

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک ۲۰ سال پس از جنگلکاری در جنگل‌های شمال ایران (با تأکید بر ذخایر کربن و نیتروژن در جنگل‌های دست‌کاشت با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ)

لیلا وطنی^۱، سیدمحسن حسینی*^۲، سیدجلیل علوی^۳، محمود رائینی سرجاز^۴ و سیدسعید شمسی^۵

- ۱- دکترای اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (vatany2000@yahoo.com)
- ۲- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)
- ۴- استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (m.raeini@sanru.ac.ir)
- ۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (saeedshamsi92@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۵

چکیده

این پژوهش در پنج توده دست‌کاشت با گونه‌های بلوط، توسکا، افراپلت، صنوبر و زرین در جنگل‌های حوزه آبخیز تجن در استان مازندران انجام شد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ۱۰ نمونه خاک در هر توده درختی برداشت و مشخصه‌های خاک شامل بافت، اسیدیته خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، عناصری چون فسفر، پتاسیم، کلسیم، نیتروژن و کربن خاک اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش نشان داد که نوع گونه درختی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثرگذار است. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که ویژگی‌های خاک در توده‌های مختلف تفاوت معنی‌داری دارند. در این منطقه بیشترین مقدار ذخیره کربن خاک در توده توسکا ($64/61 \text{ ton ha}^{-1}$) و کمترین مقدار آن در خاک توده صنوبر ($26/76 \text{ ton ha}^{-1}$) مشاهده شد. مقدار ذخیره نیتروژن نیز در خاک توده توسکا دارای بیشترین مقدار ($2/68 \text{ ton ha}^{-1}$) و در توده زرین دارای کمترین مقدار ($1/17 \text{ ton ha}^{-1}$) بود. در مجموع می‌توان گفت که ذخیره کربن و نیتروژن خاک به‌عنوان یک ارزش افزوده در کنار دیگر ارزش‌ها و فوائد بوم‌سامانه‌های جنگلی و به‌عنوان شاخصی برای سنجش پایداری بوم‌سامانه است.

واژه‌های کلیدی: احیای جنگل، عناصر خاک، بوم‌سامانه، جنگل طبیعی، تغییر اقلیم.

مقدمه

امروزه به دلیل افزایش توجه به پیامدهای گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، ترسیب کربن خاک به- عنوان روش مناسبی برای کاهش تراکم CO₂ جوی در مجامع علمی جهان مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Kimble et al., 2003). ترسیب کربن خاک بخش مهمی از ترسیب کربن جو در بوم سامانه خشکی است و تأثیر بسیاری بر مقدار CO₂ جو دارد (Harrison et al., 1993) به طوری که حدود ۷۵ درصد از کربن جو در خاک ذخیره می شود (Henderson, 1995) و خاک مناطق جنگلی ۴۰ درصد از این مقدار را می تواند در خود ذخیره کند (Dixon et al., 1994). در واقع رستنی های جنگل و خاک آن مخزن اصلی جذب و تثبیت دی اکسید کربن جوی هستند (Kaul, 2010; Pato et al., 2017). هرگونه درختی می تواند بر محیط خود تأثیر گذاشته و از آن تأثیر پذیرد. گونه های درختی به دلیل تفاوت در کیفیت و ترکیبات شیمیایی لاش برگ وارده به خاک و فعالیت ریشه ها علاوه بر کربن دیگر ویژگی های خاک را نیز تحت تأثیر قرار می دهند. گونه های درختی سوزنی برگ و پهن برگ می توانند اثرهای متفاوتی بر خاک و پوشش گیاهی داشته باشند (Jafari et al., 2004; Hashemi et al., 2017). جنگل های پهن برگ توان بیشتری برای جذب دی اکسید کربن دارند و تغییر جنگل سوزنی برگ به پهن برگ می تواند جذب کربن را افزایش و کیفیت خاک را بهبود بخشد (Van Kooten et al., 2004).

ویژگی هایی مانند مقدار نیتروژن، پتاسیم و فسفر ارتباط مستقیمی با پراکنش پوشش های مختلف گیاهی و رشد و نمو آنها دارند بر همین اساس تعیین اثرهای متقابل خاک و گونه های درختی همواره مورد توجه محققین بوده و پژوهش های بسیاری در این زمینه انجام شده است (Boley et al., 2009; Garcia-Orenes et al., 2010; Augusto et al., 2002).

از مهم ترین اهداف طرح های جنگلداری حفاظت از جنگل و پایداری بوم سامانه های (اکوسیستم های) جنگلی است. پایداری بوم سامانه در جنگل شاخص- های متنوعی دارد که یکی از این شاخص ها حفظ حاصلخیزی خاک است. در واقع پایداری طولانی مدت بوم سامانه های خاکی وابسته به حفظ کیفیت خاک است (Demessie, 2012). تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارزیابی کیفیت آن مؤثر است به- همین دلیل شناخت ویژگی های خاک در بوم سامانه جنگل نیاز به پژوهش و بررسی های همه جانبه دارد (Liu, 2017). کیفیت خاک در جنگل تحت تأثیر واکنش متقابل خاک و گیاهان، متفاوت است (Shahsavari et al., 2016). وجود عناصر غذایی در خاک، حاصل تعادل میان لاش برگ و تجزیه میکروبی آن، آتش سوزی، فرسایش و آبشویی است که تحت تأثیر اقلیم، رژیم های حرارتی، ترکیب جامعه گیاهی، میکروارگانیسم ها (ریزاندامگان) و زمان تغییر می کند (Varamesh et al., 2009)؛ بنابراین نوع کاربری و پوشش گیاهی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر می گذارد و خاک جنگل در تعامل با دیگر عوامل زیستی و غیرزیستی، محیط مساعدی را برای رشد و پراکنش رستنی ها ایجاد می کند.

غلظت گازهای گلخانه ای در جو در حال افزایش است که منجر به افزایش گرمایش جهانی زمین شده است (Kooch et al., 2015) دی اکسید کربن، متان و نیتروز اکسید مهم ترین گازهای گلخانه ای به شمار می روند که حدود ۸۰ درصد گرمایش جهانی زمین را سبب می شوند (Gundersen et al., 2012). تغییرات این گازها تا حد زیادی متأثر از تغییرپذیری شاخص های اکوفیزیولوژی کربن و نیتروژن خاک است.

نیتروژن یکی دیگر از عناصر مؤثر در خاک است. تجمع نیتروژن نیز در حال حاضر به علت فعالیت‌های انسانی رو به افزایش است. یکی از چاهک‌های نیتروژن در بوم‌سامانه‌های زمینی، خاک است (Templer et al., 2012). نتایج پژوهش Chiti et al. (2007) نشان داد که مقدار کربن آلی و نیتروژن در جنگلکاری‌های آمیخته بلوط و توسکا بیلاقی بیشتر از جنگلکاری‌های خالص بلوط بوده است و توسکا به‌عنوان گونه همراه نقش مؤثری در تثبیت نیتروژن و فرآیندهای تحول خاک و چرخه کربن داشته است. امروزه تحت شرایط گرمایش جهانی، توسعه جنگل‌ها از طریق جنگلکاری مؤثرترین راهکار برای کاهش پیامدهای ناشی از گرمایش زمین است. درختان با قابلیت جذب گازهای گلخانه‌ای و ذخیره آن در اندام‌های خود و در خاک جنگل، در ترسیب و کاهش عناصر گازهای گلخانه‌ای در جو نقش اساسی ایفا می‌کنند (Demessie et al., 2012; Varamesh et al., 2010; Nobakht et al., 2011).

جنگلکاری برای احیای جنگل‌های مخروبه با گونه‌های مختلف سوزنی‌برگ و پهن‌برگ انجام می‌شود. با توجه به این‌که پتانسیل ذخیره کربن و نیتروژن گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ متفاوت است (Van Kooten et al., 2004)، بنابراین بررسی تغییرات ذخیره کربن و نیتروژن و تعیین عوامل تأثیرگذار بر آن می‌تواند در پیدا کردن راه‌حل‌های مناسب و پیش‌بینی تغییرات مربوط تأثیرگونه‌های درختی بر گردش عناصر غذایی و در نهایت تغییر در مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار باشد (Nave et al., 2010). انتخاب گونه درختی مناسب یکی از فاکتورهای مهم و اثرگذار در عملیات جنگلکاری است. از آنجایی‌که گونه‌های درختی مختلف اثرهای متفاوتی بر بوم‌سامانه جنگل دارند، بنابراین این

پژوهش برای تعیین تأثیر پنج گونه درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در جنگل‌های دست‌کاشت بر مقدار ذخائر کربن و نیتروژن خاک انجام شد. فرض بر این است که ترسیب کربن در توده سوزنی‌برگ بیشتر از توده‌های پهن‌برگ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در محدوده طرح جنگلداری مهدشت واقع در حوزه آبخیز تجن شهرستان ساری در استان مازندران واقع شده است (در محدوده طول جغرافیایی ۵۳ درجه صفر دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی) (شکل ۱). شیب دامنه منطقه عموماً رو به شمال و شمال غربی است و متوسط ارتفاع منطقه پژوهش ۴۵۰ متر از سطح دریا است. این منطقه در سال ۱۳۷۵ با گونه‌های مختلف درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنگلکاری شد. سطح جنگلکاری خالص با هر گونه حداقل سه هکتار است و عملیات پرورشی به‌طور یکسان در همه توده‌ها انجام شده است. گونه‌های درختی منطقه پژوهش شامل افرا پلت (Maple) (*Acer velutinum* Bioss)، توسکا قشلاقی (Alder) (*Alnus glutinosa* (L.)) (Gaertn)، بلوط بلندمازو (Chestnut-leaved oak) (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey) و زربین (Cypress) (*Cupressus sempervirens* var. Horizontalis) در داخل جنگل و یک عرصه دست‌کاشت با گونه صنوبر دلتوئیدس (Poplar) (*Populus deltoids* Barter.ex Marsh) در حاشیه طرح جنگل است. آب و هوای منطقه معتدل و مرطوب است دوره خشکی آن از اوایل خرداد ماه شروع و تا اواخر مرداد ماه ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۱- منطقه مورد بررسی در جنگل‌های پایین‌بند منطقه مهدشت ساری - مازندران
Figure 1. Study sites in low land forest at Mahdasht, Sari, Mazandaran

ها، آسیاب شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد (Paul et al., 2002; Losi et al., 2003; Ponce- Hernandez et al., 2004). تعداد ۵۰ نمونه لاش‌برگ نیز از سطح هر پروفیل خاک در هر یک از قطعات نمونه برداشت شد. محتوی کربن آلی لاشبرگ به روش احتراق (Nilsson et al., 1999) و نیتروژن کل به روش معدنی‌سازی (Bremner and Mulvaney, 1982) مورد سنجش قرار گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت: جرم مخصوص خاک به

روش نمونه‌برداری خاک و تجزیه آزمایشگاهی در هر توده دست‌کاشت ۱۰ قطعه نمونه مربع شکل به ابعاد ۱۰×۱۰ متر پیاده شد. پس از کنار زدن لایه لاش‌برگ، چهار نمونه خاک از چهار گوشه و یک نمونه از مرکز قطعه نمونه برداشت شد و برای به کمینه رساندن خطا، نمونه‌برداری به صورت ترکیبی انجام شد. بدین صورت که پنج نمونه از هر قطعه‌نمونه با هم مخلوط و یک نمونه خاک از هر قطعه نمونه به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها، سنگ و دیگر ناخالصی-

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس با استفاده از آزمون Levene مورد آزمون قرار گرفت. برای بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با توده‌های دست‌کاشت از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) استفاده شد. برای مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از آزمون SNK (Student-Newman-Keuls) در سطح احتمال ۹۵ درصد ($p < 0.05$) در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در پنج توده دست-کاشت افراپلت، توسکا، بلوط، صنوبر و زرین در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که بیشتر ویژگی‌های مورد بررسی شامل مقدار رطوبت، pH، ساختمان و بافت خاک، عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم و کلسیم، کربن آلی، هدایت الکتریکی در بین توده‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. مقایسه میانگین داده‌های خاک در توده‌های مختلف دست‌کاشت نشان داد که درصد رطوبت خاک در توده‌های افرا و توسکا بیشترین مقدار و در توده‌های زرین و صنوبر کمترین مقدار را داشت. pH خاک در صنوبر دارای بیشترین مقدار و در توده‌های توسکا و بلوط دارای کمترین مقدار بود. مقدار عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و کلسیم در توده افرا دارای بیشترین مقدار و در توده بلوط دارای کمترین مقدار بود.

روش کلوخه برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (Blake and Hartage, 1986)، بافت خاک به روش دانسیمتری بایکاس (Bouyoucos, 1962)، درصد نیتروژن به روش کجدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، درصد کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک (Walkley and Black, 1934)، pH به روش پتانسیومتری، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع و با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، درصد توسط اکسیداسیون دی‌کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) روش والکی و بلاک، درصد آهک به روش تیتراسیون، فسفر قابل جذب به روش اولسن برحسب (ppm) و پتاسیم و کلسیم نیز با جذب اتمی برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq/lit) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند (Bremner and Mulvaney, 1982).

به منظور تعیین ذخیره کربن آلی و نیتروژن خاک

از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{SOCS} = C \times \text{BD} \times E \times 0.1$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{SONS} = N \times \text{BD} \times E \times 0.1$$

در این معادله‌ها BD جرم مخصوص ظاهری گرم بر سانتی‌متر مکعب، C مقدار کربن آلی خاک برحسب گرم بر کیلوگرم، N مقدار نیتروژن آلی خاک برحسب گرم بر کیلوگرم، E ضخامت لایه خاک برحسب سانتی‌متر و SOCS و SONS به ترتیب مقدار ذخیره کربن و تثبیت نیتروژن خاک بر حسب تن در هکتار است (Sariyildiz et al., 2015).

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، طرح آزمایشی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ده تکرار مورد استفاده قرار گرفت.

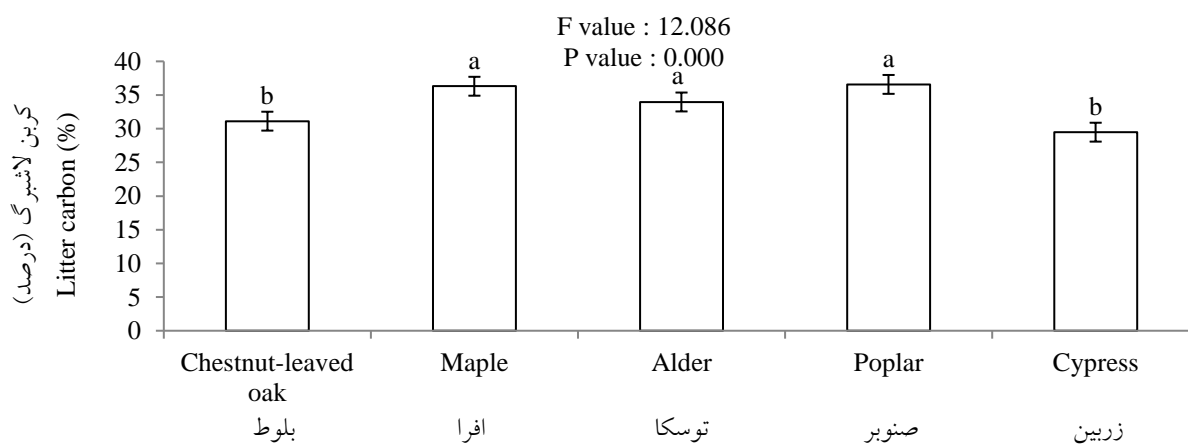
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های دست‌کاشت

Table 1. Soil physico-chemical properties in planted forests

گونه	بلوط	افرا	توسکا	صنوبر	زربین
Specie	Chestnut-leaved oak	Maple	Alder	Poplar	Cypress
جرم مخصوص ظاهری Bulk density	1/375 ^a	1/408 ^a	1/286 ^{ab}	1/344 ^{ab}	1/22 ^b
شن Sand	24/4 ^b	18 ^c	31/4 ^a	31/8 ^a	30/8 ^a
سیلت Silt	48 ^a	43/6 ^b	45/6 ^{ab}	38/6 ^c	36/4 ^c
رس Clay	27/6 ^b	38/4 ^a	23 ^c	29/6 ^b	32/8 ^b
درصد رطوبت Water content	18/8 ^b	26/8 ^a	25/8 ^a	13/6 ^c	14/4 ^c
pH	6/754 ^c	7/688 ^{ab}	6/768 ^c	7/886 ^a	7/59 ^b
هدایت الکتریکی EC	0/186 ^c	0/376 ^a	0/302 ^b	0/364 ^{ab}	0/344 ^{ab}
فسفر P	10/2 ^c	33/8 ^a	16/6 ^b	15/4 ^b	9/1 ^c
پتاسیم K	125/4 ^d	434/8 ^a	187/4 ^c	308 ^b	148/4 ^d
کلسیم Ca	2531/1 ^d	4967/1 ^a	3288 ^c	4676/8 ^{ab}	4521/6 ^b

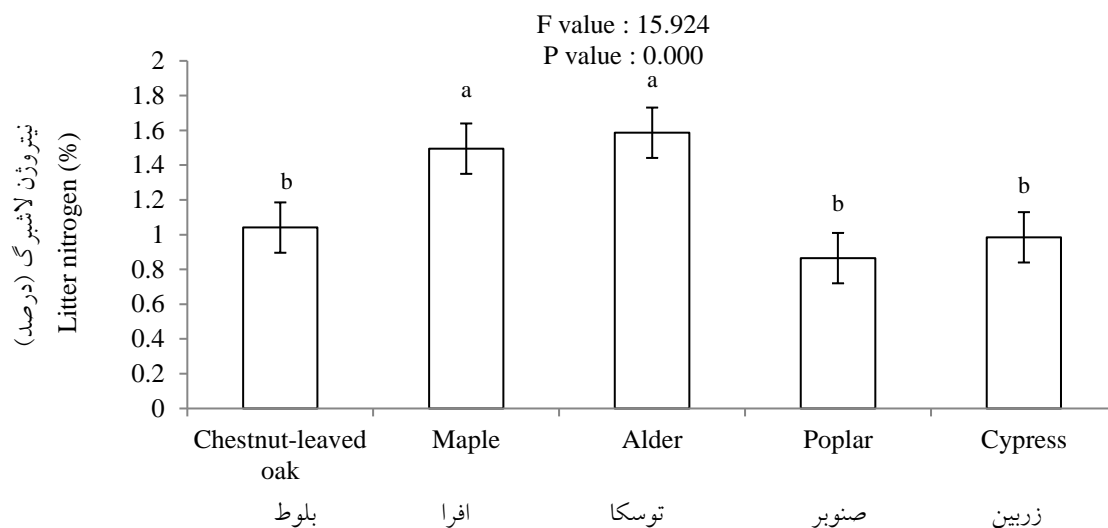
مقدار کربن لاشبرگ توده‌های افرا، توسکا و صنوبر دارای بیشترین مقدار و در توده‌های زربین و بلوط و صنوبر دارای کمترین مقدار بود (شکل ۲).

مقدار کربن لاشبرگ توده‌های افرا، توسکا و صنوبر دارای بیشترین مقدار و توده‌های بلوط و زربین دارای کمترین مقدار بود (شکل ۳).



شکل ۲- میانگین کربن لاشبرگ در توده‌های مختلف درختی

Figure 2. Mean (\pm SE; n = 10) of litter C (%) in different tree stands

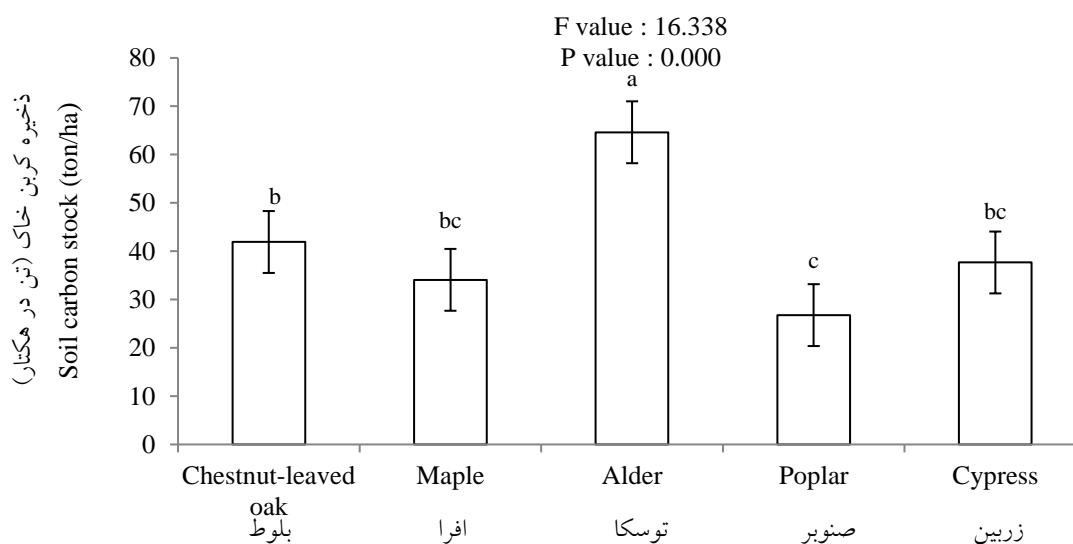


شکل ۳- میانگین نیتروژن لاش‌برگ در توده‌های مختلف درختی

Figure 3. Mean (\pm SE; n = 10) of litter N in different tree stands

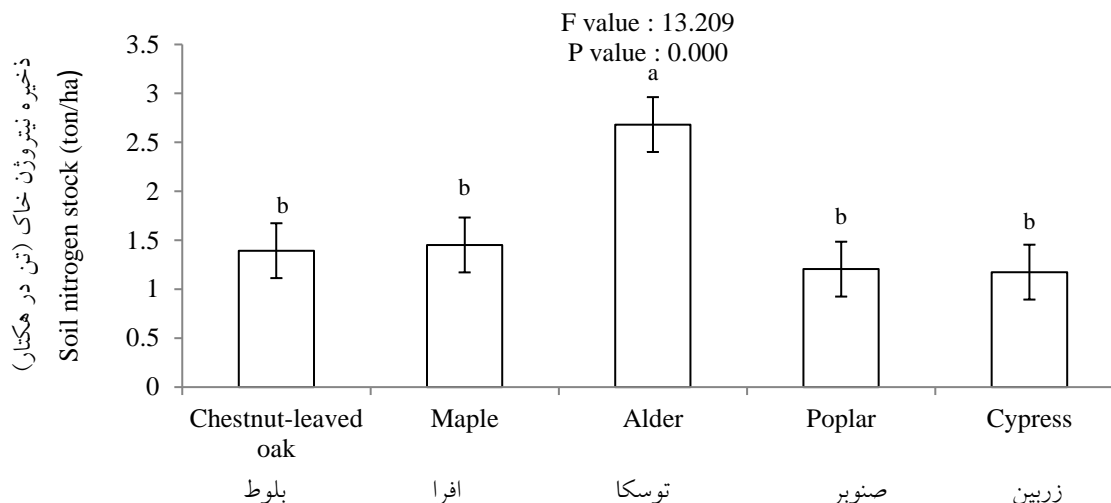
بیشترین مقدار (۲/۶۸ تن در هکتار) و در توده زربین دارای کمترین مقدار (۱/۱۷ تن در هکتار) بود (شکل ۵).

بیشترین مقدار ذخیره کربن خاک در توده توسکا (۶۴/۶۱ تن در هکتار) و کمترین مقدار آن در توده صنوبر (۲۶/۷۶ تن در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴). مقدار ذخیره نیتروژن نیز در خاک توده توسکا دارای



شکل ۴- میانگین ذخیره کربن خاک در توده‌های مختلف درختی

Figure 4. Mean (\pm SE; n = 10) of soil carbon stocks under different tree species



شکل ۵- میانگین ذخیره نیتروژن خاک در توده‌های مختلف درختی

Figure 5. Mean (\pm SE; n = 10) of soil nitrogen stocks under different tree species

بحث

نتیجه این پژوهش مانند دیگر پژوهش‌ها (Qing-Biao et al., 2009; Hopmans and Elms, 2009; Finzi et al., 1998; Schulp et al., 2008; Ranger et al., 2009; Rossi et al., 2011) نشان داد که پوشش‌های مختلف درختی بر مقدار کربن آلی، نیتروژن و حاصلخیزی خاک اثر می‌گذارد. نوع پوشش بر مقدار مواد آلی و همچنین تجزیه و تخریب آن‌ها به‌ویژه در لایه‌های سطحی خاک نقش به‌سزایی دارند و ترکیب گونه‌های درختی موجود در جنگل، تأثیر زیادی در ورودی کربن به خاک دارد. تفاوت در مقدار ذخایر کربن خاک تحت پوشش گونه‌های مختلف درختی نشان دهنده وجود برهم‌کنش میان پوشش‌های مختلف جنگلی با خاک و قدرت ایجاد شرایط گوناگون تجزیه و ذخیره ماده آلی در خاک است این نتیجه در اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه مشاهده شده است (Jafari et al., 2004; Varamrsh et al., 2010; Dong et al., 2009).

نتیجه این پژوهش بیانگر رابطه ترسیب کربن آلی خاک با نوع گونه‌های درختی، لاشبرگ و بقایای گیاهی آن‌ها است. شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که جنگلکاری با

با توجه به این که ۲۷ درصد از وزن دی-اکسیدکربن جو را کربن تشکیل می‌دهد (جرم اتمی کربن ۱۲ و جرم اتمی اکسیژن ۱۶ است)، بنابراین هر تن دی‌اکسیدکربن جو معادل ۲۷۰ کیلوگرم کربن است. در نتیجه هر تن کربن ترسیب شده معادل ۳/۷ تن دی-اکسیدکربن جوی است (Varamesh et al., 2010) از این رو مقدار جذب و ترسیب کربن جو در هر هکتار از خاک توده بلوط ۱۵۵/۰۲، توده افرا ۱۲۶/۰۵، توده توسکا ۲۳۹/۰۶، صنوبر ۱۲۳/۷۶ و زربین ۲۰۹/۰۳ تن خواهد بود و چنانچه مقدار کربن ترسیب شده در زی-توده هوایی و زیرزمینی درختان به عدد یادشده اضافه شود، اهمیت اقتصادی پروژه‌های جنگلکاری از حیث ترسیب کربن چشم‌گیرتر می‌شود. همچنین ۶۳/۶ درصد وزن نیتروز اکسید را نیتروژن تشکیل می‌دهد و هر تن نیتروز اکسید جوی معادل ۶۳۶ کیلوگرم نیتروژن است در نتیجه هر تن نیتروژن ترسیب شده معادل ۱/۵۷ تن نیتروز اکسید جوی است (Varamesh et al., 2010) با این احتساب مقدار ترسیب نیتروژن جوی در هر هکتار از خاک توده بلوط ۲/۱۸، افرا ۲/۲۷، توسکا ۴/۲۰، صنوبر ۲/۳۶ و زربین ۲/۷۶ تن خواهد بود.

توسکا باشد. در پژوهش (Varamesh et al. 2010) و نیز (Abdollahzadeh Karegar et al. 2019) گونه افاقیا همانند توسکا تثبیت‌کننده نیتروژن است و مقدار ذخیره کربن خاک تحت پوشش این گونه بیشتر از دیگر گونه‌های پژوهش ایشان بود.

در این پژوهش مقدار نیتروژن خاک در توده توسکا بالاتر از دیگر توده‌ها بود. بافت خاک یکی از عوامل مؤثر در مقدار نیتروژن خاک است، پژوهش (Salardini et al. 1995) و (Roodi et al. 2011) نشان داد که خاک‌های رسی دارای مقدار نیتروژن و پتاسیم بیشتری نسبت به خاک‌های شنی هستند این برخلاف این پژوهش بود چرا که در این پژوهش توده افرا دارای خاک با درصد رس بالاتر نسبت به توسکا بوده اما ذخایر نیتروژن آن کمتر از توده توسکا بود. پتاسیم خاک توده افرا مقدار بیشتری نسبت به توده توسکا داشت. این نتیجه با پژوهش‌های (Salardini et al. 1995) و (Roodi et al. 2011) مطابقت داشت.

در این پژوهش کاهش مقدار درصد رطوبت در توده صنوبر می‌تواند نشان دهنده نیاز و مصرف بالای آب برای این گونه درختی باشد. گاهی اوقات کاهش مقدار رطوبت خاک می‌تواند به دلیل کاهش مقدار ذرات رس خاک باشد زیرا خاک رسی در مقایسه با خاک شنی ظرفیت نگهداری مقدار آب بیشتری دارد (Shahovi, 2006) در این پژوهش خاک توده افرا دارای مقدار رس بیشتری نسبت به دیگر توده‌ها بود و از طرفی مقدار رطوبت خاک این توده نیز دارای بیشترین مقدار رطوبت خاک بود این نتیجه با یافته (Shahovi, 2006) مطابقت داشت، ولی در توده توسکا این نتیجه مشاهده نشد و خاک توده توسکا با کمترین مقدار ذرات رس، از نظر مقدار رطوبت بعد از توده افرا قرار داشت.

گونه توسکا موجب افزایش معنی‌دار ذخیره کربن و نیتروژن خاک شده است. مقدار ترسیب کربن آلی خاک در توده توسکا حدود ۳۰ تن در هکتار بیشتر از توده زربین و در حدود ۹۰ تن در هکتار بیشتر از دیگر توده‌های پهن‌برگ مورد بررسی بود. دلیل این امر را می‌توان به قابلیت بالای گیاهان خانواده *Leguminous* در تثبیت نیتروژن و رابطه مستقیم ترسیب کربن و تثبیت نیتروژن نسبت داد (Varamesh et al., 2009).

(Dong et al. 2009) و (Van Kooten 2004) et al. نیز با مقایسه ذخیره کربن توده‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ به این نتیجه رسیدند که پتانسیل ذخیره کربن گونه‌های پهن‌برگ بیشتر از گونه‌های سوزنی‌برگ است. در واقع جنگل‌های پهن‌برگ توان بیشتری برای جذب دی‌اکسیدکربن دارند و تغییر جنگل سوزنی‌برگ به پهن‌برگ می‌تواند جذب کربن را افزایش و کیفیت خاک را بهبود بخشد، این نتیجه در مورد گونه توسکا در این پژوهش مطابقت داشت اما در مورد دیگر گونه‌های پهن‌برگ تطابق نداشت چون دیگر گونه‌های پهن‌برگ ذخیره کربن کمتری نسبت به گونه سوزنی‌برگ زربین داشتند. مقدار ترسیب کربن کمتر در خاک توده سوزنی‌برگ زربین نسبت به توده پهن‌برگ توسکا با پژوهش (Shahsavari et al. 2016) مغایرت داشت چرا که در پژوهش ایشان مقدار ترسیب کربن خاک توده سوزنی‌برگ دارتالاب از توده پهن‌برگ صنوبر بیشتر بود.

مقدار نیتروژن خاک تأثیر زیادی بر روی مقدار کربن آلی خاک دارد و در ارتباط با نیتروژن است این یافته با پژوهش‌های (Filep and Rékási 2011) و (Varamesh et al. 2010) مطابقت داشت. بالا بودن مقدار نیتروژن در خاک تحت پوشش گونه توسکا می‌تواند به علت خاصیت تثبیت‌کنندگی نیتروژن گونه

اصلاح و احیای اراضی مخروبه جنگلی اقدام کرد. این راهکار مناسبی برای مقابله با بحران تغییر اقلیم و گرمایش جهانی است. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت در مناطقی که در دست احیا و اصلاح هستند اگر گونه توسکا به همراه دیگر گونه‌های پهن-برگ به خوبی استقرار یابد، در بلندمدت می‌توان انتظار ذخیره بیشتر کربن آلی خاک را داشت. از این رو پیشنهاد می‌شود در مناطق مشابه منطقه این پژوهش، از گونه‌های درختی پهن‌برگی که دارای قابلیت بالای ترسیب کربن و نیتروژن است، استفاده شود. با توجه به نتایج پژوهش این فرضیه در مورد بالاتر بودن ترسیب کربن خاک توده سوزنی‌برگ در مقایسه با توده‌های توسکا و بلوط رد می‌شود ولی در مقایسه با توده‌های افرا و صنوبر تأیید می‌شود.

References

- Augusto, L.; Ranger, J.; Binkley, D.; Rothe, A., Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of forest science* **2002**, *59* (3), 233-253.
- Blake, G.; Hartge, K., Bulk density In: Klute A.(ed.): *Methods of Soil Analysis Part 1 (Agronomy)*. American Society of Agronomy. Inc. Madison, USA **1986**, 503-507.
- Boley, J. D.; Drew, A. P.; Andrus, R. E., Effects of active pasture, teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soil chemistry in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* **2009**, *257* (11), 2254-2261.
- Bouyoucos, G. J., Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal* **1962**, *54* (5), 464-465.
- Bremner, J. M.; Mulvaney, C. S., Nitrogen total. In: Page, A. L., R. H. Miller & R. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Second ed. American Society of Agronomy press, Madison, WI, 1982. p. 595-624.
- Chiti, T.; Certini, G.; Puglisi, A.; Sanesi, G.; Capperucci, A.; Forte, C., Effects of

ترسیب گازهای گلخانه‌ای و کاهش انتشار آن از طریق جنگلکاری یکی از مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین اقدامات به‌منظور مقابله با گرمایش جهانی است. جنگلکاری با گونه‌های مختلف درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ انجام می‌شود که نوع و ترکیب این گونه‌ها در جنگل می‌تواند با توجه به نوع سنگ مادری، اقلیم و مدیریت جنگل اثرهای متفاوتی بر ویژگی‌های خاک و برخی از متغیرهای کلیدی بوم‌سامانه مانند مقدار ترسیب کربن و ذخیره نیتروژن داشته باشد. با توجه به این که این متغیرها جزو معیارهای پایداری بوم‌سامانه هستند که بر حسب گونه گیاهی، مکان و شیوه مدیریت خاک متفاوت هستند، بنابراین می‌بایست با شناخت گونه‌هایی که توانایی بیشتری برای ترسیب کربن و ذخیره نیتروژن دارند در کنار دیگر فاکتورهای مؤثر در انتخاب گونه برای جنگلکاری، نسبت به

- associating a N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in minesoils. *Geoderma* **2007**, *138* (1-2), 162-169.
- Demessie, A.; Singh, B. R.; Lal, R.; Børresen, T., Effects of eucalyptus and coniferous plantations on soil properties in Gambo District, southern Ethiopia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* **2012**, *62* (5), 455-466.
- Dixon, R. K.; Solomon, A.; Brown, S.; Houghton, R.; Trexler, M.; Wisniewski, J., Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* **1994**, *263* (5144), 185-190.
- Dong, N.; Silong, W.; Ouyang, Z., Comparisons of carbon storages in *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations during a 22-year period in southern China. *Journal of Environmental Sciences* **2009**, *21* (6), 801-805.
- Filep, T.; Rékási, M., Factors controlling dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrogen (DON) and DOC/DON ratio in arable soils based on a dataset from Hungary. *Geoderma* **2011**, *162* (3-4), 312-318.

- Finzi, A. C.; Van Breemen, N.; Canham, C. D., Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on soil carbon and nitrogen. *Ecological applications* **1998**, 8 (2), 440-446.
- García-Orenes, F.; Guerrero, C.; Roldán, A.; Mataix-Solera, J.; Cerdà, A.; Campoy, M.; Zornoza, R.; Bárcenas, G.; Caravaca, F., Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research* **2010**, 109 (2), 110-115.
- Gundersen, P.; Christiansen, J.; Alberti, G.; Brüggemann, N.; Castaldi, S.; Gasche, R.; Kitzler, B.; Klemedtsson, L.; Lobo-do-Vale, R.; Moldan, F., The response of methane and nitrous oxide fluxes to forest change in Europe. *Biogeosciences* **2012**, 9 (10), 3999-4012.
- Harrison, K. G.; Broecker, W. S.; Bonani, G., The effect of changing land use on soil radiocarbon. *Science* **1993**, 262 (5134), 725-726.
- Hashemi, S. A.; Hojati, S. M.; Hoseiny Nasr, S. M.; Asadyan M.; Tafazoli, M., Studying soil physical, chemical and net Nitrogen mineralization in plantation and natural stands in Darabkola Forest (Sari), *Journal of Forest Research and Development* **2017**, 3 (2), 119-132. (In Persian).
- Henderson, G. S., Soil organic matter: a link between forest management and productivity. *Carbon forms and functions in forest soils* **1995**, 419-435.
- Hojjati, S.; Sagheb, T. K.; Kooch, Y., Impact of plantation with Robinia pseudoacacia and Pinus eldarica on soil physicochemical properties and CO₂ emission in Tehran urban landscape. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 4 (4), 463-476. (In Persian).
- Hopmans, P.; Elms, S. R., Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of Pinus radiata on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management* **2009**, 258 (10), 2183-2193.
- Jafari, M.; Chahouki, M. Z.; Tavili, A.; Azarnivand, H.; Amiri, G. Z., Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments* **2004**, 56 (4), 627-641.
- Kaul, M., Carbon budgets and carbon sequestration potential of Indian forests PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2010; p 178.
- 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.
- Kooch, Y.; Darabi, S. M.; Hosseini, S. M., Effects of pits and mounds following windthrow events on soil features and greenhouse gas fluxes in a temperate forest. *Pedosphere* **2015**, 25 (6), 853-867.
- Liu, Y.; Lei, P.; Xiang, W.; Yan, W.; Chen, X., Accumulation of soil organic C and N in planted forests fostered by tree species mixture. *Biogeosciences* **2017**, 14 (17), 3937-3945.
- Losi, C. J.; Siccama, T. G.; Condit, R.; Morales, J. E., Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* **2003**, 184 (1-3), 355-368.
- Nave, L. E.; Vance, E. D.; Swanston, C. W.; Curtis, P. S., Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* **2010**, 259 (5), 857-866.
- Nilsson, M.-C.; Wardle, D. A.; Dahlberg, A., Effects of plant litter species composition and diversity on the boreal forest plant-soil system. *Oikos* **1999**, 16-26.
- Nobakht, A.; Pourmajidian, M.; Hojjati, S., 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.
- Pato, M.; Salehi, A.; ZAHEDI, A. G.; BANJ, S. A., The economic value of carbon storage functions in different land uses of northern Zagros forests. **2017**. *Journal of Forest Research and Development*, 2(4): 367-377. (In Persian).
- Paul, K. I.; Polglase, P. J.; Nyakuengama, J.; Khanna, P., Change in soil carbon following afforestation. *Forest ecology and management* **2002**, 168 (1-3), 241-257.
- Ponce-Hernandez, R.; Kooch, P.; Antoine, J., *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes*. Food & Agriculture Org.: 2004; Vol. 1.
- Qing-Biao, W.; Xiao-Ke, W.; Ouyang, Z.-Y., Soil organic carbon and its fractions across

- vegetation types: Effects of soil mineral surface area and microaggregates. *Pedosphere* **2009**, 19 (2), 258-264.
- Ranger, J.; Augusto, L.; Berthelot, A.; Bouchon, J.; Cacot, E.; Dambrine, É.; Gavaland, A.; Laclau, J.-p.; Legout, A.; Nicolas, M., Sylviculture et protection des sols. *Revue forestière française* **2011**, 63(2): 245-264.
- Roodi, Z.; Jalilvand, H.; Esmailzadeh, O., Edaphic effects on distribution of plant ecological groups (Case study: Sisangan Buxus (*Buxus hyrcana* Pojark.) forest reserve). *Iranian Journal of Plant Biology* **2012**, 4 (13), 39-56.
- Rossi, J.; Govaerts, A.; De Vos, B.; Verbist, B.; Vervoort, 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.
- Salardini, A., 1995. Soil and water relationships, Tehran University press, Tehran, Iran (In Persian).
- Sariyildiz, T.; Savaci, G.; Kravkaz, I. S., Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry* **2015**, 9 (1), 165-170.
- Schulp, C. J.; Nabuurs, G.-J.; Verburg, P. H.; de Waal, R. W., Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest ecology and management* **2008**, 256 (3), 482-490.
- Shahovi, S. S., The nature and properties of soil, 13th edition, Kordestan University press, Kordestan, 2006. (In Persian).
- Shahsavari, P.; Golchin, A.; Amiri, B.; Mousavi, C. A., Comparison of soil nutrients and organic carbon storage under different covers forest in the safrabsteh region of Gilan. **2016**. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(3): 23-43.
- Templer, P.; Mack, M.; III, F. C.; Christenson, L.; Compton, J.; Crook, H.; Currie, W.; Curtis, C.; Dail, D.; D'Antonio, C., Sinks for nitrogen inputs in terrestrial ecosystems: a meta-analysis of 15N tracer field studies. *Ecology* **2012**, 93 (8), 1816-1829.
- Van Kooten, G. C.; Eagle, A. J.; Manley, J.; Smolak, T., How costly are carbon offsets? A meta-analysis of carbon forest sinks. *Environmental science & policy* **2004**, 7 (4), 239-251.
- Varamesh, S.; Hosseini, M.; Abdi N.; Akbarinia, M., Plantation effects with broadleaved species on soil carbon sequestration (Chitgar forest park), *Iranian Journal of soil research* **2009**, 25 (3), 187-196 (In Persian).
- Varamesh, S.; Hosseini, S. M.; Abdi, N.; Akbarinia, M., Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest* **2010**, 2 (1), 25-35.
- Walkley, A.; Black, I. A., An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* **1934**, 37 (1), 29-38.

Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species)

L. Vatani¹, S. M. Hosseini^{*2}, S. J. Alavi³, M. Raeini Sarjaz⁴, S. S. Shamsi⁵

1- Ph.D. of Forest ecology, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Noor, I. R. Iran. (vatany2000@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forest Science and engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Noor, I. R. Iran. (hosseini@modares.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forest Science and engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)

4- Professor, Department of water engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Noor, I. R. Iran. (m.raeini@sanru.ac.ir)

5- MSc., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (saeedshamsi92@yahoo.com)

Received: 16.09.2019

Accepted: 22.02.2020

Abstract

This study was conducted to determine carbon and soil nitrogen stocks in five plantations with broadleaved stands including oak, alder, maple and poplar species and a cypress conifer stand in Tajan watershed in Mazandaran province (Sari city). In order to study soil physico-chemical properties, soil samples were taken at a depth of 10 cm in each stand. Soil characteristics including texture, soil acidity, bulk density, electrical conductivity, total nitrogen, organic carbon was measured. The results showed that tree species affect the physicochemical properties of the soil. The highest carbon storage was observed in alder (64/61 ton/ha) and the lowest carbon storage in poplar (26/76 ton/ha). Nitrogen stock had the highest (2/68 ton/ha) and the lowest (1/17 ton/ha) in alder stand. Overall, the results showed that carbon and soil nitrogen storage are as an added value with other values and benefits of forest ecosystems and as an indicator for assessing ecosystem sustainability. Based on plantation and reforestation must be done with broadleaf species that have high potential for atmospheric carbon storage.

Keywords: Forest rehabilitation, Soil elements, Ecosystem, Natural forest, Climate change.

* Corresponding author

Tel: +989111213898