش می‌یابد، اهمیت نسبی این فرآیندها کاملاً متغیر و سرعت تجزیه در رویشگاه‌ها و توده‌های مختلف متفاوت است (Rafeie Jahed *et al.*, 2016). بنابراین در توجیه می‌توان گفت که برگ گونه‌های پهن‌برگ به دلیل داشتن نیتروژن بالا

و نسبت C/N کمتر با سرعت بیشتری تجزیه می‌شود و به‌عکس وجود مواد رزینی و فنلی در برگ گونه‌های سوزنی‌برگ تأثیر منفی در تجزیه لاشبرگ آن‌ها دارد (Mahmoudi *et al.*, 2021). از دلایل مهم افزایش عناصر غذایی و کربن آلی خاک، می‌توان به تجزیه لاشبرگ ورودی به کف توده، افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک، تغییر در خرد اقلیم، افزایش فعالیت‌های ریشه در گردش عناصر و همچنین تأثیر مثبت تاج‌پوشش درختان در کاهش آبشویی عناصر و فرسایش نیز اشاره کرد (Lal, 2005). از طرفی (Chiti *et al.*, 2006) در بررسی تأثیر جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته بر مقدار مواد آلی، معدنی و ازت خاک به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن آلی و ازت در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری خاک در جنگل‌کاری‌های توسکا بیلاقی بیشتر از جنگل‌کاری بلوط است و گونه توسکا نقش مؤثری در تثبیت ازت و فرآیندهای تحول خاک و چرخه کربن دارد که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان داد که میزان رطوبت نسبی در چهار توده دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.01$) و به ترتیب توده افرا (۴۰/۷۸) و زربین (۲۰/۱۲) بیشترین و کمترین میزان را داشتند، که دلیل اصلی آن را می‌توان به میزان مواد آلی خاک نسبت داد. هرچقدر میزان مواد آلی خاک بیشتر باشد، میزان جذب و نگهداری آب نیز بیشتر می‌شود (Korkanç, 2014). در واقع مقدار مواد آلی و هوموس خاک قابلیت جذب و نگهداری آب زیادی را دارند و در نتیجه ذخیره رطوبتی خاک افزایش می‌یابد (Azami *et al.*, 2016)، همین امر موجب افزایش درصد رطوبت نسبی در خاک می‌گردد. دلیل بیشتر بودن این مشخصه در توده پلت به دلیل آشفستگی و اختلال در خاک و تغییر در خواص فیزیکی خاک صورت گرفته و میزان نفوذپذیری آب در خاک کاهش و تجمع آب در لایه‌های سطحی افزایش می‌یابد که این نتیجه با یافته‌های Neill *et al.* (1997) همخوانی دارد. و علت کمتر بودن درصد رطوبت در توده زربین را می‌توان در بیشتر بودن مقدار باران‌ریایی توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ و نیز ضخیم بودن لایه لاشبرگ در توده‌های سوزنی‌برگ بیان کرد (Fan *et al.*, 2014) که باعث کاهش مقدار آب‌رسیده به خاک می‌شود که با نتایج (Haghvardi (2015) و Moslemi *et al.* (2020) مطابقت دارد.

میزان پتاسیم قابل جذب نیز دارای تفاوت معنی‌داری در بین چهار توده مورد مطالعه بود و بیشترین میزان آن در توده پلت (۹۰/۵۱) و کمترین آن در توده طبیعی (۵۵/۵۲) بود (جدول ۱)، در ابتدای فصل رویش مقدار پتاسیم در برگ‌ها (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) بسیار زیاد می‌باشد ولی با توسعه فعالیت گیاهی مقدار آن به تدریج کاهش یافته و در پاییز به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد و در زمستان بعد شرایط آب و هوایی می‌تواند مقدار آن را بازمی‌کشد (Rafeie Jahed *et al.*, 2016). بنابراین با توجه به سن بیشتر توده طبیعی کم بودن پتاسیم در آن را می‌توان توجیه نمود. در استونی در شمال اروپا تولید و تجمع

عناصر غذایی از جمله پتاسیم در جنگل کاری توسکا مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از تأثیر مثبت جنگل کاری در میزان غلظت عناصر پرمصرف خاک بود (Uri et al., 2002). در تحقیق حاضر نیز تأثیر مثبت جنگل کاری بر ذخیره سازی میزان پتاسیم مشهود است، همچنین Rafeie Jahed et al. (2016) در پژوهشی در توده های دست کاشت و توده طبیعی جنگلی در چمستان نور به نتایج مشابه با تحقیق حاضر دست یافتند. از طرفی میزان تراکم تاج پوشش با مقدار برگشتی پتاسیم همبستگی مثبت دارد و در نتیجه مقادیر زیادی از پتاسیم جذب شده توسط گیاهان در اثر آبشویی از سطح برگ ها در حین بارندگی شسته می شود (Foth and Ellis, 1988).

نتایج تحلیل رسته بندی PCA قطعات نمونه بر اساس مقادیر متغیرهای خاکی آنها نشان داد که مؤلفه یا محورهای اصلی اول و دوم با مقادیر ویژه ۰/۵۸۲ و ۰/۳۹۹ به ترتیب ۴۰/۳۳۹ و ۲۷/۶۵۴ درصد از تغییرات خصوصیات خاکی توده های مورد مطالعه را توجیه می کنند (جدول ۲).

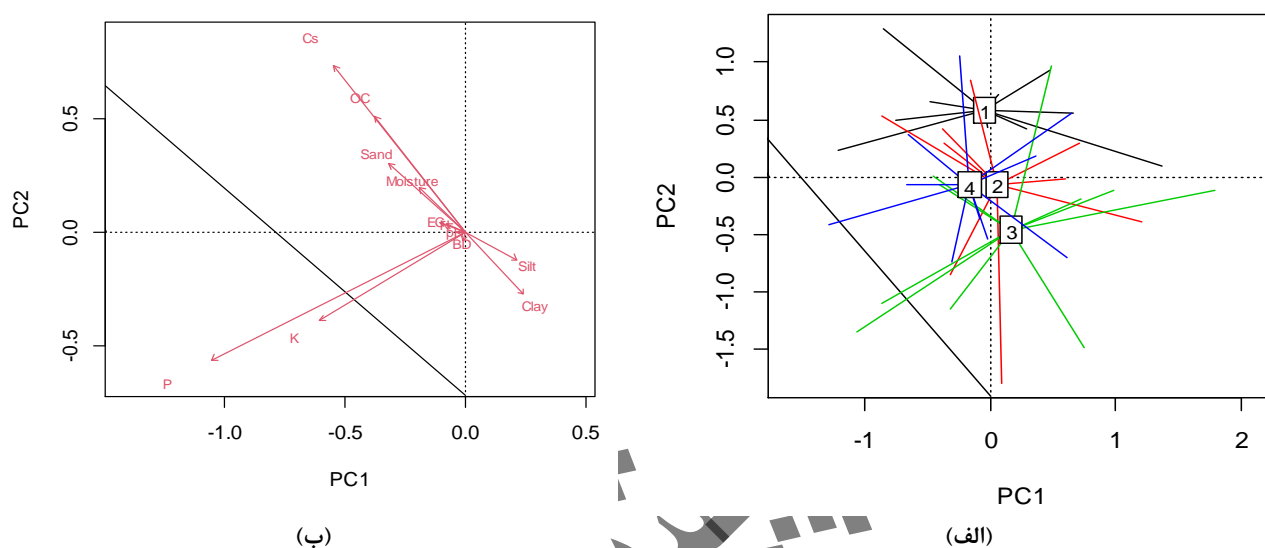
جدول ۲- نتایج تجزیه به مؤلفه های اصلی برای ویژگی های خاک

Table 2. Results of decomposition into main components for soil characteristics

محور ۲ Axis 2	محور ۱ Axis 1	
0.399	0.582	مقادیر ویژه Eigenvalues
27.654	40.339	درصد تبیین واریانس The percentage of variance explanation
67.994	40.339	درصد تجمعی تبیین واریانس Cumulative percentage of variance explanation
17.526	25.860	درصد آماره بروکن استیک Broken-stick stat percentage
43.386	25.860	درصد تجمعی آماره بروکن استیک Cumulative percentage of broken stick statistics
1	1	درصد تجمعی تبیین واریانس < درصد تجمعی B-S Cumulative percentage of variance explanation > Cumulative percentage

همچنین نمایش رسته بندی PCA قطعات نمونه توده های مورد مطالعه نشان داد که توده جنگل طبیعی (توده شماره یک) از نظر مشخصه های خاکی از بقیه توده های جنگل کاری تفکیک شده است (شکل ۳- الف). همچنین نتایج همبستگی متغیرهای خاکی با محورهای اول و دوم رسته بندی PCA نشان داد که متغیرهای ذخیره کربن خاک، کربن آلی، پتاسیم و فسفر به عنوان مهم ترین متغیرهای خاکی در تفکیک توده جنگل طبیعی از دیگر توده های جنگل کاری هستند. همچنین نتایج این تجزیه و

تحلیل نشان می‌دهد توده جنگل طبیعی از سه توده جنگل کاری افرا، توسکا بیلاقی همبستگی بیشتری به هم نسبت به توده طبیعی و زربین اول و دوم قابل تمایز می‌باشند و توده پلت و توده توسکا بیلاقی همبستگی بیشتری به هم نسبت به توده طبیعی و زربین دارند (شکل ۳- الف). نمودار موقعیت متغیرهای محیطی نسبت به مؤلفه‌های اول و دوم نیز در شکل ۳ (ب) آمده است.



شکل ۳- تجزیه مؤلفه‌ها: الف- برای چهار توده (۱: طبیعی، ۲: توسکا بیلاقی، ۳: زربین، ۴: افرا پلت) و ب- متغیرهای خاک
Fig. 3- Component analysis: a- for four masses (1: natural, 2: *Alnus subcordata*, 3: *Cupressus sempervirens*, 4: *Acer velutinum*) and b- soil variables

بررسی همبستگی ذخیره کربن خاک با مشخصه‌های خاک تحت توده‌های مورد مطالعه نشان داد که میزان ذخیره کربن خاک در توده طبیعی با میزان کربن آلی و شن دارای همبستگی مثبت است و در توده توسکا نیز میزان ازت، فسفر قابل جذب و کربن آلی با میزان ذخیره کربن خاک همبستگی مثبت دارند، همچنین در توده زربین میزان پتاسیم قابل جذب با میزان ذخیره کربن خاک همبستگی مثبت را نشان داد (جدول ۳).

نتایج همبستگی پیرسون بین ذخیره کربن خاک با متغیرهای رویشی (ارتفاع و قطر برابر سینه) و متغیرهای محیطی (دمای سطح و عمق خاک) نشان داد که دمای عمق ۰ - ۱۵ سانتی متری خاک با ارتفاع و قطر برابر سینه درختان دارای تفاوت معنی دار بوده و بقیه متغیرها تفاوت معنی داری باهم نداشتند (جدول ۴).

جدول ۳- همبستگی پیرسون ذخیره کربن با مشخصه‌های خاک در توده‌های مورد مطالعه

Table 3. Pearson correlation of carbon stock with soil characteristics in the studied masses

زربین <i>Cupressus sempervirens</i>	توسکا ییلاقی <i>Alnus subcordata</i>	افرا <i>Acer velutinum</i>	طبیعی Natural	خصوصیات Specifications
0.672 ^{ns}	0.819*	0.468 ^{ns}	0.631 ^{ns}	ازت N (%)
0.742*	-0.190	-0.264 ^{ns}	0.560 ^{ns}	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
-0.078 ^{ns}	0.580**	-0.033 ^{ns}	0.367 ^{ns}	فسفر P (mg.kg ⁻¹)
0.379 ^{ns}	0.670*	0.643 ^{ns}	0.595 ^{ns}	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
0.370 ^{ns}	0.430 ^{ns}	0.003 ^{ns}	-0.096 ^{ns}	(ds.m ⁻¹) جرم مخصوص ظاهری
0.512 ^{ns}	0.371 ^{ns}	0.341 ^{ns}	0.453 ^{ns}	(gr.cm ³) Bulk density
0.836 ^{ns}	0.972*	0.878 ^{ns}	0.955*	رطوبت نسبی (%) Moisture
0.078 ^{ns}	0.094 ^{ns}	0.274 ^{ns}	0.080 ^{ns}	مواد آلی OM (%)
-0.021	-0.467 ^{ns}	-0.424 ^{ns}	-0.147 ^{ns}	واکنش خاک (pH) Soil reaction
0.628 ^{ns}	0.608 ^{ns}	0.547 ^{ns}	0.744**	رس (%) clay
-0.770**	-0.378 ^{ns}	-0.608 ^{ns}	-0.796 ^{ns}	شن (%) sand
				سیلت (%) silt

*، معنی‌دار در سطح پنج درصد و **، معنی‌دار در سطح یک درصد، ns معنی‌دار نیست.

*.significant at the five percent level and **, significant at the one percent level, ns not significant.

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین ذخیره کربن و خصوصیات رویشی درختان و دمای خاک

Table 4. Pearson's correlation between carbon stock and vegetative characteristics of trees and soil temperature

زربین <i>Cupressus sempervirens</i>	توسکا ییلاقی <i>Alnus subcordata</i>	افرا <i>Acer velutinum</i>	طبیعی Natural	متغیرهای رویشی و محیطی Vegetative and environmental variables
-0.041 ^{ns}	-0.038 ^{ns}	-0.218 ^{ns}	-0.342 ^{ns}	قطر برابر سینه (cm) Diameter equal to chest
0.263 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.380 ^{ns}	-0.250 ^{ns}	ارتفاع درخت (m) tree height
-0.399 ^{ns}	0.726*	0.070 ^{ns}	0.769**	دمای سطح خاک (C°) Soil surface temperature
-0.321 ^{ns}	0.570 ^{ns}	0.623 ^{ns}	0.013 ^{ns}	دمای عمق ۰-۱۵ سانتی‌متر (C°) Depth temperature 0-15 cm

*، معنی‌دار در سطح پنج درصد و **، معنی‌دار در سطح یک درصد، ns معنی‌دار نیست.

*.significant at the five percent level and **, significant at the one percent level, ns not significant.

در واقع نتایج نشان داد که جنگل کاری سبب افزایش ذخیره کربن خاک می شود و تفاوت های مشاهده شده در مقدار کربن موجود در خاک های مورد بررسی، نشانه بارز تأثیر گونه های مورد استفاده در جنگل کاری بر مقدار ذخیره کربن است. این موضوع نشان می دهد که گونه های مختلف قابلیت متفاوتی در بازسازی خاک بوم سامانه از طریق اثر بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در تعامل با دیگر اجزای بوم سامانه را داشته و موجودی سرپای جنگل و تنوع در ترکیب و آمیختگی گونه ها از عوامل مهم اثرگذار بر میزان ذخیره کربن است (Mahmoudi et al., 2021).

نتیجه گیری

به طور کلی در این پژوهش به بررسی تأثیر جنگل کاری افراپلت، توسکا ییلاقی و زربین بر میزان ذخیره کربن خاک و ارتباط آن با برخی ویژگی های خاک پرداخته شد. در این پژوهش ابتدا سه توده جنگل کاری پلت، توسکا ییلاقی، زربین و یک توده جنگل طبیعی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در هر توده تعداد ده قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی (۲۰ × ۲۰ متر) به صورت انتخابی پیاده شد. همچنین در هر قطعه نمونه از چهار گوشه و مرکز آن از عمق ۰-۱۵ سانتی متر نمونه خاک برداشت شد (جمعاً ۴۰ نمونه) و به منظور مطالعه مشخصه های فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که جنگل کاری با گونه های پهن برگ در قسمت های مختلف منطقه تأثیر زیادی بر ذخیره کربن خاک داشت، تفاوت مشاهده شده در میزان کربن آلی خاک در توده های مورد مطالعه به توانایی های مختلف گونه های درختی در بازسازی خاک بوم سامانه جنگل بستگی دارد. کاشت گونه های پهن برگ در کوتاه مدت موجب ذخیره کربن بیشتری نسبت به گونه های سوزنی برگ شد، زیرا گونه های درختی پهن برگ تولید لاشبرگ و بازگشت عناصر غذایی را افزایش می دهند و در احیای خاک جنگل های تخریب یافته مؤثرترند، که می تواند به دلیل تجزیه سریعتر برگ، محتوای نیتروژن بیشتر و نسبت C/N کمتر باشد، در حالی که وجود مواد رزینی و فنلی در برگ گونه های سوزنی برگ تأثیر منفی در تجزیه لاشبرگ آن ها دارد، همچنین ذخیره کربن خاک را می توان به عنوان یک ارزش افزوده در کنار دیگر ارزش ها و استفاده های بوم سامانه های جنگلی و به عنوان شاخصی برای سنجش پایداری منابع طبیعی در نظر گرفت. جنگل کاری با گونه های مختلف نیازمند اطلاعات مشخصی برای تصمیم گیریندگان در مورد انتخاب محل و نوع گونه درختی است که در این مطالعه ما اطلاعاتی کاربردی مربوط به نوع گونه درختی و اثرات آن بر خاک اتخاذ کردیم. گونه توسکا ییلاقی و پلت گونه هایی هستند که در افزایش میزان ذخیره کربن خاک منطقه نقش بسزایی داشتند و پیشنهاد می شود تحقیقات مشابه روی گونه های دیگر که در این منطقه حضور دارند نیز انجام شود، چراکه کمک شایان توجهی در رابطه با شناخت و تأثیر نوع گونه درختی بر منابع آب، خاک، تنوع زیستی و... خواهد کرد.

همچنین با توجه به شرایط تغییر اقلیم و افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر اهمیت حفاظت و مدیریت درست بوم‌سامانه‌های جنگلی در راستای ترسیب کربن در خاک بیش از پیش تاکید می‌گردد.

منابع

- Augusto, L., J. Ranger, D. Binkley. and Rothe, A., 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*. 59, 233-253.
- Anonymous., 2017. Organization of forests and rangelands of the country. Neka-Zalemrood Forestry Plan. Section 3.pp. 112-118.
- Azami, F., M. Heydari., M. Faramarzi. and Naderi, M., 2016. Response of vegetation composition and diversity to soil physico-chemical and biological properties to degradation Zagros forest ecosystem. *Iranian Journal of Biology*. 32 (2), 56-70. (In Persian with English abstract).
- Bejarano, A., Mataix-Solera, J. R., Zornoza, C., Guerrero, V., Arcenegui, J., Mataix-Beneyto, A. and Cano-Amat, S., 2010. Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a Mediterranean forest soil. *European Journal of Forest Research*. 129,15-24.
- Chiti, T., Cerini, A., Puglisi, A., Sanesi, A. and Capperucci, C., 2006. Effects of associating an N-fixerspecies to monotypic oak plantations on thequantity and quality of organic matter in mine soils. *Geoderma Journal*. 61, 35-43.
- Fallahzade, J. and Hajabbasi, M. A., 2011. Soil organic matter status changes with cultivation of overgrazed pasture in semi-dry West Central Iran. *Soil Science*. 6, 114-123.
- Foth, H. D. and Ellis, B. G., 1988. *Soil fertility*. Published by Wiley, 304p.
- Fan, J., Oestergaard, K. T., Guyot, A. and Lockington, D. A., 2014. Measuring and modeling rainfall interception losses by a native Banksia woodland and an exotic pine plantation in subtropical coastal Australia. *Hydrology Journal*. 515, 156-165.
- Farooqi, T. J. A., Li, X., Yu, Z., Liu, S. and Sun, O. J., 2021. Reconciliation of research on forest carbon sequestration and water conservation. *Journal of Forestry Research*. 32(1), 7-14.
- Gorik, V., Lander, B., Pieter, D. F., Margot, V., Arno, T., Wim, B., Bart, M. and Kris, M., 2015. Vadderstory vegetation shifts following the conversion of temperate deciduous forest to spruce plantation. *Forest Ecology and Management*. 289, 363-370.
- Heydari, M. P. and Mahdavi, A. S., 2014. Ecological evaluation of watershed projects based on vegetation composition and soil physical and chemical properties. *Journal of Zagros Forests Research*. 1(1), 93-108. (In Persian with English abstract).
- Haghvardi, K., 2015. Influence of native and non-native forestry series of Orchard Garden Tea on plant biodiversity and woody species regeneration. *Journal of Plant Research*. 28(3). 522-534. (In Persian with English abstract).

- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D. W., Minkinen, K. and Byrne, K. A., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?. *Geoderma Journal*. 137, 253–268.
- Jari Oksanen, F., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Peter, R., Minchin, R., OHara, B., Gavin, L., Simpson, P., Henry, M., Stevens, E. and Wagner, H., 2020. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-7.
- Karami, M., Rostami, A. and Heydari, M., 2019. Carbon Sequestration and its relation with some Physical and Chemical Characteristics in Soil of Natural Oak Forest and Afforestations in Ham County. *Environmental science and technology*. 21(10), 183- 197. (In Persian with English abstract).
- Khalili ardali, Z., Mirazadi, Z. and Mansour, S. R., 2019. Estimation of biomass, carbon sequestration and leaf area of *Acer monspessulanum* in Middle-Zagros, case study: Ghaleh Gol forests in Lorestan province. *Journal of Forest Research and Development*. 5(2),245-257. (In Persian with English abstract).
- Korkanç, S.Y., 2014. Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*. 123, 62–69.
- Latifi, H., Oladi, J., Saroei, S. and Jalilvand, H., 2005. An Evaluation of ETM+ Data Capability to Provide "Forest- Shrub land- Range" Map (A Case Study of Neka- Zalemroud Region- Mazandaran- Iran). *Proceedings of ISRS 2005, Jeju- South Korea*. pp. 403-407.
- Lal, R., 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. *Sustainable Forestry*. 21,1–30.
- Lu, X., Vitousek, P. M., Mao, Q., Gilliam, F. S., Luo, Y., Turner, B. L. and Mo, J., 2021. Nitrogen deposition accelerates soil carbon sequestration in tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 118 (16), 1-7.
- Mohammadnejad Kiasari, Sh., Sagheb Talebi, Kh., Rahmani, R., Adeli, E., Jafari, B. and Jafarzadeh, H., 2010. Quantitative and qualitative evaluation of plantations and natural forest at Darabkola, east of Mazandaran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 18(3), 337-351. (In Persian with English abstract).
- Moslemi Seyed Mahalle, S. M., Jalali, S. G., Hojjati, S. M. and Kooch, Y., 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). *Journal of Ecology of Iranian Forests*. 7 (14), 10-21. (In Persian with English abstract).
- Mahmoudi, E., Ramezani Kakroudi, A., Banj Shafiei, A., Salehi, M., Pato, O. and Hosseinzadeh, O., 2021. The study of soil carbon storage in Lavizan Forest Park, Tehran . *Journal of Forest Research and Development*. 7 (2), 327- 342. (In Persian with English abstract).
- Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S. M. and Fallah, A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest*. 3(2),13-23. (In Persian with English abstract).

- Neill, C., Piccolo, M. C., Cerri, C., Steudler, P. A., Melillo, J. M. and Brito, M., 1997. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. *Oecologia Journal*. 110(2), 243-252.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 5, 961-1010.
- Nordén, U., 1994. Influence of broad-leaved tree species on pH and organic matter content of forest topsoils in Scania, South Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 9(1- 4), 1-8.
- Osabohien, R., Matthew, O., Aderounmu, B. and Olawande, T. I., 2019. Greenhouse gas emissions and crop production in West Africa: Examining the mitigating potential of social protection. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 9(1), 57-66.
- Olsen, S. R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (Classic Reprint). *Forgotten Book*. 24 p.
- Pilehvar, B., Jafari, H. and Mirazadi, Z., 2016. Soil carbon sequestration compression in plantations with different species in Makhmalkooh forest park. khoramabad-Lorestan. *Journal of Plant Research* 29(4), 717-727. (In Persian with English abstract).
- Puladi, N., Delavar, M. A., Golchin, A., Mosavi Koper, A., 2013. Effect of alder and poplar plantation on soil quality and carbon sequestration (A case study: Safraabasteh Poplar Experimental Station). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 21(2), 286-299. (In Persian with English abstract).
- Rafeie Jahed, R., Hosseini, S. M. and Kooch, Y., 2016. The effect of overstory layer on soil physicochemical properties in a forest ecosystem. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 23(4), 1-24. (In Persian with English abstract).
- Razakamanarivo, R. H., Grinand, C., Razafindrakoto, M. A., Bernoux, M., Albrecht, A., 2011. Mapping organic carbon stocks in eucalyptus plantations of the central highlands of Madagascar: A multiple regression approach. *Geoderma*. 162 (3-4), 335-346.
- Soleimani, A., Hosseini, S. M., Massah Bavani, A. R., Jafari, M. and Francaviglia, R., 2019. 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). *Environmental science and technology*. 21(9),173-184.
- Sun, W. and Liu, X., 2020. Review on carbon storage estimation of forest ecosystem and applications in China. *Forest Ecosystems*. 7 (1),1- 14.
- Uri, V., Tullus, H. and Lohmus, K., 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* L.) Moench plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management*. 161, 169-179.
- Wang, H., Liu, S. R., Song, Z. S., Yang, Y. J., Wang, J. W., You, Y. M. and Cai, D., 2019. Introducing nitrogen-fixing tree species and mixing with *Pinus massoniana* alters and evenly distributes various chemical compositions of soil organic carbon in a planted forest in southern China. *Forest Ecology and Management*. 449,117-477.

- Yu, Z., Liu, S., Wang, J., Wei, A., Schuler, J., Sun, P., Harper, R. and Zegre, N., 2019. Natural forests exhibit higher carbon sequestration and lower water consumption than plantation forests in China. *Global change biology*. 25, 68–77.
- Zahedi, Gh. and Zargham, N., 2018. Carbon sequestration in Terrestrial Ecosystems, 2nd Edition. University of Tehran Academic Press, Tehran. 319 pp.
- Zarin Kafsh, M., 2002. Forestry Soil. Interaction of soil and plants regarding ecological factors forests ecosystems. Forest and rangelands research institute press, Tehran. 376pp.
- Zare Chahouki, M. A., Nodehi, R. and Tavili, A., 2010. Investigation on relationship between plant diversity and environmental factors in Eshtehard rangelands . *Journal of Arid Biom Scientific and Research*. 1,(2): 41-48. (In Persian with English abstract).

Original Article

The Impact of Reforestation with Broad-Leaved and Coniferous Species on Soil Properties and Carbon Storage (Case study: Kolet Forest)

Khadijeh Asghari Aghozgoleh,² Hamid Jalilvand and Hamed Asadi

Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran

Introduction: Soil is the largest source of carbon in the biosphere and more than half of its carbon is stored in forest ecosystems. Considering the importance of soil carbon part, the purpose of this research is to investigate how different species of broadleaf and coniferous species affect forest carbon storage in soil, considering their different ability to store and use soil nutrients in The forest is Kolet.

Materials and methods: In this research, first, three stands of *Acer velutinum* Boiss, *Alnus subcordata* C.A.M, and *Cupressus sempervirens* var *horizontalis* and one natural forest stand were selected in the study area. Ten samples of 400 square meters (20×20 meters) were selected in each cluster. Also, soil samples were collected from the four corners and the center of each plot from a depth of 0–15 cm; Then the soils are mixed together and a combined sample is separated for the laboratory (40 samples in total) which is used to study the physical and chemical characteristics of the soil (bulk density, soil texture, soil reaction, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, phosphorus and absorbable potassium) was transferred to the laboratory. SAS statistical software was used for soil data analysis related variables, and the Vegan R software package was used for principal component analysis (PCA) to identify the most significant factor and differentiate between the studied populations.

Results and discussion: Based on the obtained results, soil reaction rate, absorbable potassium, relative humidity, organic carbon, clay and soil carbon storage had significant differences among the four stands ($P < 0.01$). *Alnus subcordata* and *Acer velutinum* showed the highest amount of carbon storage compared to *Cupressus sempervirens* and natural forest stand. The difference observed in the amount of soil organic carbon in the studied stands depended on the different capabilities of tree species in restoring the soil ecosystem. The planting of broadleaf species resulted in more carbon storage in the short term than coniferous species, because broadleaf tree species increase litter production and nutrient return, making them more effective in restoring degraded forest soils. And this is due to faster leaf decomposition, higher nitrogen content and lower C/N ratio, while the presence of resinous and phenolic substances in coniferous leaves negatively affects their decomposition of their litter.

² Corresponding Author: *Email Address*. khadijeh.as71@gmail.com

Conclusion: In summary, this research showed that reforestation with broadleaf species in various areas of the region significantly impacted the soil carbon stock and carbon storage potential based on the type of tree species. Particularly, broadleaf species such as *Alnus subcordata* and *Acer velutinum* played a crucial role in increasing the amount of carbon stored in the soil of the studied region.

Keywords: Carbon storage, *Alnus subcordata*, Soil physical properties, PCA.

نسخه
پیش
انتشار