

اثر توده‌های درختی دست‌کاشت بر خواص فیزیکی، شیمیایی و زی‌توده میکروبی خاک (بررسی موردی: زاغمرز نکا)

جواد جعفری^۱، مسعود طبری کوچکسرای^{۲*}، وحید حسینی^۳ و سید احسان ساداتی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، ایران. (jafari64.23@gmail.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (mtabari@modares.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. (v.hosseini@uok.ac.ir)

۴- دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (sadati10@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۸

چکیده

در این پژوهش، خواص فیزیکی، شیمیایی و شاخص‌های میکروبی خاک توده‌های دست‌کاشت ۲۱ ساله خالص توسکا بیلاقی، صنوبر دلتوئیدس، سرو زربین و نیز آمیخته توسکا بیلاقی-سفیدپلت در زاغمرز نکا بررسی شد. در هر توده، ۱۰ قطعه ۴۰۰ متر مربعی انتخاب شد و در داخل هر یک، پنج نمونه خاک در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری تهیه شد. بیشترین مقادیر محتوی رطوبت خاک، واکنش خاک، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و منیزیم در دسترس، تنفس میکروبی پایه، زی‌توده میکروبی نیتروژن خاک در توده‌های توسکا-سفیدپلت، و توسکا بیلاقی و بیشترین مقادیر کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن کل، زی‌توده میکروبی کربن و نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن خاک در توده زربین مشاهده شد. توده زربین همبستگی مثبت با مقادیر کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، سیلت، رس، زی‌توده میکروبی کربن و نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن خاک داشت. اما توده‌های خالص و آمیخته توسکا بالاترین همبستگی را با مقادیر نیتروژن کل، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر در دسترس، محتوی رطوبت خاک، تنفس میکروبی پایه و زی‌توده میکروبی نیتروژن داشتند که مبین حاصلخیزی خاک این توده‌هاست و می‌تواند ترغیب کاربران را برای احیای اراضی بایر و رهاشده در قالب جنگلکاری و یا کشت تلفیقی فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: توسکا بیلاقی، تنفس میکروبی، جنگلکاری، سفیدپلت، عناصر تغذیه‌ای خاک.

مقدمه

به‌ویژه چرخه‌های کربن و نیتروژن و تأثیرش در تغذیه و عملکرد گیاه در تیپ‌های مختلف درختی دارای اهمیت است (Zheng et al., 2017).

خاک منبع عظیمی از کربن آلی است که مقدار آن بالغ بر دو برابر کربن موجود در هوا است. کربن آلی خاک طی فرآیندی به نام تنفس میکروبی سبب آزادسازی دی‌اکسیدکربن از خاک و انتشار آن به جو می‌شود (Schimel and Schaeffer, 2012). جریان جهانی دی‌اکسید کربن از طریق تنفس خاک تقریباً ۸۰ تا ۹۸ پیکوگرم کربن بر سال است که خروج سالانه آن از طریق تنفس خاک حدود ۱۰ برابر مقدار انتشار CO₂ سالانه سوخت‌های فسیلی است (Boden et al., 2009) و اندازه انتشار آن همواره تحت تأثیر گونه‌های درختی قرار دارد (Burton et al., 2010). زی‌توده میکروبی، شاخص مهمی از حاصلخیزی خاک به حساب می‌آید که حدود ۲ تا ۳ درصد کربن آلی کل خاک را تشکیل می‌دهد و حاوی منبع بزرگ مواد غذایی ناپایدار در خاک است. زی‌توده میکروبی تحت تأثیر محتوی مواد آلی خاک، دما، رطوبت و pH، الگوهای فصلی درجه حرارت خاک، محتوی رطوبت خاک، پوشش گیاهی، فصل و عمق خاک قرار می‌گیرد (Sun et al., 2010) و اصولاً نقش مهمی در تبدیل مواد غذایی و حفاظت از بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی ایفا می‌کند (Shrestha et al., 2006). پژوهش حاضر با هدف تحقیق تأثیر جنگلکاری با گونه‌های پهن‌برگ صنوبر، توسکا بیلاقی-سفیدپلت و گونه سوزنی‌برگ زربین بر خواص فیزیکی-شیمیایی و حاصلخیزی خاک و نیز برخی مشخصه‌های زیستی خاک مانند تنفس میکروبی پایه، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

بوم‌سازگان‌های جنگلی ۳۰ تا ۴۰ درصد سطح خشکی کره زمین را اشغال کرده‌اند و مناطق جنگلکاری‌شده حدود پنج درصد این مناطق را شامل می‌شوند (Häggman et al., 2013). افزایش تقاضای صنایع به فرآورده‌های چوبی و تمایل برای جلوگیری از افزایش دی‌اکسیدکربن جو به‌منظور کاهش تغییرات آب و هوایی آینده، سبب افزایش سطوح جنگلکاری شده است (Liao et al., 2012)، طوری که این جنگلکاری‌ها نقش مهمی در تنظیم گردش آب، ترسیب کربن و افزایش حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند (Humpenoder et al., 2014).

جنگلکاری با گونه‌های مختلف درختی اثرهای متفاوتی بر مشخصه‌های خاک در بوم‌سازگان می‌گذارد (Zheng et al., 2017). گونه‌های درختی می‌توانند با سازوکارهای مختلف، خواص شیمیایی خاک را تغییر دهند (Hagen-Thorn et al., 2004). در توده‌های مختلف درختی، تفاوت در کیفیت لاشبرگ و وضعیت مواد غذایی، عملکرد ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی، ساختار برگ و تاج درخت، میکروکلیمای زیر تاج و در نهایت جوامع زیستی سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود (Augusto et al., 2002). اولین نشانه تأثیر گونه‌های مختلف درختی بر مشخصه‌های خاک، تغییر در خصوصیات شیمیایی لاشبرگ و لاشریزه‌های کف جنگل است اما تغییر در مشخصه‌های لایه معدنی خاک به‌مرور زمان اتفاق می‌افتد (Hagen-Thorn et al., 2004). این درحالی است که تغییر در ویژگی‌های شیمیایی خاک، مانند غلظت کربن، نیتروژن و واکنش خاک ممکن است موجب تغییرات شگرفی در رشد و عملکرد گیاه شود (Liao et al., 2012). در این ارتباط، مشخصه‌های کیفی لاشبرگ، به‌عنوان منبع اصلی فرایندهای مرتبط با خاک

این پژوهش در منطقه زاغمرز (غرب شبه جزیره میانکاله) شهرستان نکا واقع در جنوب شرقی دریای خزر با شیب کمتر از پنج درصد، ارتفاع از سطح دریا ۲۰- متر، عرض جغرافیایی "۳۵°۳۶' تا "۴۸'۵۰°۳۶ و طول جغرافیایی "۱۵'۱۸°۵۳ تا "۸'۱۸°۵۳ انجام شد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی میانکاله، متوسط دما و بارندگی سالیانه در این مناطق به ترتیب ۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۶۷۶ میلی‌متر است.

در اواخر شهریور ۱۳۹۷ تیپ‌های عمده جنگلکاری‌های ۲۱ ساله خالص توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata* C. A. Mey. صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall.) زربین (*Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis*) و توده آمیخته توسکا ییلاقی-سفیدپلت (*Alnus subcordata*-*Populus caspica*)، انتخاب شدند. در هر یک از توده‌ها فاصله کاشت درختان سه در سه متر با مساحتی بیش از چهار هکتار بود که عملیات پرورشی در آنها انجام نشده بود. در هر یک از توده‌ها ۱۰ قطعه نمونه ۴۰۰ متر مربعی با فاصله ۲۰ تا ۴۰ متر از هم (بسته به نوع توده) انتخاب شد. سپس، پنج نمونه خاک در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری از قسمت‌های مختلف هر قطعه تهیه و مخلوط شد (Habashi, 2015) و برای تعیین خصوصیات فیزیکی-شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. بخشی از نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و بخشی دیگر پس از انتقال به آزمایشگاه در دمای معرض هوا خشک شد و بعد از جدا کردن ریشه‌ها، سنگ‌ها و دیگر ناخالصی‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. رطوبت خاک به روش استاندارد (وزنی)، بافت خاک (به روش هیدرومتری بایکاس)، واکنش خاک (به روش پتانسیومتری با دستگاه pH متر و به کارگیری مخلوط ۲/۵: ۱ خاک و

آب مقطر)، هدایت الکتریکی (پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه EC متر) نیتروژن کل (به روش کجلدال)، کربن آلی (به روش والکی- بلاک) اندازه‌گیری و نسبت کربن به نیتروژن (C:N) محاسبه شد. فسفر در دسترس خاک به روش اولسن، منیزیم، کلسیم و پتاسیم قابل جذب با محلول استات آمونیوم استخراج و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش بطری بسته برحسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در روز و برای اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن خاک از روش تدخین-استخراج استفاده شد (Alef et al., 1995). از تقسیم مقدار عددی زی‌توده میکروبی کربن بر زی‌توده میکروبی نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن میکروبی محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و لون به ترتیب نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس بررسی شد. سپس، برای بررسی معنی‌داری مشخصه‌ها بین توده‌های مذکور از تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل چند متغیره و نیز تعیین ارتباط مقادیر مشخصه‌های خاکی در توده‌های جنگلکاری از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصل در برنامه PC-ORD تحت ویندوز استفاده شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۱۷ انجام شد.

نتایج

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه بیانگر وجود تفاوت‌های آماری در کلیه مقادیر مشخصه‌های مورد بررسی به غیر از کلسیم قابل جذب، درصد شن، سیلت

و رس خاک تحت تأثیر گونه‌های مختلف است (جدول ۱).

برابر جدول ۲، مقدار واکنش خاک و هدایت الکتریکی در توده زربین نسبت به پهن‌برگ‌ها کمتر بود، اما در بین توسکا ییلاقی، صنوبر دلتوئیدس و توده مخلوط توسکا-سفیدپلت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مقدار کربن و نسبت کربن به نیتروژن خاک در توده زربین بیشتر از دیگر توده‌ها بود اما در بین توده‌های پهن‌برگ تفاوتی دیده نشد. بیشترین درصد نیتروژن در توده توسکا-سفیدپلت و توسکا ییلاقی و کمترین آن در توده زربین دیده شد.

مقادیر فسفر دردسترس در سه توده پهن‌برگ بیشتر از توده زربین بود اما بیشترین مقدار پتاسیم در دسترس در توده‌های توسکا ییلاقی و آمیخته توسکا ییلاقی-سفیدپلت و کمترین آن در توده زربین مشاهده شد (جدول ۲). اندازه منیزیم دردسترس در توده آمیخته بیشترین و در توده زربین کمترین بود. مقدار

کلسیم دردسترس بین کلیه گونه‌ها فرقی نکرد. در کلیه توده‌ها بافت خاک، لومی-شنی بود و مشخصه درصد شن، سیلت و رس بین آن‌ها اختلاف نداشت. حال اینکه محتوی رطوبتی خاک در توده‌های توسکا و توسکا-سفیدپلت به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر توده‌ها بود و کمترین مقدار آن در توده زربین ثبت شد.

بیشترین مقدار تنفس میکروبی پایه مربوط به توده آمیخته توسکا-سفیدپلت و کمترین آن مربوط به توده زربین بود. بیشترین مقدار زی‌توده میکروبی نیتروژن در توده‌های توسکا ییلاقی و توسکا ییلاقی-سفیدپلت مشاهده شد اما کمترین مقدار آن در جنگلکاری زربین یافت شد (جدول ۲). مقدار زی‌توده میکروبی کربن و نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن در توده زربین بیشترین و در توده خالص توسکا ییلاقی و آمیخته توسکا-سفیدپلت کمترین بود.

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه صفات اندازه‌گیری شده در توده‌های مختلف جنگلکاری

Table 1. Results of one-way ANOVA for characteristics measured in different plantation stands

<i>F</i>	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	صفات Characteristics
43.531*	3.178	9.535	3	واکنش خاک pH
3.933*	0.000	0.001	3	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)
39.948*	0.948	2.845	3	کربن (درصد) Organic carbon (%)
13.900*	0.004	0.013	3	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
44.617*	292.043	876.130	3	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
6.102*	5.967	17.900	3	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P available (mg/kg)

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ^{ns} نشان دهنده عدم معنی‌داری است.

* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels and ^{ns} shows no significant difference.

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

<i>F</i>	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	صفات Characteristics
30.787*	11017.967	33053.900	3	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K available (mg/kg)
2.540 ^{ns}	81620.000	244860.000	3	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Ca available (mg/kg)
22.505*	2149.967	6449.900	3	منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mg available (mg/kg)
174.152*	0.117	0.352	3	تنفس میکروبی پایه Soil microbial respiration
162.115*	46318.000	138954.000	3	زیتوده میکروبی کربن MBC
48.416*	1066.520	3199.561	3	زیتوده میکروبی نیتروژن MBN
235.033*	474.228	1422.683	3	نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن MBC/MBN ratio
1.515 ^{ns}	28.892	86.675	3	درصد شن Sand (%)
1.943 ^{ns}	17.367	52.100	3	درصد سیلت Silt (%)
0.344 ^{ns}	3.092	9.275	3	درصد رس Clay (%)
38.321*	103.467	310.400	3	محتوی رطوبت خاک (درصد) Soil water content (%)

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ^{ns} نشان دهنده عدم معنی‌داری است.

* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels and ^{ns} shows no significant difference.

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های خاکی در توده‌های مختلف جنگلکاری

Table 2. Mean (±standard error) of soil characteristics in different plantation stands

زرین <i>C. sempervirens</i>	توسکا بیلاقی + سفیدپلت <i>A. subcordata</i> + <i>P. caspica</i>	صنوبر <i>P. deltoides</i>	توسکا بیلاقی <i>A. subcordata</i>	صفات Characteristics
6.41±0.09b	7.57±0.08a	7.43±0.11a	7/60±0.06a	واکنش خاک pH
0.181±0.00b	0.194±0.00a	0.189±0.00ab	0.196±0.00a	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)
2.47±0.05a	1.93±0.04b	1.91±0.06bc	1/77±0.05c	کربن (درصد) Organic carbon (%)
0.106±0.00c	0.154±0.00a	0.132±0.01b	0.142±0.01ab	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)

-حروف مختلف در ردیف بیاگر اختلاف معنی‌دار بین توده‌ها است.

-Different letters in row show significant difference among the stands.

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

زربین <i>C. sempervirens</i>	توسکا بیلاقی + سفیدپلت <i>A. subcordata</i> + <i>P. caspica</i>	صنوبر <i>P. deltooides</i>	توسکا بیلاقی <i>A. subcordata</i>	صفات Characteristics
23.91±1.42a	12.60±0.42b	14.57±0.39b	12.61±0.52b	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
3.80±0.25b	5.60±0.37a	4.80±0.29a	5.20±0.32a	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P available (mg/kg)
148.40±4.11c	222.80±4.11a	184.00±4.81b	211.80±4.83a	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) K available (mg/kg)
1286.0±60.6b	1494.0±52.5a	1383.0±47.9ab	1449.0±64.2ab	کلسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Ca available (mg/kg)
57.20±1.59c	92.00±3.55a	76.00±4.04b	82.20±2.59b	منیزیم (میلی گرم بر کیلوگرم) Mg available (mg/kg)
57.20±1.67a	60.90±1.67a	59.70±1.67a	60.70±1.08a	درصد شن Sand (%)
20.70±1.23a	17.80±0.74a	19.50±1.00a	18.20±0.71a	درصد سیلت Silt (%)
22.10±0.92a	21.30±1.05a	20.80±0.98a	21.10±0.82a	درصد رس Clay (%)
21.60±0.61c	28.40±0.52a	24.40±0.34b	28.00±0.56a	محتوی رطوبت خاک (درصد) Soil water content (%)
0.211±0.005d	0.456±0.008a	0.361±0.008c	0.422±0.012b	تنفس میکروبی پایه Soil microbial respiration
537.8±3.87a	389.2±5.86c	424.4±5.58b	401.0±5.82c	زیتوده میکروبی کربن MBC
23.14±0.61c	46.86±1.96a	37.28±1.09b	42.61±1.84a	زیتوده میکروبی نیتروژن MBN
23.27±0.56a	8.45±0.40c	11.50±0.44b	9.55±0.37c	نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن MBC/MBN ratio

حروف مختلف در ردیف بیاگر اختلاف معنی دار بین توده‌ها است.

-Different letters in row show significant difference among the stands.

جدول ۳- همبستگی بین محورهای PCA و مشخصه‌های خاکی در توده‌های مختلف جنگلکاری

Table 3. Correlation between PCA components and soil characteristics in different plantation stands

محور سوم Third axis	محور دوم Second axis	محور اول First axis	مشخصه‌ها Characteristics
0.019 ^{ns}	0.224 ^{ns}	-0.871 ^{**}	واکنش خاک pH
0.094 ^{ns}	-0.044 ^{ns}	-0.657 ^{**}	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds/m)

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن همبستگی در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ^{ns} نشان دهنده عدم معنی داری است.* and ** are indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels and ^{ns} show no significant correlation

ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

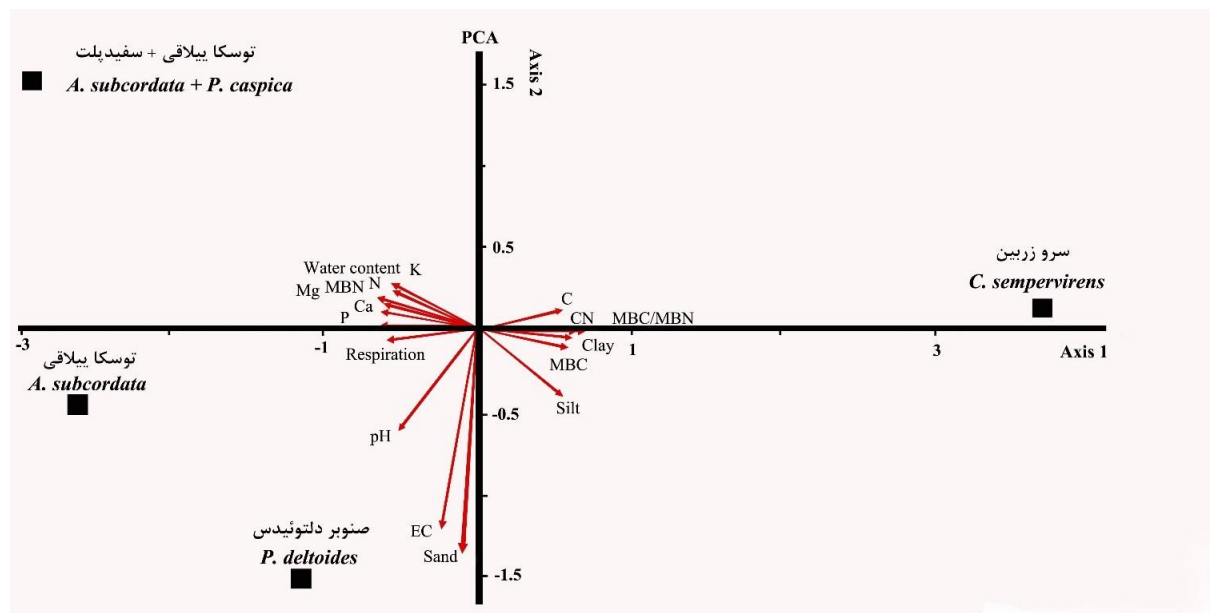
محور سوم Third axis	محور دوم Second axis	محور اول First axis	مشخصه‌ها Characteristics
0.221 ^{ns}	-0.146 ^{ns}	0.888 ^{**}	کربن (درصد) Organic carbon (%)
-0.111 ^{ns}	-0.095 ^{ns}	-0.834 ^{**}	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
0.199 ^{ns}	-0.005 ^{ns}	0.891 ^{**}	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
-0.134 ^{ns}	-0.095 ^{ns}	-0.800 ^{**}	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P available (mg/kg)
-0.014 ^{ns}	0.036 ^{ns}	-0.822 ^{**}	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K available (mg/kg)
0.211 ^{ns}	-0.020 ^{ns}	-0.475 [*]	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Ca available (mg/kg)
-0.031 ^{ns}	-0.123 ^{ns}	-0.833 ^{**}	منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mg available (mg/kg)
-0.202 ^{ns}	0.033 ^{ns}	-0.508 [*]	درصد شن Sand (%)
0.307 ^{ns}	-0.048 ^{ns}	0.617 ^{**}	درصد سیلت Silt (%)
0.014 ^{ns}	-0.004 ^{ns}	0.159 ^{ns}	درصد رس Clay (%)
-0.050 ^{ns}	0.143 ^{ns}	-0.891 ^{**}	محتوی رطوبت خاک (درصد) Soil water content (%)
-0.147 ^{ns}	-0.024 ^{ns}	-0.870 ^{**}	تنفس میکروبی پایه Soil microbial respiration
0.215 ^{ns}	0.035 ^{ns}	-0.116 ^{ns}	زیتوده میکروبی کربن MBC
-0.123 ^{ns}	-0.065 ^{ns}	-0.057 ^{ns}	زیتوده میکروبی نیتروژن MBN
0.170 ^{ns}	0.050 ^{ns}	-0.146 ^{ns}	نسبت زیتوده میکروبی کربن به نیتروژن MBC/MBN ratio
1.61	1.94	2.44	مقادیر ویژه Eigen value
1.06	2.98	12.04	درصد تبیین واریانس Percent of variance
100	98.94	95.96	درصد تجمعی تبیین واریانس Cumulative percent of variance

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن همبستگی در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ^{ns} نشان دهنده عدم معنی‌داری است.

* and ** are indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels and ^{ns} show no significant correlation

رطوبت خاک، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر در دسترس به همراه تنفس میکروبی پایه، نیتروژن کل و زی توده میکروبی نیتروژن، از دو گروه صنوبر دلتوئیدس و زربین متمایز است. همچنین، در سمت راست محور اول PCA، توده زربین همبستگی مثبت با مقادیر کربن، نسبت کربن به نیتروژن، زی توده میکروبی کربن، درصد سیلت و رس دارد که از سه گروه دیگر کاملاً متمایز است، این در حالی است که توده صنوبر دلتوئیدس دارای بیشترین همبستگی با مشخصه‌های واکنش خاک، هدایت الکتریکی و درصد شن است (شکل ۱).

نتایج همبستگی بین محورهای مختلف PCA و مشخصه‌های خاکی مورد پژوهش در جدول ۳ نشان داده شد. بررسی توزیع گروه‌های مختلف جنگلکاری بر اساس مشخصه‌های خاک با استفاده از تحلیل PCA نشان داد که ۴ توده مورد بررسی در امتداد دو مولفه اصلی اول و دوم قابل تفکیک است (شکل ۱). دو مولفه اول PCA به ترتیب با مقادیر ویژه ۳/۴۴ و ۲/۴۴ برابر ۹۵/۹۷ درصد از تغییرات مشخصه‌های رویشگاه را توجیه می‌کنند (جدول ۳). بر این اساس، توده‌های آمیخته توسکا بیلاقی-سفیدپلت و توده خالص توسکا بیلاقی به دلیل همبستگی مثبت با متغیرهای محتوی



شکل ۱- توزیع مکانی توده‌های جنگلکاری، مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی و میکروبی خاک در تحلیل مولفه‌های اصلی.

Figure 1. Spatial pattern of stands, soil physico-chemical and microbial characteristics in PCA.

هدایت الکتریکی، واکنش خاک، کربن، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در دسترس، درصد شن، سیلت و رس، محتوی رطوبت خاک، تنفس میکروبی پایه، زی توده میکروبی کربن، زی توده میکروبی نیتروژن و نسبت زی توده میکروبی کربن به نیتروژن به ترتیب با علائم اختصاری pH، EC، C، N، CN، P، K، Ca، Mg، Sand، Silt، Clay، SWC، SMR، MBC، MBN، MBC/MBN نشان داده شد. (عامل اول: مقدار ویژه = ۳/۴۴، درصد واریانس متناظر با عامل = ۸۳/۹۲، درصد واریانس جمعی = ۸۳/۹۲ و عامل دوم: مقدار ویژه = ۲/۴۴، درصد واریانس متناظر با عامل = ۱۲/۰۴، درصد واریانس جمعی = ۹۵/۹۷).

Electrical conductance, pH, total nitrogen, carbon to nitrogen ratio, phosphorus, potassium, calcium and magnesium available, sand, silt and clay percentage, soil water content, soil microbial respiration, microbial biomass carbon and nitrogen and also microbial biomass carbon to microbial biomass nitrogen was showed with abbreviation of pH, EC, C, N, CN, P, K, Ca, Mg, Sand, Silt, Clay, SWC, SMR, MBC, MBN, MBC/MBN, respectively. (PC1: eigen value = 3.44, percent of variance = 83.92, cumulative percent of variance = 83.92; PC2: eigen value = 2.44, percent of variance = 12.04, cumulative percent of variance = 95.97).

بحث

در این پژوهش، بیشترین مقدار رطوبت خاک در توده‌های توسکا بیلاقی و توسکا-سفیدپلت و کمترین آن در توده زربین مشاهده شد. دلیل افزایش محتوی رطوبت خاک در توده‌های پهن‌برگ مورد پژوهش را می‌توان به نهاد این گونه‌ها نسبت داد که در کرانه رودخانه‌ها و مناطق مرطوب نیز حضور می‌یابند. علت کاهش محتوای رطوبت خاک در توده‌های سوزنی‌برگ زربین را با توجه به وضوح آن در تحلیل مولفه‌های اصلی می‌توان احتمالاً به همیشه‌سبز بودن درخت و نیز انبوهی بیشتر تاج آن‌ها در مقایسه با پهن‌برگان مورد پژوهش نسبت داد که سبب کاهش انتقال باران به خاک بستر می‌شود (Tafazoli, 2014). مقدار واکنش و هدایت الکتریکی خاک در توده زربین به‌طور معنی‌داری کمتر از توده‌های پهن‌برگ بود. دلیل افزایش واکنش خاک در توده‌های پهن‌برگ را می‌توان به غنی بودن محتوی عناصر غذایی موجود در لاشبرگ گونه‌های پهن‌برگ و سرعت بالای تجزیه آن‌ها نسبت داد که بازگشت مقادیر زیاد کاتیون‌های بازی به خاک را به‌همراه دارد (Augusto et al., 2002). همچنین، کاهش واکنش خاک در توده زربین می‌تواند به واسطه تجزیه کند لاشبرگ آن و متعاقباً تولید اسید آلی و تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک باشد که به‌تدریج به اسیدی شدن خاک می‌انجامد (Augusto et al., 2002; Hagen-Thorn et al., 2004).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها و همچنین نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که بیشترین درصد ازت کل در توده‌های آمیخته و توسکای بیلاقی و کمترین آن در توده زربین مشاهده شد. همسو با نتایج این تحقیق، (2002) Rothe et al. و Sanji et al. (2017) نیز علت افزایش نیتروژن خاک در توده‌های پهن‌برگ را به بالابودن محتوای نیتروژن لاشبرگ و

نرخ تجزیه بالاتر آن‌ها نسبت به سوزنی‌برگان نسبت دادند. تثبیت نیتروژن توسط توسکا بیلاقی دلیل دیگر افزایش نیتروژن خاک در توده‌های پهن‌برگ است (Tedersoo et al., 2009). از طرفی، Inagaki et al. (2004) دلیل کاهش نیتروژن خاک در سوزنی‌برگان را مصرف بالاتر نیتروژن در این گونه‌ها نسبت به پهن‌برگان بیان می‌کنند.

در یافته‌های این پژوهش، مقدار درصد کربن آلی خاک و نسبت کربن به نیتروژن خاک در توده سوزنی-برگ زربین نسبت به پهن‌برگان افزایش معنی‌داری داشته است. در گزارش Jimenez et al. (2007) و Liorente et al. (2010) و Sanji et al. (2017) و Moghimian et al. (2019) علت آن به تجمع بیشتر مواد آلی در نتیجه افزایش زی‌توده روزمینی و زیرزمینی، کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ و به‌دنبال آن معدنی‌شدن آهسته مواد آلی در واکنش خاک پایین‌تر نسبت داده شد.

بیشترین مقادیر فسفر، پتاسیم و منیزیم قابل جذب در توده‌های توسکا بیلاقی و توده آمیخته توسکا-سفیدپلت و کمترین آن‌ها در توده زربین مشاهده شد. در تأیید نتایج این پژوهش، Marcos et al. (2010) نشان دادند که محتوای مواد غذایی خاک در توده‌های سوزنی‌برگ کمتر از توده‌های پهن‌برگ است. علت بالاتر بودن مقدار این عناصر در خاک توده‌های پهن‌برگ نسبت به سوزنی‌برگ را می‌توان به بیشتر بودن عناصر تغذیه‌ای فوق در لاشبرگ این گونه‌ها نسبت داد که با فراهم کردن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها سبب تجزیه و آزادسازی سریع‌تر آن‌ها در خاک می‌شوند (Brady and Well, 2008).

بیشترین مقدار تنفس میکروبی پایه و زی‌توده میکروبی نیتروژن در جنگلکاری‌های خالص و آمیخته توسکا و کمترین آن در جنگلکاری زربین مشاهده

وضعیت اجتماعات میکروبی خاک به کار می رود (Ravindran and Yang, 2015). بالا بودن نسبت زی-توده میکروبی کربن به نیتروژن در زیر تاج گونه زرین (بیشتر از ۱۵) که از گونه های همزیست با قارچ های اکتومایکوریز به حساب می آید (Hagen-Thorn et al., 2004) نشان می دهد که زی توده میکروبی خاک در زیر این درختان دارای مقادیر زیادی از قارچ ها است در حالی که مقدار کمتر مشخصه در توده های پهن برگ بیانگر غالب بودن جمعیت های باکتریایی در زیر این درختان است (Ravindran and Yang, 2015). در این ارتباط، Paul and Clark (1996) اظهار می کنند، اگر در خاک، جمعیت باکتریایی غالب باشد نسبت کربن به نیتروژن بین ۳ تا ۱۰ و اگر جمعیت قارچی غالب باشد این نسبت بین ۱۰ تا ۱۵ و بیشتر در نوسان است. به طور کلی، نتایج این پژوهش مبین آن است که نوع گونه های درختی مورد استفاده در جنگلکاری-ها می تواند تغییرات قابل توجهی در خصوصیات شیمیایی و عملکرد جوامع میکروبی خاک ایجاد کند. مشخصه های شیمیایی خاک مانند واکنش خاک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، نسبت کربن به نیتروژن و شاخص های میکروبی خاک (مانند تنفس میکروبی پایه، زی توده میکروبی نیتروژن و نسبت زی توده میکروبی کربن به نیتروژن که از شاخص های حاصلخیزی خاک به شمار می آیند) در توده آمیخته توسکا-سفیدپلت و توده خالص توسکا دارای بیشترین مقدار بوده که بیانگر وضعیت مطلوب تر رویشگاه های جنگلکاری شده با این گونه هاست که می تواند موجب ترغیب کاربران برای استفاده از این گونه ها (توده ها) در احیای اراضی بایر و رها شده این منطقه (و مناطق مشابه از نظر اقلیمی و اداکیکی) در قالب جنگلکاری و یا کشت تلفیقی باشد.

شد. مقدار تنفس خاک در بوم سازگان های جنگلی تحت تأثیر عوامل متعددی مانند مقدار رطوبت، دما، محتوای نیتروژن خاک، کیفیت لاشبرگ، محتوای ماده آلی خاک، توالی جنگل و شیوه های مدیریت جنگل قرار می گیرد (Yang et al., 2007) در برخی گزارش-ها، همچنین تأکید به ارتباط مقادیر تنفس خاک به کیفیت سوبسترا و مواد هومیکی تحت گونه های درختی مختلف شده است (Singh et al., 2012). همسو با یافته های این پژوهش، Bini et al. (2013) و Kooch et al. (2018) در پژوهش خود بیان می کنند که سطح تنفس خاک و زی توده میکروبی نیتروژن در حضور لاشبرگ هایی با مقدار نیتروژن بیشتر و کربن کمتر و وجود لاشبرگ های متنوع افزایش می یابد. در حقیقت، بیشتر بودن مقدار تنفس میکروبی پایه و زی-توده میکروبی نیتروژن در توده های توسکا-سفیدپلت و توسکا بیلاقی به دلیل داشتن لاشبرگ هایی با مقدار نیتروژن بیشتر و لیگنین کمتر و با تجزیه راحت تر این توده ها نسبت به توده های سوزنی برگ است (Sinha et al., 2009). در پژوهش پیش رو، در توده های خالص و آمیخته توسکا به دلیل مطلوب بودن کیفیت و نرخ تجزیه لاشبرگ، زی توده میکروبی نیتروژن افزایش یافت که مؤید این است که گونه های غنی از نیتروژن سبب افزایش زی توده میکروبی نیتروژن می شوند (Burton et al., 2010). همچنین، زی توده میکروبی کربن و نسبت زی توده میکروبی کربن به نیتروژن در خاک توده سوزنی برگ زرین بیشتر از توده های پهن-برگ بوده است که این علت را می توان به رشد و فعالیت بیشتر جمعیت های میکروبی خاک و تجمع بیشتر زی توده میکروبی آن نسبت داد (Dinesh et al., 2004; Kooch et al., 2018). نسبت کربن میکروبی به نیتروژن میکروبی اغلب به منظور توصیف ساختار و

References

- Alef, K.; Nannipieri, P., *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press: 1995.
- 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.
- Bini, D.; dos Santos, C. A.; Bouillet, J.-P.; de Morais Goncalves, J. L.; Cardoso, E. J. B. N., Eucalyptus grandis and Acacia mangium in monoculture and intercropped plantations: evolution of soil and litter microbial and chemical attributes during early stages of plant development. *Applied Soil Ecology* **2013**, *63*, 57-66.
- Boden, T. A.; Marland, G.; Andres, R. J., Global, regional, and national fossil-fuel CO₂ emissions. *Carbon dioxide information analysis center, Oak ridge national laboratory, US department of energy, Oak Ridge, Tenn., USA* doi **2009**, *10*.
- Brady, N. C.; Weil, R. R.; Weil, R. R., *The nature and properties of soils*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ: 2008; Vol. 13.
- Burton, J.; Chen, C.; Xu, Z.; Ghadiri, H., Soil microbial biomass, activity and community composition in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments* **2010**, *10* (7), 1267-1277.
- Dinesh, R.; Ghoshal Chaudhuri, S.; Sheeja, T., Soil biochemical and microbial indices in wet tropical forests: effects of deforestation and cultivation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **2004**, *167* (1), 24-32.
- Habashi, H., Microbial respiration and microbial biomass C relationship with soil organic matter in different types of mixed beech forest. **2015**.
- Hagen-Thorn, A.; Callesen, I.; Armolaitis, K.; Nihlgård, B., The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest ecology and management* **2004**, *195* (3), 373-384.
- Häggman, H.; Raybould, A.; Borem, A.; Fox, T.; Handley, L.; Hertzberg, M.; Lu, M. Z.; Macdonald, P.; Oguchi, T.; Pasquali, G., Genetically engineered trees for plantation forests: key considerations for environmental risk assessment. *Plant Biotechnology Journal* **2013**, *11* (7), 785-798.
- Humpenöder, F.; Popp, A.; Dietrich, J. P.; Klein, D.; Lotze-Campen, H.; Bonsch, M.; Bodirsky, B. L.; Weindl, I.; Stevanovic, M.; Müller, C., Investigating afforestation and bioenergy CCS as climate change mitigation strategies. *Environmental Research Letters* **2014**, *9* (6), 064029.
- Inagaki, Y.; Miura, S.; Kohzu, A., Effects of forest type and stand age on litterfall quality and soil N dynamics in Shikoku district, southern Japan. *Forest ecology and management* **2004**, *202* (1-3), 107-117.
- Jiménez, J. J.; Lal, R.; Leblanc, H. A.; Russo, R. O., Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* **2007**, *241* (1-3), 134-144.
- Kooch, Y.; Tavakoli, M.; Akbarinia, M., Microbial/biochemical indicators showing perceptible deterioration in the topsoil due to deforestation. *Ecological Indicators* **2018**, *91*, 84-91.
- Liao, C.; Luo, Y.; Fang, C.; Chen, J.; Li, B., The effects of plantation practice on soil properties based on the comparison between natural and planted forests: a meta-analysis. Wiley Online Library: 2012.
- Llorente, M.; Glaser, B.; Turrión, M. B., Storage of organic carbon and black carbon in density fractions of calcareous soils under different land uses. *Geoderma* **2010**, *159* (1-2), 31-38.
- Marcos, E.; Calvo, L.; Marcos, J. A.; Taboada, Á.; Tárrega, R., Tree effects on the chemical topsoil features of oak, beech and pine forests. *European Journal of forest research* **2010**, *129* (1), 25-30.
- Moghimian, N.; Hosseini, S. M.; Kooch, Y.; Darki, B. Z., Evaluating soil biochemical/microbial indices as ecological indicators of different land use/cover in northern Iran. *Acta Ecologica Sinica* **2019**, *39* (4), 328-333.
- Paul, E., *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Academic press: 2014.
- Ravindran, A.; Yang, S.-S., Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection* **2015**, *48* (4), 362-369.
- Rothe, A.; Cromack Jr, K.; Resh, S. C.; Makineci, E.; Son, Y., Soil carbon and nitrogen changes under Douglas-fir with and

- without red alder. *Soil Science Society of America Journal* **2002**, 66 (6), 1988-1995.
- Sanji, R.; Kooch, Y.; Tabari, K. M., Comparison of fine root biomass, earthworm's and nematodes populations in topsoil of natural forest and plantations. *Journal of water and soil conservation* **2017**, 24 (3), 219-234.
 - Schimel, J.; Schaeffer, S. M., Microbial control over carbon cycling in soil. *Frontiers in microbiology* **2012**, 3, 348.
 - Shrestha, R.; Ladha, J.; Gami, S., Total and organic soil carbon in cropping systems of Nepal. *Nutrient cycling in agroecosystems* **2006**, 75 (1), 257-269.
 - Singh, K.; Singh, B.; Singh, R., Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation. *Catena* **2012**, 96, 57-67.
 - Sinha, S.; Masto, R.; Ram, L.; Selvi, V.; Srivastava, N.; Tripathi, R.; George, J., Rhizosphere soil microbial index of tree species in a coal mining ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* **2009**, 41 (9), 1824-1832.
 - Sun, B.; Hallett, P. D.; Caul, S.; Daniell, T. J.; Hopkins, D. W., Distribution of soil carbon and microbial biomass in arable soils under different tillage regimes. *Plant and Soil* **2011**, 338 (1), 17-25.
 - Tafazoli, M., The Comparison of nutrient input via throughfall in an oak-hornbeam natural forest with Persian maple (*Acer velutinim*) and Turkish pine (*Pinus brutia*) plantations. M.Sc. Disertations. Tehran University, Tehran, Iran, **2014**; p 121 (In Persian).
 - Tedersoo, L.; Suvi, T.; Jairus, T.; Ostonen, I.; Põlme, S., Revisiting ectomycorrhizal fungi of the genus *Alnus*: differential host specificity, diversity and determinants of the fungal community. *New Phytologist* **2009**, 182 (3), 727-735.
 - Yang, Y.-S.; Chen, G.-S.; Guo, J.-F.; Xie, J.-S.; Wang, X.-G., Soil respiration and carbon balance in a subtropical native forest and two managed plantations. *Plant Ecology* **2007**, 193 (1), 71-84.
 - Zheng, X.; Wei, X.; Zhang, S., Tree species diversity and identity effects on soil properties in the Huoditang area of the Qinling Mountains, China. *Ecosphere* **2017**, 8 (3), e01732.

Effect of artificial tree stands on physical, chemical properties and soil microbial biomass (case study: Zaghmarz of Neka)

J. Jafari¹, M. Tabari Kouchaksaraei^{*2}, V. Hosseini³ and S. E. Sadati⁴

1. Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (jafari64.23@gmail.com)

2. Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (mtabari@modares.ac.ir)

3. Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Kurdistan University, Sanandaj, I. R. Iran. (V.Hosseini@uok.ac.ir)

4. Associate Professor, Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, I. R. Iran. (sadati10@yahoo.com)

Received: 20.10.2019 Accepted: 27.04.2020

Abstract

In the present study, physical, chemical and biological soil properties in pure plantation stands (21 years old) of *Alnus subcordata*, *Populus deltoides*, *Cupressus sempervirens* and a mixed stand of *Alnus subcordata*-*Populus caspica* at Zaghmarz area, Neka city (north of Iran), were studied. In each stand, 10 plots of 400 m² were selected and in each plot five samples were taken from 10 cm-depth of soil. The highest values of soil water content, pH, total nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and magnesium available (Mg), basal microbial respiration (BMR), soil microbial biomass nitrogen (MBN) allocated to stands of *A. subcordata*-*P. caspica* and *A. subcordata*, while the highest amounts of organic carbon (C), C:N ratio, microbial biomass carbon (MBC) and MBC/MBN ratio was observed in *Cupressus* stand. Analysis of PCA showed that *Cupressus* plantation has a positive correlation with amount of C, CN, silt, clay, MBC and MBC/MBN. But the pure and mixed stands of *Alnus* are positively correlated with total N, K, Ca, Mg, P available, water content, BMR and MBN, showing the soil fertility of these stands and encouraging users for cultivation of this species in the form of afforestation or agroforestry.

Keywords: Caspian poplar, Afforestation, Microbial respiration, Caucasian alder, Soil nutrient.

* Corresponding author

Tel: +98911246250