

The Dynamics of Soil Biochemistry and Microbiology in Various Land Management of the Western Hyrcanian Region

NEGAR MOGHIMIAN¹, SEYED MOHSEN HOSSEINI^{2*}, YAHYA KOOCH³, BEHROUZ ZAREI DARKI⁴

1. Ph. D. Student, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

2. Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

4. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

(Received: July. 6, 2018- Revised: Aug. 9, 2018- Accepted: Sep. 2, 2018)

ABSTRACT

Land use change is one of the major human interactions in natural ecosystems that affect ecosystem processes, especially soils. In the present study, the effect of land use change on the dynamics of microbial and enzymatic activities in the Gerdkooh-Safak area of Mazandaran province was investigated. For this purpose, soil sampling was carried out by systematic-random method from two depths of 0-5 and 5-10 cm. Totally, 240 soil samples were collected from six land uses (i.e. natural forests of hornbeam-ironwood, degraded natural forest, alder plantation, sequia plantation, improved follow and home garden), in four seasons of spring, summer, autumn and winter. According to the results, alder plantation and natural forest had the highest basal (0.49 and 0.44 mg CO₂-C g⁻¹ day⁻¹) and substrate induced respirations (1.40 and 1.40 mg CO₂-C g⁻¹ day⁻¹); in contrast, the sequia plantaion and improved follow had the least basal (0.21 and 0.24 mg CO₂-C g⁻¹ day⁻¹) and substrate induced respirations (1.02 and 1.07 mg CO₂-C g⁻¹ day⁻¹). Alder plantation and natural forest had the highest amount of nitrogen microbial biomass (70.20 and 67.38 mg kg⁻¹), nitrate (32.92 and 30.49 mg kg⁻¹) and ammonium (30.04 and 27.95 mg kg⁻¹). The highest levels of enzymes activity of urease, phosphatase, arylsulphatase and invertase were found in alder plantation and natural forest (145.8 , 144.8 μg NH⁴⁺-N g⁻¹ 2 h⁻¹, 651.2 , 629.6 μg PNP g⁻¹ h⁻¹, 142.4 , 141.4 μg PNP g⁻¹ h⁻¹ and 217 , 214.8 μg Glucose g⁻¹ 3 h⁻¹) respectively and the least activity was detected under improved follow, degraded sites and sequia planation (127.22 , 128.86 , 128.08 μg NH⁴⁺-N g⁻¹ 2 h⁻¹, 273.2 , 261.2 , 272.8 μg PNP g⁻¹ h⁻¹, 107.2 , 109.6 , $108/8$ μg PNP g⁻¹ h⁻¹ and 151.4 , 155.4 , 158.8 μg Glucose g⁻¹ 3 h⁻¹). Due to the variability of soil microbial and enzymatic characteristics in different seasons of the year and the proposed depths, the highest values of these characteristics were allocated to the seasons of summer and spring and the upper layer of soil. According to the evaluation of land uses and following the natural forest, the establishment of the alder species in the degraded forest areas of the northern Iran can be considered as the selected species for land uses with similar conditions to improve the soil quality and health.

Keyword: Degradation and reclamation, basal and induced respiration, microbial biomass, seasonal dynamics, soil depth.

پویایی مشخصه‌های بیوشیمی و میکروبیولوژی خاک در مدیریت‌های مختلف اراضی ناحیه هیرکانی غربی

نگار مقیمیان^۱، سید محسن حسینی^{۲*}، بحیی کوچ^۳، بهروز زارعی‌دارکی^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.
 ۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.
 ۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.
 ۴. استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۱)

چکیده

تغییر کاربری اراضی یکی از دخالت‌های مهم بشر در اکوسیستم‌های طبیعی است که بر روی فرآیندهای اکوسیستم به ویژه خاک اثرگذار است. در پژوهش حاضر، اثر تغییر کاربری اراضی بر پویایی فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک منطقه گردکوه صافک استان مازندران مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، نمونه برداری خاک به روش سیستماتیک-تصادفی و از دو عمق ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی متری انجام شد. در مجموع ۲۴۰ نمونه خاک از شش کاربری (جنگل طبیعی ممرز - انجیلی، جنگل مخروطه ممرز - انجیلی، جنگل کاری توسکا، جنگل کاری سکویا، آیش رها شده و اگر وفارستری بارده) در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان جمع‌آوری شد. مطابق با نتایج، کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی بیشترین مقادیر تنفس پایه (۰/۴۹ و ۰/۴۴ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز) و برانگیخته (۱/۴۰ و ۱/۴۰ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز) و در مقابل، جنگل کاری سکویا و کاربری آیش کمترین مقادیر تنفس پایه (۰/۲۴ و ۰/۲۱ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز) و برانگیخته (۱/۰۲ و ۱/۰۷ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز) را به خود اختصاص دادند. کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی بیشترین مقادیر زی توده میکروبی نیتروژن (۷۰/۲۰ و ۶۷/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم)، نترات (۳۲/۹۲ و ۳۰/۴۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و آمونیوم (۳۰/۰۴ و ۲۷/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز، آرل سولفاتاز و اینورتاز به ترتیب در کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی (۱۴۵/۸، ۱۴۴/۸، ۱۴۴/۸، ۱۴۲/۴، ۱۴۱/۴ $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ، ۶۲۹/۶، ۶۵۱/۲، ۶۲۹/۶ $\mu\text{g NH}_4^+-\text{N g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ، ۲۱۴/۸، ۲۱۷ و ۲۱۴/۸ $\mu\text{g Glucose g}^{-1} \text{h}^{-1}$) و کمترین میزان فعالیت به ترتیب در کاربری‌های آیش، مخروطه و سکویا (۱۲۷/۲۲، ۱۲۸/۸۶، ۱۲۸/۰۸، ۱۲۸/۰۸، ۱۲۸/۰۸، ۱۲۷/۲۲، ۲۷۳/۲، ۲۶۱/۲، ۲۷۲/۸، ۲۷۲/۸ $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ، ۱۰۷/۲، ۱۰۹/۶، ۱۰۸/۸، ۱۰۸/۸، ۱۰۸/۸، ۱۵۵/۴، ۱۵۵/۴، ۱۵۱/۴ $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) مشاهده شد. با توجه به تغییرپذیری مشخصه‌های میکروبی و آنزیمی خاک در فصول مختلف سال و عمق‌های مورد بررسی، بیشترین مقادیر این مشخصه‌ها به فصول تابستان و بهار و لایه بالایی خاک اختصاص داشته است. با توجه به ارزیابی صورت گرفته در بین کاربری‌ها، بعد از جنگل طبیعی، در مناطق جنگلی تخریب‌یافته شمال کشور، استقرار گونه درختی توسکا می‌تواند به عنوان گونه منتخب در کاربری‌هایی با شرایط مشابه جهت بهبود کیفیت و سلامت خاک مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تخریب و احیاء رویشگاه، تنفس پایه و برانگیخته، زی توده میکروبی، پویایی فصلی، عمق خاک.

مقدمه

می‌تواند باعث تفاوت‌هایی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی تحت کاربری‌های مختلف شود (Hagen-Thorn *et al.*, 2004). پژوهش‌ها حاکی از آن است که گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ تأثیر متفاوتی بر شیمی خاک و چرخه‌های بیوشیمیایی اکوسیستم دارند. تغییر کاربری سریع‌ترین و برجسته‌ترین روش تغییر ساختار میکروبی و عملکرد آن است (Deng *et al.*, 2016). برخی شاخص‌های میکروبی خاک وجود دارند که به تغییرات ایجاد شده در خاک حساس می‌باشند، از

مشخصه‌های میکروبی، به‌عنوان یکی از شاخص‌های بسیار حساس کیفیت خاک بوده که پاسخ قطعی به تغییرات مدیریت اراضی در کوتاه‌مدت ارائه می‌دهد (Raiesi, 2007). تغییرات در ویژگی‌های میکروبی خاک ممکن است منجر به تغییرات مهم در کیفیت خاک شود و بر چرخه مواد غذایی و توسعه گیاه اثر بگذارد. نوع پوشش موجود در کاربری یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر جامعه میکروبی خاک‌های مناطق جنگلی است. جامعه میکروبی خاک

همین علت در سلول‌های آزاد انباشته می‌شود. بنابراین اهمیت آنزیم اوره‌آز در تعیین میزان کیفیت خاک از نقطه نظر چرخه ازت در خاک است (Lasota and Błońska, 2014). آنزیم فسفاتاز بوسیله ریزجانداران، ریشه‌های گیاهی و کرم‌های خاکی تولید می‌شود و ارتباط این آنزیم با مقدار ماده آلی خاک، رطوبت خاک و حجم خاک در محیط ریشه، به اثبات رسیده است، همچنین یکی از آنزیم‌های مهم در چرخه فسفر خاک به شمار می‌آید و معمولاً در خاک‌هایی با اسیدیته بالا، فراوان و فعال تر است. افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت میکروبی بلکه از طریق پایدارسازی آنزیم فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود (Khademi et al., 2006). آریل سولفاتاز آنزیمی است که مسئولیت تبدیل فسفر آروماتیک به فسفر معدنی مورد نیاز گیاهان و میکروفلور خاک را بر عهده دارد (Moscattelli et al., 2005). آنزیم اینورتاز ساکارز را به گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند و با زی‌توده میکروبی خاک در ارتباط است. آنزیم اینورتاز اغلب بیشتر از سایر آنزیم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا قابلیت بالایی در انعکاس فعالیت بیولوژیکی و حاصل‌خیزی خاک دارد (Wei et al., 2008).

پژوهش Niklińska and Chodak (2010) با عنوان اثر بافت و کاربری بر خصوصیات میکروبی خاک، نشان داد که خاک‌های لومی‌شنی در مقایسه با خاک‌های شنی میزان pH، کربن آلی، نیتروژن کل، کربن زی‌توده میکروبی، تنفس پایه و فعالیت آنزیمی بیشتری دارد. همچنین زی‌توده میکروبی کربن و فعالیت آنزیم‌ها در کاربری‌های پهن‌برگ بیشتر از سوزنی‌برگ نشان داده شد. مطالعه Da Silva et al. (2012) تغییرات زی‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی در چهار کاربری را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که میزان زی‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی در جنگل طبیعی بیشتر از مناطق جنگل کاری می‌باشد. تحقیق Beheshti et al. (2012) با هدف بررسی اثر آشفستگی ناشی از تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی بر برخی شاخص‌های بیولوژیک انجام شد. نتیجه تحقیق نشان داد تغییر کاربری سبب کاهش دسترسی ریزجانداران خاک به اکسیژن و کاهش تحریک فعالیت‌های میکروبی، تجزیه ماده آلی و کیفیت خاک شده است. بررسی Wang et al. (2013) با هدف ارزیابی اثر تغییر کاربری بر کربن آلی، تنفس و فعالیت آنزیمی خاک انجام شد. نتایج حاکی از آن است که میزان فعالیت آنزیم در کاربری پهن‌برگ بیشتر از کاربری سوزنی‌برگ بوده است. مطالعه Kooch and Parsapor (2016) با هدف بررسی اثر گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر وضعیت تغییرپذیری شاخص‌های میکروبی خاک انجام شد. نتایج، بیشترین مقادیر تنفس میکروبی و زی‌توده میکروبی کربن را در

جمله این شاخص‌ها می‌توان به تنفس پایه و برانگیخته اشاره کرد (Marohn et al., 2005). تنفس پایه یکی از شاخص‌های بسیار پویا بوده و کمیت و کیفیت تغییرات آن در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد. تنفس برانگیخته، شاخص بسیار مهمی از جمعیت فعال میکروبی خاک می‌باشد. این مشخصه، میزان کربن معدنی متصاعد شده از تنفس میکروبی پس از اضافه کردن گلوکز را نشان می‌دهد (Weand et al., 2010).

از جمله شاخص‌های میکروبی کیفیت خاک که ارزیابی می‌شوند، می‌توان به مقدار زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن اشاره کرد. این شاخص‌ها بسیار پویا بوده و نسبت به تغییر پوشش اراضی بسیار حساس‌اند. میزان زی‌توده میکروبی کربن تابعی از میزان کربن آلی خاک است (Yadava, 2012). کربن آلی خاک به آرامی تغییر می‌کند و اندازه‌گیری دقیق آن مشکل است اما زی‌توده میکروبی کربن سریعتر از مواد آلی کل به تغییرات کاربری واکنش نشان می‌دهد (Gamboa and Galicia, 2012). زی‌توده میکروبی نیتروژن، علاوه بر اینکه شاخص مهم و نشان‌دهنده جمعیت میکروبی زنده خاک می‌باشد، ذخیره ارزشمندی از نیتروژن آلی است که به سهولت به نیتروژن معدنی تبدیل می‌شود. تغییر نوع پوشش گیاهی اثر قابل توجهی بر روی زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن خاک دارد (Nunes et al., 2012). نیتروژن قابل استفاده تا حد زیادی وابسته به نیتروژن معدنی است که طی فرآیندی زیستی از تبدیل نیتروژن آلی به شکل‌های معدنی قابل دسترسی گیاه (آمونیم و نیترات) حاصل می‌شود. تغییر کمیت و کیفیت مواد آلی، ترکیب و تنوع جوامع میکروبی و شرایط محیطی، تحت تأثیر پوشش‌های متفاوت کاربری موجب تحول فرآیند معدنی‌سازی نیتروژن می‌شود (Liu et al., 2010).

آنزیم‌های خاک شاخص مناسبی برای سنجش حاصل‌خیزی و کیفیت خاک به حساب می‌آیند. تحقیقات متعددی نشان داده‌اند تغییرات کاربری اراضی بر روی فعالیت آنزیم‌ها به شدت تاثیرگذار است (Chaer et al., 2009; Lagomarsino et al., 2011; Wang et al., 2012). اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های خاک به عنوان شاخصی برای پایش و سنجش تغییرات ساختار جوامع میکروبی، پویایی چرخه کربن آلی خاک در پاسخ به تغییرات ایجاد شده توسط انسان ضروری به نظر می‌رسد (Trasar et al., 2008). بطور کلی دوام، پایداری و فعالیت آنزیم‌ها تحت تاثیر پوشش‌های مختلف، مدیریت منطقه، pH خاک، زی‌توده میکروبی، مقدار ماده آلی، رطوبت و درجه حرارت خاک، تخلخل، میزان کوبیدگی و فشردگی خاک به شدت تغییر می‌کند (Song et al., 2012). آنزیم اوره‌آز با هیدرولیز اوره، آمونیاک تولید می‌کند و منشأ آن میکروبی است که مقاوم به تجزیه است و به

پوشش جنگلی کاج سیاه و بیشترین مقدار زی توده میکروبی نیتروژن را در کاربری توسکا بیلاقی نشان داد.

تاکنون بیشتر تحقیقات انجام شده به تأثیر کاربری‌ها بر مشخصه‌های خاک در یک فصل، عموماً تابستان، اشاره داشته‌اند در حالی که با توجه به تغییرپذیری و حساسیت بالای فعالیت‌های میکروبی و بیوشیمی خاک در فصول مختلف سال تحت کاربری‌های مختلف، پویایی این مشخصه‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین بیشتر پژوهش‌های داخل کشور نیز به تغییرات مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی اشاره داشته‌اند و فعالیت‌های میکروبی خاک کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. علی‌رغم تخریب رویشگاه‌های جنگلی و تغییرات گسترده‌ای که در کاربری‌های شمال کشور صورت گرفته است تاکنون ارزیابی درستی از پیامدهای آن بویژه اثر تغییر فصل و عمق بر مشخصه‌های میکروبی و آنزیمی خاک در کاربری‌های جنگلی و غیر جنگلی انجام نشده است. بنابراین در این تحقیق به دو سوال مهم پرداخته شد: ۱- فعالیت‌های میکروبی خاک در فصول سال تحت کاربری‌های مختلف چگونه تغییر می‌کنند؟ ۲- پویایی فعالیت‌های آنزیمی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی در چه وضعیتی می‌باشند؟

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل‌های سری یک گردکوه صافک در شمال غربی حوزه ۳۸ سردآبرود پایین درحوزه استحقاظی اداره منابع طبیعی شهرستان کلارآباد و اداره کل منابع طبیعی استان مازندران- نوشهر قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه بین عرض $36^{\circ} 37'30''$ تا $36^{\circ} 45'22''$ و طول جغرافیایی $51^{\circ} 07'50''$ تا $51^{\circ} 12'51''$ قرار دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۵۰ متر و حداکثر ۱۴۴ متر و شیب منطقه بین $(0-5)$ می‌باشد. بر اساس ایستگاه هواشناسی مستقر در منطقه خشکه‌داران، که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد، متوسط دمای سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالیانه ۱۳۰۰ میلی‌متر و فصل خشک از خرداد تا مردادماه می‌باشد (بر مبنای دوره دهساله ۱۳۹۴-۱۳۸۴). بافت خاک لومی- سیلتی- شنی است. گونه‌های طبیعی غالب در منطقه شامل بلوط بلندمازو، آزاد، انجیلی، ممرز، خرمنندی و شمشاد است که در طول ۲۷ سال گذشته قسمتی از سطح جنگل‌های طبیعی از بین رفتند و بعد از قطع یکسره جنگل کاری (3×3) متر) با بعضی گونه‌های بومی مثل توسکا بیلاقی $(2/10)$ هکتار، افرا $(1/72)$ هکتار، گونه غیر بومی سوزنی برگ سکویا $(5/89)$ هکتار و توده‌ی آمیخته افرا و سکویا $(4/87)$ هکتار)

انجام شد. در بعضی از قسمت‌های منطقه جنگل کاری صورت نگرفته و پوشش جنگل‌های مخروطه انجیلی- ممرز $(5/63)$ هکتار، آیش رها شده $(4/69)$ هکتار) و اگر وفارستری بارده $(3/49)$ هکتار دیده می‌شود. اطلاعات کامل مربوط به کاربری‌ها (مشخصات پوشش‌های مختلف اراضی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است (Moghimian, 2018).

روش نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

پس از بازدید و شناسایی دقیق کاربری‌ها مساحت $1/5$ هکتار (100×150) متر) با شرایط فیزیوگرافی (شیب، جهت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) و مواد مادری مشابه از شش کاربری انتخاب شد. نمونه‌های خاک از سطح 25×25 سانتی‌متر (ابتدا، میانه و انتها) مستقر بر پنج ترانسکت موازی به مرکزیت کاربری‌ها جمع-آوری شد. لازم به ذکر است که طول هر ترانسکت صد متر در نظر گرفته شده است. ابتدا پانزده نمونه از هر کاربری از دو عمق ۵-۰ و ۱۰-۵ سانتی‌متری برداشت و در نهایت سه نمونه در هر ترانسکت با هم مخلوط شدند و از هر کاربری پنج نمونه ترکیبی حاصل شد. نمونه‌برداری چهار نوبت در طول یک سال، ماههای میانی هر فصل، انجام شد (Worku et al., 2014). در مجموع ۲۴۰ نمونه خاک (۶ کاربری \times دو عمق \times فصل \times ۵ تکرار) از کاربری‌ها برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. بطور کلی سعی شد که به منظور کاهش اثرات مرزی، حاشیه کاربری‌ها برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشود و نمونه‌برداری‌ها متمایل به بخش مرکزی هر کاربری باشد. بخشی از نمونه‌های خاک به منظور اندازه‌گیری مشخصه‌های میکروبی تا زمان انجام آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و بخشی دیگر برای اندازه‌گیری فعالیت‌های آنزیمی، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. مقادیر نیترات و آمونیوم به ترتیب به روش احیای کادمیوم و روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. بدین منظور، عصاره‌گیری خاک با کلرور پتاسیم دو مول انجام، سپس با استفاده از MgO به عنوان ماده قلیایی در اندازه‌گیری آمونیوم و از دواردا آلوی به عنوان ماده احیاءکننده در اندازه‌گیری نیترات استفاده گردید (Ghazan Shahi, 2006). برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش بطری بسته استفاده شد. بدین منظور، ۲۱ میلی‌لیتر محلول هیدروکساید سدیم درون ظروف شیشه‌ای دارای درپوش ریخته شد و ۲۵-۲۰ گرم خاک مرطوب، داخل کیسه‌های نایلونی، در درون ظروف شیشه‌ای قرار داده شد. در قسمت بالای کیسه، منافذ ریز ایجاد شد و در کنار محلول هیدروکساید $0/1$ مولار سدیم به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه آنکوباسیون شد. برای تهیه نمونه شاهد، همان روش بدون خاک اجرا شد. پس از پایان

سپس ۲ میلی لیتر پتاسیم دی کرومات و ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به این محلول اضافه شد. پس از آن ۳ قطره (۰/۳ میلی لیتر) از محلول شناساگر اضافه شد و در نهایت با استفاده از فرو آمونیوم سولفات، تیتراسیون نمونه ها صورت گرفت. با توجه به تفاوت کربن آلی استخراج شده از خاک نمونه ها (تدخین شده) و خاک شاهد (تدخین نشده) مقدار کربن زیست-توده میکروبی خاک بر مبنای میلی گرم محاسبه شد (Brookes *et al.*, 1985; Sparling *et al.*, 1990). برای اندازه گیری زیست-توده میکروبی نیتروژن خاک، به روش تدخین-استخراج، نمونه های خاک پس از تدخین با کلروفرم، با محلول سولفات پتاسیم عصاره گیری شده و عصاره ها تا موقع اندازه گیری در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. در نهایت مقدار نیتروژن زیست-توده میکروبی به روش ایندوفنل بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم اندازه-گیری شد (Brookes *et al.*, 1985; Sparling *et al.*, 1990).

انکوباسیون، ۲ سی سی کلرید باریم نیم مولار به نمونه ها اضافه و ۳-۴ قطره محلول شناساگر افزوده شد و با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار تیترا شدند. در نهایت میزان تنفس میکروبی خاک بر مبنای میلی گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (Alef, 1995). تنفس برانگیخته (SIR) خاک، همانند روش تنفس پایه اندازه گیری شد. با این تفاوت که برای هر نمونه خاک ۱۰ گرمی میزان ۱ میلی لیتر گلوکز ۱ درصد افزوده شد و پس از ۲۴ ساعت، سود درون جارها با اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال تیترا گردید (Anderson and 1989). به منظور اندازه گیری زیست توده میکروبی کربن، به روش تدخین استخراج، ابتدا خاک مرطوب با کلروفرم به مدت ۲۴ ساعت در درون دسیکاتور تدخین شد. سپس خاک تدخین شده با محلول عصاره گیر سولفات پتاسیم نیم مولار (۲۰ میلی لیتر) به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده و عصاره گیری شد. همین کار با خاک شاهد (تدخین نشده) هم انجام گرفت. ۴ میلی لیتر از عصاره استخراج شده برداشته و به درون لوله های هضم انتقال داده شد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به کاربری های مورد مطالعه در سری یک گردکوه صافک

کاربری ها	توضیحات کاربری ها	گونه های غالب	گونه های همراه	نوع کود	حجم لاشبرگ (کیلوگرم / متر مربع)	بافت خاک
جنگل طبیعی	جنگل طبیعی (جنگل بدون تخریب)	ممرز (۱۴۳ تعداد/ هکتار) انجیلی (۹۱ تعداد/ هکتار)	پودبوم جنگلی جگن پیر بهار	-	۷-۱۴	سیلتی رسی لومی (رس) = ۳۵/۲۰ سیلت = ۴۷/۸۰، شن = ۱۷/۸۰ (%)
جنگل مخروبه	جنگل مخروب شده با تخریب درختان (تنک)	ممرز (۱۸ تعداد/ هکتار) انجیلی (۱۰۰ تعداد/ هکتار)	ترشک شبدری ارزن جنگلی پیچک جنگلی نگون سار برگ گرد جنگلی	-	۲/۸-۷	رسی لومی (رس) = ۳۲/۲۰ سیلت = ۴۳/۸۰، شن = ۲۴/۶۰ (%)
جنگل کاری توسکا	جنگل کاری (توده توسکا)	توسکا قشلاقی (۵۳۸ تعداد/ هکتار)	پامچال گوش موش سرخس دو پایه	-	۵/۶-۱۱/۲	سیلتی رسی لومی (رس) = ۳۵/۲۰ سیلت = ۴۶/۸۰، شن = ۱۸/۴۰ (%)
جنگل کاری سکویا	جنگل کاری (توده سکویا)	سکویا (۵۰۲ تعداد/ هکتار)		-	۱۶/۸-۲۸	رسی لومی (رس) = ۳۲/۸۰ سیلت = ۴۷/۲۰، شن = ۲۰/۶۰ (%)
آیش	زمین بدون کشت	یونجه (>۲۰%) درمنه کوهی (>۲۰%) گون (>۲۰%) فرفیون (>۱۰%) گزنه سفید (>۵%)	نیتروژن، فسفر، پتاسیم (فقط در زمان کشت)		۲/۸-۷	رسی لومی (رس) = ۳۱/۴۰ سیلت = ۴۲/۴۰، شن = ۲۷/۰۰ (%)
اگروفارستری	تلفیق کشاورزی، دامپروری و جنگل	پرتقال (۹۷ تعداد/ هکتار) نارنگی (۸۵ تعداد/ هکتار)	خیار لوبیا	نیتروژن، فسفر، پتاسیم (هر سال)	<۱/۵	رسی لومی (رس) = ۳۵/۰۰ سیلت = ۴۱/۴۰، شن = ۲۴/۴۰ (%)

جدول ۲- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با کاربری‌های مختلف

مشخصه خاک	جنگل طبیعی	جنگل مخروطه	جنگل کاری توسکا	جنگل کاری سکویا	آیش	اگروفارستری بارده
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۲۵ (۰/۰۰ ^b)	۱/۲۷ (۰/۰۰ ^b)	۱/۲۸ (۰/۰۰ ^b)	۱/۲۲ (۰/۰۰ ^a)	۱/۵۱ (۰/۰۰ ^a)	۱/۴۷ (۰/۰۰ ^a)
رطوبت (درصد)	۲۴/۴۷ (۰/۹۶ ^c)	۲۳/۰۰ (۱/۲۷ ^c)	۲۶/۶۵ (۱/۶۱ ^a)	۲۵/۴۲ (۰/۳۵ ^b)	۲۱/۲۵ (۱/۲۹ ^c)	۲۱/۲۷ (۰/۲۱ ^c)
pH	۶/۸۶ (۰/۰۳ ^b)	۶/۷۸ (۰/۰۰ ^c)	۷/۰۴ (۰/۰۱ ^a)	۶/۱۳ (۰/۰۲ ^d)	۶/۱۵ (۰/۰۱ ^d)	۶/۱۹ (۰/۰۰ ^d)
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۷۳ (۰/۰۳ ^c)	۰/۷۱ (۰/۰۳ ^c)	۱/۰۵ (۰/۰۲ ^a)	۰/۵۸ (۰/۰۲ ^c)	۰/۹۴ (۰/۰۳ ^b)	۰/۷۰ (۰/۰۲ ^c)
کربن آلی (درصد)	۲/۱۵ (۰/۰۱ ^b)	۱/۸۳ (۰/۰۱ ^c)	۱/۴۹ (۰/۰۱ ^d)	۲/۷۶ (۰/۰۱ ^a)	۰/۵۰ (۰/۰۱ ^f)	۰/۹۲ (۰/۰۰ ^e)
نیترژن کل (درصد)	۰/۲۲ (۰/۰۰ ^b)	۰/۱۸ (۰/۰۰ ^c)	۰/۳۲ (۰/۰۰ ^a)	۰/۱۱ (۰/۰۰ ^d)	۰/۱۱ (۰/۰۰ ^d)	۰/۲۰ (۰/۰۰ ^c)
نسبت کربن به نیترژن	۹/۷۵ (۰/۰۰ ^b)	۹/۶۸ (۰/۰۳ ^c)	۴/۵۶ (۰/۰۴ ^d)	۲۳/۴۴ (۰/۰۰ ^a)	۴/۴۹ (۰/۰۰ ^e)	۴/۴۹ (۰/۰۰ ^e)
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۲/۴۲ (۰/۰۰ ^b)	۶/۴۱ (۰/۰۱ ^d)	۱۲/۷۰ (۰/۲۵ ^a)	۶/۱۴ (۰/۰۱ ^d)	۶/۰۸ (۰/۰۱ ^d)	۸/۴۵ (۰/۰۲ ^c)
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۷۲/۸۰ (۸/۸۹ ^a)	۱۸۵/۲۲ (۸/۲۴ ^b)	۲۷۸/۷۲ (۸/۰۱ ^a)	۲۰۴/۲۲ (۸/۶۳ ^b)	۲۰۰/۰۲ (۸/۱۷ ^b)	۲۱۹/۴۲ (۸/۶۷ ^b)

حروف متفاوت در داخل پرانتز بیانگر وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار ($p < 0.05$) در بین کاربری‌ها (در هر سطر) می‌باشد.

دوطرفه استفاده شد. آزمون دانکن در سطح احتمال پنج ($0.05 < p$) و یک ($0.01 < p$) درصد نیز به منظور مقایسه چندگانه میانگین بکار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت. کلیه نمودارها در نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج

مشخصه‌های بیوشیمی و میکروبی خاک

تجزیه واریانس مشخصه‌های بیوشیمی و میکروبی خاک حاکی از آن است که بیشترین میزان نیترات، آمونیوم و زی‌توده میکروبی نیترژن در هر دو عمق، به ترتیب در کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی ممرز- انجیلی مشاهده شد که تفاوت‌های آماری معنی‌داری ($0.01 < p$) را با کاربری‌های دیگر نشان دادند. حداقل میزان این مشخصه‌ها به کاربری‌های آیش و جنگل کاری سکویا تعلق داشت (جدول ۳). همچنین، بیشترین میزان تنفس پایه در هر دو عمق به کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی ممرز- انجیلی و کمترین میزان این مشخصه به کاربری‌های مخروطه، جنگل کاری سکویا و آیش اختصاص داشت و تفاوت‌های آماری معنی‌داری ($0.01 < p$) حاصل شد (جدول ۳). مقادیر تنفس برانگیخته تفاوت‌های آماری معنی‌داری ($0.05 < p$) در عمق‌های مختلف خاک کاربری‌های مورد مطالعه در فصل تابستان نشان نداده است، اما در سایر فصول روند تغییرات مشابه با تنفس میکروبی بوده است (جدول ۳). بیشترین میزان زی‌توده میکروبی کربن ($0.01 < p$) به کاربری‌های سکویا و جنگل طبیعی در فصل تابستان و

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اوره‌آز ابتدا ۵ گرم خاک با ۰/۲ میلی لیتر تولوئن تیمار و پس از افزودن ۹ میلی لیتر بافر تریس (تریس هیدروکسی متیل آمینومتان، $pH=9$) و یک میلی لیتر محلول ۰/۲ مولار اوره، به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون گردید، در نهایت با کم کردن مقدار نیترژن آمونیومی تیمار شاهد از تیمار اصلی، فعالیت آنزیم اوره‌آز محاسبه گردید. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز بر اساس سوبسترای پارانیتروفنیل فسفات تعیین گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز مقدار مشخصی از خاک با فسفات-نیتروفنیل و اسیدسولفوریک (۲۵ میلی لیتر) ترکیب و تحت شرایط استاندارد (۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند و مقدار نیتروفنول تجزیه شده از هیدرولیز آنزیم به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر بدست آمد. برای مشخص کردن فعالیت آنزیم اینورتاز نمونه مشخص از خاک در دمای ۵۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شد و محلول ساکاروز ۱/۲ درصد به آن اضافه شد، میزان ساکاروز کاهش یافته پس از مدت زمان استاندارد، اندازه‌گیری شد (Alef and Nannipieri, 1995).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

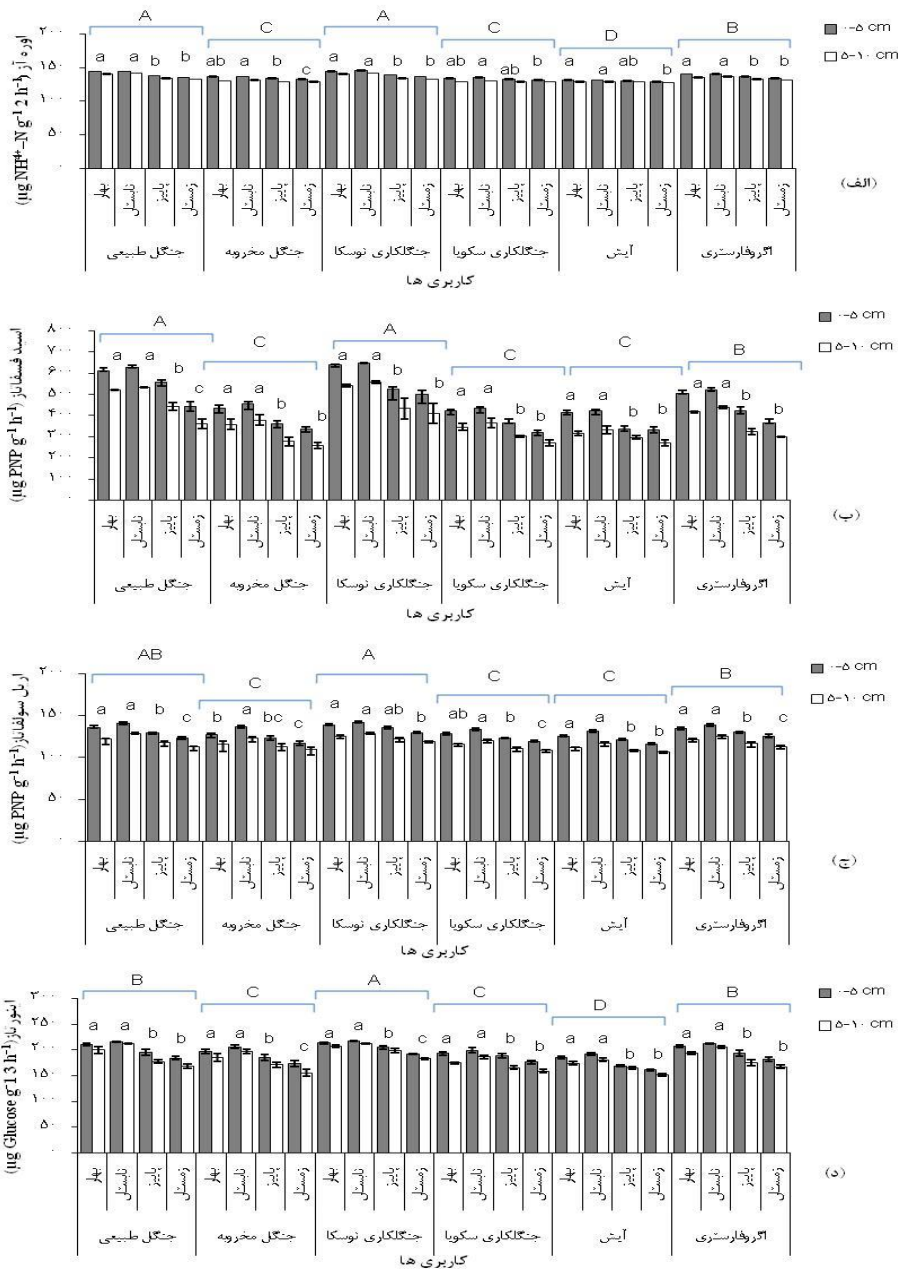
در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها بوسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای کاربری، فصل و دو عمق مختلف خاک همراه پنج تکرار مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف مورد بررسی در شش کاربری و چهار فصل از تجزیه واریانس

انجیلی، فصول تابستان و بهار و عمق اول بالاترین میزان فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز را به خود اختصاص داد، همچنین کمترین میزان این مشخصه متعلق به کاربری های سکویا، مخروطه و آیش، فصول پاییز و زمستان و عمق دوم است (شکل ۱- ب). بیشترین میزان فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز در کاربری توسکا، فصول تابستان و بهار و عمق اول و کمترین مقدار آن در کاربری های سکویا، مخروطه و آیش مشاهده گردید (شکل ۱- ج). در بین کاربری های مورد بررسی، حداکثر میزان فعالیت آنزیم اینورتاز متعلق به کاربری توسکا است، در حالی که حداقل میزان این مشخصه را کاربری آیش، فصول پاییز و زمستان و عمق دوم به خود اختصاص داد (شکل ۱- د).

کمترین میزان این مشخصه به کاربری های آیش و اگر وفارستری در فصل زمستان تعلق داشت (جدول ۳).

فعالیت آنزیمی خاک

تجزیه واریانس مقادیر آنزیم های خاک بیانگر وجود تفاوت های آماری معنی دار ($p < 0.05$) در ارتباط با کاربری، فصل و عمق های مختلف خاک می باشد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم اوره آز در کاربری های توسکا و جنگل طبیعی ممرز- انجیلی، فصول تابستان و بهار و عمق اول مشاهده گردید، در حالی که کمترین میزان این مشخصه به کاربری آیش، فصول پاییز و زمستان و عمق دوم تعلق داشت (شکل ۱- الف). کاربری های توسکا و جنگل طبیعی ممرز-



شکل ۱- میانگین \pm اشتباه معیار فعالیت آنزیم های خاک در ارتباط با کاربری ها، فصول و عمق های مختلف. اوره آز (الف)، اسید فسفاتاز (ب)، آریل سولفاتاز (ج) و اینورتاز (د)، حروف انگلیسی بزرگ مقایسه کاربری ها و حروف انگلیسی کوچک مقایسه فصل ها در هر کاربری را نشان می دهد.

جدول ۳- میانگین (اشتباه معیار) مشخصه‌های بیوشیمی و میکروبی خاک در ارتباط با کاربری‌ها، فصول و عمق‌های مختلف

مقدار معنی‌داری	مقدار	کاربری						عمق	پارامتر	فصل
		آبزی	سکویا	توسکا	مخروبه	طبیعی	نیرات			
۰/۰۰۰	۲۰/۶۲۹	۲۶/۲۰ (۰/۸۰)bc	۲۰/۹۸ (۰/۳۴)d	۲۲/۹۲ (۰/۳۷)cd	۲۸/۳۸ (۰/۵۲)ab	۲۴/۸۲ (۰/۶۷)bc	۲۹/۱۱ (۱/۱۰)	۰-۵	بهار	(میلی گرم بر کیلو گرم)
۰/۰۰۰	۱۷/۰۸۵	۲۴/۹۳ (۰/۹۵)bc	۱۹/۶۳ (۰/۳۶)c	۲۳/۳۹ (۰/۵۰)de	۲۷/۲۰ (۰/۶۶)ab	۲۳/۶۲ (۰/۷۶)bc	۲۷/۵۶ (۱/۱۶)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۷/۶۴۷	۲۸/۴۰ (۱/۹۸)bc	۲۱/۶۳ (۰/۳۹)c	۲۳/۳۹ (۰/۵۰)de	۳۲/۹۲ (۰/۳۸)ab	۲۵/۷۳ (۰/۷۵)cd	ab۲۰/۴۹ (۱/۱۱)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۱۶/۰۹۲	۲۷/۰۸ (۱/۹۹)bc	۲۰/۴۴ (۰/۳۷)c	۲۱/۸۳ (۰/۴۸)de	۳۱/۴۹ (۰/۴۷)ab	۲۴/۵۴ (۰/۷۷)cd	ab۲۸/۷۱ (۱/۱۸)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۲۰/۵۷۳	۱۹/۰۳ (۰/۴۰)c	۱۵/۲۵ (۰/۷۶)c	۱۴/۶۱ (۰/۷۴)c	۲۱/۷۹ (۰/۱۹)ab	۱۶/۴۵ (۱/۰۱)c	ab۲۰/۵۹ (۰/۴۰)	۰-۵	پاییز	
۰/۰۰۰	۲۱/۲۲۲	۱۷/۷۵ (۰/۴۱)bc	۱۳/۹۱ (۰/۸۳)c	۱۳/۲۵ (۰/۵۸)c	۱۹/۹۸ (۰/۳۹)ab	۱۵/۰۰ (۰/۹۳)c	۱۹/۷۰ (۰/۴۴)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۸/۶۴۸	۱۴/۸۳ (۰/۹۸)bc	۱۰/۱۲ (۰/۱۱)d	۱۱/۶۱ (۰/۱۹)cd	۱۶/۸۸ (۰/۷۷)ab	۱۲/۸۷ (۰/۴۸)c	ab۱۶/۰۵ (۰/۶۳)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۱۴/۳۷۶	۱۳/۸۵ (۱/۱۴)ab	۸/۹۱ (۰/۳۰)c	۹/۹۶ (۰/۲۲)bc	۱۵/۵۸ (۰/۹۰)ab	۱۱/۴۳ (۰/۵۶)bc	a۱۴/۹۰ (۰/۷۳)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۶/۸۹۷	۲۲/۹۶ (۰/۵۵)bc	۲۰/۷۸ (۰/۲۶)d	۲۲/۰۴ (۰/۰۵)cd	۲۸/۰۱ (۰/۸۰)ab	۲۲/۴۰ (۱/۰۵)cd	b۲۵/۹۳ (۰/۶۹)	۰-۵	بهار	آمونیم (میلی گرم بر کیلو گرم)
۰/۰۰۰	۱۹/۴۷۵	۲۱/۴۶ (۰/۴۲)bc	۱۷/۹۳ (۰/۸۴)c	۱۹/۳۱ (۰/۲۳)bc	۲۶/۰۵ (۰/۶۸)ab	۲۰/۹۱ (۰/۹۱)bc	۲۴/۷۲ (۰/۸۵)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۴/۲۴۹	۲۵/۸۲ (۰/۹۷)bc	۲۲/۱۳ (۰/۶۲)bc	۲۲/۸۱ (۰/۲۸)d	۳۰/۰۴ (۰/۹۹)ab	۲۳/۷۹ (۰/۹۵)cd	ab۲۷/۹۵ (۰/۸۶)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۱۵/۱۲۲	۲۴/۴۵ (۱/۰۱)bc	۲۰/۷۲ (۰/۶۱)c	۲۱/۵۰ (۰/۲۶)c	۲۹/۲۹ (۱/۰۳)ab	۲۲/۸۷ (۱/۰۲)bc	۲۷/۳۴ (۰/۹۵)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۲۶/۹۵۰	۱۷/۴۸ (۰/۴۵)bc	۱۴/۵۴ (۰/۶۸)c	۱۷/۰۴ (۰/۱۶)bc	۲۰/۷۰ (۰/۵۰)bc	۱۶/۴۳ (۰/۳۰)bc	a۲۰/۴۶ (۰/۴۸)	۰-۵	پاییز	
۰/۰۰۰	۲۴/۱۲۳	۱۵/۲۶ (۰/۵۵)bc	۱۱/۸۵ (۰/۶۵)c	۱۴/۳۵ (۰/۵۶)bc	۱۸/۶۳ (۰/۴۸)ab	۱۴/۴۷ (۰/۴۹)bc	۱۸/۴۸ (۰/۴۲)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۳۵/۵۵۱	۱۷/۱۵ (۰/۲۶)bc	۱۳/۷۰ (۰/۵۰)cd	۱۵/۹۸ (۰/۳۶)bc	۱۹/۶۱ (۰/۳۲)ab	۱۵/۱۸ (۰/۵۸)bc	a۱۹/۴۲ (۰/۳۱)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۴۴/۶۱۳	۱۵/۰۸ (۰/۲۸)bc	۱۰/۶۳ (۰/۱۰)d	۱۲/۶۱ (۰/۱۵)c	۱۷/۴۴ (۰/۲۴)ab	۱۳/۴۶ (۰/۵۴)bc	a۱۷/۳۹ (۰/۲۰)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۵۶/۱۳۴	۰/۳۷ (۰/۰۰)bc	۰/۲۹ (۰/۰۱)c	۰/۲۸ (۰/۰۰)c	۰/۴۷ (۰/۰۱)ab	۰/۳۴ (۰/۰۰)c	a۰/۴۱ (۰/۰۰)	۰-۵	بهار	تنفس پایه (میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز)
۰/۰۰۰	۴۸/۹۷۸	۰/۳۵ (۰/۰۱)bc	۰/۲۶ (۰/۰۱)c	۰/۲۴ (۰/۰۱)c	۰/۴۴ (۰/۰۱)ab	۰/۳۳ (۰/۰۰)c	a۰/۴۰ (۰/۰۰)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۶۵/۵۴۹	۰/۳۸ (۰/۰۰)bc	۰/۳۱ (۰/۰۰)bc	۰/۳۰ (۰/۰۰)bc	۰/۴۹ (۰/۰۱)ab	۰/۳۵ (۰/۰۰)c	a۰/۴۴ (۰/۰۰)	۵-۱۰	بهار	
۰/۰۰۰	۸۷/۶۸۵	۰/۳۷ (۰/۰۰)bc	۰/۲۹ (۰/۰۰)bc	۰/۲۷ (۰/۰۰)bc	۰/۴۵ (۰/۰۱)ab	۰/۳۴ (۰/۰۰)c	a۰/۴۲ (۰/۰۰)	۰-۵	تابستان	
۰/۰۰۰	۵۰/۷۲۶	۰/۳۵ (۰/۰۰)bc	۰/۲۷ (۰/۰۱)bc	۰/۲۵ (۰/۰۱)bc	۰/۴۵ (۰/۰۱)ab	۰/۳۳ (۰/۰۰)c	a۰/۳۹ (۰/۰۰)	۰-۵	پاییز	
۰/۰۰۰	۴۷/۵۷۹	۰/۳۳ (۰/۰۰)bc	۰/۲۵ (۰/۰۱)bc	۰/۲۲ (۰/۰۱)bc	۰/۴۳ (۰/۰۱)ab	۰/۳۲ (۰/۰۰)c	a۰/۳۷ (۰/۰۰)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۵۰/۸۵۶	۰/۳۳ (۰/۰۰)bc	۰/۲۶ (۰/۰۱)bc	۰/۲۴ (۰/۰۱)bc	۰/۴۴ (۰/۰۱)ab	۰/۳۲ (۰/۰۰)c	a۰/۳۵ (۰/۰۰)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۵۲/۱۹۴	۰/۳۱ (۰/۰۰)bc	۰/۲۴ (۰/۰۱)bc	۰/۲۱ (۰/۰۱)bc	۰/۴۱ (۰/۰۱)ab	۰/۳۱ (۰/۰۰)c	a۰/۳۴ (۰/۰۰)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۲۲	۳۲/۶۲	۱/۲۶ (۰/۰۵)ab	۱/۱۸ (۰/۰۳)bc	۱/۱۲ (۰/۰۲)bc	۱/۲۲ (۰/۰۵)ab	۱/۲۱ (۰/۰۳)bc	ab۱/۳۲ (۰/۰۵)	۰-۵	بهار	(میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم در یک روز)
۰/۰۰۹	۳/۹۸۹	۱/۲۳ (۰/۰۵)ab	۱/۱۴ (۰/۰۲)bc	۱/۰۱ (۰/۰۲)bc	۱/۲۹ (۰/۰۵)ab	۱/۱۷ (۰/۰۳)bc	۱/۲۹ (۰/۰۵)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۸	۲/۲۳۳	۱/۳۱ (۰/۰۸)ab	۱/۲۷ (۰/۰۴)ab	۱/۱۷ (۰/۰۵)bc	۱/۴۰ (۰/۰۶)ab	۱/۲۹ (۰/۰۴)ab	a۱/۴۰ (۰/۰۵)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۹	۲/۱۸۱	۱/۲۷ (۰/۰۸)ab	۱/۲۴ (۰/۰۳)ab	۱/۱۳ (۰/۰۴)bc	۱/۳۶ (۰/۰۶)ab	۱/۲۴ (۰/۰۴)ab	a۱/۳۶ (۰/۰۵)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۳	۵۰/۲۳	۱/۲۱ (۰/۰۴)ab	۱/۱۷ (۰/۰۲)bc	۱/۰۰ (۰/۰۰)bc	۱/۲۹ (۰/۰۳)ab	۱/۱۷ (۰/۰۲)bc	a۱/۲۸ (۰/۰۴)	۵-۱۰	پاییز	
۰/۰۰۷	۴/۲۵۵	۱/۱۶ (۰/۰۴)ab	۱/۱۳ (۰/۰۲)bc	۱/۰۸ (۰/۰۱)bc	۱/۲۴ (۰/۰۲)ab	۱/۱۳ (۰/۰۲)bc	۱/۲۳ (۰/۰۳)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۸/۱۲۵	۱/۱۱ (۰/۰۳)bc	۱/۱۰ (۰/۰۰)bc	۱/۰۴ (۰/۰۰)bc	۱/۲۱ (۰/۰۱)ab	۱/۱۱ (۰/۰۰)bc	a۱/۱۹ (۰/۰۳)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۱	۶/۰۴۳	۱/۰۸ (۰/۰۴)bc	۱/۰۷ (۰/۰۱)bc	۱/۰۲ (۰/۰۰)bc	۱/۱۷ (۰/۰۱)ab	۱/۰۸ (۰/۰۱)bc	a۱/۱۵ (۰/۰۲)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۸۶/۳۷۵	۳۳۵۰۰ (۹/۲۸)ab	۳۲۲/۸۰ (۱۳/۸۶)cd	۶۱۶/۲۰ (۷/۴۵)ab	۴۶۴/۲۰ (۱۰/۴۹)ab	۵۷۵/۰۰ (۹/۵۲)bc	a۶۱۶/۲۰ (۷/۴۵)	۰-۵	بهار	زی توده میکروبی کربن (میلی گرم بر کیلو گرم)
۰/۰۰۰	۷۶/۳۳۹	۲۹۰/۸۰ (۲۱/۳۱)cd	۲۸۸/۰۰ (۲۰/۱۸)cd	۵۶۵/۸۰ (۱۴/۷۰)ab	۴۲۱/۰۰ (۲/۰۴)bc	۵۲۰/۸۰ (۴/۴۵)bc	۵۶۵/۸۰ (۱۴/۷۰)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۸۶۰/۶۵	۳۴۹/۲۰ (۲۸/۰۶)cd	۳۴۵/۰۰ (۱۲/۰۰)cd	۶۳۱/۰۰ (۱۰/۰۶)cd	۴۷۴/۸۰ (۷/۶۹)cd	۵۸۱/۸۰ (۸/۲۵)bc	a۶۲۷/۴۰ (۶/۸۳)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۷۷/۹۴۸	۲۸۴/۴۰ (۲۲/۹۶)cd	۲۹۵/۲۰ (۲۲/۷۸)cd	۵۸۲/۰۰ (۱۲/۹۰)cd	۴۲۴/۲۰ (۲/۸۱)cd	۵۲۳/۸۰ (۲/۲۰)bc	۵۷۵/۴۰ (۱۳/۰۱)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۱۸۴/۲۹۲	۳۳۳/۰۰ (۹/۲۸)cd	۳۲۱/۸۰ (۱۳/۸۶)cd	۶۱۳/۸۰ (۷/۵۹)cd	۴۶۲/۲۰ (۱۰/۴۹)cd	۵۷۳/۰۰ (۹/۵۲)bc	a۶۱۳/۲۰ (۷/۴۵)	۰-۵	پاییز	
۰/۰۰۰	۷۶/۰۱۲	۲۸۸/۸۰ (۲۱/۳۱)cd	۲۸۷/۰۰ (۲۰/۱۸)cd	۵۶۲/۲۰ (۱۴/۳۸)cd	۴۱۹/۰۰ (۲/۰۴)bc	۵۱۸/۸۰ (۴/۴۵)bc	۵۶۲/۸۰ (۱۴/۷۰)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۴۳/۳۲۱	۳۰۰/۰۰ (۱۲/۱۰)cd	۲۹۵/۸۰ (۱۲/۰۴)cd	۵۴۸/۴۰ (۲۲/۸۸)cd	۳۹۷/۲۰ (۱۰/۵۴)cd	۴۸۶/۶۰ (۱۹/۴۹)cd	a۵۴۶/۲۰ (۲۲/۷۱)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۳۱/۸۱۵	۲۵۹/۴۰ (۱۶/۰۳)cd	۲۳۹/۶۰ (۲۲/۹۳)cd	۴۷۰/۶۰ (۲۰/۶۷)cd	۳۲۳/۸۰ (۷/۰۹)cd	۴۴۱/۲۰ (۲۱/۱۵)cd	a۴۷۰/۶۰ (۲۰/۶۷)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۴۳۲/۳۴۸	۶۴/۷۸ (۱/۲۹)bc	۳۳/۸۵ (۰/۲۴)bc	۳۷/۰۹ (۰/۷۶)d	۶۹/۹۴ (۰/۳۲)ab	۵۸/۷۳ (۰/۵۵)bc	b۶۶/۵۸ (۰/۸۲)	۰-۵	بهار	زی توده میکروبی نیتروژن (میلی گرم بر کیلو گرم)
۰/۰۰۰	۱۴۵/۶۲۴	۵۳/۷۲ (۱/۴۰)bc	۲۸/۰۷ (۰/۴۳)bc	۳۲/۴۴ (۱/۲۶)c	۵۸/۵۶ (۱/۳۶)ab	۵۰/۶۹ (۰/۳۳)bc	a۵۸/۰۹ (۱/۲۵)	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۴۰۲/۱۳۷	۶۵/۶۰ (۱/۲۷)bc	۳۵/۱۴ (۰/۲۹)bc	۳۸/۳۹ (۰/۷۵)cd	۷۰/۲۰ (۰/۳۳)bc	۵۸/۹۶ (۰/۶۰)bc	b۶۷/۳۸ (۰/۸۶)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۱۶۱/۴۷۷	۵۴/۷۵ (۱/۴۰)bc	۲۸/۶۹ (۰/۵۲)bc	۳۲/۲۹ (۱/۱۴)d	۵۸/۹۲ (۱/۲۸)ab	۵۱/۰۸ (۰/۵۲)bc	۵۸/۹۰ (۱/۱۳)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۳۴۴/۵۹۱	۶۳/۶۰ (۱/۲۵)bc	۳۱/۷۹ (۰/۶۱)bc	۳۵/۱۵ (۱/۱۲)d	۶۹/۶۰ (۰/۳۶)bc	۵۷/۶۲ (۰/۸۱)bc	b۶۵/۹۰ (۰/۶۴)	۰-۵	پاییز	
۰/۰۰۰	۱۶۷/۹۸۴	۵۳/۰۳ (۱/۲۹)bc	۲۶/۶۷ (۰/۴۸)bc	۳۰/۵۷ (۱/۱۷)d	۵۸/۲۳ (۱/۲۴)ab	۴۹/۷۵ (۰/۳۹)bc	۵۷/۴۳ (۱/۳۴)ab	۵-۱۰	تابستان	
۰/۰۰۰	۳۵/۶۹۶	۶۲/۳۷ (۱/۱۲)bc	۳۰/۵۱ (۰/۶۳)cd	۳۴/۲۴ (۱/۲۴)cd	۶۷/۷۱ (۰/۵۰)cd	۵۶/۲۱ (۰/۷۰)cd	b۶۴/۹۷ (۰/۷۳)	۰-۵	بهار	
۰/۰۰۰	۲۴/۶۲۶	۵۲/۰۲ (۰/۹۹)bc	۲۵/۱۴ (۰/۴۶)bc	۲۸/۲۷ (۰/۹۶)d	۵۶/۵۴ (۱/۱۰)cd	۴۸/۷۹ (۰/۶۰)bc	a۵۷/۰۲ (۱/۱۵)	۵-۱۰	تابستان	

حروف متفاوت در داخل پرانتز بیانگر وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار ($p < 0.01$) در بین کاربری‌ها (در هر سطر) می‌باشد.

حروف متفاوت در داخل پرانتز بیانگر وجود تفاوت‌های آماری معنی‌دار ($p < 0.05$ یا $p < 0.01$) در بین کاربری‌ها (در هر سطر) می‌باشد.

بحث

مشخصه های بیوشیمی و میکروبی خاک

پژوهش های پیشین (Yang *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014) اشاره داشتند که میزان نیترات و آمونیوم خاک با تغییرات در پوشش زمین مرتبط هستند. غلظت نیترات و آمونیوم به ترتیب در تابستان، بهار، پاییز و زمستان بالا بوده است. غلظت نیترات و آمونیوم در کاربری توسکا و جنگل طبیعی بیشترین و در کاربری آیش و سکویا کمترین مقدار بوده است. به طور کلی آبتشویی آمونیوم تحت کاربری های آیش و سکویا بالاست چرا که نسبت به کاربری های توسکا و جنگل طبیعی فرآیند تثبیت غیرزیستی یا رقابت های میکروبی تحت این کاربری ها ضعیف عمل می کند (Frey *et al.*, 2004). مطابق با نتایج این تحقیق، (Li *et al.*, 2014) در پژوهش خود بیان کردند غلظت بیشتر نیترات در خاک جنگل طبیعی و جنگل کاری های پهن برگ به دلیل حضور گونه های توسکا و ممرز می باشد که دارای برگ هایی با C/N پایین، pH و کلسیم بالا می باشد. تبدیل کاربری های طبیعی پهن برگ به جنگل کاری سوزنی برگ و زراعی باعث کاهش فرایندهای بیوشیمیایی آمونیوم می شود (Wang and Dalal, 2006). در مقایسه با انواع جنگل کاری و کاربری، آبتشویی بیشتر آمونیوم از جنگل کاری سوزنی برگ و آیش، ممکن است به عنوان یک نتیجه از تثبیت بیشتر یا رقابت میکروبی در کاربری های پهن برگ و جنگل طبیعی باشد (Frey *et al.*, 2004). پاسخ تنفس پایه خاک به کاربری ها و فصول در مناطق معتدله ثابت نیست و نتایج متفاوت بدست آمده نشان می دهد که اثر این دو پارامتر بر روی تنفس خاک پیچیده است (Yang *et al.*, 2010). میزان تنفس خاک در کاربری های جنگلی توسط عوامل متعددی از جمله میزان رطوبت، دما، محتوای نیتروژن خاک، کیفیت لاشبرگ، محتوای ماده آلی خاک، توسعه کاربری و شیوه های مدیریت آن تحت تأثیر قرار می گیرد (Yang *et al.*, 2010). مقادیر متفاوت تنفس خاک در این مطالعه نشان می دهد که کیفیت سوبسترا و مواد هومیکی تحت پوشش های مختلف، متفاوت است (Sing *et al.*, 2007). تنفس پایه خاک در کاربری های توسکا، جنگل طبیعی و فصول تابستان و بهار بیشترین و در کاربری های مخروطی، سکویا، آیش و فصول پاییز و زمستان کمترین مقدار بوده است. کیفیت لاشبرگ از عوامل مهم تأثیرگذار بر میزان تنفس خاک است. در همین راستا (Ayres *et al.*, 2009) در مطالعه خود نشان دادند که نرخ تجزیه و تنفس خاک با کیفیت لاشبرگ همبستگی مثبت دارد، بنابراین کیفیت بالاتر لاشبرگ در کاربری های توسکا و جنگل طبیعی ممرز- انجیلی موجب بهبود نرخ تنفس خاک

می گردد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر (Sing *et al.*, 2007) در مطالعه خود دریافتند که در یک جنگل آمیخته در شمال هند تنفس خاک در زیر درختان پهن برگ بیشتر از سوزنی برگان می باشد. میزان بالاتر تنفس خاک در کاربری های توسکا، جنگل طبیعی ممرز- انجیلی و فصول تابستان و بهار به دلیل افزایش محتوای مواد غذایی خاک (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) است که این عوامل باعث تحریک فعالیت میکروبی می شوند که به نوبه خود موجب افزایش تنفس خاک می گردد (Grandy and Robertson, 2007). تنفس برانگیخته به ترتیب در کاربری های توسکا، طبیعی و اگر وفارستری در فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار بوده است. مرور منابع حاکی از آن است که pH خاک و تغییرات آن از عوامل موثر بر میزان تنفس برانگیخته است (Gutiérrez-Girón *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2008). به طوری که (Anderson and Baath, 2003) در مطالعه خود در اکوسیستم جنگلی گزارش کردند که pH خاک با میزان تنفس برانگیخته همبستگی مثبت دارد. میزان pH و مواد غذایی بیشتر (به ویژه فسفر) در خاک باعث می شود که تنفس برانگیخته آن بیشتر باشد. خصوصیات عملکردی جامعه میکروبی مانند تنفس میکروبی و برانگیخته قابل پیش بینی تر از خصوصیات ساختاری هستند و به طور مستقیم با ویژگی های فیزیکی بیوشیمیایی خاک مانند دما، آب و سوبسترای در دسترس مرتبط هستند (Wang and Dalal, 2006). جنگل کاری سوزنی برگ به دلیل دارا بودن لاشبرگ هایی با میزان لیگنین و C/N بالا و در نتیجه میزان کمتر ماده آلی قابل تجزیه، میزان تنفس برانگیخته کمتری دارد (Neher *et al.*, 2005).

نتایج این تحقیق نشان داد که نوع کاربری تأثیر عمیقی بر روی زی توده میکروبی کربن و نیتروژن دارد. میزان زی توده میکروبی کربن بر طبق نتایج این تحقیق در کاربری های جنگل طبیعی و سکویا و فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار و در کاربری های آیش و اگر وفارستری مرتع کمترین مقدار است. نتایج تحقیق (Frazao *et al.*, 2010) نشان داده است که درصد شن در تعیین زی توده خاک و میزان فعالیت میکروبی نقش دارد. میزان شن در کاربری آیش به طور معنی دار از سایر کاربری ها بیش تر بوده است (جدول ۱). از آنجایی که خاک های شنی به شستشو حساس هستند، احتمالاً در اثر شستشوی سریع مواد آلی زی توده میکروبی کاهش یافته است. بنابراین یکی از دلایل کاهش زی توده میکروبی کربن در کاربری آیش می تواند خاک های با میزان شن بیشتر و کربن آلی کمتر باشد. از طرفی تفاوت در زی توده میکروبی کربن در کاربری های اراضی را می توان به عوامل مختلف

از جمله متغیر بودن منابع قابل دسترس برای ریزجانداران و کاهش تعداد و جمعیت آنها در درازمدت تحت تأثیر کاهش ورود بقایای آلی بر اثر برداشت محصول، آشفستگی خاک و نامساعد شدن شرایط زیستی برای ریزجانداران بوسیله اعمال خاکورزی و تردد ماشین‌آلات و تغییر شرایط غیرزنده و کیفیت سوبسترا در خاک به دلیل تغییر کاربری و پوشش اراضی نسبت داد (Grandy and Robertson, 2007). در این رابطه (Cross and Perakis, 2010) نیز مشاهده نمودند، توده زنده میکروبی در جنگل طبیعی بیشتر از آیش بود. یکی از دلایل افزایش کربن توده زنده میکروبی وجود کربن آلی خاک می‌باشد (Karami et al., 2014). هم‌چنین (Yang et al., 2010) دما را بعنوان یک عامل اثرگذار در میزان زی توده میکروبی عنوان کردند. در این تحقیق فعالیت میکروارگانیزم‌ها در فصول پاییز و زمستان کاهش یافته است که بیانگر این موضوع است که میزان زی توده میکروبی در فصول مختلف به دلیل اختلاف دما، رطوبت، پوشش و فعالیت ریشه گیاهان تغییرپذیر است. میزان زی توده میکروبی نیتروژن بالاتر در کاربری توسکا در مقایسه با سایر کاربری‌ها، بیانگر این است که پوشش‌های مختلف بر روی جامعه میکروبی خاک اثر می‌گذارند. این به دلیل مقدار بیشتر منابع نیتروژن دار از طریق تولید لاشبرگ و محصولات زیرزمینی در کاربری توسکا و سپس جنگل طبیعی است (Sing et al., 2007). هم‌چنین زی توده میکروبی کربن و نیتروژن در عمق اول همه کاربری‌ها بطور معنی‌دار بیشتر از عمق دوم بود. کاهش زی توده میکروبی کربن و نیتروژن با افزایش عمق به دلیل فعالیت و جمعیت بیشتر ریزجانداران در لایه سطحی خاک دور از انتظار نیست (Sing et al., 2007).

فعالیت آنزیمی خاک

بطور کلی به دلیل اینکه فعالیت آنزیم‌ها نقش مهم در واکنش‌های بیوشیمیایی کلیدی و تغییر شکل عناصر در خاک‌ها دارند، بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش فعالیت آنزیمی بر اثر تخریب و تغییر کاربری باعث کاهش کیفیت خاک گردد. (Tabatabai et al., 2003). تبدیل زمین‌های جنگلی به زراعی و زیرکشت، فعالیت آنزیم‌ها را در هر دو لایه خاک کاهش می‌دهد. کاهش فعالیت اوره‌آز در این مناطق را می‌توان به کاهش ترشحات ریشه ناشی از برداشت یا نبود محصول و کم شدن فعالیت ریز جانداران خاکزی ناشی از کاهش بقایای آلی اضافه شده به خاک نسبت داد. بر اثر کاهش بقایای آلی، آزاد شدن این آنزیم از منابع گیاهی از یک طرف و از طرف دیگر جمعیت و فعالیت ریزجانداران خاکزی نیز بر اثر کاهش بقایای آلی و در نتیجه تولید و ترشح این آنزیم کاهش می‌یابد (Wang et al.,

2013). در همین راستا (Xiong et al., 2014) در مطالعه خود گزارش کردند که فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک تحت توده‌های جنگلی پهن‌برگ بیشتر از توده‌های جنگلی سوزنی‌برگ است. الگوهای متفاوت فعالیت آنزیم‌ها در کاربری‌ها، حاکی از آن است که آنزیم‌های خاک پاسخ‌های متفاوتی نسبت به پوشش‌های مختلف نشان می‌دهند (Wang et al., 2013). فعالیت آنزیم اوره‌آز در جنگل پهن‌برگ آمیخته به طور معنی‌داری بیشتر از جنگل کاری‌های خالص بود. این نتیجه نشان می‌دهد که جنگل طبیعی پهن‌برگ در مقایسه با دیگر جنگل کاری‌های خالص، اثر بیشتری در تسریع فعالیت آنزیم اوره‌آز و بهبود شرایط نیتروژن در خاک دارد (Page and Cameron, 2006). مقادیر بالاتر pH، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، مواد غذایی در دسترس، میزان کمتر کربن آلی و نسبت C/N خاک (Wang et al., 2013)، باعث بهبود فعالیت آنزیم اوره‌آز در کاربری‌های توسکا و جنگل طبیعی در مقایسه با سایر کاربری‌ها بوده است که هم‌راستا با پژوهش (Wang et al., 2013) و (Wei et al., 2008) می‌باشد. فعالیت آنزیم فسفاتاز در بین کاربری‌های مختلف به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد و هم‌چنین به تبدیل جنگل همراه با تغییر گونه‌های درختی پاسخ متفاوتی نشان دادند که مطابق با یافته‌های (Wang et al., 2013) است. در تایید نتایج حاصل از این پژوهش، (Wei et al., 2008) اشاره کردند که فعالیت آنزیم فسفاتاز به ترتیب در جنگل طبیعی پهن‌برگ < جنگل کاری پهن‌برگ < جنگل کاری سوزنی‌برگ می‌باشد. تفاوت فعالیت آنزیم فسفاتاز در بین کاربری‌های مختلف، به دلیل متفاوت بودن مواد غذایی در دسترس خاک ناشی از گونه‌های درختی مختلف و هم‌چنین شرایط بهتر کاربری طبیعی و جنگل کاری توسکا در مقایسه با سایر کاربری‌ها می‌باشد (Chase and Singh, 2014). فعالیت پایین آنزیم سولفاتاز در کاربری‌های سوزنی‌برگ به pH پایین خاک مربوط می‌شود (Wang et al., 2013). در همین راستا (Xiong et al., 2014) مطالعه خود دریافته‌اند که اسیدی شدن خاک عامل اصلی کاهش فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز در اکوسیستم‌های جنگلی است. فعالیت بیشتر آنزیم اینورتاز در کاربری پهن‌برگ با گونه توسکا، به دلیل تجزیه سریع و آسان لاشبرگ این گونه و تسریع چرخه نیتروژن است (Acosta-Martínez et al., 2003). در تایید نتایج حاصل از این پژوهش، (Zeng et al., 2009) دریافته‌اند که فعالیت آنزیم اینورتاز در جنگل کاری کاج کمتر از جنگل کاری‌های پهن‌برگ می‌باشد. مقادیر بالای pH خاک و حاصل‌خیزی (Grant et al., 2007) در کاربری توسکا موجب بهبود فعالیت آنزیم اینورتاز می‌شود.

نتیجه گیری

در فصول تابستان، بهار و لایه سطحی خاک بوده است. حفظ و نگهداری جنگل های طبیعی جهت افزایش حاصل خیزی خاک و مدیریت طرح های جنگلداری به منظور احیاء کاربری های تخریب شده ضروری می باشد. در خصوص اولویت بندی انتخاب گونه جهت احیای مناطق تخریب یافته بخش جلگه ای شمال کشور، با توجه به ارزیابی صورت گرفته در بین کاربری ها بعد از جنگل طبیعی، گونه درختی توسکا می تواند به عنوان گونه مناسب جهت جنگل کاری در کاربری هایی با شرایط مشابه مورد توجه باشد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کاربری های مختلف شامل جنگل طبیعی ممرز- انجیلی، جنگل مخروطه، جنگل کاری توسکا، جنگل کاری سکویا، آیش و اگر وفارستری اثرات متفاوتی بر فعالیت میکروبی و آنزیمی خاک دارد. همچنین نتایج تأثیر فصل های مختلف بر میزان فعالیت های زیستی، میکروبی و بیوشیمی خاک نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم ها و تنفس میکروبی

REFERENCES

- Acosta-Martínez, V., Klose, S., and Zobeck, T. M. (2003). Enzyme activities in semiarid soils under conservation reserve program, native rangeland, and cropland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166 (4), 699-707.
- Alef, K., 1995. Estimating of soil respiration. In: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.), *Methods in Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, New York, pp. 464-470.
- Alef, K., Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London.
- Anderson, T.-H. and Baath, E. (2003). Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 955-963.
- Anderson, T.-H. and Domsch, K.H. (1989). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry* 21, 471e479.
- Ayres, E., Steltzer, H., Berg, S., Wallenstein, M. D., Simmons, B. L., and Wall, D. H. (2009). Tree species traits influence soil physical, chemical, and biological properties in High Elevation forests. *Plos One*, 4(6): e5964.
- Beheshti A., Raiesi F. and Golchin A. (2012). Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 148(1), 121-133.
- Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., and Jenkinson, D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(1), 837-842.
- Chaer, G., Fernandes, M., Myrold, D., and Bottomley, P. (2009). Comparative resistance and resilience of soil microbial communities and enzyme activities in adjacent native forest and agricultural soils. *Microbial Ecology*, 58(2), 414-424.
- Chase P., and Singh O. P (2014). Soil nutrients and fertility in three traditional land use systems of Khonoma. Nagaland. *Resources and Environment*, 4 (2), 181-189.
- Chodak M., and Niklinska M. (2010). effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils. *Biology and fertility of soils*, 46(1), 555-566.
- Cross, A., and Perakis, S. (2010). Tree species and soil nutrient profiles in old-growth forests of the Oregon Coast Range. *Canadian Journal of Forest Research*, 41 (1), 195-210.
- Da Silva, D. K. A., de Oliveira Freitas, N., de Souza, R. G., da Silva, F. S. B., de Araujo, A. S. F. and Maia, L. C. (2012). Soil Microbial Biomass and Activity under Natural and Regenerated Forests and Conventional Sugarcane Plantations in Brazil. *Geoderma*, 189(1), 257-261.
- Deng, Q., Cheng, X., Hui, D., Zhang, Q., Li, M., and Zhang, Q. (2016). Soil microbial community and its interaction with soil carbon and nitrogen dynamics following afforestation in Central China. *Science of the Total Environment*, 541(9), 230-237.
- Frazao, L.A., Piccolo, M.C. and Feigl, B.J. (2010). Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy brazilian cerrado soil under different land uses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135(1), 161-167.
- Frey, S. D., Knorr, M., Parrent, J. L., and Simpson, R. T. (2004). Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management*, 196 (2), 159-171.
- Gamboa, A., and Galicia L. (2012). Land-use/cover change effects and carbon controls on volcanic soil profiles in highland temperate Forests. *Geoderma*, 170 (4), 390-402.
- Ghazan Shahy, C. (2006). *Analysis of soil and plants*. Homa Publication, 272 p.
- Grandy, A. S. and Robertson, G. P. (2007). Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. *Ecosystems*, 10 (1), 59-74.
- Grant C.D., Ward S.C. and Morley S.C. (2007). Return of ecosystem function to restored bauxite mines in Western Australia. *Restoration Ecology*, 15 (3), 94-103.
- Gutiérrez-Girón A., Díaz-Pinés, E., Rubio, A. and Gavilán, R. (2015). Both altitude and vegetation affect temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in Mediterranean high

- mountain soils. *Geoderma*, 8(1), 237-247.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K. and Nihlgård, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195 (3), 373-384.
- Karami, P., Hosseini, S. M., Rahmani, A., Kooch, Y. and Mokhtari, J. (2014). The effects of pure and mixed plantations of Alder (*Alnus subcordata* C.A. Mey) and Poplar (*Populus deltoides* Marsh.) on earthworm abundance and biomass. *Environmental Engineering Research*, 3(1), 7-14.
- Khademi, H., mohammadi, J. and Nael, M. (2006). Comparison of Selected Soil Quality Indicators in Different Land Use Management Systems in Boroojen, Chaharmahal Bakhtiari province. *The Scientific Journal of Agriculture*, 29 (3), 111-124.
- Kooch, Y. and Parsapoor, M.K. (2016). The effects of broad and needle-leaved forest covers on soil microbial indices. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 23(2), 195-210.
- Lagomarsino A., Benedetti A., Marinari S., Pompili L., Moscatelli M. C., Roggero P. P., Lai R., Ledda L., and Grego S. (2011). Soil organic C variability and microbial functions in a Mediterranean agro-forest ecosystem. *Biology and Fertility Soils*, 47(3), 283-291.
- Lasota, E and Błońska, J. (2014). Biological and biochemical properties in evaluation of forest soil quality. *Folia Forestalia Polonica*, 56(1), 23-29.
- Li, M., Zhou, X., Zhang, Q. and Cheng, X., 2014. Consequences of Afforestation for Soil Nitrogen Dynamics in Central China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 183 (4), 40-46.
- Liu, X. R., Dong, Y. S., Ren, J. Q. and Li, S. G. (2010). Drivers of soil net nitrogen mineralization in the temperate grasslands in inner Mongolia, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 87 (1), 59-69.
- Marohn, C., Jahn, R., Martin, K. and Sauerborn, J. (2005). Assessment of soil microbial activity measurements to distinguish land uses in Leyte, Philippines. *Stuttgart-Hohenheim*, 11-13.
- Moghimiyan, N., 2018. Ecological Potential Assessment of Forest and non-Forest Land Using Soil Ecochemical Indices and Cyanobacter Diversity. Phd thesis of Forestry, Tarbiat Modares University, 175 p.
- Moscatelli, M. C., Lagomarsino, A., De Angelis, P. and Grego, S. (2005). Seasonality of Soil Biological Properties in a Poplar Plantation Growing under Elevated Atmospheric CO₂. *Applied Soil Ecology*, 30(3), 162-173.
- Neher, D. A., Wu, J., Barbercheck, M. E. and Anas, O. (2005). Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, 30(1), 47-64.
- Nunes, A., Figueiredo, A. and Almeida A. C. (2012). The effects of farmland abandonment and plant succession on soil properties and erosion processes (a Study Case in Central of Portugal). *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 2 (2), 165-190.
- Page, L. M. and Cameron, A. D. (2006). Regeneration dynamics of Sitka spruce in artificially created forest gaps. *Forest Ecology and Management*, 221(1), 260-266.
- Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121 (4), 309-318.
- Sing, R. S., Tripathi, N. and Singh, S. K. (2007). Impact of degradation on nitrogen transformation in a forest Ecosystem of India. *Environment Monitoring Assessment*, 125 (1), 165-173.
- Song Y., Song C., Yang G., Miao Y., Wang J. and Guo, Y. (2012). Changes in labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after marshland reclamation and restoration in the Sanjiang Plain in Northeast China. *Environment Management*, 50(3), 418-426.
- Sparling, G.P., Feltman, C.W., Reynolds, J., West, A.W. and Singleton, P., (1990). Estimation of soil microbial C by fumigation – extraction method: use on soils of high organic matter content, and reassessment of the kEC factor. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(1), 301-307.
- Tabatabai, M. A. (2003). Enzymes: past, present and future. Second international conference on enzyme in the environment: Activity, Ecology and Application. Prague, Czech Republic 14-17.
- Trasar-Cepeda, C., Leiros, M. C., and Gil-Stores, F. (2008). Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2146-2155.
- Wang, B., Xue, S., Liu, G. B., Zhang, G. H., Li, G., and Ren, Z. P. (2012). Changes in soil nutrient and enzyme activities under different vegetations in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena*, 92(3), 186-195.
- Wang, Q., Xiao, F., He, T. and Wang, S. (2013). Responses of labile soil organic carbon and enzyme activity in mineral soils to forest conversion in the Subtropics. *Annals of Forest Science*, 70 (6), 579-587.
- Wang, W. J. and Dalal, R. C. (2006). Carbon inventory for a cereal cropping system under contrasting tillage. Nitrogen fertilization and stubble management practices. *Soil and Tillage Research*, 91 (1), 68-74.
- Weand, M. P., Arthur, M. A., Lovett, G. M., McCulley, R. L. and Weathers, K.C. (2010). Effects of tree species and N additions on forest floor microbial communities and extracellular enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (12), 2161-2173.
- Wei, G., Tingxing, H., Jingyan, W., Yuanbo, G. and Hua, R. (2008). Soil carbon pool and fertility under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 28(6), 2536-2545.

- Worku G., Bantider A., and Temesgen H. (2014). Effects of land use/land cover change on some soil physical and chemical properties in Ameleke micro-Watershed, Gedeo and Borena Zones, South Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(11), 78-89.
- Xiong, Y., Zeng, H., Xia, H. and Guo, D. (2014). Interactions between leaf litter and soil organic matter on carbon and nitrogen mineralization in six forest litter-soil systems. *Plant and Soil*, 379 (1-2), 217-229.
- Yadava, R. (2012). Soil organic carbon and soil microbial biomass as affected by restoration measures after 26 years of restoration in mined areas of Doon Valley. *International Journal of Environmental Sciences*, 2 (3), 1380-1385.
- Yang, K., Zhu, J. J., Yan, Q. L. and Sun, O. J. (2010). Changes in soil P chemistry as affected by conversion of natural secondary forests to Larch Plantations. *Forest Ecology and Management*, 260 (3), 422-428.
- Zeng, D. H., Hu, Y. L., Chang, S. X. and Fan, Z. P. (2009). Land cover change effects on soil chemical and biological properties after planting mongolian pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) in Sandy Lands in Keerqin, Northeastern China. *Plant and Soil*, 317 (1-2), 121-133.