

بررسی تغییرات کیفیت خاک در پوشش‌های مختلف جنگلی

فاطمه روستایی^۱، یحیی کوچ^{۲*}، سید محسن حسینی^۳

۱- دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yahya.kooch@modares.ac.ir

چکیده

این بررسی به منظور تعیین و مقایسه شاخص کیفیت خاک در پوشش‌های مختلف اراضی شامل ۳ توده جنگلکاری (توسکا بیلاقی، صنوبر دلتوئیدس و دارتالاب) و یک توده آمیخته طبیعی (بلوط- ممرز- انجیلی) واقع در مرکز بذر جنگلی خزر آمل انجام گرفت. در هر یک از توده‌ها، در طول ۴ ترانسکت خطی ۲۰۰ متری، ۴ نمونه خاک (ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) با فاصله‌های ۶۰ متر از یکدیگر برداشت و در مجموع از هر عرصه جنگلی ۱۶ نمونه تهیه شد. ویژگی‌های خاک شامل چگالی ظاهری، کربن آلی، نیتروژن کل، نترات، آمونیوم، جمعیت کرم خاکی و تنفس میکروبی در محیط آزمایشگاه اندازه‌گیری و در نهایت با استفاده از مقادیر به دست آمده، سرعت معدنی شدن کربن و همچنین شاخص کیفیت خاک در هر یک از توده‌های مورد مطالعه محاسبه شد. آزمون تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تفاوت‌های آماری معنی‌داری را در سطح ۹۹ درصد در بین توده‌های جنگلی مختلف نشان داد. مقادیر شاخص کیفیت خاک به‌طور معنی‌دار (در سطح ۹۵ درصد) در توده توسکا بیلاقی بیشترین (۵/۸۴) را به خود اختصاص داد، سایر توده‌ها صنوبر دلتوئیدس، آمیخته طبیعی و دارتالاب به ترتیب با شاخص کیفیت ۵/۲۶، ۴/۶۶ و ۴/۴۰ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج بیان‌گر نقش بسیار مؤثر پوشش جنگلی توسکا بیلاقی در افزایش کیفیت اکوسیستم خاک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهن‌برگ، تثبیت‌کننده نیتروژن، جنگل‌کاری، سوزنی‌برگ، سرعت معدنی‌شدن کربن

Study of Soil Quality Changes in Different Forests Covers

F Rostayee¹, Y Kooch^{2*}, SM Hosseini³

¹- Ph.D. Student of Forestry, Dept. of Forestry., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

²-Assist. Prof., Department of Rangeland., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

³-Prof., Dept. of Forestry., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

* Corresponding Author, Email: yahya.kooch@modares.ac.ir

Abstract

The current study is conducted to identify and compare soil quality index in different land covers including three afforestation masses (*Alnus subcordata*, *Populus deltoids* a *Taxodium distichum*) and a natural mixed stand (*Quercus*, *Carpinus betulus*, *Parrotia persica*) located in Caspian forest seed center (Amol Province). In each of the masses, along four 200-meter transects, four soil samples (with a 20×20 m² quadratic sampler with 10 cm depth) at 60-m intervals were taken. A total of 16 samples were collected from each forest. The soil properties including bulk density, organic carbon, total nitrogen, nitrate, ammonium, population of earthworms, and soil microbial respiration were measured in vitro. Finally, using the obtained values, rate of mineralization of the soil carbon, as well as the soil quality index were measured for each of the studied masses. ANOVA analysis of the physical, chemical and biological properties of the soil samples, taken from different forest stands, indicated significant statistical difference between them at level of 99%. *Alnus Subcordata* significantly showed the highest soil quality index (5.84 at 95%). Other masses, i.e. *Populus deltoids*, natural mixed, and *Taxodium* with quality indices values of 5.26, 4.66, and 4.40, respectively, were the next ones in the categories. The results indicated the very effective role of *Alnus Subcordata* forest cover in improving the quality of soil ecosystem.

Keywords: Broad-leaved, Carbon mineralization rate, Needle-leaved, N-fixing, Plantation

مقدمه

و این تأثیر وابسته به تغییری است که در پایداری ساختار خاک ایجاد می‌شود (کاراواکا و همکاران ۲۰۰۴). کیفیت خاک تحت تأثیر نوع کاربری و شیوهی مدیریتی اعمال شده تغییر می‌کند، چرا که این فعالیت‌ها موجب تحول ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، دگرگونی جوامع زیستی و در نهایت تغییر سطح تولید خاک می‌شوند (مارانون و همکاران ۲۰۰۲). امروزه، تغییر نامناسب کاربری زمین با اهدافی مانند ایجاد

ارزیابی کیفیت خاک، تعیین پتانسیل خاک از طریق ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی به منظور استفاده و دستیابی به تولید پایدار گیاهی و جانوری، هوا و آب پاک و در نهایت سلامت زندگی بشری می‌باشد (مارزاییولی و همکاران ۲۰۱۰؛ جعفریان و شعبان زاده ۲۰۱۷). کیفیت خاک به شدت تحت تأثیر نوع کاربری زمین قرار دارد (رضایی و همکاران ۲۰۱۳)

¹- Soil quality

صنوبر آمیخته با *Caragana microphylla* را افزایش چگالی ظاهری و فشردگی خاک، کاهش نیتروژن کل خاک و محتوای کربن آلی بیان کردند.

پرس و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی شاخص کیفیت خاک بر اساس ویژگی‌های بیولوژیکی، به نقش فراوانی و تنوع گونه‌های مختلف کرم خاکی در تعیین سطح آلودگی خاک اشاره کردند. نتایج بررسی آنان نشان داد حضور کرم‌های اندوژنیک^۲ بیانگر سطح پایین آلودگی در خاک، همچنین حضور آنسیک‌ها^۳ نشان از آلودگی خاک توسط فلزات سنگین است. دمسی و همکاران (۲۰۱۴) در مقایسه‌ی تأثیر جنگل‌کاری گونه پهن‌برگ اکالیپتوس و سوزنی‌برگ بر شاخص کیفیت خاک، به کاهش این شاخص در عرصه جنگل‌کاری اکالیپتوس نسبت به توده‌ی سوزنی‌برگ اشاره کردند و علت آن را دوره بهره‌برداری کوتاه اکالیپتوس و در نتیجه فقر غذایی خاک به علت جذب زیادتر عناصر توسط گونه مذکور و میزان اندک کربن آلی خاک در این توده عنوان کردند. بررسی حاضر با هدف تعیین و مقایسه شاخص کیفیت خاک در توده‌های جنگل‌کاری پهن‌برگ (توسکا بیلاقی و صنوبردلنوئیدس)، سوزنی-برگ (دارتالاب) و توده آمیخته (بلوط، ممرز و انجیلی) طبیعی واقع در مرکز بذر جنگلی آمل انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری‌ها از ایستگاه تحقیقاتی مرکز بذر آمل واقع در روستای کلوده و شهرستان محمودآباد و در ارتفاع ۳۰ متری از سطح دریا انجام شد (شکل ۱ الف و ب). منطقه مسطح با شیب اندک (۰-۳ درصد) با میانگین بارش سالانه ۸۰۳ میلی‌متر، فصول مرطوب از شهریور تا بهمن و فصول خشک از فروردین تا مرداد با میانگین بارش ماهانه کمتر از ۴۰ میلی‌متر می‌باشد.

معدن، اراضی کشاورزی و بهره‌برداری بیش از توان رویشگاه (می‌فروید و همکاران ۲۰۱۳) موجب تجمع آلاینده‌ها و دیگر مواد مضر ناشی از فعالیت‌های انسانی شده که در نهایت شرایط زیستی محیط خاک را به‌طور منفی دچار تحول کرده است و توان تولید خاک را تا حد بسیار زیادی کاهش داده است (بلونسکا و لاسوتا ۲۰۱۴). ادامه این روند موجب کاهش باروری زمین و افزایش اراضی بیابانی می‌شود (یوکسک ۲۰۱۳).

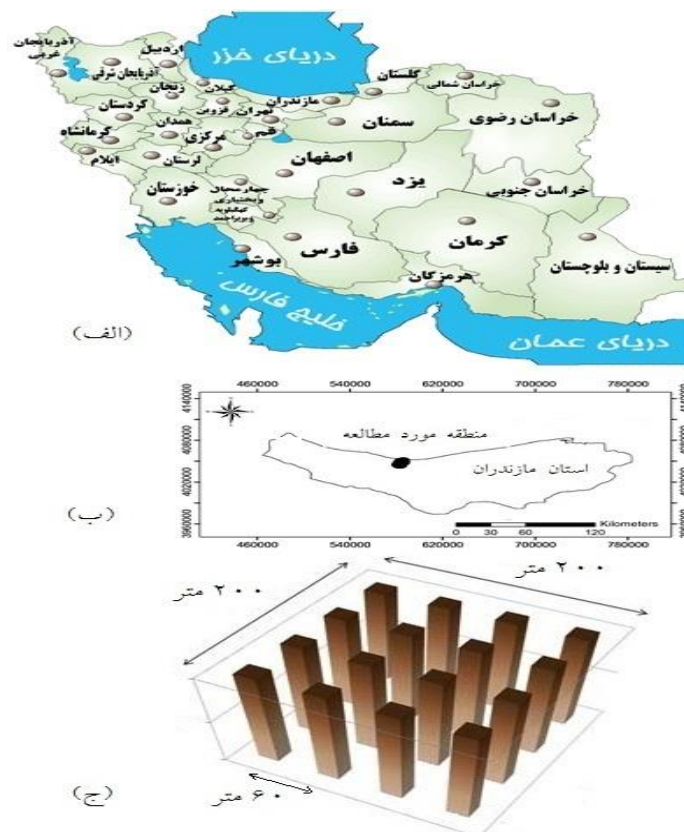
در بین کاربری‌های مختلف اراضی، جنگل‌کاری (همراه با گونه‌های بومی و غیر بومی) به‌منظور احیا و بازسازی اراضی تخریب‌یافته و مبارزه با بیابان‌زایی از طریق بهبود شرایط میکرواقلیم، چرخه عناصر غذایی، کیفیت آب و خاک، کاهش فرسایش، اقدامی مناسب در جهت بهبود کیفیت خاک به‌شمار می‌رود (یوسفی و درویشی ۲۰۱۳). با توجه به وابستگی کیفیت خاک به نوع پوشش موجود، انتخاب گونه مناسب (بومی یا غیربومی، پهن‌برگ یا سوزنی‌برگ، تثبیت‌کننده یا غیر تثبیت‌کننده نیتروژن) امری ضروری است. در واقع گونه‌های مختلف با تفاوت در میزان جذب آب و عناصر غذایی، میزان لاشه‌ریزی و کیفیت لاشبرگ موجب تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شوند (لاکلاو و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به تأثیری که گونه‌های مختلف بر ویژگی‌های خاک دارند، بررسی این ویژگی‌ها راهکاری کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک برای پایداری اکوسیستم جنگل می‌باشد (سلیمانی رحیم‌آبادی ۱۳۹۳). بسیاری از پژوهشگران، ویژگی‌های خاک را تحت عنوان معرف به شکل گروه داده‌هایی تنظیم و پارامترهایی که توان کافی در بیان وضعیت و عملکرد خاک دارند را تحت عنوان شاخص‌های کیفیت خاک از این مجموعه داده‌ها انتخاب می‌کنند (کاوانو و همکاران ۲۰۱۳، هسو و همکاران ۲۰۱۴). مطابق با نتایج بررسی ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) در ارتباط با تأثیر نوع کاربری اراضی بر کیفیت خاک، کاهش شاخص کیفیت در عرصه‌های کشاورزی نسبت به توده جنگل‌کاری

²- Endogeic

³- Anecic

های تجاری و اراضی کشاورزی است. در سال ۱۳۷۷ گونه‌های درختی غالبی موجود در منطقه شامل توسکا بیلاقی، صنوبر دلتوئیدس و سرو دارتالاب بوده است که در فاصله‌ی ۴ × ۴ متر کاشته شدند و از نظر شرایط اقلیمی و شیوه‌ی مدیریتی بسیار مشابه هستند (سلیمانی ۲۰۱۴).

میانگین دمای روزانه بین ۱۱/۷ در بهمن تا ۲۹/۵ درجه سلسیوس در مرداد متغیر است. خاک عمیق (بیش از یک متر) مرطوب با زهکشی مناسب و بافت لوم رس شنی و لوم رسی با pH ۶/۵-۷ و در طبقه آلفی‌سول‌ها قرار دارد. در حدود ۵۰ سال پیش منطقه تحت پوشش جنگل طبیعی شامل گونه‌های بلوط، ممرز، انجیلی و تک پایه‌های آزاد بوده است. منطقه‌ی اطراف شامل سازه-



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال ایران (الف)، استان مازندران (ب) و طرح شماتیکی از نحوه نمونه برداری خاک از هر عرصه جنگلی (ج).

در مجموع از هر عرصه ۱۶ نمونه تهیه شد (شکل ۱ج). با همین روش از عرصه طبیعی مجاور منطقه‌ی جنگل-کاری شده که شامل توده آمیخته طبیعی (بلوط، ممرز و انجیلی) بوده نمونه‌برداری خاک انجام شد (کوچ و همکاران ۲۰۱۲). در هر حال سعی گردید که به‌منظور کاهش اثرات مرزی، حاشیه توده‌ها برای نمونه‌برداری

روش نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی در هر عرصه از توده‌های جنگلی اشاره شده، مساحتی به اندازه ۲۰۰ × ۲۰۰ متر مورد توجه قرار گرفت. در هر عرصه جنگلی، در طول ۴ ترانسکت خطی، ۴ نمونه خاک (ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) با فاصله‌های ۶۰ متر از یکدیگر برداشت و

صورت گرفت. در این مرحله ویژگی‌های مربوط به کمینه داده‌ها در دو گروه جداگانه با نام‌های، بیشتر بهتر است^۶ (رابطه ۲)، که شامل آن دسته از پارامترهای می‌باشد که مقادیر بالای آنها اثر مطلوبی بر خاک بر جای می‌گذارند و کمتر بهتر است^۷ (رابطه ۳)، که شامل آن دسته از پارامترهای که مقادیر آنها اثر نامطلوب بر روی بر روی خاک به جا می‌گذارند. در نهایت امتیاز مربوط به هر یک از متغیرهای قرار گرفته در این دو گروه به‌وسیله روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$Y = 1 - [(X-S)/(T-S)] \quad [2]$$

$$Y = 1 - [(X-S)/(T-S)] \quad [3]$$

که در آن‌ها: Y ، امتیاز خطی خاک، X ، استاندارد ویژگی مورد نظر، T ، بیشترین مقدار ویژگی مورد نظر و S ، کمترین مقدار ویژگی مورد نظر می‌باشد (تسفاهون، ۲۰۱۴).

ادغام امتیازهای محاسبه شده، درون یک شاخص کلی با عنوان شاخص کیفیت خاک^۷ (رابطه ۴) در نظر گرفته می‌شود:

$$SQI = (\sum S_i / n) \times 10 \quad [4]$$

که در آن: SQI شاخص کیفیت خاک، S_i ، امتیاز داده شده به هر ویژگی و n ، تعداد کل ویژگی‌ها می‌باشد (مارزاییولی و همکاران ۲۰۱۰).

محاسبات آماری

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی تفاوت آماری ویژگی‌های مختلف و شاخص کیفیت خاک در توده‌های مورد مطالعه از آزمون دانکن استفاده شد. تجزیه و تحلیل

در نظر گرفته نشود (به اندازه ۱۰ متر از حاشیه‌ها فاصله گرفته شد) و نمونه‌برداری‌ها متمایل به بخش مرکزی هر توده باشد (لوسی و همکاران ۲۰۰۳). در مجموع ۶۴ نمونه برای بررسی به آزمایشگاه منتقل و در فضای آزاد خشک شدند. بعد از خرد کردن کلوخه‌ها جداکردن ریشه و دیگر ناخالصی‌ها از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در محیط آزمایشگاه، چگالی ظاهری به روش کلوخه و برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب (پلاستر ۱۹۸۵)، نیتروژن کل با دستگاه کج‌دال (جعفری حقیقی ۲۰۰۳)، غلظت نیترات به روش احیای کادمیوم (هافمن و بارباریک ۲۰۰۸)، غلظت آمونیوم به روش کلریمتریک با مخلوط قلیایی سدیم سالیسیلات و سدیم هیپوکلریت (دوریچ و نلسون ۱۹۸۳)، کربن آلی به روش والکلی‌بلک (جعفری حقیقی ۲۰۰۳) و تعداد کرم‌های خاکی به روش دست‌چین (کوچ و همکاران ۲۰۱۴) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. همچنین، میزان تنفس میکربی خاک به روش بطری در بسته (آلف ۱۹۹۵) اندازه‌گیری و سپس سرعت معدنی شدن کربن با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (لانگ و همکاران ۲۰۱۰):

$$F = \rho \times \Delta C \times V \times (273/273 + T + W) \quad [1]$$

که در آن، F ، نرخ معدنی‌سازی کربن، ρ ، چگالی CO_2 در شرایط استاندارد، ΔC تغییرات غلظت کربن در دوره انکوباسیون، V ، حجم فضای آزاد فلاسک، T ، دما در زمان انکوباسیون، W ، حجم خاک خشک داخل فلاسک. محاسبه شاخص کیفیت خاک با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در سه گام اصلی صورت گرفت. (۱) تعیین مجموعه‌ای از کمترین داده‌ها، (۲) امتیازدهی به هر یک از داده‌های تعیین شده، (۳) ادغام امتیازهای محاسبه شده. به‌طوری‌که امتیازدهی به هر یک از داده‌ها با استفاده از معادلات خطی ریاضی

⁴ Carbon mineralization rate

⁵ More is better

⁶ Less is better

⁷ Soil quality index

آماري کليه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذيرفت.

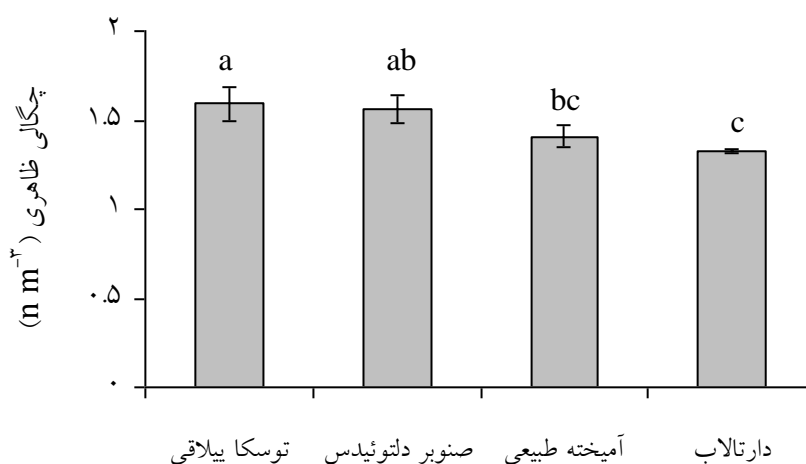
نتايج و بحث

مطابق با نتايج به دست آمده تمامی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تفاوت آماری در بین پوشش‌های مختلف اراضی دارا بودند (جدول ۱). بیشترین مقدار چگالی ظاهری خاک در توده توسکا بیلاقی و کمترین مقدار آن در توده دارتالاب مشاهده شد (شکل ۲). به طور کلی خاک سوزنی‌برگان (گونه

درختی دارتالاب در تحقیق حاضر) نسبت به پهن‌برگان (سایر توده‌های جنگلی مورد مطالعه) چگالی ظاهری کمتری دارند (شلاب و همکاران ۲۰۰۸). لاشه‌ریزی دارتالاب به علت شرایط نامساعد محیطی (pH پایین، فقر غذایی، حضور اندک تجزیه‌کنندگان، نسبت بالای کربن به نیتروژن) از تجزیه کندی برخوردار است که موجب تجمع و ازدیاد بقایای آلی، ایجاد حالت اسفنجی در سطح خاک و در نهایت کاهش چگالی ظاهری می‌شود (زو و همکاران ۲۰۰۶، زای و همکاران ۲۰۰۷).

جدول ۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف و شاخص کیفیت خاک در پوشش‌های اراضی.

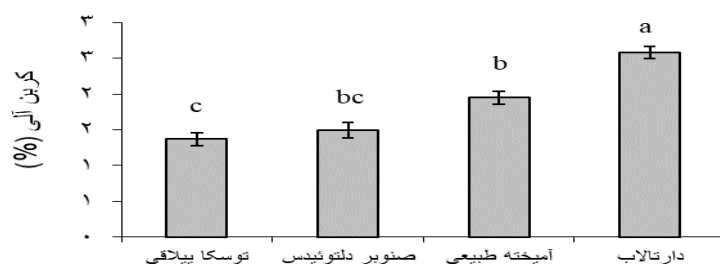
| ویژگی خاک | مقدار F | سطح معنی‌داری (در سطح احتمال ۹۵ درصد) |
|---------------------|---------|---------------------------------------|
| چگالی ظاهری | ۵/۳۲ | ۰/۰۰۰ |
| کربن آلی | ۸/۸۰ | ۰/۰۰۰ |
| نیتروژن کل | ۲۱/۸۲ | ۰/۰۰۰ |
| نیترات | ۵۳/۳۲ | ۰/۰۰۰ |
| آمونیم | ۱۱۱/۱۰ | ۰/۰۰۰ |
| جمعیت کرم خاکی | ۱۰/۹۷ | ۰/۰۰۰ |
| سرعت معدنی شدن کربن | ۲۲/۸۵ | ۰/۰۰۰ |
| شاخص کیفیت خاک | ۰/۱۸ | ۰/۰۴۰ |



شکل ۲- میانگین چگالی ظاهری خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

باشد (هوگمود و همکاران ۲۰۱۴). مقدار پایین کربن آلی خاک در توده‌ی توسکا ناشی از سرعت بالای تجزیه مواد آلی در این توده است (هوگمود و همکاران ۲۰۱۴، چیس و سینگ ۲۰۱۴).

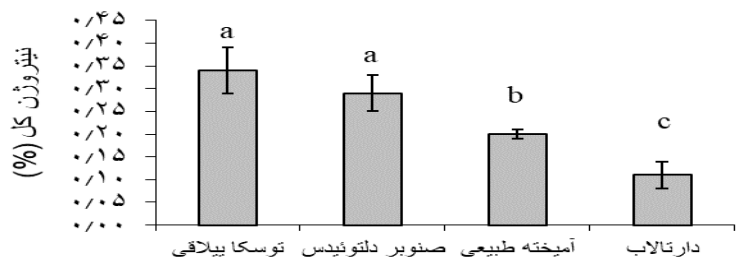
توده دارتالاب و توسکا بیلاقی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص داده است (شکل ۳). مقدار بیشتر کربن خاک در توده دارتالاب می‌تواند به خاطر غلظت بالاتر لیگنین و نسبت بیشتر کربن به نیتروژن در بقایای سوزنی‌برگان



شکل ۳- میانگین کربن آلی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

جنگلی بیشترین میزان تثبیت زیستی نیتروژن به همزیستی گیاهان اکتینوریزایی نسبت داده می‌شود که از این میان همزیستی فرانکیا با میزبان توسکا جایگاه ویژه‌ای دارد. توسکا از گروه درختانی است که با اکتینومیستهای جنس فرانکیا همزیستی دارد و در نتیجه این همزیستی، گره‌های ریشه‌ای در توسکا تشکیل می‌شود (مارتین و همکاران، ۲۰۰۳). این گره‌ها جایگاه تثبیت نیتروژن مولکولی و تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز رشد گیاه هستند (ولتر و همکاران ۱۹۹۷). نیتروژن تثبیت شده توسط توسکا به وسیله بقایای برگ‌ها به خاک برمی‌گردد و به آسانی معدنی می‌شود و می‌تواند باعث بهبود وضعیت نیتروژن کل و قابل دسترس خاک شود.

نیتروژن کل با تفاوتی معنی‌دار بیشترین و کمترین مقدار را به ترتیب در توده‌های توسکا بیلاقی و دارتالاب دارا می‌باشد (شکل ۴). مائو و همکاران (۲۰۱۰) در توجیه میزان کمتر نیتروژن در توده‌های سوزنی-برگ نسبت به پهن‌برگان به مصرف بیشتر نیتروژن خاک توسط سوزنی‌برگان اشاره کردند و حضور گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با مقادیر بیشتر نیتروژن در لاشبرگ را عامل غنی‌سازی مواد آلی خاک از نیتروژن و افزایش نیتروژن کل می‌دانند. بقایای گیاهی در گونه‌هایی مانند توسکا و صنوبر به راحتی توسط جانداران خاک تجزیه و معدنی می‌شوند که خود عامل افزایش نیتروژن خاک می‌باشد (چیس و سینگ ۲۰۱۴). در توده

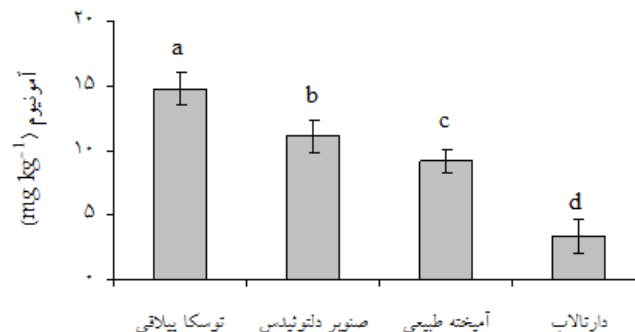
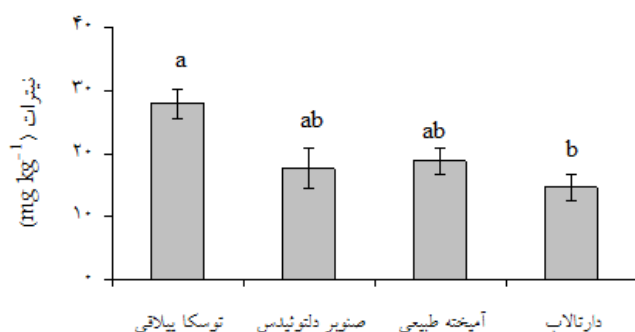


شکل ۴- میانگین ویژگی نیتروژن کل خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

لاشبرگ و مقدار بالای نسبت کربن به نیتروژن در گونه‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگان عامل کاهش آمونیوم و نرخ پایین آمونیفیکاسیون بیان شده‌است (دوران و همکاران ۲۰۰۹).

مقدار نیترات خاک و نرخ نیتریفیکاسیون تحت تأثیر عواملی مانند نسبت کربن به نیتروژن، لیگنین به نیتروژن، محتوی نیتروژن کل و pH خاک می‌باشد (ارسلان و همکاران ۲۰۱۰).

بیشترین و کمترین مقادیر نیترات (شکل ۵ الف) و آمونیوم (شکل ۵ ب) خاک به ترتیب به توده‌های توسکا بیلاقی و دارتالاب اختصاص داشته‌است. میزان فرآیند نیتریفیکاسیون در توده‌های جنگلی با کاهش pH به کمتر از ۷ روند نزولی پیدا می‌کند که می‌تواند توجیهی در کمبود غلظت نیترات توده دارتالاب تحت pH اسیدی باشد (آهن ۲۰۰۶). غلظت آمونیوم تحت تأثیر اسیدیته، نسبت کربن به نیتروژن و ساختمان خاک قرار دارد (لی و جوسه ۲۰۰۳)، تا جایی که کیفیت پایین



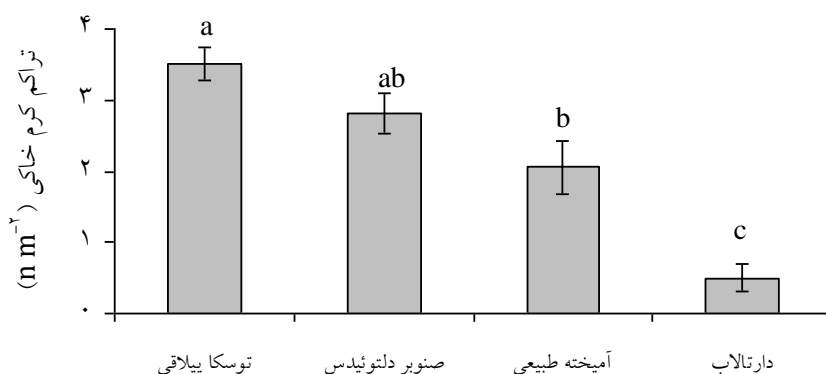
شکل ۵ الف و ب- میانگین غلظت نیترات و آمونیوم خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

سوزنی‌برگ می‌باشد (سیگوردسون و گودلیفسون ۲۰۱۳). همچنین غلظت بالای ترکیبات لیگنین بقایای آلی سوزنی‌برگان با تأثیر بر جذب عناصر غذایی موجب کاهش حضور و فعالیت کرم‌ها در چنین عرصه‌هایی می‌شود (چادهوری و همکاران ۲۰۱۳). حاصل‌خیزی عرصه بر تراکم کرم‌های خاکی تأثیر مثبت دارد. برخی ویژگی‌های خاک مانند pH، مقدار نیتروژن کل، محتوی مواد آلی، کربن آلی و عناصر غذایی به‌عنوان عوامل موثر بر فراوانی و فعالیت کرم‌های خاکی عنوان شده‌اند (ماریاپان و همکاران ۲۰۱۳). پژوهش‌های متعدد به همبستگی مثبت جمعیت کرم خاکی و نیتروژن خاک نیز

جمعیت کرم‌های خاکی نیز در بین پوشش‌های مختلف اراضی تفاوت آماری معنی‌داری داشته‌است، به طوری که بیشترین و کمترین تراکم آنها به ترتیب در توده‌های توسکا بیلاقی و دارتالاب مشاهده شد (شکل ۶). بیشترین تراکم کرم خاکی به ترتیب در توده‌های توسکا، صنوبر، آمیخته و دارتالاب محاسبه شده‌است. پژوهش‌های اسمیت و همکاران (۲۰۰۸)، نیز نشان می‌دهد که، کرم‌های خاکی فراوانی کمتری در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگان دارا می‌باشند. علت این امر کیفیت پایین لاشبرگ (نسبت بالای کربن به نیتروژن) و محیط اسیدی خاک تحت پوشش گونه‌های

توده توسکا و سایر توده‌ها می‌توان به مواردی همچون کیفیت پایین لاشبرگ، محیط اسیدی و غلظت کمتر نیتروژن خاک تحت گونه دارتالاب اشاره کرد.

اشاره کرده‌اند و نیتروژن را به‌عنوان فاکتور محدود کننده‌ی تعداد و زیتوده کرم خاکی عنوان کرده‌اند (سیگوردسون و گودلیفسون ۲۰۱۳). در نتیجه در توجیه تراکم پایین کرم‌خاکی در توده دارتالاب نسبت به



شکل ۶- میانگین ویژگی جمعیت کرم خاکی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

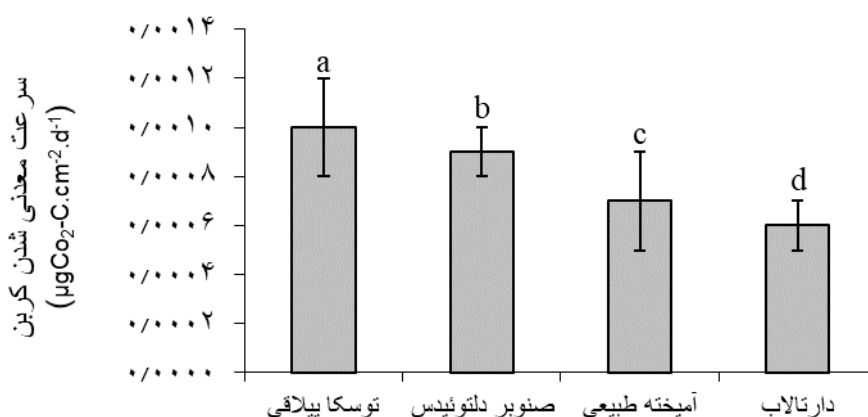
خاک و در نهایت کاهش تنفس میکروبی می‌شود. در توجیه تأثیر منفی نیتروژن بر معدنی‌سازی کربن به ساختار مواد آلی اشاره شده است و افزایش نیتروژن مؤثر بر تجزیه ساختارهای ساده بیان شده، در حالی که در ترکیبات پیچیده مانند لیگنین، سطوح بالای نیتروژن موجب کاهش فرآیند تجزیه و کاهش نرخ معدنی‌سازی کربن می‌شود (کنور و همکاران ۲۰۰۵).

در مطالعه حاضر اعتقاد بر این است که توده توسکا با توجه به نسبت پایین کربن به نیتروژن در بقایای لاشبرگ و خاک، همچنین pH بالاتر، نرخ تجزیه بیشتری دارد. پویایی فرآیندهای زیستی در توده توسکا، مانند حضور فعال‌تر کرم‌های خاکی و نرخ بیشتر تنفس میکروبی از جمله عوامل تسریع فرآیند معدنی‌سازی کربن آلی هستند. دارتالاب به عنوان گونه‌ای سوزنی برگ با سطوح بالای لیگنین و استحکام ساختارهای کربنی موجب تثبیت عناصر غذایی لاشبرگ و کاهش فرآیند معدنی‌سازی می‌شود. فقر غذایی موجود

بیشترین و کمترین میزان سرعت معدنی شدن کربن خاک نیز در بخش تحتانی پوشش‌های اراضی توسکا بیلاقی و دارتالاب بدست آمد (شکل ۷). کربن معدنی خاک بیانگر نرخ فعالیت زیستی و جوامع میکروبی خاک است (ژانگ و همکاران ۲۰۰۹). یانگ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی‌های خود به تأثیر مثبت محتوی کربن آلی، نیتروژن و فعالیت جانداران خاک بر سرعت معدنی‌شدن کربن تأکید کردند. همچنین برخی پژوهش‌ها، کیفیت اندک بقایای آلی را عامل محدودیت دسترسی جوامع میکروبی به عناصر غذایی و کاهش نرخ معدنی‌سازی کربن عنوان کردند (زیانگمین و همکاران ۲۰۱۴). هرچند برخی مطالعات به تأثیر منفی ازدیاد نیتروژن بر روند معدنی‌سازی کربن اشاره داشته‌اند (هیونون و همکاران ۲۰۰۸). نتایج بررسی روزنبرگ و همکاران (۲۰۱۰) بیانگر آن است که در عرصه‌های غنی از نیتروژن، کاهش نسبت کربن به نیتروژن موجب افزایش رویش، ازدیاد لاشه‌ریزی به

بررسی مقادیر شاخص کیفیت خاک در بخش تحتانی پوشش‌های مختلف اراضی نیز حاکی از وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار در بین توده‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ می‌باشد. مطابق با نتایج، بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به توده‌های جنگلی توسکا بیلاقی و دارتالاب اختصاص دارد (شکل ۸).

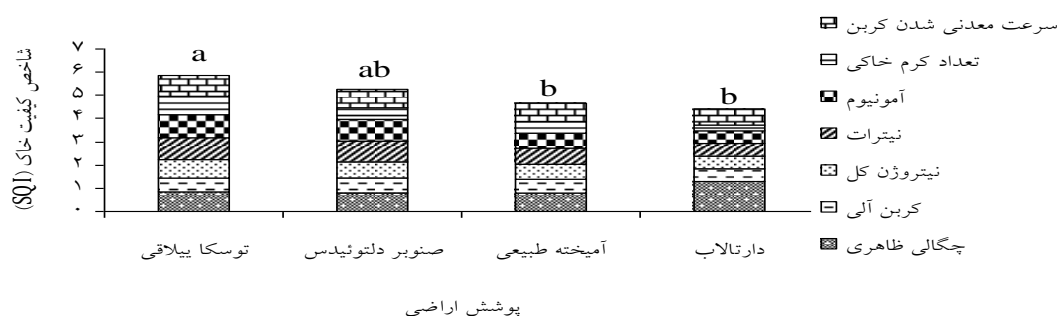
به همراه شرایط اسیدی عرصه موجب کاهش حضور جوامع زیستی می‌شود که عامل دیگری در روند کند فرآیند معدنی‌سازی توده دارتالاب می‌باشد (سیگوردسون و گودلیفسون ۲۰۱۳؛ چادهور و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۷- میانگین سرعت معدنی شدن کربن آلی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

بالای کربن به نیتروژن) و تأثیری که بر فعالیت میکروبی خاک دارد کمتر بودن کیفیت خاک تحت توده مذکور قابل توجه است (زیگمین و همکاران ۲۰۱۴). مطابق با نتایج پژوهش حاضر وضعیت لاشه‌ریزی توده توسکا نسبت به دارتالاب مناسب‌تر و روند تجزیه آنها سریع‌تر است. از طرفی میزان بیشتر تنفس میکروبی و فعالیت کرم‌خاکی در این توده موجب افزایش فعالیت زیستی در خاک تحت پوشش این عرصه نسبت به دارتالاب می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۱۰). مقادیر بالاتر نیتروژن خاک، کیفیت بالاتر لاشه‌برگ، حضور بیشتر کرم‌خاکی و نرخ بیشتر معدنی‌سازی کربن در توده‌های توسکا از عوامل افزایش شاخص کیفیت خاک تحت این توده نسبت به سایر توده‌ها محسوب می‌شود.

مطابق با پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۰۹)، کیفیت خاک تحت تأثیر کاهش مواد آلی، افزایش چگالی ظاهری، کاهش نیتروژن کل و کاهش فعالیت‌های زیستی روند نزولی می‌یابد، در نتیجه توده‌های دارتالاب با وجود دارا بودن بیشترین میزان کربن آلی و کمترین مقدار چگالی ظاهری که از معیارهای مثبت کیفیت خاک لحاظ می‌شود، تحت تأثیر عواملی چون مقادیر پایین نیتروژن خاک و فعالیت کمتر جوامع زیستی، مقادیر پایین‌تری از شاخص را دارا بوده است. دمسای و همکاران (۲۰۱۴) به تأثیر منفی جذب عناصر غذایی توسط گونه‌های سریع‌الرشد بر کیفیت خاک اشاره داشته‌اند. از طرفی با توجه به کیفیت پایین مواد آلی ورودی به خاک در اراضی با پوشش دارتالاب (محتوی لیگنین و نسبت



شکل ۸- میانگین شاخص کیفیت خاک در پوشش‌های مختلف اراضی.

نتیجه‌گیری کلی

کربن آلی و چگالی ظاهری پایین خاک تحت پوشش این اراضی، این گونه می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های موثر بر ذخیره‌سازی و حفظ کربن خاک مد نظر قرار گیرد. از طرفی توده طبیعی آمیخته (به‌عنوان یک جنگل دست‌خورده در بخش جلگه‌ای شمال کشور) نیازمند برنامه‌های مدیریتی جهت احیاء، بازگشت پتانسیل بالقوه‌ی عرصه، جلوگیری از روند تخریب خاک و پوشش گیاهی موجود می‌باشد.

شاخص کیفیت خاک ابزاری کارآمد جهت ارزیابی دقیق‌تر و سریع‌تر تأثیر پوشش‌های مختلف بر تحول خاک در طول زمان می‌باشد. مطابق با نتایج بررسی حاضر به طور کلی جنگل‌کاری خصوصاً با گونه‌های پهن‌برگ بومی اثرات مثبتی بر عملکرد خاک نشان داده است. اگرچه در مقایسه با سایر پوشش‌های اراضی، توده دارتالاب از مقادیر کمتر شاخص کیفیت خاک بهره‌مند بوده است، اما با توجه به مقدار بالای

منابع مورد استفاده

- Alef, K., 1995. Soil respiration. In: Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry, Alef, K. and P. Nannipieri (Eds.) Academic press, New York, pp: 214-219.
- Ahn AH, 2006. Sustainable nitrogen elimination biotechnologies, a review. Process Biochemistry 41: 1709-1721.
- Arslan H, Guleryu G and Kırmızı S, 2010. Nitrogen mineralization in the soil of indigenous oak and pine plantation forests in a Mediterranean environment. European Journal of Soil Biology 46: 11-17.
- Błońska E and Lasota F, 2014. Biological and Biochemical properties in evaluation of forest soil quality. Folia Forestalia Polonica 56: 23-29.
- Caravaca F, Lax A, Albaladejo J, 2004. Aggregate stability and carbon characteristics of particle-size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. Soil and Tillage Research 78: 83-90.
- Chaudhuri PS, Bhattacharjee DA and Chattopadhyay D, 2013. Impact of age of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation on earthworm communities of West Tripura India. Journal of Environmental Biology 34:59-65.
- Chase P and Singh OP, 2014. Soil Nutrients and Fertility in Three Traditional Land Use Systems of Khonoma. Natural Resources and Environment 4: 181-189.
- Dorich RA and Nelson DW, 1983. Direct Colorimetric measurement of Ammonium in Potassium Chloride extracts of soils. Soil Science Society of America Journal 47: 833-836.
- Duran J, Rodriguez A, Palacios JMF and Gallardo A, 2009. Changes in net N mineralization rates and soil N and P pools in Pine forest Wildfire Chronosequence. Biology and Fertility of Soils 45: 781-788.
- Demessie A, Singh BR, Lal R and Borresen T, 2014. Effects of eucalyptus and coniferous plantations on soil properties in Gambo District, southern Ethiopia. Soil and Plant Science 62: 455-466.
- Hoffman SA and Barbarick KA, 2008. Soil nitrat analysis by Cadmium reduction. Communications in soilscience and Plant Analysis 12 : 79-89.

- Hyvönen R, Persson T, Andersson S, Olsson B, Ågren GI and Linder S, 2008. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* 89: 121–137.
- Hedo J, Lucas-Borja ME, Wic C, Abellán MA and Heras JL, 2014. Soil respiration, microbial biomass and ratios (metabolic quotient and MBC/TOC) as quality soil indicators in burnt and unburnt Aleppo Pine Forest Soils. *Journal of Forests* 1: 20-28.
- Hoogmoed M, Cunningham SC, Baker PJ, Beringer J and Cavagnaro TR, 2014. Is there more soil carbon under nitrogen-fixing trees than under non-nitrogen-fixing trees in mixed-species restoration plantings? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 188: 80–84.
- Jafarian, Z. and Shabanzadeh, S, 2017. Effect of slope aspect on spatial variability of physical and chemical properties of the soil in Kiasar region of Mazandaran Province. *Water and Soil Science* 27: 225-235. (In Persian)
- Jafari Haghighi M, 2003. Soil Analysis Method, Sampling and Important Physical and Chemical Analysis. Nedaye Zohi Publication, Mashhad, 236p. (In Persian)
- Knorr M, Frey SD and Curtis PS, 2005. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis. *Ecology* 86: 3252–3257.
- Kuwano BH, Knob A, Fagotti DS, Jorge N, Júnior M, Godoy L, Diehl RC, Krawulski CC, Filho GA, Filho JT and Nogueira MA, 2013. Soil quality indicators in a Rhodic kandudult under different uses in Northern Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38: 50-59.
- Kooch Y, Hosseini SM, Zaccone C, Jalilvand H, Hojjati SM, 2012. Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: the Darab Kola forest (North of Iran) case study. *Jurnal of Environmental Monitoring* 14: 2438–2446.
- Kooch Y, Zaccone C, Lamersdorf NP and Tonon G, 2014. Pit and mound influence on soil features in an Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest. *European Journal of Forest Research* 133: 347–354.
- Lee KH and Jose S, 2003. Soil respiration, Fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient. *Forest Ecology and Management* 185: 263-273.
- Laclau JP, Ranger J, Goncalves JL, Maquère V, Krusche AV, Mou AT, Nouvellon Y, Saint-André L, Bouillet JP, Piccolo CM and Deleporte P, 2010. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management* 259: 1771–1785.
- Losi CJ, Siccama TG, Juan RC, Morales E, 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* 184: 355 – 368.
- Lang M, Cai Z and Chang SX, 2010. Effects of land use type and incubation temperature on greenhouse gas emissions from Chinese and Canadian soils. *Journal of Soils and Sediments* 11: 15-24.
- Marañón MS, Soriano M, Delgado G, Delgado R, 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal* 66: 948-958.
- Martin KJ, Posavatz NJ and Myrold, DD, 2003. Nodulation potential of soils from red alder stands covering a wide age range. *Plant and Soil* 254: 187-192.
- Marzaioli R, Ascoli RD, Pascale, RA and Rutigliano FA, 2010. Soil quality in a Mediterranean area of southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology* 44: 205-212.
- Mao R, Zeng D H, Yan AG, Yang D, Li LJ and Liu YX, 2010. Soil microbiological and chemical effects of a nitrogen-fixing shrub in poplar plantations in semi-arid region of Northeast China. *European Journal of Soil Biology* 46: 325-329.
- Mariappan V, Karthikairaj K and Isaiarasu L, 2013. Relationship between earthworm abundance and soil quality of different cultivated lands in Rajapalayam, Tamilnadu. *World Applied Sciences Journal* 27: 1278-1281.
- Meyfroidt P, Phuong VT, Anh H V, 2013. Trajectories of deforestation, coffee expansion and displacement of shifting cultivation in the Central Highlands of Vietnam. *Global Environmental Change* 23: 1187-1198.
- Peres G, Vandenbulcke F, Guernion M, Hedde M, Beguiristain T, Douay F, Heuot S, Piron D, Richard A, Bispo A, Grand C, Galsomies L and Cluzeau D, 2011. Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bio indicator program. *Pedobiologia* 54: 77-87.
- Plaster EJ, 1985. *Soil Science and Management*. Delmar Publishers Inc., Albany, NY, 124 p.

- Rezaei, H., Jafarzadeh, AA and Shahbazi F, 2013. Effect of vegetation on soil micro morphological properties (Case Study: Karkaj research station). *Water and Soil Science* 23: 83-94. (In Persian)
- Rosenberg O B, Persson L, Högbom S and Jacobson S, 2010. Effects of wood-ash application on potential carbon and nitrogen mineralization at two forest sites with different tree species, climate and N status. *Forest Ecology and Management* 260: 511–518.
- Soleimani M. 2014. Effect of native and non-native plantation on life form of herbaceous species, aggregates stability and soil particulate organic matter (case study, Caspian forest seed center). M. Sc. thesis of Forestry, Faculty of Natural Science Tarbiat Modarres University, 109 p. (In Persian)
- Schulp CJE, Nabulans GJ, Verburg PH, and Waal RW, 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management* 256: 482–490.
- Smith RG, McSwine CP, Grandy AS, Suwanawaree P, Snider RM and Robertson GP, 2008. Diversity and abundance of earthworms across agricultural land-use intensity gradient. *Soil and Tillage Research* 100: 83-88.
- Sigurdsson BD and Gudleifsson BE, 2013. Impact of afforestation on earthworm populations in Iceland. *Forest Ecology and Management* 26: 21-36.
- Tesfahunegn BG, 2014. Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science* 20:1-14.
- Wolters DJ, Akkermans ADL and Van Dijk C, 1997. Ineffective *Frankia* strains in wet stands of *Alnus glutinosa* L. Gaertn. in the Netherlands. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1707-1712.
- Xiangmin, F, Qingl Z, Wangming Z, Wei W, Yawei N, Niu and Limin D, 2014. Land use effects on soil organic carbon, microbial biomass and microbial activity in Changbai Mountains of Northeast China. *Chinese Geographical Science* 24: 297–306.
- Xie Z B, Zhu JG and Liu G, 2007. Soil organic carbon stocks in China and changes from 1980s to 2000s. *Global Change Biology* 13: 1989–2007.
- Yang K, Zhu JJ and Zhang M, 2010. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: A comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology* 3: 175–182.
- Yousefi A and Darvishi L, 2013. Soil changes induced by hardwood and coniferous tree plantation establishment: Comparison with natural forest soil at Berenjestanak lower land forest in north of Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1: 432-449.
- Yukse T, 2013. The restoration effect of blank locust (*Robinia pseudoacasia* L) plantation on surface soil properties and carbon sequestration on lower hill slopes in the semi- humid region of Crouch Drainage Basin in Turkey. *Catena* 90: 18-25.
- Zhang J, Wang SL, Feng ZW and Wang QK, 2009. Carbon mineralization of soils from native evergreen broadleaf forest and three plantations in China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 1964–1982.
- Zhang Q, Wang LJ, Yang Y and Zhang J, 2009. Effect of land use on Soil quality on the loess plateau in north-west Shanxi province. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 293: 375-385.
- Zhou GY, Liu SG and Li Z, 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science* 314: 14-17.