

ارزیابی کمی پویایی کربن و نیتروژن خاک تحت جنگلکاری‌های بلندمازو و توسکا ییلاقی

محمد کاظم پارساپور^۱، یحیی کوچ^{۲*}، سید محسن حسینی^۳ و سید جلیل علوی^۴

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، ایران. (m.parsapour@modares.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (yahya.kooch@modares.ac.ir)

۳- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۷

چکیده

با توجه به تخریب جنگل‌های هیرکانی طی سال‌های گذشته، جنگلکاری توانسته است به‌عنوان یک راهکار مناسب به‌منظور احیاء مناطق تخریب‌شده مورد توجه قرار گیرد. در این میان، گونه‌های توسکا ییلاقی و بلندمازو در سطوح وسیع مورد جنگلکاری قرار گرفته‌اند. روابط کمی عناصر (استوکیومتری)، نقش مهمی در تجزیه ماده آلی با تغییر دسترسی نسبی این عناصر در خاک دارد و شاخص مهمی برای فهم بهتر شرایط میکروبی و مواد آلی در خاک است. هدف از این پژوهش، تعیین اثر نوع گونه درختی در سنین مختلف بر روابط کمی در این جنگلکاری‌ها است. این بررسی در توده‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ساله جنگلکاری‌های شرکت چوب و کاغذ مازندران انجام و در هر یک از عرصه‌ها، تعداد ۳۰ نمونه خاک و لاشبرگ به‌روش تصادفی سیستماتیک از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک برداشت شدند. براساس نتایج، بیشترین مقادیر روابط کمی کربن به نیتروژن خاک (۱۸/۳۳)، زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن (۱۵/۸۸)، کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای (۱۰/۳۶) و کربن به نیتروژن آلی محلول (۳/۰۰) در سنین بالاتر بلندمازو مشاهده شدند که اختلاف معنی‌داری با گونه توسکا ییلاقی داشتند. همچنین، توده‌های بلندمازو در سنین بالاتر موجب بهبود روابط کمی کربن و نیتروژن خاک در سال‌های آتی جنگلکاری می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: احیاء جنگل، زی‌توده میکروبی، مواد آلی ذره‌ای، مواد آلی محلول، نسبت میکروبی.

مقدمه

(Zhao et al., 2016). اثر سن توده بر چرخه عناصر خاک تحت گونه‌های درختی مختلف با در نظر گرفتن اهمیت سن توده مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شد که با افزایش سن در توده‌های پهن‌برگ مشخصه‌های کربن و نیتروژن خاک بهبود می‌یابند (Pitman et al., 2014). میکروب‌های خاک نسبت به جنگل‌زدایی، تغییرات پوشش زمین، مدیریت انسانی و غیره حساس هستند و نقش کلیدی در جریان انرژی و عناصر غذایی در خاک ایفا می‌کنند. مشخصه‌های میکروبی به‌عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی کیفیت و عملکرد خاک در نظر گرفته شده‌اند و این به دلیل نقش محوری میکروارگانیسم‌ها در چرخه کربن و نیتروژن است (Maharjan et al., 2017).

کربن و نیتروژن دو عنصر اساسی در اکوسیستم بوده و نسبت آن‌ها به‌عنوان شاخصی مهم در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها مطرح است. روابط بین این عناصر در خاک توسط شاخصی به نام استوکیومتری (روابط کمی) که روابط بین عناصر را نشان می‌دهد (به‌طور مثال نسبت کربن به نیتروژن) بیان می‌شود که اثر مهمی بر تجزیه ماده آلی خاک با تغییر دسترسی نسبی کربن و نیتروژن برای میکروارگانیسم‌های خاک دارد (Ren et al., 2016). شاخص‌های بر مبنای روابط کمی، حساسیت بالایی نسبت به تغییرات پوشش گیاهی در اثر کیفیت لاشبرگ‌های متفاوت دارند؛ به-عبارت دیگر بررسی روابط کمی کربن و نیتروژن در مناطق جنگلکاری‌شده، می‌تواند درک بهتری از پویایی اکولوژیکی اکوسیستم و وضعیت دسترسی به عناصر غذایی در مناطق جنگلکاری‌شده را ارائه دهد. از آنجا که توانایی یک اکوسیستم در مواجهه با اختلالات اکولوژیکی تا حدودی به فعالیت‌های میکروبی آن بستگی دارد، مشخص کردن پویایی روابط کمی کربن و نیتروژن به درک بهتر و بهبود خدمات

در سال‌های اخیر، مساحت زیادی از عرصه‌های جنگلی شمال کشور به دلیل افزایش تقاضا برای الوار، هیزم، چراگاه، غذا و زمین‌های مسکونی، با نرخ هشداردهنده‌ای به‌ویژه در استان مازندران تخریب شده‌اند. به این ترتیب تخریب و کاهش سطح جنگل‌ها مستلزم جنگلکاری در راستای احیاء و گسترش این منابع جنگلی است (Yousefi and Darvishi, 2013, Kooch et al., 2018, Hashemi et al., 2017). جنگلکاری به‌طور گسترده به‌عنوان یک عملکرد مناسب به منظور حفاظت آب و خاک، احیاء و بازسازی عرصه‌های طبیعی و جلوگیری از تخریب آن‌ها، مبارزه با بیابان‌زایی، تأمین چوب و افزایش ذخیره کربن محسوب می‌شود (Zhang et al., 2017). احیاء اراضی جنگلی تخریب‌یافته، به‌واسطه جنگلکاری، اثر معنی‌داری بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک دارد که در این زمینه، بین گونه‌های بومی و غیربومی و همچنین گونه‌های تثبیت‌کننده و غیرتثبیت‌کننده نیتروژن تفاوت اساسی وجود دارد (Hoogmoed et al., 2014). طی سال‌های گذشته، جنگلکاری با گونه‌های مختلف به‌خصوص توسکا بیلاقی و بلندمازو در سطوح وسیعی از جنگل‌های تخریب‌شده شمال کشور انجام شده است که از نظر کیفیت لاشبرگ و مواد آلی ورودی به خاک دارای سرشت کاملاً متفاوتی هستند (Kooch et al., 2018). جنگلکاری به‌طور مستقیم روی تنوع و فعالیت میکروب‌های خاک اثرگذار است و به تبع آن می‌تواند در بسیاری از فرآیندهای مهم مثل تجزیه مواد آلی و چرخه عناصر غذایی خاک و عملکرد اکوسیستم نقش داشته باشد. سن توده به‌عنوان شاخص پویایی جنگل نقش مهمی در تعیین کیفیت مواد آلی خاک از طریق تغییر در کیفیت و کمیت لاشبرگ‌های گیاهی دارد

به پژوهش‌های انجام شده، شناخت بهتر اثر پوشش-های گیاهی مختلف بر خاک موجب پیش‌بینی دقیق‌تر اثر گونه‌ها بر بوم‌سازگان و مدیریت بهینه آن‌ها برای مدیران و برنامه‌ریزان می‌شود، تعیین اثر نوع گونه درختی بر خصوصیات میکروبی کربن و نیتروژن و روابط کمی بین آن‌ها در سنین مختلف جنگلکاری توسکا بیلاقی و بلندمازو و ارزیابی جنگلکاری‌های انجام‌شده با این گونه‌ها در شمال کشور مورد بررسی قرار گرفت. هدف پژوهش دستیابی به روشی علمی و عملی برای ارزیابی دقیق‌تر مواد آلی در مناطق جنگلکاری‌شده در گذر زمان است که می‌تواند در انتخاب گونه مناسب برای جنگلکاری‌های آتی در مناطق تخریب‌یافته جنگلی شمال کشور در نظر گرفته شود. همچنین فرض این پژوهش بر آن است که با مسن‌تر شدن توده‌های جنگلکاری‌شده، مشخصه‌های کربن و نیتروژن و روابط کمی بین آن‌ها در خاک بهبود یابند و این روند در توده‌های بلندمازو ملموس‌تر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در منطقه دلاک خیل از جنگل‌های شرکت چوب و کاغذ مازندران در شمال ایران ($30^{\circ}00'53''$ تا $30^{\circ}04'53''$ طول شرقی و $36^{\circ}21'08''$ تا $36^{\circ}27'15''$ عرض شمالی) با دامنه ارتفاعی ۳۵۰ - ۳۶۰ متر از سطح دریا انجام شده است. میانگین بارندگی سالانه ۷۲۶ میلی‌متر و دمای متوسط روزانه از ۷/۱ درجه سانتی‌گراد در بهمن تا ۲۶/۱ درجه سانتی‌گراد در ماه مرداد متغیر و بافت خاک آن عموماً لوم رسی سیلتی و لوم رسی است. حدود ۵۰ سال پیش، این منطقه تحت تأثیر جنگل‌های طبیعی شامل گونه‌های درختی بومی مانند بلوط (*Quercus*)

اکوسیستم کمک می‌کند (Liu et al., Ren et al., 2016). از آنجایی که پایداری درازمدت اراضی جنگلی وابسته به حفظ کیفیت خاک است، از این رو تعیین دقیق اثر فعالیت‌هایی چون تخریب و احیاء عرصه‌های جنگلی بر خاک، برای مدیریت بهینه این عرصه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در پژوهش‌های پیشین، تغییر مشخصه‌های روابط کمی خاک در مناطق جنگلکاری‌شده نسبت به مناطق بدون پوشش گیاهی نشان داده شده است (Zhao et al., 2016). روابط کمی خاک با جنگلکاری در نتیجه کیفیت لاشبرگ و ریشه تغییر می‌کنند و مطابق با پژوهش Ren et al. (2016) روابط کمی کربن و نیتروژن پس از ۴۰ سال جنگلکاری در مناطق تخریب‌شده جنگلی در چین، افزایش یافتند (Ren et al., 2016). در پژوهشی، Heuck and Spohn, (2016) روابط کمی کربن و نیتروژن و زی‌توده میکروبی را در نتیجه جنگلکاری با گونه‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در آلمان بررسی کرده و نشان دادند که روابط کمی کربن و نیتروژن با جنگلکاری افزایش می‌یابد و این می‌تواند با توجه به نوع گونه مورد استفاده و نرخ متفاوت تجزیه لاشبرگ آن‌ها متفاوت باشد. همچنین افزایش نسبت روابط کمی کربن و نیتروژن پس از ۶۰ سال جنگلکاری در مناطق معتدله چین در پژوهشی نشان داده شده است (Yu et al., 2018). در مناطق جنگلی شمال ایران، پژوهشی در رابطه با تغییرات روابط کمی کربن و نیتروژن به-خصوص روابط کمی کربن و نیتروژن زی‌توده میکروبی خاک در سنین مختلف جنگلکاری انجام نشده و به‌نظر می‌رسد توجه اندکی به ارتباط بین جنگلکاری در بلندمدت با پویایی این شاخص‌ها در جنگل‌های هیرکانی، به‌ویژه در مقایسه با منطقه تخریب‌شده جنگلی شده است. از آنجایی که با توجه

والکی بلاک (Nelson and Sommers, 1982)، نیتروژن کل به روش کجالدال (Mulvaney, 1982) برای اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن خاک (MBC و MBN) از روش تدخین- استخراج (Brookes et al., 1985)، اندازه‌گیری کمی مواد آلی ذره‌ای از روش کاهش وزن به‌وسیله سوزاندن و کربن و نیتروژن آلی محلول با استفاده از دستگاه تجزیه کربن آلی اندازه‌گیری شدند (Nelson and Sommers, 1982).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آور شده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شدند، سپس برای تجزیه و تحلیل و همچنین مقایسه داده‌ها، ابتدا نرمال‌بودن آن‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون تست شد. برای بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف لاشبرگ و خاک در ارتباط با سنین مختلف عرصه‌های جنگلکاری شده، از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسه چندگانه میانگین‌ها به‌کار گرفته شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۰ انجام شد. از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی روابط در داده‌های چندمتغیره استفاده و همبستگی چندمتغیره برای شناسایی روابط بین متغیرها و مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار PC-ORD نسخه ۵ انجام شد.

نتایج

مقدار کربن (۴۳/۱۴ درصد) و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ (۳۹/۹۹) در توده توسکا بیلاقی ۱۵ ساله نسبت به دو توده مسن‌تر ۲۰ و ۲۵ ساله به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. نتایج نشان‌دهنده روند معکوس مقادیر کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در

(*castaneifolia* C. A. M *macranthera* F. & M. *Parrotia*) و انجیلی (*Carpinus betulus* L.) و *C. A. Meyer persica*) بود که در سال ۱۳۶۶ این جنگل‌ها قطع یکسره شده و از سال ۱۳۷۰ دوباره جنگلکاری شدند. در این پژوهش، سنین مختلف توسکا بیلاقی و بلندمازو شامل ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ساله بودند. منطقه‌ای خالی از پوشش درختی در مجاورت مناطق جنگلکاری شده و با شرایط توپوگرافی همسان با آن‌ها به‌عنوان منطقه شاهد انتخاب شد. منطقه مورد بررسی، بین ۳۵۰ تا ۳۶۰ متر ارتفاع از سطح دریا، شرایط فیزیوگرافی، آب و هوایی و شیوه‌های مدیریت مشابهی را با توده‌های جنگلکاری شده نشان می‌دهد (Parsapour et al., 2018).

نمونه‌برداری لاشبرگ و خاک و تجزیه آزمایشگاهی

در هر یک از رویشگاه‌های مورد بررسی (توده‌های جنگلی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ساله توسکا بیلاقی، بلندمازو و نیز منطقه بدون پوشش درختی)، عرصه‌هایی با مساحت یک و نیم هکتار انتخاب و در هر عرصه، تعداد ۳۰ نمونه خاک به روش منظم تصادفی با فاصله ۴۰ متر از یکدیگر از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و لاشبرگ سطحی با ابعاد (۲۰ × ۲۰ × ۱۰ سانتی‌متر) در طول ترانسکت‌های موازی (در مجموع، ۲۱۰ نمونه خاک و لاشبرگ) برای تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی برداشت شدند. نمونه‌های خاک و لاشبرگ به آزمایشگاه انتقال یافته و وارد فرآیند تجزیه آزمایشگاهی شدند. کربن لاشبرگ با استفاده از روش احتراق خشک (Nilsson et al., 1999) و نیتروژن لاشبرگ بعد از هضم نیم گرم از هر نمونه در اسید سولفوریک غلیظ و به‌کارگیری یک قرص کاتالیزور با روش کجالدال (Kjeldahl) تعیین شد (Bremner Mulvaney, 1982). نمونه‌های خاک از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و کربن آلی به روش

بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در منطقه بدون پوشش درختی گزارش شد. بالاترین مقدار زی‌توده میکروبی نیتروژن در خاک توده ۲۵ ساله توسکا بیلاقی (۶۷/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو توده جوان‌تر این گونه، تمام سنین گونه بلندمازو و نیز منطقه بدون پوشش درختی بود. زی‌توده میکروبی نیتروژن در توده‌های جنگلکاری بلندمازو در سنین مختلف ثابت بوده و افزایش سن، تفاوت آماری معنی‌داری در مقدار این مشخصه نشان نداده است؛ ولی مقادیر این مشخصه در خاک تحت کشت بلندمازو به‌طور معنی‌داری از مقدار آن در خاک منطقه بدون پوشش درختی بیشتر بود (جدول ۱). نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن روند متفاوتی نشان داد و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، افزایش سن تأثیری در افزایش مقدار این نسبت در توده جنگلکاری توسکا بیلاقی نداشت و تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. از سن ۱۵ تا ۲۰ سال، نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن روند افزایشی را نشان داد ولی پس از آن کاهش یافت. در گونه بلندمازو افزایش مقدار این نسبت استوکیومتری با افزایش سن مشاهده شد و نیز در هر دو توده جنگلکاری‌شده توسکا بیلاقی و بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در منطقه بدون پوشش درختی بود (شکل ۱).

مشخصه‌های کربن و نیتروژن آلی محلول در توده‌های ۲۵ ساله هر دو نوع گونه درختی مورد بررسی به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده ۲۰ ساله < ۱۵ ساله < منطقه بدون پوشش درختی بودند، هرچند بین گونه‌های مورد بررسی، این مقادیر تفاوت آماری معنی‌داری را نشان ندادند. روابط کمی کربن به نیتروژن آلی محلول به‌طور معنی‌داری در توده‌های

توده بلندمازو بودند، به این معنی که با افزایش سن، به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در توده ۲۵ ساله بلندمازو به‌ترتیب ۵۲/۰۹ درصد و ۷۴/۸۰ گزارش شدند). مقدار نیتروژن لاشبرگ در توده توسکا بیلاقی با افزایش سن، به‌طور معنی‌داری افزایش (۲/۲۳ درصد در توده ۲۵ ساله) و مقدار نیتروژن لاشبرگ در توده بلندمازو با افزایش سن تغییری را نشان نداد و اختلاف آماری معنی‌داری بین سنین مختلف این گونه مشاهده نشد (جدول ۱). مقدار کربن آلی خاک در سنین مختلف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سال و نیز گونه‌های توسکا بیلاقی و بلندمازو اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند ولی به‌طور معنی‌داری در خاک تحت کشت توده‌های جنگلکاری‌شده بیشتر از خاک منطقه بدون پوشش درختی بودند. همچنین نتایج بیانگر آن هستند که مقدار نیتروژن خاک در توده توسکا بیلاقی با رشد توده‌ها، افزایش می‌یابد، در حالی که این روند در خاک تحت کشت توده بلندمازو مشاهده نشد (جدول ۱). نسبت کربن به نیتروژن خاک در منطقه بدون پوشش درختی نسبت به توده‌های جنگلکاری شده توسکا بیلاقی بالاتر، در حالی که نسبت به توده‌های بلندمازو در سنین مختلف، مقادیر کمتری را نشان داد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که در توده‌های توسکا بیلاقی، با افزایش سن توده، نسبت کربن به نیتروژن روند کاهشی دارد ولی در توده‌های بلندمازو با افزایش سن، این نسبت افزایش می‌یابد (شکل ۱).

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، زی‌توده میکروبی کربن در خاک توده‌های ۲۵ ساله هر دو گونه درختی مورد بررسی، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سنین دیگر (به‌ترتیب ۶۴۵/۰۶ و ۵۸۹/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در توسکا بیلاقی و بلندمازو) و نیز مقدار این مشخصه در توده‌های جنگلکاری شده توسکا بیلاقی و

بلندمازو بیشتر از توده‌های توسکا بیلاقی گزارش شد. این نسبت در توده‌های توسکا بیلاقی در تمامی سنین یکسان بود و تفاوت آن‌ها معنی‌دار مشاهده نشد. این در حالی است که در توده‌های بلندمازو، با افزایش سن از ۱۵ تا ۲۵ سال، روند افزایشی معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). مطابق با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، می‌توان مشخصه‌های کربن و نیتروژن خاک و لاشبرگ، نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن و نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن، کربن و نیتروژن آلی محلول و ذره‌ای و نسبت کربن به نیتروژن آلی محلول را به سنین مختلف جنگلکاری با دو گونه مورد بررسی نسبت داد. همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر روابط کمی در توده‌های مسن‌تر به‌ویژه توده ۲۵ ساله بلندمازو بوده؛ همچنین مقادیر بیشتر نسبت کربن به نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای تحت تأثیر توده ۲۰ ساله بلندمازو و نیز منطقه بدون پوشش درختی قرار داشتند. (شکل ۲). با توجه به شکل، می‌توان مشاهده کرد که مقادیر بالاتر مشخصه‌های نیتروژن در سنین مختلف توده‌های تثبیت‌کننده نیتروژن توسکا بیلاقی و بیشترین مقدار مشخصه‌های کربن، در خاک تحت کشت توده‌های بلندمازو نشان داده شده‌اند.

بحث

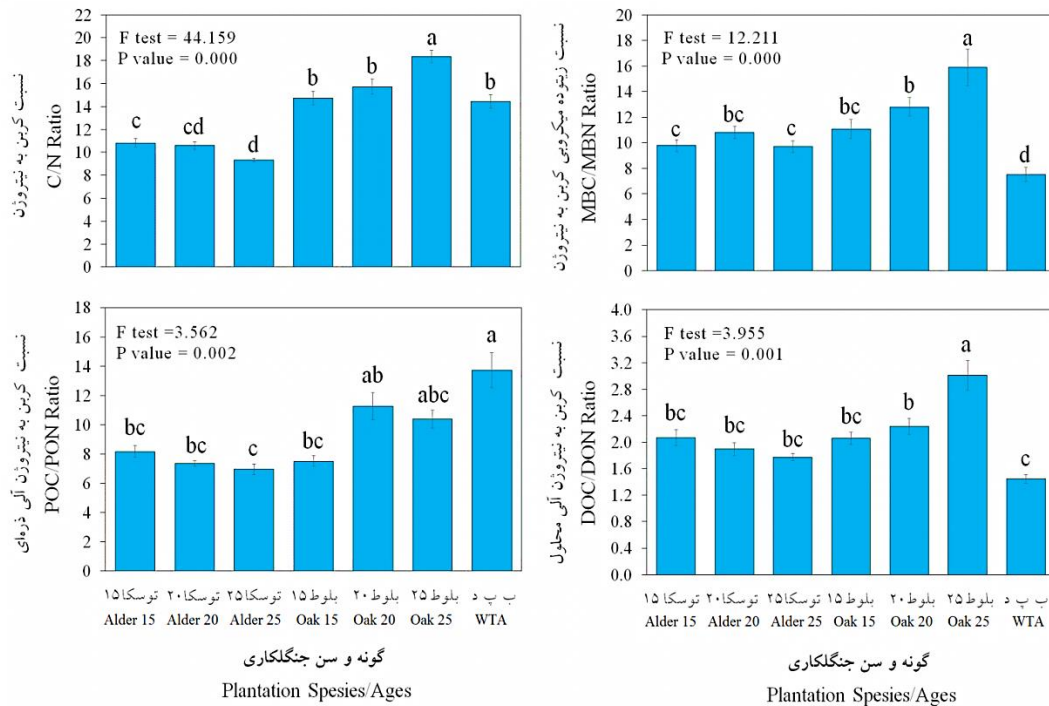
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مقادیر مقدار کربن و نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در توده‌های بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده‌های توسکا بیلاقی بودند. این درحالی بود که بیشترین مقادیر نیتروژن لاشبرگ در توده‌های توسکا بیلاقی مشاهده شد. گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن معمولاً غلظت بالای

نیتروژن را در لاشبرگ خود دارند که طی فرآیند تجزیه و با افزایش سن توده‌ها غلظت نیتروژن افزایش می‌یابد و این مسئله در تمامی لاشبرگ‌های این گونه مشاهده می‌شود. با در دسترس بودن لاشبرگ در سنین مختلف توسکا بیلاقی و افزایش دسترسی به منابع، لاشبرگ‌ها در کف جنگل انباشته شده و توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه و معدنی می‌شوند (Chase, Singh and 2014). تجزیه سریع لاشبرگ در گونه توسکا بیلاقی منجر به آزاد شدن مواد غذایی در خاک توده توسکا ۲۵ ساله می‌شود که بالاتر از دو سن دیگر است. پژوهش‌های پیشین به افزایش مقدار نیتروژن طی تجزیه لاشبرگ در اراضی جنگلکاری شده اشاره داشته‌اند (Devi and Yadava, Ribeiro et al., 2002; 2007). نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ در پژوهش حاضر در توده‌های توسکا بیلاقی روند کاهشی را نشان داد که همسو با نتایج به‌دست آمده در پژوهش‌های پیشین است که اشاره کرده‌اند گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن معمولاً لاشبرگ‌هایی با غلظت بالای نیتروژن و نسبت C/N پایین تولید می‌کنند (Hoogmoed et al., 2014; Zhu et al., 2015). تجزیه سریع لاشبرگ در گونه توسکا بیلاقی منجر به آزاد شدن مواد غذایی در خاک توده توسکا بیلاقی ۲۵ ساله می‌شود که بالاتر از دو سن دیگر بوده و بیشتر بودن مقدار نیتروژن در خاک تحت کشت توسکا بیلاقی موجب می‌شود نسبت کربن به نیتروژن خاک نیز کاهش یابد. افزایش سرعت تجزیه در گونه توسکا بیلاقی به‌طور عمده به علت غلظت بالای کربوهیدرات‌های محلول و غلظت کم لیگنین مرتبط است.

جدول ۱. میانگین (\pm اشتباه معیار) مشخصه‌های لاشبرگ و خاک در ارتباط با سنین مختلف توسکا ییلاقی، بلندمازو و منطقه بدون پوشش درختی

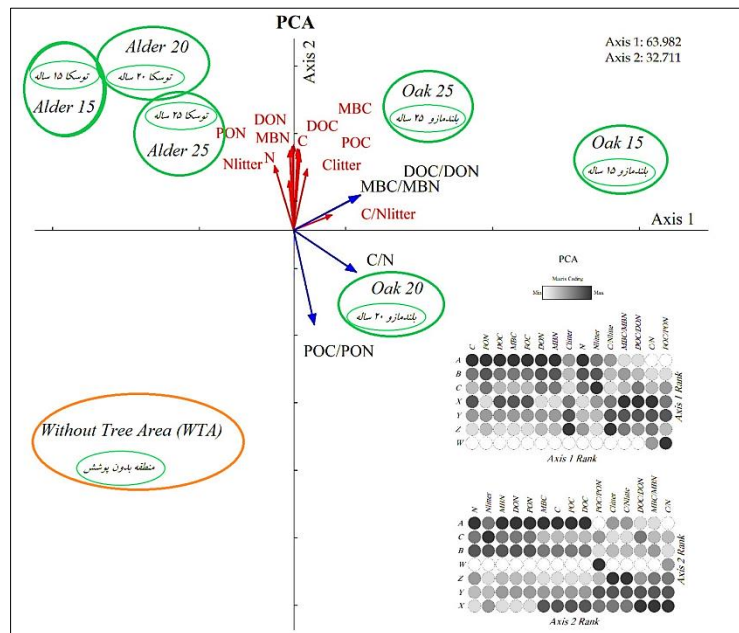
Table 1. Mean values and standard error (SE) of the litter and soil properties in relation with different ages of Alder and Oak plantations and without tree area

Sig.	F	سنین مختلف گونه‌های درختی Different ages of tree species							مشخصه Properties	
		منطقه بدون درخت Without tree area	بلندماوز ۲۵ ساله Oak 25 years	بلندماوز ۲۰ ساله Oak 20 years	بلندماوز ۱۵ ساله Oak 15 years	توسکا ۲۵ ساله Alder 25 years	توسکا ۲۰ ساله Alder 20 years	توسکا ۱۵ ساله Alder 15 years		
0.000	12.396	-	52.09 ± 1.05a	48.61 ± 1.77de	45.57 ± 1.39bc	38.13 ± 1.52e	40.34 ± 1.57de	43.14 ± 1.44cd	کربن (درصد) C (%)	لاشبرگ Litter
0.000	131.696	-	0.71 ± 0.02d	0.73 ± 0.01d	0.75 ± 0.02d	2.23 ± 0.06a	1.54 ± 0.10b	1.09 ± 0.02c	نیتروژن (درصد) N (%)	
0.000	82.659	-	74.80 ± 2.49a	68.16 ± 3.20ab	62.86 ± 3.38b	17.28 ± 0.76e	30.98 ± 2.73d	39.99 ± 1.51c	نسبت کربن به نیتروژن C:N ratio	
0.000	9.782	1.93 ± 0.20b	4.24 ± 0.33a	3.99 ± 0.44a	3.83 ± 0.25a	4.58 ± 0.18a	4.22 ± 0.20a	3.98 ± 0.23a	کربن (درصد) C (%)	خاک Soil
0.000	48.282	0.13 ± 0.01d	0.23 ± 0.01c	0.24 ± 0.02c	0.26 ± 0.01c	0.49 ± 0.02a	0.40 ± 0.02b	0.36 ± 0.01b	نیتروژن (درصد) N (%)	
0.000	64.531	109.46 ± 6.61c	589.86 ± 34.25a	514.53 ± 20.91b	451.00 ± 21.12b	645.06 ± 25.43a	585.20 ± 19.09a	510.33 ± 18.14b	زی توده میکروبی کربن MBC (mg kg ⁻¹)	
0.000	87.811	15.23 ± 0.70d	40.78 ± 2.62c	42.56 ± 2.12c	43.22 ± 1.79c	67.48 ± 1.02a	55.45 ± 1.49b	53.44 ± 1.66b	زی توده میکروبی نیتروژن MBN (mg kg ⁻¹)	
0.000	15.768	1.04 ± 0.09c	3.12 ± 0.24ab	3.00 ± 0.30ab	2.56 ± 0.20b	3.24 ± 0.18a	3.08 ± 0.08ab	3.00 ± 0.14ab	کربن آلی ذره‌ای POC (g kg ⁻¹)	
0.000	28.117	0.10 ± 0.00d	0.35 ± 0.02c	0.37 ± 0.03bc	0.38 ± 0.02bc	0.51 ± 0.02a	0.45 ± 0.02ab	0.42 ± 0.02bc	نیتروژن آلی ذره‌ای PON (g kg ⁻¹)	
0.000	26.111	15.08 ± 1.32c	60.31 ± 4.33ab	56.43 ± 3.83ab	52.59 ± 3.09b	64.55 ± 2.46a	59.22 ± 3.29ab	56.32 ± 3.64ab	کربن آلی محلول DOC (mg kg ⁻¹)	
0.000	34.646	10.86 ± 0.43d	26.19 ± 2.09c	27.91 ± 1.34bc	28.20 ± 1.39bc	38.21 ± 1.44a	35.83 ± 1.81a	30.98 ± 1.47b	نیتروژن آلی محلول DON (mg kg ⁻¹)	



شکل ۱- میانگین نسبت کربن به نیتروژن (بالا چپ)، نسبت زی توده میکروبی کربن به نیتروژن (بالا راست)، نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای (پایین چپ) و نسبت کربن به نیتروژن آلی محلول (پایین راست) پوشش‌های مختلف شامل مناطق جنگلکاری شده ۱۵ تا ۲۵ سال توسکا بیلاقی و بلندمازو و منطقه بدون پوشش درختی (ب پ د).

Figure 1. Mean soil C/N ratio (Up, Left), MBC/MBN ratio (Up, Right), POC/PON ratio (Down, Left) and DOC/DON ratio (Down, Right) under different ages (15-25 years old) of *Alnus* and *Oak* plantations and without tree area (WTA).



شکل ۲- توزیع مکانی پوشش‌های مختلف، مشخصه‌های کربن و نیتروژن و نسبت‌های روابط کمی آن‌ها در خاک در تحلیل

PCA
Figure 2. PCA of different covers (plantation ages of *Alder* and *Oak* and without tree area (WTA)), soil C and N properties and stoichiometry indices

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، مقادیر زی‌توده میکروبی کربن در خاک توده‌های مسن‌تر توسکا بیلاقی و بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر سنین بود. زی‌توده میکروبی کربن به‌عنوان یک بخش زنده و فعال از متابولیسم ماده آلی خاک، بخش مهمی از کربن آلی خاک را شکل می‌دهد (Gorobtsova et al., 2016). این مشخصه یک جزء مهم در غالب اکوسیستم‌های جنگلی است و یک تغییر کوچک در زی‌توده میکروبی می‌تواند تأثیر زیادی بر عناصر غذایی در دسترس درختان داشته باشد (Yang et al., 2010). از طرفی زی‌توده میکروبی کربن با حاصلخیزی و سلامت خاک ارتباط مثبتی دارد و به‌عنوان یک شاخص اکولوژیکی مفید برای ارزیابی استرس ناشی از تغییرات اراضی جنگلی و تخریب جنگل‌ها عنوان شده است (Zheng et al., 2005). ثابت شده است که مقدار زی‌توده میکروبی کربن در خاک تا حد زیادی به مواد آلی خاک بستگی دارد؛ کاهش مقدار کربن آلی خاک سبب کاهش زی‌توده میکروبی کربن در آن خاک خواهد شد (Chen et al., 2005)؛ بنابراین مقدار زی‌توده میکروبی کربن بیشتر در جنگلکاری‌های توسکا بیلاقی و بلندمازو مورد بررسی در سنین بالاتر نسبت به دیگر سنین، به‌دلیل در دسترس بودن ماده آلی بیشتر است (Wang and Wang, 2007). همسو با نتایج این پژوهش، نشان داده شده است که طی مراحل تبدیل منطقه بدون پوشش (جنگل تخریب‌شده) به جنگل، کربن آلی خاک و نسبت کربن به نیتروژن در خاک افزایش می‌یابند. زی‌توده میکروبی نیتروژن بالاتر در توده‌های مسن‌تر به بیشتر بودن مواد آلی و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در این سنین باز می‌گردد. ارتباط مثبت قابل‌توجهی بین زی‌توده میکروبی و نیتروژن آلی خاک وجود دارد که با یافته‌های پیشین منطبق است (Wang and

در توجیه مقادیر بالای کربن لاشبرگ در توده بلندمازو، به نقش اختصاصی این گونه در الگوی معدنی‌سازی کربن لاشبرگ اشاره شده است (Gao et al., 2014). توده‌های بلندمازو نسبت به توسکا بیلاقی، کربن بیشتری جذب می‌کنند. تجمع بالای لاشبرگ و ایجاد لایه عایق در سطح خاک در این توده‌ها تا حدی مانع هدر رفت کربن لاشبرگ و به‌تبع آن افزایش کربن خاک در مقایسه با گونه توسکا بیلاقی می‌شود (Gao et al., 2014).

نتایج این پژوهش همچنین مقادیر بیشتر کربن خاک را توده‌های جنگلکاری‌شده با هر دو گونه توسکا بیلاقی و بلندمازو به‌خصوص در سنین بالاتر جنگلکاری در منطقه بدون پوشش درختی نشان دادند. کمبود ورودی کربن آلی به خاک ممکن است دلیل اصلی کاهش کربن آلی خاک در چند سال اول جنگلکاری باشد چرا که درختان کوچک و ورودی لاشبرگ به خاک جنگل ناچیز بوده است. با رشد درختان، مقدار کربن به‌دلیل انباشت کربن آلی و به‌تبع آن نسبت کربن به نیتروژن در اثر ازدیاد لاشه-ریزی افزایش یافته است (Zhu et al., 2015). این نتایج با یافته‌های قبلی که اشاره داشته‌اند جنگلکاری با توسکا بیلاقی و بلندمازو می‌توانند در طول زمان، ذخیره کربن و نسبت کربن به نیتروژن را افزایش دهد، مطابقت دارد (Parsapour et al., Zhu et al., 2015). مقدار نیتروژن خاک در توده‌های توسکا بیلاقی با رشد توده‌ها، افزایش می‌یابد، در حالی که این روند در خاک تحت کشت توده بلندمازو مشاهده نشد. سطح پایین نیتروژن خاک در منطقه عاری از پوشش درختی می‌تواند به‌علت تاج‌پوشش باز باشد که سبب شستشوی مواد از سطح و در نتیجه کاهش نیتروژن در خاک می‌شود (Waring et al., 2015).

و میکروارگانسیم‌های خاک است که در مناطق جنگلکاری شده در این پژوهش مشهود است (McGee et al., 2019). روابط کمی کربن به نیتروژن بیشتر نشان‌دهنده فعال‌تر بودن میکروارگانسیم‌های خاک هستند که در نتیجه ازدیاد کربن در توده‌های مسن‌تر بلندمازو به‌همراه تقاضای بالای نیتروژن برای تثبیت نیتروژن در زی‌توده میکروبی است، درحالی که نسبت کمتر در منطقه بدون پوشش درختی، پتانسیل بیشتری برای آزاد کردن نیتروژن از زی‌توده میکروبی نشان می‌دهد (McGee et al., Heuck and Spohn, 2016, 2019).

افزایش مقدار مواد آلی ذره‌ای در مناطق جنگلکاری شده در مقایسه با منطقه بدون پوشش درختی به‌طور معنی‌داری با تغییرپذیری مقدار مواد آلی خاک مرتبط است (Kooch, 2012). در ارتباط با مواد آلی خاک تصور می‌شود که بخش‌های مواد آلی ناپایدار، مربوط به کیفیت مواد آلی خاک باشند (Haynes, 2005, Von Lützw et al., 2007). تغییرپذیری روابط کمی کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای را می‌توان با کربن آلی و نیتروژن کل خاک تحت سنین و شرایط مختلف زمین توجیه کرد. نتایج نشان می‌دهند که نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای در خاک تحت کشت گونه بلندمازو در سنین بالاتر، بیشترین مقدار را دارد که به‌علت بالاتر بودن نسبت کربن به نیتروژن در این گونه است (Kooch, 2012). نتایج بیانگر مقادیر بیشتر مشخصه‌های کربن و نیتروژن آلی محلول در توده‌های مسن‌تر توسکا ییلاقی و بلندمازو بودند، هرچند بین گونه‌های مورد بررسی، این مقادیر تفاوت آماری معنی‌داری را نشان ندادند. به‌طور کلی، کیفیت لاشبرگ و مقدار مواد آلی ورودی به خاک بر پایداری مواد آلی محلول و در نتیجه، غلظت و جریان آن‌ها در خاک تأثیر می‌گذارند (Kooch et al., 2018).

(Wang, 2007). مقادیر بیشتر منابع آلی و عناصر غذایی از طریق ورودی لاشبرگ و در توده توسکا ییلاقی نسبت به بلندمازو موجب بیشتر بودن زی‌توده میکروبی نیتروژن در این توده تثبیت‌کننده نیتروژن عنوان شده است (Wen et al., 2014). همسو با نتایج این پژوهش، نشان داده شده است که در توده‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، مقدار زی‌توده میکروبی نیتروژن بیشتر از دیگر جنگلکاری‌ها است (Smolander 2002, and Kitunen,).

این درحالی است که نسبت زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن روند متفاوتی نشان داد و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، افزایش سن تأثیری در افزایش مقدار این نسبت در توده جنگلکاری توسکا ییلاقی نداشت. در گونه بلندمازو افزایش مقدار این نسبت روابط کمی با افزایش سن مشاهده شد و نیز در هر دو توده جنگلکاری شده توسکا و بلندمازو به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقدار آن در منطقه بدون پوشش درختی بود. مقدار زی‌توده میکروبی کربن تا حد زیادی به مواد آلی خاک بستگی دارد در نتیجه می‌توان کاهش مقدار کربن آلی خاک را علت کاهش زی‌توده میکروبی کربن در آن خاک دانست؛ بنابراین مقدار زی‌توده میکروبی کربن بیشتر در جنگلکاری‌های توسکا ییلاقی و بلندمازو مورد بررسی در سنین بالاتر نسبت به دیگر سنین، به‌دلیل در دسترس بودن ماده آلی بیشتر است (Wang et al., 2007). همسو با نتایج این پژوهش، نشان داده شده است که طی مراحل تبدیل منطقه بدون پوشش به جنگل، کربن آلی خاک و نسبت کربن به نیتروژن در خاک افزایش می‌یابد (Compton and Boone, 2000). مقادیر کمتر روابط کمی زی‌توده میکروبی کربن به نیتروژن نشان‌دهنده تنش و استرس بیشتر در منطقه بدون پوشش درختی و افزایش این نسبت نشان‌دهنده اثر رقابتی بین درختان

بلندمازو و شاخص‌های میکروبی نیتروژن در توده‌های توسکا بیلاقی و روابط کمی در توده‌های بلندمازو با مسن‌تر شدن توده‌ها افزایش می‌یابند که تأییدکننده فرض این پژوهش هستند. مطابق با نتایج این پژوهش، گونه توسکا به‌عنوان گونه تثبیت‌کننده نیتروژن، در بهبود کیفیت لاشبرگ و خاک و چرخه کربن و نیتروژن عملکرد بهتری نسبت به گونه بلندمازو داشته است. هرچند با توجه به مقدار بالای کربن آلی خاک تحت پوشش توده‌های بلندمازو، این گونه می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های مؤثر بر ذخیره‌سازی و حفظ کربن خاک در جنگلکاری‌های آینده در کنار توسکا بیلاقی مدنظر قرار گیرد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که سنین مختلف جنگلکاری توسکا بیلاقی و بلندمازو دارای تأثیر قابل‌توجهی بر فعالیت‌های میکروبی کربن و نیتروژن و روابط کمی بین آن‌ها در خاک است. این پژوهش نشان داد که فقط بررسی مشخصه‌های میکروبی برای بررسی اثر جنگلکاری در خاک کافی نیستند. روابط کمی کربن و نیتروژن، از تنوع میکروبی خاک تأثیر می‌پذیرند و شاخص مهمی برای فهم بهتر شرایط میکروبی در خاک هستند؛ از این‌رو روابط کمی بین آن‌ها را می‌توان به‌کار برد. در مجموع این یافته‌ها به‌صورت توأمان، روشی علمی و عملی برای ارزیابی دقیق‌تر مواد آلی در مناطق جنگلکاری‌شده در گذر زمان هستند و می‌توانند در انتخاب گونه مناسب برای جنگلکاری‌های آتی در نظر گرفته شوند.

تفاوت‌های مشاهده‌شده در مقادیر مواد آلی محلول در خاک در بین پوشش‌های مختلف تنها به‌دلیل تفاوت‌های ذاتی در کیفیت این مواد آلی نیستند، بلکه ممکن است ناشی از کیفیت لاشبرگ (منابع اصلی مواد آلی محلول در خاک‌های جنگلی) باشند (Kooch et al., 2018). این درحالی است که روابط کمی کربن به نیتروژن آلی محلول به‌طور معنی‌داری در توده‌های بلندمازو بیشتر از توده‌های توسکا بیلاقی مشاهده شد. این نسبت در توده‌های توسکا بیلاقی در سنین مختلف اختلاف آماری معنی‌داری را نشان نداد ولی در توده‌های بلندمازو روند افزایشی را با افزایش سن نشان داد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر روابط کمی در توده‌های مسن‌تر بلندمازو بوده؛ این در حالی است که مقادیر بیشتر نسبت کربن به نیتروژن و نسبت کربن به نیتروژن آلی ذره‌ای تحت تأثیر منطقه عاری از پوشش درختی قرار داشتند (شکل ۲). با توجه به شکل، می‌توان مشاهده کرد که مقادیر بالاتر مشخصه‌های نیتروژن در سنین مختلف توده‌های تثبیت‌کننده نیتروژن توسکا بیلاقی و بیشترین مقدار مشخصه‌های کربن در خاک تحت کشت توده‌های بلندمازو قرار دارند.

مطابق با نتایج این پژوهش، مشخصه‌های میکروبی خاک در مناطق جنگلکاری شده بیشترین مقدار را داشتند و با افزایش سن روند افزایشی را نشان دادند. شاخص‌های میکروبی کربن در توده‌های

References

- Bremner, J. M.; Mulvaney, C., Nitrogen-total. In L. Page, Miller, R. H.; Keeney, D., (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, WI: American Society of Agronomy, Agron, 1982. Pp, 595– 624.
- Brookes, P.; Landman, A.; Pruden, G.; Jenkinson, D., Chloroform fumigation and

- the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil biology and biochemistry* **1985**, *17* (6), 837-842.
- Chase, P.; Singh, O., Soil nutrients and fertility in three traditional land use systems of Khonoma, Nagaland, India. *Resources and Environment* **2014**, *4* (4), 181-189.

- Chen, T.-H.; Chiu, C.-Y.; Tian, G., Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest. *Pedobiologia* **2005**, *49* (6), 645-653.
- Compton, J. E.; Boone, R. D., Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests. *Ecology* **2000**, *81* (8), 2314-2330.
- Devi, A. S.; Yadava, P., Wood and leaf litter decomposition of *Dipterocarpus tuberculatus* Roxb. in a tropical deciduous forest of Manipur. *Current Science* **2007**, *93*.
- Gao, Y.; Cheng, J.; Ma, Z.; Zhao, Y.; Su, J., Carbon storage in biomass, litter, and soil of different plantations in a semiarid temperate region of northwest China. *Annals of Forest Science* **2014**, *71* (4), 427-435.
- Gorobtsova, O.; Gedgafova, F.; Uligova, T.; Tembotov, R. K., Ecophysiological indicators of microbial biomass status in chernozem soils of the Central Caucasus (in the territory of Kabardino-Balkaria with the Terek variant of altitudinal zonation). *Russian journal of ecology* **2016**, *47* (1), 19-25.
- Hashemi, S.A., Hojati, S.M., HOSEINI, N.S., Asadyan, M. and Tafazoli, M., 2017. Studying soil physical, chemical and net Nitrogen mineralization in plantation and natural stands in Darabkola Forest (Sari). *Journal of Forest Research and Development*, *3*(2):119-132. (In Persian).
- Haynes, R., Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Adv Agron* **2005**, *5*, 221-268.
- Heuck, C.; Spohn, M., Carbon, nitrogen and phosphorus net mineralization in organic horizons of temperate forests: stoichiometry and relations to organic matter quality. *Biogeochemistry* **2016**, *131* (1), 229-242.
- Hoogmoed, M.; Cunningham, S. C.; Baker, P. J.; Beringer, J.; Cavagnaro, T., Is there more soil carbon under nitrogen-fixing trees than under non-nitrogen-fixing trees in mixed-species restoration plantings? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2014**, *188*, 80-84.
- Kooch, Y., Response of earthworms' ecological groups to decay degree of dead trees (case study: Sardabrood forest of Chalous, Iran). *Eur J Exp Biol* **2012**, *2*, 532-538.
- Kooch, Y.; Tavakoli, M.; Akbarinia, M., Microbial/biochemical indicators showing perceptible deterioration in the topsoil due to deforestation. *Ecol. Indic.* **2018**, *91*, 84-91.
- Liu, X.; Ma, J.; Ma, Z.-W.; Li, L.-H., Soil nutrient contents and stoichiometry as affected by land-use in an agro-pastoral region of northwest China. *Catena* **2017**, *150*, 146-153.
- Maharjan, M.; Sanaullah, M.; Razavi, B. S.; Kuzyakov, Y., Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. *Applied Soil Ecology* **2017**, *113*, 22-28.
- McGee, K. M.; Eaton, W. D.; Shokralla, S.; Hajibabaei, M., Determinants of soil bacterial and fungal community composition toward carbon-use efficiency across primary and secondary forests in a Costa Rican conservation area. *Microbial ecology* **2019**, *77* (1), 148-167.
- Nelson, D.W. & Sommers, L., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), pp. 539-579.
- 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.
- Parsapour, M. K.; Kooch, Y.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J., Litter and topsoil in *Alnus* subcordata plantation on former degraded natural forest land: a synthesis of age-sequence. *Soil and Tillage Research* **2018**, *179*, 1-10.
- Pitman, R.; Benham, S.; Poole, J., A chronosequence study of soil nutrient status under oak and Corsican pine with Ellenberg assessed ground vegetation changes. *Forestry* **2014**, *87* (2), 287-300.
- Ren, C.; Zhao, F.; Kang, D.; Yang, G.; Han, X.; Tong, X.; Feng, Y.; Ren, G., Linkages of C: N: P stoichiometry and bacterial community in soil following afforestation of former farmland. *Forest Ecology and Management* **2016**, *376*, 59-66.
- Ribeiro, C.; Madeira, M.; Araújo, M., Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management* **2002**, *171* (1-2), 31-41.
- Smolander, A.; Kitunen, V., Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species.

- Soil Biology and Biochemistry* **2002**, 34 (5), 651-660.
- von Lützw, M.; Kögel-Knabner, I.; Ekschmitt, K.; Flessa, H.; Guggenberger, G.; Matzner, E.; Marschner, B., SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry* **2007**, 39 (9), 2183-2207.
- Wang, Q.; Wang, S., Soil organic matter under different forest types in Southern China. *Geoderma* **2007**, 142 (3-4), 349-356.
- Waring, B. G.; Becknell, J. M.; Powers, J. S., Nitrogen, phosphorus, and cation use efficiency in stands of regenerating tropical dry forest. *Oecologia* **2015**, 178 (3), 887-897.
- Wen, L.; Lei, P.; Xiang, W.; Yan, W.; Liu, S., Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. *Forest Ecology and Management* **2014**, 328, 150-158.
- Yang, K.; Zhu, J.-J.; Yan, Q.-L.; Sun, O. J., Changes in soil P chemistry as affected by conversion of natural secondary forests to larch plantations. *Forest Ecology and Management* **2010**, 260 (3), 422-428.
- Yousefi, A.; Darvishi, L., Soil changes induced by hardwood and coniferous tree plantations establishment: Comparison with natural forest soil at Berenjestanak lowland forest in north of Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* **2013**, 1 (4), 432-449.
- Yu, Z.; Wang, M.; Huang, Z.; Lin, T. C.; Vadeboncoeur, M. A.; Searle, E. B.; Chen, H. Y., Temporal changes in soil C-N-P stoichiometry over the past 60 years across subtropical China. *Global change biology* **2018**, 24 (3), 1308-1320.
- Zhang, Q.; Yang, J.; Koide, R. T.; Li, T.; Yang, H.; Chu, J., A meta-analysis of soil microbial biomass levels from established tree plantations over various land uses, climates and plant communities. *Catena* **2017**, 150, 256-260.
- Zhao, X.; Li, F.; Zhang, W.; Ai, Z.; Shen, H.; Liu, X.; Cao, J.; Manevski, K., Soil respiration at different stand ages (5, 10, and 20/30 years) in coniferous (*Pinus tabulaeformis* Carrière) and deciduous (*Populus davidiana* Dode) plantations in a sandstorm source area. *Forests* **2016**, 7 (8), 153.
- Zheng, H.; Ouyang, Z.; Wang, X.; Fang, Z.; Zhao, T.; Miao, H., Effects of regenerating forest cover on soil microbial communities: a case study in hilly red soil region, Southern China. *Forest Ecology and Management* **2005**, 217 (2-3), 244-254.
- Zhu, L.; Henze, D.; Bash, J.; Jeong, G.-R.; Cady-Pereira, K.; Shephard, M.; Luo, M.; Paulot, F.; Capps, S., Global evaluation of ammonia bidirectional exchange and livestock diurnal variation schemes. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2015**, 15 (22), 12823-12843.

Quantitative evaluation of soil carbon and nitrogen dynamics under oak and alder afforestations

M.K. Parsapour¹, Y. Kooch^{*2}, S. M. Hosseini³ and S. J. Alavi⁴

1- Ph.D. of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, I. R. Iran. (m.parsapour@modares.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (yahya.kooch@modares.ac.ir)

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

4- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (J.alavi@modares.ac.ir)

Received: 26.02.2020 Accepted: 11.07.2020

Abstract

In recent years, with an alarming degradation rate of Caspian forests, afforestation can be considered as a suitable solution to restore the degraded areas. Different species especially Oak (*Quercus castaneifolia* C. A. M) and Alder (*Alnus subcordata* C. A. M) were planted in vast areas. Elements quantitative relations (stoichiometry) has an important roll in organic matter decomposition by changing these elements availability in soil and is a main index to better understanding of microbial and OM conditions in soil as well. The aim of this study was to determine the effect of tree species in deferent ages on quantitative relations in these afforestations. This research was carried out in 15-, 20-, and 25-years old stands of Mazandaran wood and paper company afforestations and 30 soil and litter samples were collected from 10 cm depth of soils in each stand using systematic random method. Based on the results, the highest amount of quantitative relations of soil C/N (18.33), C/N microbial biomass (15.88), carbon to particle organic nitrogen ratio (10.36) and carbon to dissolved organic nitrogen ratio (3.00) were seen in older oak afforestations which had significant differences with alder afforestations. Also, oak stands in higher ages amend quantitative relations of soil carbon and nitrogen in future years of the afforestations, these findings provide a scientific theory for use in the evaluation of soil nutrients in afforested areas.

Keywords: Afforestation dissolved organic matter, Microbial biomass, Microbial ratios, Particle organic matter.

* Corresponding author

Tel: +989112932313