

تأثیر سن توده دست کاشت توسکا بیلاقی بر ترسیب کربن خاک

مظاهر الازمنی^۱، سیدمحمد حجتی^{۲*}، سیدمحمد واعظ موسوی^۳ و محیا تفضلی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (alazmani.mazaher@yahoo.com)
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (s_m_hodjati@yahoo.com)
۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (waezmousavi@gau.ac.ir)
۴- دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (mahya_tafazoli@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۳

چکیده

تاکنون پژوهشی در خصوص اثر سن درختان روی ویژگی‌های خاک و همچنین ترسیب کربن در خاک انجام نشده است، بنابراین هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثر سن توده دست کاشت توسکا بیلاقی روی برخی ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن آن بود. سه توده جنگلکاری ۲۵، ۳۰ و ۳۵ ساله توسکا بیلاقی واقع در پارسل‌ها شش و هفت جنگل شصت کلاته انتخاب شد. برای بررسی ویژگی‌های کمی درختان قطر و ارتفاع تمام درختان با استفاده از روش آماربرداری صد درصد ثبت شد. در هر یک از توده‌ها قطعات نمونه با ابعاد ۲۰×۲۰ متر با استفاده از روش منظم-تصادفی با ابعاد شبکه ۵۰×۵۰ متر پیاده شد. سپس در هر قطعه نمونه از عمق ۱۵-۰ سانتی متر با استفاده از روش استوانه فلزی نمونه خاک تهیه شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت خاک (۴۵/۴۹±۲/۴۴ درصد) و کمترین مقدار چگالی ظاهری (۱/۳۶±۰/۰۲) گرم بر سانتی متر مکعب) در توده ۳۵ ساله مشاهده شد. بیشترین مقدار pH (۷/۰±۵۹/۰۱) و کمترین مقدار هدایت الکتریکی (۰/۷۱±۰/۰۲) دسی‌زیمنس بر متر) در توده ۳۵ سال مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار درصد نیتروژن کل خاک و همچنین ترسیب کربن به ترتیب در توده‌های ۳۵ و ۲۵ سال مشاهده شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که توده ۳۵ ساله با دو توده دیگر تفاوت دارد؛ از این رو می‌توان بیان کرد که توده توسکا بیلاقی در این سن نیز توانایی بالایی در ترسیب کربن خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تثبیت نیتروژن، تغییر اقلیم، جنگلکاری، ویژگی‌های خاک.

مقدمه

این گونه از ارتفاع کم تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا در کنار دره‌ها، جویبارها و مسیرهای جاده‌های جنگلی رویش دارد. علاوه بر استقرار در نقاط مختلف جنگل موجب تثبیت ازت جو و تقویت جنبه‌های تغذیه‌ای خاک می‌شود (Mohammadnejad Kiasari et al., 2010).

افزایش نگرانی‌ها در زمینه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم موجب شده است که به خاک و قابلیت آن نیز در ترسیب کربن به صورت پایدار توجه ویژه‌ای شود (Lal, 2004). در سال‌های اخیر توجه به ماده آلی خاک در رابطه با ترسیب کربن افزایش یافته و دستیابی به افزایش ترسیب کربن خاک به عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم دی‌اکسید کربن اتمسفری در مجامع علمی و سیاسی جهان مطرح شده است (Kimble et al., 2003). ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن در اکوسیستم خشکی است و تأثیر شدیدی بر دی‌اکسید کربن اتمسفری دارد، به طوری که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی و یا مدیریت اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم دی‌اکسید کربن اتمسفری ایجاد کند. همچنین کاهش ذخیره کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب اثر زیادی بر ساختمان خاک می‌گذارد (Lal, 2004).

پژوهش‌های زیادی در مورد پویایی کربن اکوسیستم جنگلی و همچنین اثر جنگلکاری بر ترسیب کربن رو و زیر زمین در مقیاس‌های مختلف انجام شده است. با این وجود، پژوهش‌های اندکی در مورد تأثیر سن توده جنگلی بر ذخیره کربن خاک در توده‌های جنگلی انجام شد (Wei et al., 2013). سن یک توده جنگلی پیش‌بینی‌کننده مهمی از عملکردهای اکوسیستم است (Zeng et al., 2014; Bradford and Kastendick, 2010) و ممکن است بر ذخیره کربن در اکوسیستم‌های جنگلی تأثیر بگذارد (Pregitzer and

یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد گرمایش جهانی پدیده انتشار غیرمجاز گازهای گلخانه‌ای است؛ که مهم‌ترین آن‌ها شامل دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)، دی‌اکسید کربن (CO_2) و متان (CH_4) هستند (Osabohien et al., 2019). اما با توجه به حجم بیشتر تجمع دی‌اکسید کربن در اتمسفر، این گاز یکی از کلیدی‌ترین گازها در پدیده گرمایش جهانی کره زمین مطرح شده است که با توجه به افزایش سوختن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی مقدار آن در جو رو به افزایش است (Srivastava et al., 2012). پالایش کربن با روش‌های مصنوعی مثل فیلتر، هزینه‌های سنگینی دربر دارد (Cannell et al., 2003)، بنابراین برای کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری و ایجاد تعادل در محتوای گازهای گلخانه‌ای، کربن اتمسفر باید جذب و در شکل‌های متعدد ترسیب شود (Naghypour Borj et al., 2008). ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک‌هایی که تحت این زی‌توده هستند، ساده‌ترین و از نظر اقتصادی عملی‌ترین راهکار ممکن برای کاهش دی‌اکسید کربن اتمسفری است (Sheikh et al., 2009). در این میان، جنگل‌ها که مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی نیز به حساب می‌آیند، نقش مهمی در چرخه گاز دی‌اکسید کربن ایفا می‌کنند و یکی از مهم‌ترین محل ذخیره و ترسیب کربن هستند (Khalili ardali et al., 2019; Pan et al., 2011). بنابراین افزایش سطح جنگل‌ها طی فرآیند جنگلکاری می‌تواند راهکار مناسبی برای جذب و ذخیره کربن جو باشد. از گونه‌های مناسب و بومی جنگل‌های شمال کشور که کاربرد فراوان در فعالیت جنگلکاری دارد می‌توان گونه توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata*) را نام برد. توسکا از درختان روشنی‌پسند و تندرشد جنگل‌های شمال است که معمولاً در خاک‌های مرطوب، سبک و شنی از رشد مناسبی برخوردار است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

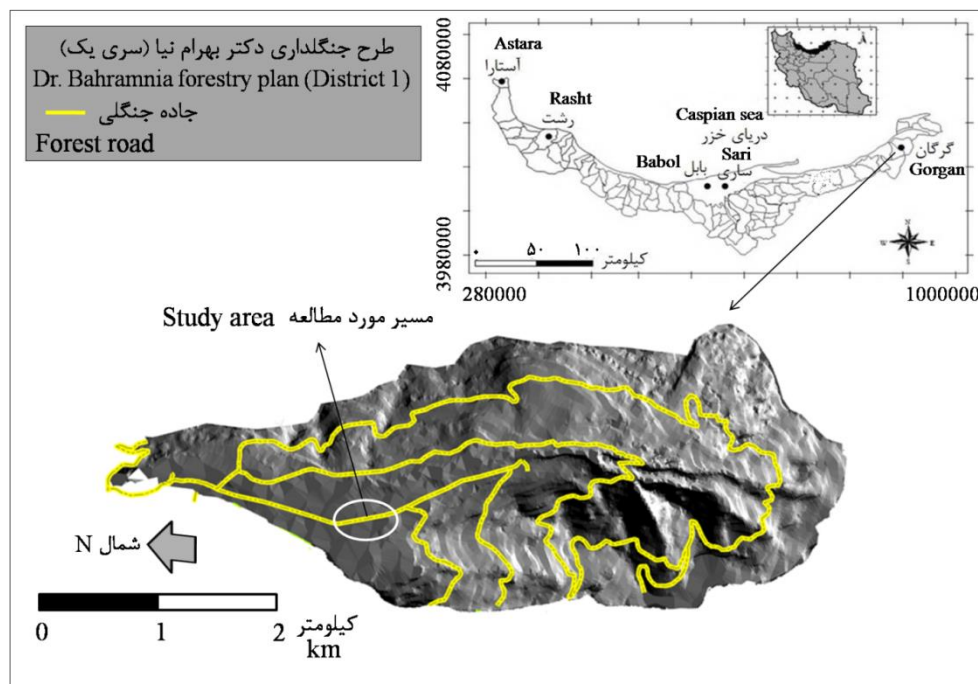
برای انجام این پژوهش سه توده جنگلکاری ۲۵، ۳۰ و ۳۵ ساله توسکا بیلاقی واقع در پارسل‌ها شش و هفت جنگل آموزشی پژوهشی شصت‌کلاته انتخاب شدند. سطح هر یک از توده‌ها تقریباً یک و نیم هکتار و فواصل کاشت در هر سه توده ۲×۲ متر بود. همچنین عملیات پرورشی در هر سه توده به شکل یکسان انجام شد. از نظر موقعیت مکانی، سه توده در مجاورت یکدیگر قرار دارند و از نظر ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه نیز مشابه هستند (شکل ۱).

جنگل آموزشی-پژوهشی شصت‌کلاته (طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا) در ۱۷ کیلومتری جنوب غربی گرگان قرار دارد. رستنی‌های این جنگل که سری اول طرح جنگلداری را می‌پوشاند، با رستنی‌های جنگل‌های حوزه دریای خزر مشابه بوده و بیشتر پهن‌برگ آمیخته هستند. گونه‌های درختی اصلی که در ارتفاعات پایین‌تر از ۵۰۰ تا ۷۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا مستقر شده‌اند ممرز و انجیلی است و بالاتر از این ارتفاع گونه راش به صورت مخلوط و به‌عنوان گونه‌های اصلی اضافه می‌شود و این گونه‌های اصلی بیشتر به صورت گروهی با هم آمیخته‌اند (Anonymous, 1995).

زمین این ناحیه از سنگ‌های ماسه‌ای تشکیل شده است و تاریخ آن احتمالاً به دوره اولیه مزوزوئیک تعلق دارد. لایه فوقانی آن به‌طور کلی از سنگ‌های ماسه‌ای و لایه زیرین آن از لایه‌های متناوب شیست و ماسه تشکیل یافته است. خاک این منطقه از خاک‌های جنگلی به رنگ قهوه‌ای و بسیار عمیق با بافت clay-loam-silty تشکیل شده است. ضخامت افق A این خاک پنج تا ۱۰ سانتی‌متر، قهوه‌ای تیره، غنی از مواد آلی و دانه‌ای با ظرفیت نفوذی زیاد، افق B آن به عمق بیش از ۵۰ سانتی‌متر رسیده و به رنگ زرد متمایل به قرمز، با بافت

(Euskirchen, 2004). اگرچه زی‌توده و ذخیره کربن درختان با افزایش سن افزایش می‌یابد، ولی در ارتباط با ترسیب کربن خاک نتایج پژوهش‌های مختلف اثر یکسانی را نشان ندادند (Powers and Marín-Spiotta, 2017; Wu et al., 2017; Han et al., 2017). بنابراین درک رابطه بین پویایی کربن در اکوسیستم جنگلی و سن آن به‌ویژه در توده‌های جنگلکاری لازم و ضروری است. در راستای اثر سن توده جنگل روی ترسیب کربن بررسی‌های مختلفی در خارج از ایران انجام شده است که برخی اثر افزایشی، برخی کاهش‌ی و در مواردی اثر خنثی را گزارش کردند (Han et al., 2017; Wu et al., 2017; Powers and Marín-Spiotta, 2017). در بین پژوهش‌های انجام‌شده در ایران در خصوص اثر سن توده روی ترسیب کربن می‌توان به پژوهش Imani et al. (2019a) اشاره کرد که بیان کردند با افزایش سن توده، ترسیب کربن روی زمین درختان افرا پلت افزایش می‌یابد. همچنین Imani et al. (2019b) در پژوهش دیگر اثر سن توده (دو طبقه سن ۲۵ و ۳۵ سال) را روی ترسیب کربن خاک در توده افرا پلت بررسی کردند و بیان کردند که با افزایش سن، مقدار ترسیب کربن در خاک افزایش می‌یابد.

بر اساس اطلاعات موجود پژوهش‌های محدودی در ارتباط با اثر سن توده جنگلکاری روی ویژگی‌های شیمیایی خاک و همچنین ترسیب کربن آن در شمال کشور انجام شده است. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش دستیابی به نتایج بیشتر در ارتباط با اثر سن توده (سه طبقه سنی ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سال) روی ویژگی‌های شیمیایی و ترسیب کربن خاک در توده دست‌کاشت توسکا بیلاقی بود. کسب اطلاعات در خصوص اثر سن روی ترسیب کربن در توده‌های جنگلکاری می‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت جنگل‌ها در راستای کاهش کربن جو و تعدیل گرمایش جهانی باشد.



شکل ۱- منطقه مورد بررسی و موقعیت آن در استان گلستان و ایران

Figure 1. Studied area and its location in Golestan province and Iran

جمع آوری داده‌ها و بررسی‌های آزمایشگاهی

برای بررسی ویژگی‌های کمی درختان با استفاده از روش آماربرداری صد در صد، قطر برابر سینه و ارتفاع کل تمام درختان (قطر برابر سینه بیشتر از هفت و نیم سانتی‌متر) به ترتیب با استفاده از خطکش دوبازه و دستگاه شیب‌سنج اندازه‌گیری و ثبت شد. با استفاده از قطر درختان ابتدا سطح مقطع درختان ($G = \frac{\pi}{4}d^2$) و در نهایت حجم درختان ($V = G \times h \times f$) بر حسب مترمکعب محاسبه شد. پس از جنگل‌گردشی در هر یک از توده‌های جنگلکاری مورد بررسی قطعات نمونه با ابعاد ۲۰×۲۰ متر با استفاده از روش منظم-تصادفی با ابعاد شبکه ۵۰×۵۰ متر پیاده شد. سپس در مرکز و چهار گوشه هر یک از قطعات نمونه پس از کنارزدن لایه لاشبرگ از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر با استفاده از روش

استوانه فلزی (قطر دهانه هشت سانتی‌متر) نمونه خاک تهیه شد (با رعایت فاصله یک متر از تنه درختان). سپس نمونه‌ها باهم آمیخته شده و یک نمونه برای هر قطعه-نمونه استخراج شد. نمونه‌های خاک درون پلاستیک قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند.

در آزمایشگاه ویژگی‌های فیزیکی درصد رطوبت به روش وزنی، چگالی ظاهری به روش کلوخه (Jafarihaghghi, 2003)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1951) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل اسیدیته خاک (pH) به روش پتانسیومتری (Jafarihaghghi, 2003)، هدایت الکتریکی (EC) به روش هدایت‌سنجی (نسبت خاک به آب برابر با یک به دو و نیم بود)، کربن آلی به روش والکی-بلاک (Nelson and Sommers, 1996)،

نیترژن به روش کجدال (Anonymous, 1980)، فسفر قابل‌جذب با روش اولسن (Olsen et al., 1954)، پتاسیم با روش عصاره‌گیری با استات آمونیم (Jafarihaghighi, 2003) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از اندازه‌گیری مشخصه‌های درصد کربن و وزن مخصوص ظاهری، مقادیر ترسیب کربن خاک در طبقه-های سنی برحسب تن در هکتار از رابطه ۱ محاسبه شد (Razakamanarivo et al., 2011).

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

که در رابطه فوق، Cs، ترسیب کربن (kg/ha)، OC، درصد کربن آلی، Bd، وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و E عمق لایه به سانتی‌متر است.

در ادامه نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف (Kolmogorov - Smirnov test) و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه ویژگی‌های خاک از تجزیه واریانس یک‌طرفه با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.26 استفاده شد. برای مقایسه چندگانه میانگین‌ها از آزمون SNK استفاده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای متغیرهای مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار R مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

ویژگی‌های کمی درختان

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار تعداد در هکتار به ترتیب در توده‌های ۲۵ و ۳۵ ساله مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار قطر و ارتفاع در

توده ۳۵ ساله مشاهده شد در حالی که کمترین مقدار قطر و ارتفاع در توده ۲۳ ساله مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار سطح مقطع و حجم در هکتار درختان نیز به ترتیب در توده‌های ۳۵ و ۲۵ سال اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت خاک در توده ۳۵ ساله است و بین دو توده ۲۵ و ۳۰ سال اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین مقدار چگالی ظاهری در توده ۳۵ سال به‌طور معنی‌داری کمتر از دو توده ۲۵ و ۳۰ سال بود. در مورد درصد اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس) اختلاف معنی‌داری بین سه توده مشاهده نشد (جدول ۲).

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج این پژوهش در ارتباط با مقدار اسیدیته خاک نشان داد که بیشترین مقدار آن در توده ۳۵ سال مشاهده شد در حالی که کمترین مقدار هدایت الکتریکی در توده ۳۵ سال اندازه‌گیری شد. بیشترین و کمترین مقدار درصد نیترژن کل خاک به ترتیب در توده‌های ۳۵ و ۲۵ سال مشاهده شد. از نظر فسفر قابل‌جذب اختلاف معنی‌داری بین سه توده مشاهده نشد. همچنین کمترین مقدار پتاسیم قابل‌جذب در توده ۳۵ سال اندازه‌گیری شد در حالی که بین دو توده ۲۵ و ۳۰ سال از نظر این مشخصه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین و کمترین مقدار کربن خاک نیز به ترتیب در توده‌های ۳۵ و ۲۵ سال مشاهده شد (جدول ۳). از نظر مقدار ترسیب کربن خاک بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در توده‌های ۳۵ و ۲۵ سال مشاهده شد (شکل ۲).

جدول ۱- نتایج آماربرداری صددرد صد مشخصات کمی درختان در توده‌های مورد بررسی

Table 1. Results of full inventory of quantitative characteristics of trees in the studied stands

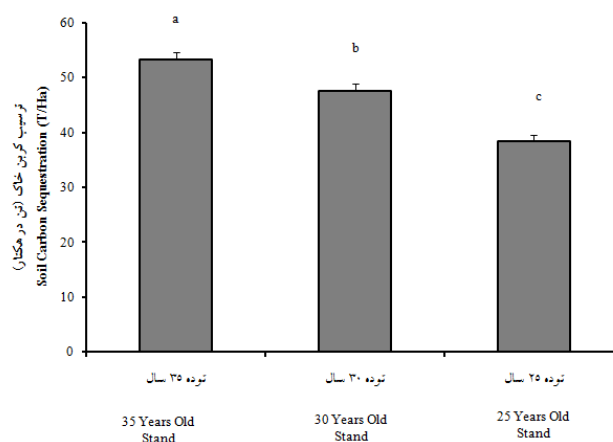
توده ۳۵ ساله	توده ۳۰ سال	توده ۲۵ سال	مشخصات کمی
35 Years Old Stand	30 Years Old Stand	25 Years Old Stand	Quantitative Characteristics
558	772	1050	تعداد در هکتار Number per Hectare
32	21	17	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at Breast Height (cm)
33	23	23	ارتفاع کل (متر) Total Height
47.66	29.55	26.66	سطح مقطع (مترمربع در هکتار) Basal Area (m ² /Ha)
811.34	362.94	314.15	حجم (مترمکعب در هکتار) Volume (m ³ /Ha)

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک (میانگین \pm اشتباه معیار) در توده‌های مختلف توسکا بیلاقیTable 2. Physical properties of soil (mean \pm standard error) in different *Alnus sabcurdata* stands

توده ۳۵ ساله	توده ۳۰ سال	توده ۲۵ سال	
35 Years Old Stand	30 Years Old Stand	25 Years Old Stand	
45.49 \pm 2.44 a	34.03 \pm 0.47 b	37.89 \pm 1.98 b	درصد رطوبت Moisture (%)
1.36 \pm 0.02 b	1.50 \pm 0.02 a	1.51 \pm 0.03 a	چگالی ظاهری Bulk Density (g/m ³)
30.80 \pm 1.67 a	38.80 \pm 1.53 a	38.20 \pm 3.73 a	درصد شن Sand (%)
44.00 \pm 2.23 a	43.20 \pm 2.00 a	39.80 \pm 1.87 a	درصد سیلت Silt (%)
24.20 \pm 2.25 a	18.00 \pm 1.58 a	21.00 \pm 1.88 a	درصد رس Clay (%)

حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Different letters indicate a significant difference at the 5% level using the Duncan test.



شکل ۲- ترسیب کربن خاک (تن در هکتار) در توده‌های مختلف توسکا بیلاقی

Figure 2. Soil carbon sequestration (tons per hectare) in different *Alnus sabcurdata* stands

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی خاک (میانگین \pm اشتباه معیار) در توده‌های مختلف توسکا بیلاقیTable 2. Chemical properties of soil (mean \pm standard error) in different *Alnus sabcurdata* stands

توده ۳۵ ساله	توده ۳۰ ساله	توده ۲۵ ساله	
35 Years Old Stand	30 Years Old Stand	25 Years Old Stand	
7.59 \pm 0.01 a	7.53 \pm 0.01 b	7.49 \pm 0.01 b	اسیدیته
			pH
0.71 \pm 0.02 b	0.85 \pm 0.02 a	0.86 \pm 0.05 a	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
			EC (ds/m)
0.60 \pm 0.02 a	0.53 \pm 0.01 b	0.36 \pm 0.01 c	نیتروژن کل (درصد)
			Total nitrogen (%)
8.52 \pm 0.16 a	7.84 \pm 0.21 a	7.85 \pm 0.20 a	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
			Available Phosphorus (mg/kg)
377.40 \pm 14.21 b	445.50 \pm 14.20 a	454.50 \pm 18.30 a	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
			Available Potassium (mg/kg)
3.90 \pm 0.12 a	3.17 \pm 0.08 b	2.54 \pm 0.06 c	کربن آلی (درصد)
			Organic Carbon (%)

حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

Different letters indicate a significant difference at the 5% level using the Duncan test.

در هکتار گونه توسکا بیلاقی را در توده دخالت‌شده در نه سالگی ۱۶۶۹ اصله و در ۱۳ سالگی، ۱۰۸۱- اصله و در ۱۹ سالگی، ۴۰۰ اصله به‌دست آورد. Ardeshiri (2010) تعداد در هکتار را در سن ۳۳ سالگی در توده توسکا بیلاقی ۶۵۷ اصله در هکتار به‌دست آورد. علت تفاوت تعداد در هکتار به‌نظر می‌رسد در ارتباط با شرایط رویشگاهی و ارتفاع از سطح دریا و به‌ویژه شدت دخالت‌کردن در عملیات پرورشی است. از طرفی با توجه به فاصله کاشت تلفاتی هم ناشی از خسارات طبیعی نظیر رقابت شدید به‌خاطر نورپسندبودن و باد وجود داشت. بیشترین و کمترین مقدار قطر برابر سینه، ارتفاع کل، سطح مقطع و حجم در هکتار درختان به- ترتیب در توده‌های ۲۵ و ۳۵ ساله مشاهده شد. تحقیقات انجام شده توسط Gorji Bahri et al. (2009, 2007) میانگین قطر و رویش متوسط قطری گونه توسکا را در سن نه سالگی به‌ترتیب ۱۵/۵ و ۱/۷۲ سانتی‌متر و در ۱۳ سالگی ۲۱/۴ و ۱/۶ سانتی‌متر و در ۱۹ سالگی ۲۷/۳ و ۱/۴ سانتی‌متر به‌دست آوردند.

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در توده‌های مورد بررسی نشان داد که مؤلفه‌های اصلی محور اول و دوم به‌ترتیب ۴۰/۴۸ و ۲۱/۲۳ درصد از تغییرات را به‌خود اختصاص داد (جدول ۴). مطابق شکل ۲، توده ۳۵ ساله از دو توده ۲۵ و ۳۰ ساله جدا شده و فاصله بیشتری دارد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار اسیدیته، نیتروژن، کربن آلی و ترسیب کربن همبستگی بالایی با توده ۳۵ ساله داشتند. مقادیر هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و شن بیشترین همبستگی را با توده ۲۵ ساله داشت. همچنین مقادیر اسیدیته و نیتروژن بیشترین همبستگی را با ترسیب کربن خاک داشتند (شکل ۳).

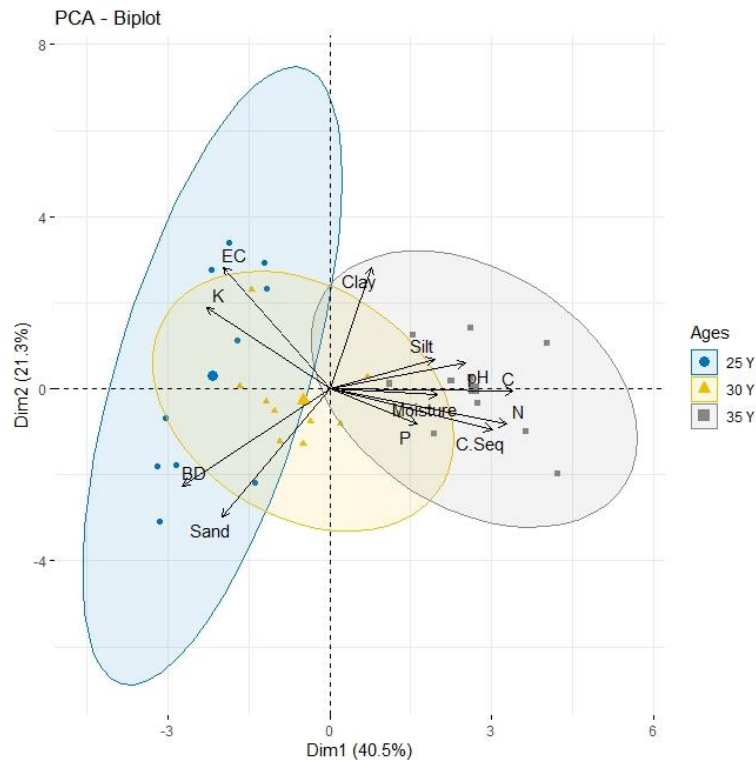
بحث

در این پژوهش اثر سن توده جنگلکاری توسکا بیلاقی روی ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد در هکتار درختان به‌ترتیب در توده ۲۵ و ۳۵ سال مشاهده شد. Gorji Bahri et al. (2009) تعداد

جدول ۴- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های خاک

Table 4. Results of PCA for soil properties

محور	مقدار شاخص ارزش ویژه	درصد واریانس
Axis	Eigen Value	Percent of Variance
1	4.85	40.48
2	2.56	21.33



شکل ۳- پراکنش متغیرهای خاک در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)

Figure 3. Principal component analysis (PCA) of soil properties

خاک می‌شود (Oztas et al., 2003). همچنین کمتر بودن تراکم درختان در توده ۳۵ ساله می‌تواند منجر به افزایش مقدار آب رسیده به کف جنگل و در آخر افزایش رطوبت خاک شود (Tafazoli et al., 2015; Joukar et al., 2019). مقدار چگالی ظاهری در توده ۳۵ ساله به‌طور معنی‌داری کمتر از دو توده دیگر بود. کاهش چگالی ظاهری می‌تواند به معنای افزایش فضای منافذ در خاک باشد. افزایش سن درختان و توسعه و نفوذ ریشه درختان در خاک می‌تواند موجب افزایش فضا منافذ در خاک شود. همچنین اضافه شدن مواد آلی طی فرآیند لاشه‌ریزی و ترشحات ریشه‌ای می‌تواند منجر به

نتایج نشان داد که مقدار رطوبت خاک در توده ۳۵ ساله به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو توده ۲۵ و ۳۰ ساله بود و اختلاف معنی‌داری بین دو توده ۲۵ و ۳۵ ساله مشاهده نشد. دلیل بیشتر بودن مقدار رطوبت خاک در توده ۳۵ سال می‌تواند ناشی از تجمع لاشه‌برگ‌ها در مدت زمانی بیشتر نسبت به توده دیگر و بیشتر بودن مواد آلی خاک در آن باشد. چرا که افزایش لاشه‌برگ می‌تواند سبب افزایش مواد آلی در خاک شود و همچنین می‌تواند به‌عنوان مانعی برای تبخیر آب از سطح خاک باشد. به‌طورکلی مواد آلی از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک و همچنین قابلیت نگهداری آب و حفظ رطوبت در

به‌طور معنی‌داری کمتر از دو توده دیگر بود که دلیل اصلی آن می‌تواند ناشی از آبخوبی این یون از خاک به‌همراه یون نیترات باشد (Weil and Brady 2016). نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار یون نیتروژن در توده ۳۵ سال به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده‌های ۲۵ و ۳۰ سال بود. با گذشت زمان و وجود گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مقدار این عنصر در خاک به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Weil and Brady 2016). پس از تثبیت نیتروژن در محل غده‌های ریشه درختان، مقدار زیادی از نیتروژن آلی به نیتروژن معدنی تبدیل خواهد شد. مقدار تثبیت نیتروژن ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال توسط همزیستی فرانکیا با توسکا گزارش شده است (Newton et al., 1968).

نتایج نشان داد که کربن آلی خاک و همچنین ترسیب کربن با افزایش سن توده افزایش یافته است. یکی از دلایل اصلی این امر این است که لاشه‌ریزی اغلب با افزایش اندازه تنه و قطر درختان افزایش می‌یابد. لاشه‌ریزی نه تنها به افزایش ماده آلی تازه کمک می‌کند بلکه ممکن است شرایطی را نیز فراهم کند که فرآیند هموسی شدن در خاک‌ها را بهبود بخشد (Cao et al., 2017; Han et al., 2018). افزایش کربن آلی با سن توده نتیجه مستقیم لاشه‌ریزی انباشته‌شده است. همچنین مقدار تنفس ریشه‌ای با افزایش سن کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین می‌توان به‌عنوان عاملی در تجمع کربن باشد (Cao et al., 2018; Zeng et al., 2014). یکی دیگر از دلایل پایین بودن کربن خاک برای توده‌های ۲۵ و ۳۰ سال می‌تواند به‌این واقعیت مربوط باشد که درختان در مرحله توسعه اولیه قرار دارند. همچنان که درخت به رشد خود ادامه می‌دهد، باید نرخ گردش کربن بالاتر و فعالیت‌های متابولیک بیشتری را در ریشه‌هایی که مسئول جذب مواد مغذی هستند حفظ کند (Zhang et al., 2011). و بدین ترتیب کربن خاک را

بهبود ساختمان خاک و در نهایت کاهش چگالی ظاهری خاک شود (Norden, 1994, Weil and Brady 2016). نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار واکنش خاک (pH) در توده ۳۵ سال به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو توده ۲۵ و ۳۰ سال بود. توسکا از درختانی است که با اکتینومیست‌های جنس فرانکیا همزیستی دارد و در نتیجه این همزیستی، غده‌های ریشه‌ای تشکیل و در این غده‌ها نیتروژن مولکولی تثبیت می‌شود. به‌طور کلی فرآیند تثبیت نیتروژن بدون توجه به نقش میکروارگانیزم‌ها، فرآیندی است که موجب مصرف یون هیدروژن در خاک شده و در آخر می‌تواند منجر به افزایش pH خاک شود. برای این منظور، نیتروژن مولکولی به‌همراه یون هیدروژن و در حضور آنزیم نیتروژناز به آمونیاک تبدیل می‌شود (Weil and Brady 2016). بنابراین با توجه به اینکه در توده ۳۵ ساله نسبت به دو توده دیگر فرآیند تثبیت نیتروژن مدت زمان طولانی‌تری در حال انجام بود، بنابراین مقدار pH خاک نیز در این توده بیشتر از دو دیگر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار هدایت الکتریکی در توده ۳۵ سال به‌طور معنی‌داری کمتر از دو توده دیگر بود. دلیل این امر می‌تواند ناشی از آبخوبی کاتیون‌های قلیایی به‌همراه یون نیترات از خاک باشد. افزایش فرآیند تثبیت نیتروژن در نهایت سبب افزایش مقدار قابل‌توجهی از یون آمونیم در خاک خواهد شد (Weil and Brady 2016). یکی از سرنوشت‌های احتمالی یون آمونیم در خاک، تبدیل آن به یون نیترات است. بنابراین با افزایش مقدار یون نیترات در خاک و توجه به‌این موضوع که این یون به‌راحتی از سطح خاک آبخوبی می‌شود و آبخوبی آن به‌همراه کاتیون‌های قلیایی اتفاق می‌افتد، از این‌رو در آخر این فرآیند منجر به کاهش مقدار هدایت الکتریکی در خاک خواهد شد (Weil and Brady 2016). نتایج این پژوهش نیز نشان داد مقدار یون پتاسیم در توده ۳۵ سال

ظاهری کاهش پیدا کرد. همچنین ویژگی‌های شیمیایی شامل واکنش خاک، هدایت الکتریکی، درصد نیتروژن کل، پتاسیم قابل جذب و کربن آلی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن درختان قرار می‌گیرند. همچنین بیشترین مقدار ترسیب کربن خاک نیز در توده ۳۵ ساله مشاهده شد. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی که بیانگر آن بود که اختلاف زیادی بین توده ۲۵ و ۳۰ ساله وجود ندارد و از طرف دیگر توده ۳۵ ساله از توده ۲۵ ساله به‌طور کامل جدا شد، بنابراین می‌توان بیان کرد که در سن حدود ۳۵ سال نیز توده توسکا توانایی بالایی برای تثبیت نیتروژن، بهبود حاصلخیزی خاک و همچنین ترسیب کربن دارد. بنابراین در برنامه‌های مدیریتی برای احیا جنگل و همچنین ترسیب کربن جو در خاک باید زمان بلنمدت، حدود ۳۵ سال در نظر گرفته شود.

برای ایجاد سیستم ریشه در مرحله رشد سریع آن تخلیه می‌کند (Davidson et al., 2002). (Davis et al. (2003). افزایش کربن در خاک (۰-۱۰ سانتی‌متر) را با افزایش سن توده گزارش کردند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی متغیرهای مورد بررسی نشان داد که توده ۳۵ ساله به‌طور کامل از توده ۲۵ ساله جدا شده و توده ۳۰ ساله یک حالت بینابینی دارد. متغیرهای واکنش خاک، درصد نیتروژن کل، کربن آلی و ترسیب کربن همبستگی بالایی با توده ۳۵ سال داشتند. همچنین واکنش خاک و درصد نیتروژن کل همبستگی بالایی با ترسیب کربن در خاک داشت.

در این پژوهش برای اولین بار اثر سن درختان توسکا بیلاقی روی ویژگی‌های خاک و ترسیب کربن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی درصد رطوبت با افزایش سن افزایش و چگالی

References

- Anonymous, Forest Management Plan of Dr. Bahramnia Forest. Published by Forests, Range and Watershed Management Organization of Iran, 1995. 820 p. (In Persian)
- Anonymous Soil and Plant Testing and Analysis as a Basis of Fertilizer Recommendation, F.A.O. *Soils Bulletin*, 1980. 250 p.
- Ardeshiri, A., Effect of thinning on diameter growth of alder and pure maple plant species. M.Sc thesis. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 2010, 100 p. (In Persian)
- Bouyoucos, G. J., A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy journal* **1951**, 43 (9), 434-438.
- Bradford, J. B.; Birdsey, R. A.; Joyce, L. A.; Ryan, M. G., Tree age, disturbance history, and carbon stocks and fluxes in subalpine Rocky Mountain forests. *Global change biology* **2008**, 14 (12), 2882-2897.
- Cannell, M. G., Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy* **2003**, 24 (2), 97-116.
- Cao, J.; Zhang, X.; Deo, R.; Gong, Y.; Feng, Q., Influence of stand type and stand age on soil carbon storage in China's arid and semi-arid regions. *Land Use Policy* **2018**, 78, 258-265.
- Davidson, E. A.; Savage, K.; Bolstad, P.; Clark, D. A.; Curtis, P. S.; Ellsworth, D. S.; Hanson, P. J.; Law, B. E.; Luo, Y.; Pregitzer, K. S., Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* **2002**, 113 (1-4), 39-51.
- Davis, M.; Allen, R.; Clinton, P., Carbon storage along a stand development sequence in a New Zealand Nothofagus Forest. *Forest Ecology and Management* **2003**, 177 (1-3), 313-321.
- Gorgi Bahri, Y.; Faraji, R.; Kiadaliri, H.; Abbasi, E.; Gharib, B., The effect of thinning on growth and wood production of Caucasian alder (*Alnus subcordata*) plantation in Nowshahr region, *Iranian Journal of Forest* **2009**, 1 (1), 43-55. (In Persian)
- Gorji Bahri, Y.; Hemati, A.; Mahdavi, R., Effects of thinning intensities on Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation in Guilan province (Iran), *Iranian Journal of Forest*

- and *Poplar Research* **2007**, 15 (3), 217-233. (In Persian)
- Han, X.; Zhao, F.; Tong, X.; Deng, J.; Yang, G.; Chen, L.; Kang, D., Understanding soil carbon sequestration following the afforestation of former arable land by physical fractionation. *Catena* **2017**, 150, 317-327.
- Imani, M.; Hojjati, S. M.; Pourmajidian, M. R.; Fallah, A., The effect of stand age on soil carbon sequestration of *Acer velutinum* plantation. Annual International Congress on New Findings in Agricultural Sciences and Natural Resources, Environment and Tourism. 2019b. (In Persian)
- Imani, M.; Hojjati, S. M.; Pourmajidian, M. R.; Fallah, A.; Tafazoli, M., Effect of stand age on carbon sequestration of *Acer velutinum* plantation. The second international congress on agricultural and environmental development with emphasis on the United Nations development program. September 2019a. (In Persian)
- Jafarihaghighi, M., *Sampling and analysis of important physical and chemical soil analysis*. Neda Zoha press, 2003, 236 p. (In Persian)
- Joukar, Z.; Moradi, M.; Basiri, R., Distribution of rain fall in pure *Tamarix arceuthoides* stand in the riparian forests. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 4 (4), 501-513.
- Khalili ardali, Z.; Mirazadi, Z.; Mansour, S. R., Estimation of biomass, carbon sequestration and leaf area of *Acer monspessulanum* in Middle-Zagros, case study: Ghaleh Gol forests in Lorestan province. **2019**.
- Kiasari, S.; Sardabi, H.; Mousavi Garmestani, S. A.; Borhani, A.; Karandeh, M.; Bozorgnejad, R.; Ghasemi, S. i., Effect of sowing date on growth and survival of Brutain Pine (*Pinus brutia*) and Mediterranean Cypress (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*) in eastern Mazandaran (Passand Research Station). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2008**, 16 (2), 261-251.
- Kimble, J. M.; Heath, L. S.; Birdsey, R. A.; Lal, R., The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. CRC Press, New York, 2003, 448p.
- Lal, R., Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* **2004**, 123 (1-2), 1-22.
- Naghipour Borj, A. A.; Haidarian Aghakhani, M.; Dianati, Gh. A.; Tavakoli, H., Role of Iran's gangelands in gbsorption of greenhouse gasses. Abstracts of the 2nd National Conference on World Environment, Iran, 2008, pp, 219-220. (In Persian)
- Nelson, D.; Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties* **1983**, 9, 539-579.
- Nordén, U., Leaf litterfall concentrations and fluxes of elements in deciduous tree species. *Scandinavian Journal of forest research* **1994**, 9 (1-4), 9-16.
- Olsen, S. R., *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. US Department of Agriculture: 1954.
- Osabohien, R.; Matthew, O.; Aderounmu, B.; OLAWANDE, T. I., Greenhouse gas emissions and crop production in West Africa: Examining the mitigating potential of social protection. *International Journal of Energy Economics and Policy* **2019**, 9 (1), 57-66.
- Oztas, T.; Koc, A.; Comakli, B., Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. *Journal of Arid Environments* **2003**, 55 (1), 93-100.
- Pan, Y.; Birdsey, R. A.; Fang, J.; Houghton, R.; Kauppi, P. E.; Kurz, W. A.; Phillips, O. L.; Shvidenko, A.; Lewis, S. L.; Canadell, J. G., A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* **2011**, 333 (6045), 988-993.
- Powers, J. S.; Marín-Spiotta, E., Ecosystem processes and biogeochemical cycles in secondary tropical forest succession. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **2017**, 48, 497-519.
- Pregitzer, K. S.; Euskirchen, E. S., Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global change biology* **2004**, 10 (12), 2052-2077.
- Razakamanarivo, R. H.; Grinand, C.; Razafindrakoto, M. A.; Bernoux, M.; Albrecht, A., Mapping organic carbon stocks in eucalyptus plantations of the central highlands of Madagascar: A multiple regression approach. *Geoderma* **2011**, 162 (3-4), 335-346.
- Sheikh, M. A.; Kumar, M.; Bussmann, R. W., Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf

- temperate forests in Garhwal Himalaya. *Carbon balance and management* **2009**, 4 (1), 1-6.
- Srivastava, A. K.; Gaiser, T.; Paeth, H.; Ewert, F., The impact of climate change on Yam (*Dioscorea alata*) yield in the savanna zone of West Africa. *Agriculture, ecosystems & environment* **2012**, 153, 57-64.
- Tafazoli, M.; Attarod, P.; Hojjati, S., Rainfall interception by *Quercus castaneifolia*, *Acer velutium*, and *Pinus brutia* plantations within the growing season in Darabkola Forest of Mazandaran province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, 23 (1).
- Wei, Y.; Li, M.; Chen, H.; Lewis, B. J.; Yu, D.; Zhou, L.; Zhou, W.; Fang, X.; Zhao, W.; Dai, L., Variation in carbon storage and its distribution by stand age and forest type in boreal and temperate forests in northeastern China. *PLoS One* **2013**, 8 (8), e72201.
- Weil, R.; Brady, N., The nature and properties of soils, ed. *Columbus, Ohio: Pearson* **2016**.
- Wu, G. L.; Liu, Y.; Tian, F. P.; Shi, Z. H., Legumes functional group promotes soil organic carbon and nitrogen storage by increasing plant diversity. *Land Degradation & Development* **2017**, 28 (4), 1336-1344.
- Zeng, X.; Zhang, W.; Cao, J.; Liu, X.; Shen, H.; Zhao, X., Changes in soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, and bulk density after afforestation of the “Beijing–Tianjin Sandstorm Source Control” program in China. *Catena* **2014**, 118, 186-194.
- Zhang, J.; Shangguan, T.; Meng, Z., Changes in soil carbon flux and carbon stock over a rotation of poplar plantations in northwest China. *Ecological research* **2011**, 26 (1), 153-161.

Effect of alder plantation age on soil carbon sequestration

M. Alazmani¹, S.M. Hojjati^{*2}, S.M. Waez Mousavi³ and M. Tafazoli⁴

1- M.Sc. Student Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari. I.R. Iran. (alazmani.mazaher@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran. (s_m_hodjati@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran. (waezmousavi@gau.ac.ir)

4- Ph.D in Forestry, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran. (mahya_tafazoli@yahoo.com)

Received: 16.08.2020 Accepted: 04.10.2020

Abstract

There had been no study about the effect of the plantations' age on the properties of forest soils and soil carbon sequestration. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of an alder plantation's age on some soil properties and carbon sequestration. Three alder plantation stands (25, 30, and 35 years old) located in Parcels No. 6 and 7 in Shastkolateh forest were selected. In order to investigate the quantitative characteristics of trees, the diameter and height of all trees were recorded using the full inventory method. In each stand, 20 × 20 m sample plots were considered using a systematic random method with a 50 × 50 m grid. A soil sample was then taken at the depth of 0-15 cm in each plot using the core method. The result showed that the 35-year-old stand had the highest soil moisture (45.49%±2.44) and the lowest bulk density (1.36 g/cm³±0.02). The highest pH (7.59 ±0.01) and the lowest EC (0.71±0.02 dS/m) were observed in the 35-year-old stand. The highest and lowest percentages of total soil nitrogen as well as carbon sequestration were observed in the 35- and 25- year-old stands, respectively. The results of component analysis showed that the 35-year-old stand was different from the other two stands; hence, it can be stated that alder plantation stands will have a high capacity for carbon sequestration at this age.

Keywords: Climate change, Nitrogen fixation, Plantation, Soil properties.

* Corresponding author

Tel: +989111719613