DOI: 10.22059/ijswr.2020.290998.668357 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۴، تیرماه ۱۳۹۹ (ص ۱۰۶۸-۱۰۵۵)

Effect of Land Use Change and Land Reclamation on Some Qualitative Characteristics and Activity of Some Enzymes in the Soil

ZAHRA VARASTEH KHANLARI[1*], AHMAD GOLCHIN[2], SEYED ABDOLLAH MUSAVI KUPAR[3]

1- Department of Soil Science. College of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran.
2- Department of Soil Science. College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.
3- Research center of Agriculture and Natural Resources of Gilan province (AREEC), Rasht, Iran.
(Received: Nov. 23, 2019- Revised: Dec. 27, 2019- Accepted: Jan. 11, 2020)

ABSTRACT

In this study, the effects of land use change (conversion of natural forest to paddy fields) and regeneration of deforested land on some qualitative and enzymatic properties of the soil were investigated. For this study, Populus Research Station in Guilan province, Astana Ashrafieh city was selected. Soil samples were collected from 5 land uses (natural forest, populus, Alnus and Taxodium and paddy forests) and two depths (0-20 and 20-40 cm). The data were analyzed as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The factors included land use type at five levels and soil depth at two levels that were studied in three replications. Therefore, the number of treatments were 5 * 2 = 10, totally 30 units accounting replications. In total, there were 30 samples of disturbed soil and 30 samples of undisturbed soil that constituted the statistical data of the experiment. Some physical, chemical and biological properties of the samples were measured. The results showed that the mean weight diameter (75%), saturated hydraulic conductivity (95%), water repellency (53%), organic carbon (52%), total nitrogen (52%) and microbial biomass carbon (53%) in the natural forest were higher than the ones in the paddy field. Also, the activity of urease and arylsulfatase in the paddy soil was significantly lower than the one in the natural forest soil. However, the activity of dehydrogenase in the paddy soil was higher than the one in natural forest soil, indicating oxygen availability and moisture affect the activity of dehydrogenase and its activity increases as the soil moisture increases. Reclamation of some deforested lands by hand planted forest showed that Populus vegetation was more effective than the other vegetation covers in increasing aggregate stability, hydraulic conductivity, and microbial biomass carbon. While Taxodium cover increased the activities of urease, arylsulfatase and acid phosphatase more than the ones in other vegetation covers. The specific activity of enzymes (enzyme activity per unit of organic carbon), in dehydrogenase was significantly higher in the paddy soil than in the soil under natural forest. This indicates that the activity of this enzyme is independent of soil organic carbon changes and is dependent on soil moisture. Overall, it can be concluded that, in comparison with the qualitative and enzymatic activity, Taxodium coating improved these properties better than populus and Alnus coating.

Keywords: deforestation, soil enzymes, land use change, microbial biomass carbon, soil quality

* Corresponding Author's Email: z.khanlari93@gmail.com

تاثیر تغییر کاربری و احیای اراضی تخریب‌شده روی برخی از ویژگی‌های کیفی و فعالیت تعدادی آنزیم در خاک

زهرا وارسته خانلری[1*]، احمد گلچین[2]، سید عبدالله موسوی کوپر [3]

۱.گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۳. بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱)

چکیده

در این مطالعه تاثیر تغییر کاربری اراضی (تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار) و احیای اراضی تخریب شده بر برخی ویژگی‌های کیفی و آنزیمی خاک مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این پژوهش ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در استان گیلان شهرستان آستانه اشرفیه انتخاب شد. نمونه‌های خاک از ۵ کاربری (جنگل طبیعی، جنگل‌های دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب و شالیزار) و از دو عمق (۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری شدند. داده‌های این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع کاربری اراضی در پنج سطح و عمق خاک در دو سطح بود که در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. لذا تعداد تیمارهای آزمایش ۱۰=۲×۵ عدد که با لحاظ نمودن تعداد تکرارها در مجموع ۳۰ واحد آزمایشی بود. در مجموع ۳۰ نمونه خاک دست خورده و ۳۰ نمونه خاک دست نخورده وجود داشت که جامعه آماری آزمایش را تشکیل می‌داد. در نمونه‌ها برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانه (۷۵ درصد)، هدایت هیدرولیکی اشباع (۹۵ درصد)، خاصیت آبگریزی (۵۳ درصد)، کربن آلی (۵۲ درصد)، نیتروژن کل (۵۲ درصد) و کربن زیست‌توده میکروبی (۵۳ درصد) در جنگل طبیعی بیشتر از شالیزار بود. همچنین فعالیت آنزیم اوره‌آز و آریل‌سولفاتاز به طور معنی‌داری در خاک شالیزار نسبت به جنگل طبیعی کمتر بود. ولی برعکس، فعالیت آنزیم دهیدروژناز در خاک شالیزار بیشتر از خاک جنگل طبیعی بود و این نشان می‌دهد که در دسترس بودن اکسیژن و رطوبت بر فعالیت دهیدروژناز اثر می‌گذارد و با افزایش رطوبت خاک، فعالیت آن افزایش می‌یابد. احیای برخی از اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل دست کاشت نشان داد پوشش گیاهی صنوبر موثرتر از پوشش‌های گیاهی دیگر در افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع و کربن زیست‌توده میکروبی بود. در حالیکه تاثیر پوشش دارتالاب در افزایش خاصیت آب گریزی، کربن آلی و فعالیت آنزیم اوره‌آز و آریل‌سولفاتاز بیش از پوشش‌های گیاهی دیگر بود. فعالیت ویژه آنزیم (فعالیت آنزیم در واحد کربن آلی) در دهیدروژناز در شالیزار به طور معنی‌داری بیشتر از جنگل طبیعی بود که این نشان‌دهنده آن است که فعالیت این آنزیم مستقل از تغییرات کربن آلی خاک بوده و به رطوبت خاک وابسته است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در مقایسه با ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنزیمی، پوشش‌دارتالاب بهتر از پوشش صنوبر و توسکا این ویژگی‌ها را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: احیای اراضی تخریب‌شده، آنزیم‌های خاک، تغییر کاربری، کربن زیست‌توده میکروبی، کیفیت خاک.

مقدمه

تغییر کاربری زمین یکی از دلایل اصلی اختلالات زیست محیطی جهان است که به شدت به تغییرات آب و هوایی، از دست رفتن وظایف اکوسیستم‌ها و نابودی گونه‌ها کمک می‌کند (Turner *et al.*, 2007). تبدیل اکوسیستم‌های طبیعی به زمین‌های زراعی یکی از شکل‌های عمده تغییر کاربری اراضی است (Lambin and Meyfroidt, 2011). تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی موجب از بین رفتن موادآلی خاک (Lagomarsino *et al.*, 2011) و تغییر زیست‌توده میکروبی و فعالیت آن‌ها شده که در نهایت تغییر کیفیت خاک را به‌همراه دارد (Schloter *et al.*, 2003).

تغییر کاربری در ایران مانند سایر نقاط جهان به‌ویژه در قرن اخیر موجب کاهش کیفیت خاک شده است (Golchin and Asgari, 2008). در گذشته نواحی جنگلی در شمال ایران حدود ۳/۴ میلیون هکتار بوده که در اثر تغییر کاربری و کشت و کار این رقم به ۱/۹ میلیون هکتار کاهش یافته است (Amirnejad *et al.*, 2006). امروزه قسمتی از جنگل‌های تخریب شده در ایران مجدداً

* نویسنده مسئول: z.khanlari93@gmail.com

جنگل‌کاری شده‌اند. جنگل‌های دست‌کاشت به‌صورت یک چشم انداز رایج در سرتاسر جهان هستند (Kooch *et al*., 2012) که علاوه بر تولید الوار و محصولات کشاورزی، موجب افزایش حاصلخیزی خاک، حفظ آب و ذخیره کربن و نیتروژن در خاک می‌شوند (Humpenoder *et al*., 2014). مطالعات اخیر در شمال ایران نشان داده که حدود ۲۰۰۰۰۰ هکتار از اراضی تخریب شده مجدداً جنگل‌کاری شده‌اند که حدود ۴۰۰۰۰ هکتار از این اراضی زیر کشت گونه‌های مختلف سوزنی برگان رفته است (Kooch and Zoghi, 2014) اما تخریب اراضی جنگلی هنوز ادامه دارد درحالی‌که احیای آن‌ها به کندی صورت می‌پذیرد.

تغییر کاربری و احیای مجدد این اراضی می‌تواند به‌صورت تغییر در ویژگی‌های بیوشیمیایی و میکروبی خاک منعکس گردد (An *et al*., 2008). ویژگی‌های میکروبی و بیوشیمیایی خاک به‌عنوان شاخص‌های کیفیت خاک در هر دو سیستم طبیعی تخریب شده و مجدداً احیا گردیده، پیشنهاد شده‌اند (Mganga *et al*., 2016) علت این امر نقش مرکزی میکروارگانیسم‌ها در چرخه C، N و مواد مغذی و حساسیت آن‌ها به تغییرات در شرایط خاک است (Nannipieri *et al*., 2003). فعالیت آنزیمی خاک به‌طور متداول به‌عنوان شاخص باروری و کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (Trasar-Cepeda *et al*., 2008). این پارامتر اطلاعات جامعی درباره فرایندهای بیوشیمیایی در خاک را فراهم می‌کند (Dick, 1997). به ویژه، فعالیت آنزیم‌ها به دلیل پاسخ سریع آن‌ها به تغییرات محیط خاک، قابل توجه بوده و اندازه‌گیری آن سریع و آسان می‌باشد. به اهمیت مطالعه فعالیت آنزیم‌های خاک بارها و بارها در مقالات مختلف (Cardoso *et al*., 2013؛ Kalembasa and Symanowicz, 2012) اشاره گردیده است. عقیده بر این است که افزایش یا کاهش فعالیت آنزیم‌ها به‌طور جداگانه یا در کل می‌تواند به‌عنوان پارامتری برای تشخیص باروری خاک و فعالیت بیولوژیکی، شاخص آلودگی با فلزات سنگین یا مواد نفتی یا شاخص متاثر شدن از فعالیت‌های شهرنشینی استفاده گردد (Zabelina, 2014).

رابطه آنزیم‌ها با ویژگی‌های بیولوژیکی خاک، سهولت اندازه‌گیری و عکس‌العمل سریع آن‌ها به تغییر مدیریت خاک باعث شده است تا آنزیم‌های خاک به‌عنوان شاخص بالقوه برای ارزیابی کیفیت خاک به‌کار گرفته شوند. میکروارگانیسم‌ها منبع اصلی آنزیم‌ها در خاک هستند و می‌توانند واکنش‌های مختلف و فرایندهای متابولیکی خاک مانند تجزیه موادآلی، چرخه موادمغذی و استحکام ساختمان خاک را تسریع نمایند (Wang *et al*., 2011a). آنزیم‌های خاک تغییر و تحول کربن، نیتروژن، فسفر، گوگرد و سایر عناصر را هدایت می‌کنند و تا حدودی منعکس‌کننده امکان بهره‌برداری محصول از عناصر غذایی خاک می‌باشند (Van der Heijden *et al*., 2008; Yao and Huang, 2006) نوع استفاده از زمین بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محیط و به تبع آن بر وضعیت کل آنزیم‌های خاک تاثیر می‌گذارد. Padel *et al*., (2016) اثرات کاربری اراضی و پوشش زمین بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنزیمی خاک را مطالعه نمودند. در این تحقیق، ویژگی‌های چهار پدون مختلف که در سه نوع کاربری جنگل طبیعی، مرتع و مزارع کشت شده قرار داشتند، مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های مورد بررسی شامل برخی آنزیم‌های برون سلولی، مواد آلی، واکنش خاک، شوری خاک، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل کل، آهک، هدایت هیدرولیکی و پایداری خاک‌دانه بودند. نوع کاربری و عملیات خاک‌ورزی متوالی منجر به کاهش معنی‌دار ماده‌آلی، تخلخل کل، نیتروژن کل و پایداری خاک‌دانه‌ها و افزایش وزن مخصوص ظاهری شده، همچنین تغییر مقدار ماده‌آلی، تغییر در فعالیت‌های آنزیمی در داخل پروفیل خاک را به‌دنبال داشته است.

مطالعات اندکی روی تغییر ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنزیمی در اراضی جنگل طبیعی تخریب شده و تغییر این پارامترها پس از احیای برخی از این جنگل‌های مخروبه به وسیله جنگل‌های دست‌کاشت انجام شده است. بنابراین هدف از این تحقیق اولاً تغییر ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنزیمی در اراضی جنگل طبیعی تخریب شده و تغییر این پارامترها پس از احیای برخی از این جنگل‌های مخروبه به‌وسیله جنگل‌های دست‌کاشت و ثانیاً ارتباط بین از دست رفتن ماده‌آلی و کاهش فعالیت آنزیمی بعد از تخریب اراضی جنگلی و مطالعه تغییر این ارتباط بعد از احیای برخی از جنگل‌های مخروبه در شمال ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور بررسی تاثیر عمق و نوع کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنزیمی خاک، ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در آستانه اشرفیه واقع در استان گیلان انتخاب شد. سعی گردید نمونه‌های خاک از مناطق مجاور یکدیگر با اقلیم، توپوگرافی، جهت و درجه شیب یکسان تهیه شود؛ به‌طوری که تمام فاکتورهای خاک‌سازی به‌جز پوشش گیاهی برای همه کاربری‌های انتخاب شده مشابه باشد. مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه

منطقه	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بارندگی سالیانه (mm)	میانگین دمای سالیانه (^{0}C)
آستانه اشرفیه	۱۵	۱۹°۳۷′ N ۲۲°۳۷′ N	۵۷°۴۹′E ۶۰°۴۹′E	۱۱۸۶	۱۷/۵

منطقه مورد مطالعه دارای وسعت بیش از ۱۰ هکتار (وسعت جنگل طبیعی و جنگل‌های دست‌کاشت هر یک حدود ۳ هکتار بود) است. این منطقه شامل خاک‌های بکر جنگلی (جنگل توسکا)، جنگل‌های دست‌کاشت (شامل جنگل دست‌کاشت صنوبر، جنگل دست‌کاشت توسکا و جنگل دست‌کاشت دارتالاب) و شالیزار مجاور آن‌ها، می‌باشد. گونه غالب در آن درختان جنگلی توسکا (بومی) *(Alnus Serrulata)*، صنوبر (بومی) *(Populus Caspica Bornm)* توسکای ییلاقی *(Alnus subcordata)* و دارتالاب (غیربومی) *(Toxodium distichum)* می‌باشد. حدود ۲۵ سال قبل، بعد از جنگل‌زدایی و قطع درختان که موجب تخریب جنگل طبیعی گردیده است، قسمتی از این جنگل‌های مخروبه زیر کشت برنج رفته است در حالی که قسمت دیگری از جنگل-های مخروبه مجدداً احیا گردیده و درختان دست کاشت در آن‌ها کشت شده‌اند.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور نمونه‌برداری از خاک منطقه در تابستان ۱۳۹۶، هر کاربری به سه قسمت مختلف تقسیم و هر قسمت به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد و در هر قسمت اقدام به جمع‌آوری نمونه از عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری گردید. بعد از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و هر نمونه به دو قسمت تقسیم شد. یک قسمت از آن هواخشک شده و بعد از کوبیدن از الک ۲ میلی-متری عبور داده شد و برای تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نگه‌داری گردید. در صورتی‌که قسمت دوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبی و فعالیت آنزیمی نگه‌داری شد.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری‌شده

در نمونه‌های خاک‌بافت (Gee and Bauder, 1986)، پایداری خاکدانه‌ها (Angers *et al*., 2008)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Klute and Dirksen, 1986)، میزان خاصیت آبگریزی خاک (Dekker and Ritsema, 1994)، کربن آلی (Nelson, 1982)، نیتروژن کل (Bremner and Mulvaney, 1982) و واکنش خاک (pH) (Carter and Gregorich, 2008) اندازه‌گیری گردید.

برخی ویژگی‌های بیولوژیکی و آنزیمی اندازه‌گیری‌شده

در نمونه‌های خاک کربن زیست توده میکروبی (Vance *et al*., 1987) فعالیت آنزیم اوره‌آز (Aliasgharzade, 2006)، آنزیم آریل سولفاتاز (Strobl and Traunmuller, 2012) و دهیدروژناز (Margesion, 2012) اندازه‌گیری شد. با استفاده از فعالیت مطلق آنزیم، شاخص کیفی زیر محاسبه گردید. این شاخص فعالیت ویژه آنزیمی (فعالیت آنزیم در واحد OC) (Trasar-Cepeda *et al*., 2008; Lagomarsino *et al*., 2011; Wang *et al*., 2012) بود.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع کاربری اراضی در پنج سطح و عمق خاک در دو سطح بود که در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. لذا تعداد تیمارهای آزمایش ۱۰=۲×۵ عدد که با لحاظ نمودن تعداد تکرارها در مجموع ۳۰ واحد آزمایشی بود. در مجموع ۳۰ نمونه خاک دست‌خورده و ۳۰ نمونه خاک دست‌نخورده وجود داشت که جامعه آماری آزمایش را تشکیل می‌داد. اطلاعات به-دست آمده از آزمایش با کمک نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و جدول تجزیه واریانس تهیه شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید.

نتایج و بحث

تاثیر تغییرکاربری اراضی و احیای برخی از اراضی تخریب‌شده بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

بر اساس جدول (۲) بافت خاک در هر پنج کاربری یکسان بود و تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار تاثیر معنی‌داری بر بافت خاک نداشت. بنابراین احیای برخی از اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل دست‌کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب نیز تاثیر معنی‌داری روی این ویژگی نداشت و بافت خاک تغییری نداشت. تغییر کاربری اراضی از جنگل به شالیزار موجب کاهش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه شد (جدول ۲). این ویژگی در جنگل طبیعی به‌طور میانگین ۳/۹ برابر بیشتر از شالیزار بود. این نتایج مبین آن است که عملیات کشت و کار در زمین‌های بکر از یک

طرف با کاهش ورود بقایای آلی به خاک (به علت برداشت محصول) و از سوی دیگر با شکستن خاکدانه‌ها و تخریب ساختمان خاک باعث کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌شود.

جدول ۲-برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های بکر (جنگلی)، جنگل‌های دست کاشت و شالیزار منطقه مورد مطالعه

کاربری	عمق (cm)	بافت خاک	میانگین وزنی قطر خاکدانه (mm)	هدایت هیدرولیکی ($cm\ day^{-1}$)	آب گریزی	pH	کربن آلی ($g\ kg^{-1}$)	نیتروژن کل ($g\ kg^{-1}$)
جنگل طبیعی	۰-۲۰	لوم سیلتی	۲/۵۶ Aa	۳۰/۴۶ Aa	۵۷/۰۰ Ab	۷/۴۷ Aab	۴۹/۵۵ Aa	۴/۶۵ Aa
توسکا	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۱/۵۰ Ba	۲۵/۷۰ Ba	۳۴/۶۷ Bb	۷/۴۲ ABa	۳۱/۷۱ Ba	۳/۱۱ Ba
جنگل دست	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۸۱ Ab	۲۰/۸۴ Ab	۴۶/۰۰ Ac	۶/۵۳ Ac	۳۶/۱۶ Abc	۳/۴۶ Ab
کاشت صنوبر	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۱/۰۳ Bb	۱۹/۴۶ Bb	۲۵/۶۷ Bb	۶/۴۹ Ac	۲۲/۸۷ Bb	۲/۲۰ Bb
جنگل دست	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۶۴ Ab	۱۵/۱۳ Ac	۵۵/۳۳ Ab	۶/۸۹ Abc	۳۴/۴۱ Ac	۳/۶۸ Ab
کاشت توسکا	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۰/۷۵ Bc	۱۰/۱۵ Bc	۳۳/۳۳ Bb	۶/۸۷ Ab	۲۰/۱۸ Bc	۲/۱۹ Bb
جنگل دست	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۲۵ Ac	۶/۶۶ Ad	۷۷/۰۰ Aa	۷/۴۸ Aab	۴۰/۴۱ Ab	۳/۲۳ Ab
کاشت دارتالاب	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۰/۶۷ Bc	۴/۸۶ Bd	۶۶/۰۰ Aa	۷/۴۴ Aa	۲۲/۸۶ Bb	۲/۲۸ Bb
شالیزار	۰-۲۰	لوم سیلتی	۰/۶۵Ad	۱/۵۹ Ae	۳۳/۶۷ Ad	۷/۶۹ Aa	۲۵/۰۳ Ad	۲/۵۳ Ab
	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۰/۳۸ Bd	۱/۲۷ ABe	۱۲/۰۰ Bc	۷/۵۶ ABa	۱۴/۳۹ Bd	۱/۴۸ Bb
نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات)								
کاربری			$۸۷/۰۹^{***}$	$۵۶۵۲/۶۰^{***}$	$۹۷/۴۹^{***}$	$۱۱۲/۳۶^{***}$	$۶۴/۶۹^{***}$	$۶۴/۶۹^{***}$
عمق			$۲۱۶/۷۳^{***}$	$۳۰۳۷/۴۷^{***}$	$۱۷۶/۲۸^{***}$	$۲/۵۲^{ns}$	$۳۴۷/۹۳^{***}$	$۳۴۷/۹۳^{***}$
کاربری*عمق			$۹/۷۴^{***}$	$۴۵۸/۲۶^{***}$	$۴/۳۳^{***}$	$۱/۰۴^{ns}$	$۳/۱۴^{**}$	$۳/۱۴^{**}$

***، **، * و ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱ ، تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ ، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار
حروف متفاوت (حروف بزرگ برای عمق های متفاوت و حروف کوچک برای کاربری مختلف) نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ در آزمون دانکن است.

احیای اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب به‌ترتیب موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه به ۱/۸۱، ۱/۶۴ و ۱/۲۵ نسبت به شالیزار شد در حقیقت این اراضی موجب بهبود ۵۸، ۵۰ و ۳۰ درصد میانگین وزنی قطر خاکدانه تنها در لایه سطحی شدند. همان‌طور که بیان گردید احیای اراضی تخریب شده موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه شد ولی هنوز با شرایط حاکم بر جنگل طبیعی فاصله داشت. به‌طور میانگین جنگل دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب به‌ترتیب ۳۶، ۴۷ و ۵۸ درصد با شرایط بهینه فاصله داشتند. از سطح به عمق این پوشش‌ها سبب بهبود خاک شدند. با اینکه مقدار کربن‌آلی در دارتالاب بیشتر از دو جنگل دست کاشت دیگر است (جدول ۲) ولی میزان بهبود میانگین وزنی قطر خاک‌دانه از دو کاربری دیگر کمتر بود. چون دارتالاب جزء سوزنی برگان است که بقایای آن‌ها مقاوم به تجزیه هستند. بیشتر در خاک انباشته شده و کمتر تجزیه می‌گردند. رستم‌آبادی و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی نشان دادند که در توده توسکا ییلاقی، به عنوان یک توده تثبت کننده ازت، اغلب عناصر تغذیه‌ای در برگ سبز، و عناصر بازگشتی از قبیل نیتروژن، پتاسیم و منیزیم در لاش برگ به طور معنی‌داری بیشتر از توده سوزنی برگ خزان کننده دارتالاب می‌باشد. این امر، در نهایت می‌تواند حاصل‌خیز شدن خاک توده توسکا در مقایسه با دارتالاب و بهبود توان اکولوژیک رویشگاه آن را به همراه داشته باشد. از طرف دیگر، بیشتر بودن نسبت کربن به نیتروژن لاش برگ، و میزان نیتروژن بازجذب شده برگ قبل از خزان درخت در توده دارتالاب، به‌ترتیب

بیانگر تجزیه‌پذیری کندتر و کم‌تر بودن نیتروژن لاش‌برگ‌های این توده در مقایسه با توده توسکا ییلاقی است که در نهایت باعث ضعیف‌تر شدن رویشگاه دارتالاب می‌شود. بنابراین نقش چندانی در بهبود پایداری خاکدانه ایفا نمی‌کنند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع کاربری بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک معنی‌دار شد (جدول ۲). تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار موجب کاهش هدایت هیدرولیکی شد. این ویژگی از ۳۰/۴۶ سانتی‌متر در روز در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) خاک جنگلی به ۱/۵۹ سانتی‌متر در روز در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) خاک شالیزارکاهش یافت. Gol (2009) نشان داد که بیش‌ترین هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۰/۰۱۴ سانتی‌متر بر دقیقه در کاربری جنگل طبیعی و کم‌ترین آن به میزان ۰/۰۰۱۴ سانتی‌متر بر دقیقه در جنگل تبدیل شده به مرتع به‌دست آمد.

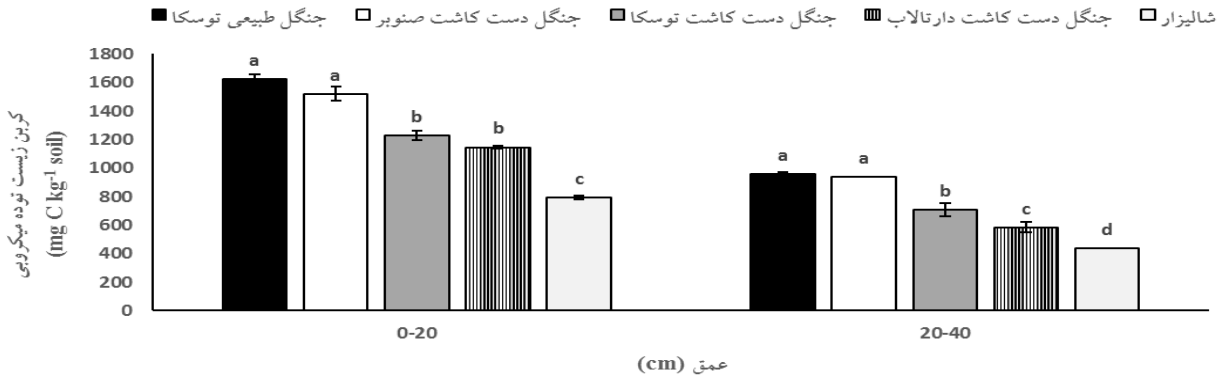
احیای اراضی تخریب شده با جنگل‌های دست‌کاشت، موجب بهبود این ویژگی شد که میزان بهبود در جنگل دست‌کاشت صنوبر بیشتر از سایر کاربری‌ها بود (جدول ۲). دلیل این امر بالا بودن مقدار کربن‌آلی و پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد (جدول ۲). کمترین مقدار بهبود در جنگل دست‌کاشت دارتالاب دیده شد. که احتمالاً به‌دلیل آب‌گریزی ماده آلی خاک زیر این پوشش است (جدول ۲). همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر عمق خاک و اثر توام عمق و نوع کاربری بر هدایت هیدرولیکی خاک معنی‌دار شد (جدول۲). بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در لایه سطحی یعنی عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک در تمام کاربری‌ها اندازه‌گیری شد. روند این ویژگی از سطح به عمق به دلیل فشرده شدن و کاهش میزان مواد آلی خاک کاهش یافت، به‌طوری که مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر (به‌طور میانگین در پنج کاربری) نسبت به عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری به میزان ۲۱ درصد کاهش داشت. بررسی جدول نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار عمق، نوع کاربری و اثر متقابل آن‌ها بر آب‌گریزی خاک بود (جدول ۲). در تمام کاربری‌ها بیش‌ترین مقدار آب‌گریزی در خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) مشاهده گردید که با افزایش عمق این خاصیت به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. کاهش میزان آب‌گریزی با افزایش عمق به نظر می‌رسد به‌دلیل کاهش میزان موادآلی در خاک‌های تحت‌الارض باشد. همچنین با تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار این خاصیت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲) که این امر نیز می‌تواند به‌دلیل کاهش موادآلی باشد. در بین کاربری‌های مختلف در این مطالعه خاصیت آب‌گریزی در جنگل دست‌کاشت دارتالاب از سایر کاربری‌ها بیشتر بود (جدول ۲). Woche *et al*., (2005) با بررسی خاصیت آب‌گریزی پوشش گیاهی ناحیه مختلف آلمان مشاهده نمودند که سایت‌های تحت پوشش جوامع درختان سوزنی برگ و مخلوط پهن برگ و سوزنی برگ در مقایسه با پوشش غالب درختان پهن برگ بیش‌ترین مقدار آب‌گریزی را دارا بودند. یکی از علل خاصیت آب‌گریزی در درختان همیشه سبز و سوزنی‌برگ‌ها وجود مقادیر قابل ملاحظه‌ای از مواد رزینی، واکس‌ها و سایر ترکیبات حلقوی (آروماتیک) در بافت‌هایشان بوده که به شدت آب‌گریز می‌باشند (Mataix-sdera and Doerr, 2004). بر اساس جدول (۲) تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار موجب کاهش معنی‌دار کربن آلی گردید. میزان کاهش به‌طور میانگین ۵۱/۵ درصد بود. که ۴۹/۵ درصد کاهش مربوط به لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) و ۵۴/۶ درصد کاهش مربوط به لایه زیرسطحی (۴۰-۲۰ سانتی‌متری) بود. احیای اراضی جنگل‌زدایی شده به‌وسیله جنگل دست‌کاشت موجب جبران تقریباً ۵۷/۰، ۴۶/۸ و ۳۸ درصد به‌ترتیب توسط جنگل دست کاشت دارتالاب، صنوبر و توسکا شد. Rostam abadi *et al*., (2013) با مطالعه تاثیر کشت درختان توسکا، صنوبر و دارتالاب در خاک‌هایی با زهکشی ضعیف در شمال ایران بر کربن آلی، گزارش نمودند که دارتالاب در مقایسه با بقیه درختان موجب بهبود بیشتر کربن آلی خاک شد. در این پژوهش pH به ترتیب جنگل دست کاشت صنوبر، جنگل دست کاشت توسکا، جنگل طبیعی توسکا، جنگل دست کاشت دارتالاب و شالیزار افزایش یافت. این دلیل افزایش به‌دلیل افزایش رطوبت خاک است. به‌طور کلی غرقاب شدن خاک‌های اسیدی موجب افزایش pH و سوق دادن pH به سمت pH خنثی می‌شود. Moges *et al*., (2013) گزارش دادند که کاربری و عمق تاثیر معنی‌داری روی مقدار اسیدیته خاک نداشت. Beheshti *et al*., (2012) گزارش کردند که تغییر کاربری جنگل به زراعی در پره‌سر استان گیلان احتمالاً به‌دلیل آبیاری با آب‌های زیرزمینی کم‌عمق توسط کشاورزان منطقه منجر به افزایش معنی‌دار pH خاک از ۵/۱۴ به ۶/۷۳ گردید. توزیع نیتروژن کل از یک الگویی مشابه با توزیع کربن آلی در خاک تبعیت کرد (جدول ۲) به‌طوری که مقدار نیتروژن در خاک جنگلی بین (۲/۱-۱/۸) برابر و در هر دو عمق بیش از خاک شالیزار بود. احیای قسمتی از اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب موجب جبران مقداری از نیتروژن هدر رفته در اثر تغییر کاربری شد ولی بین کاربری‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با این‌حال جبران نیتروژن کل توسط جنگل دست کاشت توسکا بیش‌تر از سایر پوشش‌ها بود (جدول ۲). این را می‌توان به حضور میکروارگانیسم‌های تثبیت کننده ازت در گره‌های ریشه‌های توسکا نسبت داد.

تاثیر تغییرکاربری اراضی و احیای برخی از اراضی تخریب‌شده بر برخی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه

تاثیر تغییرکاربری اراضی و احیای برخی اراضی تخریب‌شده بر کربن زیست‌توده میکروبی

محتوای کربن زیست‌توده میکروبی در هر کاربری در شکل (۱) نشان داده شده است. تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار تاثیر معنی‌داری بر روی کربن زیست توده میکروبی داشت. البته بزرگی این تغییرات در کربن زیست‌توده میکروبی بسته به عمق خاک داشت. مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در شالیزار (به‌طور متوسط ۵۲/۸ درصد) کمتر از جنگل طبیعی بود. این مقدار نتیجه کاهش کمتر کربن زیست‌توده میکروبی (۵۱/۳ درصد) در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متری) نسبت به لایه عمقی (۴۰-۲۰ سانتی متری) (۵۲/۳ درصد) بود. این روند کاملاً مشابه با تغییرات کربن آلی خاک بود. کم‌ترین غلظت کربن آلی خاک (به‌طور متوسط ۴۵/۲ درصد) در شالیزار منتج شده از جنگل طبیعی مشاهده شد که این با یک کاهش ۴۳/۶ درصد در لایه سطحی (۲۰-۰ سانتی متری) و ۴۸ درصدی در لایه (۴۰-۲۰ سانتی‌متری) همراه بود (جدول ۲). Pabst *et al*., (2013) گزارش کردند که میزان کربن زیست‌توده میکروبی در اراضی کشاورزی بسیار کم‌تر از اکوسیستم‌های طبیعی است. بنابراین تغییر کاربری علاوه بر تاثیر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک روی جمعیت میکروبی درگیر در چرخه کربن نیز موثر است. احیای جنگل‌های مخروبه به‌طور متوسط موجب جبران ۸۰ درصدی کاهش کربن زیست-توده میکروبی تنها در لایه سطحی شد (شکل ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین کربن زیست‌توده میکروبی در جنگل‌های دست‌کاشت به-ترتیب در جنگل دست‌کاشت صنوبر (۱۵۲۰ میلی‌گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و جنگل دست‌کاشت دارتالاب (۱۱۴۵ میلی‌گرم کربن بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد. مقدار بهبود کربن زیست-توده میکروبی در مقایسه با شالیزار تقریباً ۹۰، ۷۴ و ۵۶ درصد به‌ترتیب در صنوبر، توسکا و دارتالاب بود. مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در پنج کاربری از روند زیر تبعیت کرد:

شالیزار< جنگل دست‌کاشت دارتالاب< جنگل دست‌کاشت توسکا< جنگل دست‌کاشت صنوبر< جنگل طبیعی توسکا



شکل ۱- مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در پنج کاربری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است.

به‌طور کلی افزایش کربن زیست‌توده میکروبی توسط پهن-برگ‌ها بیشتر از سوزنی برگان بود. زیرا پهن‌برگ‌ها سریع‌الرشد و خزان شونده هستند در نتیجه مقدار زیادی بقایا به سطح خاک اضافه می‌کنند همچنین به دلیل اینکه (C/N) در این بقایا کم است. سریعاً تجزیه شده و کربن زیست‌توده میکروبی در سطح خاک افزایش می‌یابد.

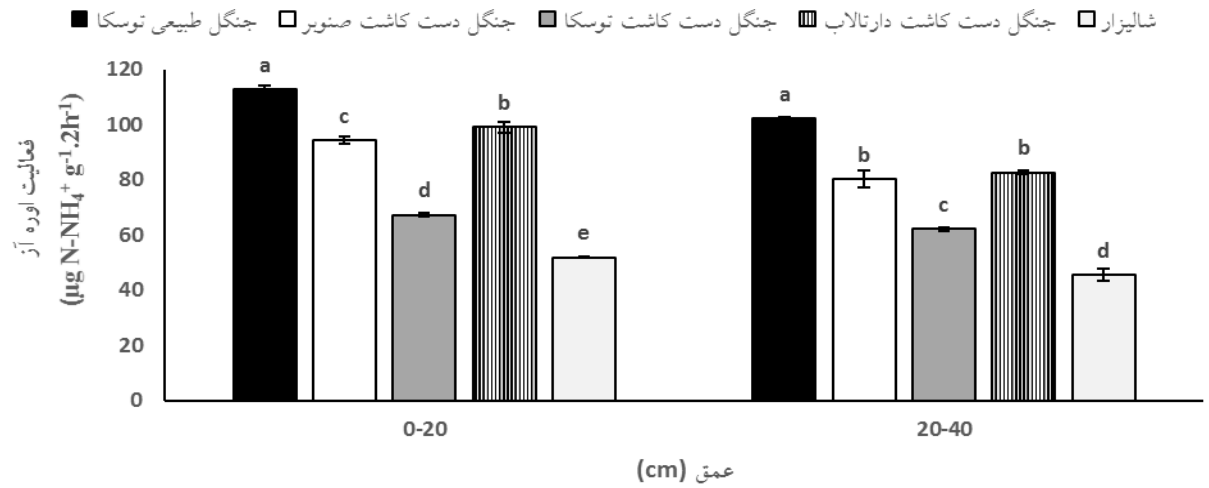
تاثیر تغییرکاربری اراضی و احیای برخی از اراضی تخریب شده بر فعالیت آنزیمی خاک منطقه مورد مطالعه

بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین مقدار فعالیت اوره‌آز در جنگل طبیعی (۱۱۲/۹ $\mu g\ N\text{-}NH_4^+\ g^{-1}\ 2h^{-1}$) و کمترین مقدار در شالیزار (۵۱/۸ $\mu g\ N\text{-}NH_4^+\ g^{-1}\ 2h^{-1}$) یافت شد (شکل ۲). کاهش از جنگل طبیعی به شالیزار به‌طور میانگین ۵۴ درصد بود. احیای جنگل‌های مخروبه توسط جنگل‌های دست کاشت موجب جبران حدود ۶۵، ۵۲ و ۱۴ درصد از این کاهش‌ها به‌ترتیب توسط جنگل دست‌کاشت دارتالاب، صنوبر و توسکا گردید. مقدار این آنزیم در کاربری‌های مختلف به‌صورت زیر بود:

شالیزار < جنگل دست‌کاشت توسکا < جنگل دست‌کاشت صنوبر< جنگل دست‌کاشت دارتالاب< جنگل طبیعی توسکا

اوره‌آز یک آنزیم کلیدی در گردش نیتروژن بوده و نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی ایفا می‌کند. این آنزیم توسط

گیاهان و میکروارگانیسم‌ها ترشح می‌گردد. Raiesi and Beheshti, (2015) در یک مطالعه روی فعالیت آنزیم اوره‌آز در جنگل و مناطق کشت شده بیان نمودند که فعالیت این آنزیم از جنگل به مناطق کشت شده کاهش یافت که این احتمالاً به‌دلیل کاهش ورود بقایا به خاک در این نواحی می‌باشد. در مطالعه حاضر با وجود مصرف کود اوره (۳۰۰-۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال) در شالیزار آنزیم اوره‌آز از جنگل طبیعی به شالیزار کاهش یافت. دلیل این امر احتمالاً آبشویی کود اوره در شالیزار می‌باشد.



شکل ۲- فعالیت آنزیم اوره‌آز برای پنج کاربری در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است. خطوط عمودی مقادیر خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

Zhange *et al*., (2009) بیان نمودند فعالیت آنزیم اوره‌آز به نوع کاربری و زمان نمونه‌برداری بستگی دارد و تحت‌تاثیر محتوای رطوبت خاک، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس قرار می‌گیرند. Maharjan *et al*., (2017) با مطالعه تاثیر نوع استفاده از زمین و شیوه‌های مدیریتی بر کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی در سه کاربری جنگل طبیعی، کشاورزی ارگانیک و کشاورزی سنتی به این نتیجه رسیدند که مقدار کربن و نیتروژن آلی و همچنین کربن زیست‌توده میکروبی در زمین‌های کشاورزی ارگانیک در مقایسه با کشاورزی سنتی و جنگل معمولی بیشتر بود. همچنین فعالیت آنزیمی بتا–گلوکوزیداز، سولفاتاز، آمینوپپتیداز و کیتیناز در مقایسه با سلولاز و فسفاتازهای اسیدی در کشاورزی ارگانیک بیشتر بود.

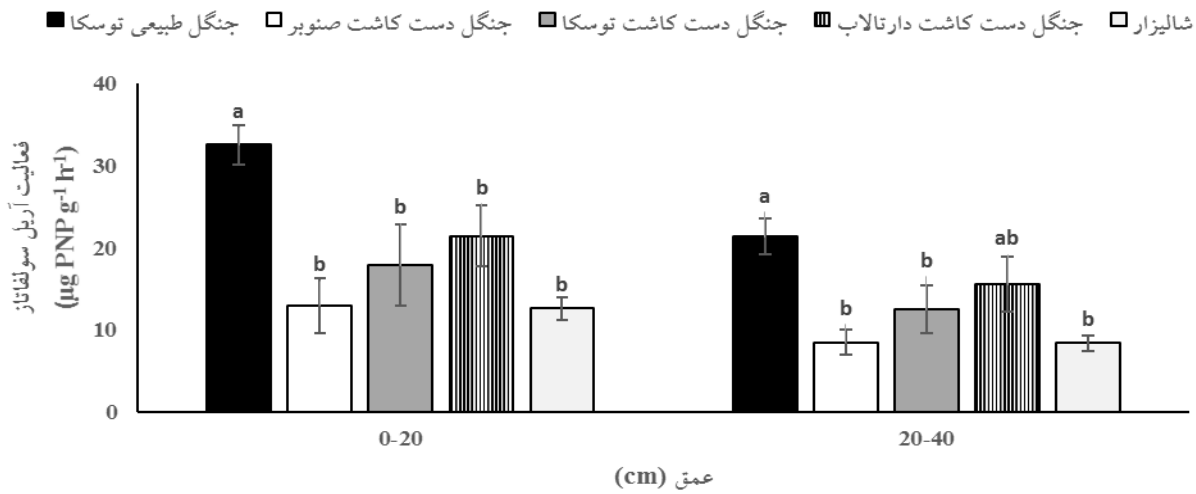
همانطور که بیان شد در بین اراضی دست کاشت، جنگل دست‌کاشت دارتالاب بیشتر موجب بهبود فعالیت آنزیم اوره‌آز گردید و فعالیت این آنزیم در این کاربری به جنگل طبیعی نزدیک‌تر بود. دلیل این امر احتمالاً نوع بقایای ورودی به این کاربری و یا جامعه میکروبی موجود در زیر این پوشش می‌باشد که موجب افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز در آن گردیده است. تاثیر زیست‌توده میکروبی، کربن آلی خاک و پایداری قطر خاکدانه بر فعالیت‌های آنزیمی به‌وسیله همبستگی مثبت بین فعالیت این آنزیم با این ویژگی‌ها تایید می‌شود (جدول ۳). ورودی بالای مواد آلی به خاک باعث افزایش کربن آلی در خاک می‌شود که به تثبیت فیزیکی آنزیم و افزایش زیست‌توده میکروبی برای تولید آنزیم کمک می‌کند. زیست‌توده میکروبی یک منبع عمده آنزیم در خاک بوده (Dick, 1997; Acosta-Martinez *et al*., 2007) و فعالیت آن‌ها همواره با زیست‌توده میکروبی همبستگی دارد (Wang *et al*., 2011; Yu *et al*., 2018). رابطه بین فعالیت آنزیمی و پایداری خاک‌دانه می‌تواند شامل جذب و حفاظت آنزیم به‌ویژه آنزیم‌های خارج سلولی باشد. به‌عنوان یک نتیجه، کشت و کار روی زمین‌های بکر موجب شکسته شدن خاک‌دانه‌های درشت و تبدیل آن‌ها به خاک‌دانه‌های ریز می‌شود. مطالعات بسیاری از نویسندگان ثابت کرده است که میزان آنزیم در خاک‌دانه‌های درشت بیش‌تر از خاک‌دانه‌های ریز است. برای مثال Liu *et al*., (2013) بیان کردند فعالیت آنزیمی (از جمله اینورتاز، اوره‌آز و فسفاتاز اسیدی) در خاک‌دانه‌های درشت بیشتر از خاکدانه‌های ریز بود.

فعالیت آریل سولفاتازها در خاک سطحی در جنگل طبیعی در مقایسه با سایر کاربری‌ها بیشتر بود (شکل ۳). در خاک عمقی هم همین روند مشاهده گردید. میزان کاهش در اثر تغییر کاربری چیزی حدود ۶۱ درصد بود که حدود ۳۲ درصد توسط جنگل دست‌کاشت دارتالاب جبران گردید ولی میزان جبران توسط جنگل دست‌کاشت صنوبر بسیار کم بود. فعالیت آنزیم آریل

سولفاتاز در کاربری‌های مختلف از روند زیر تبعیت کرد:

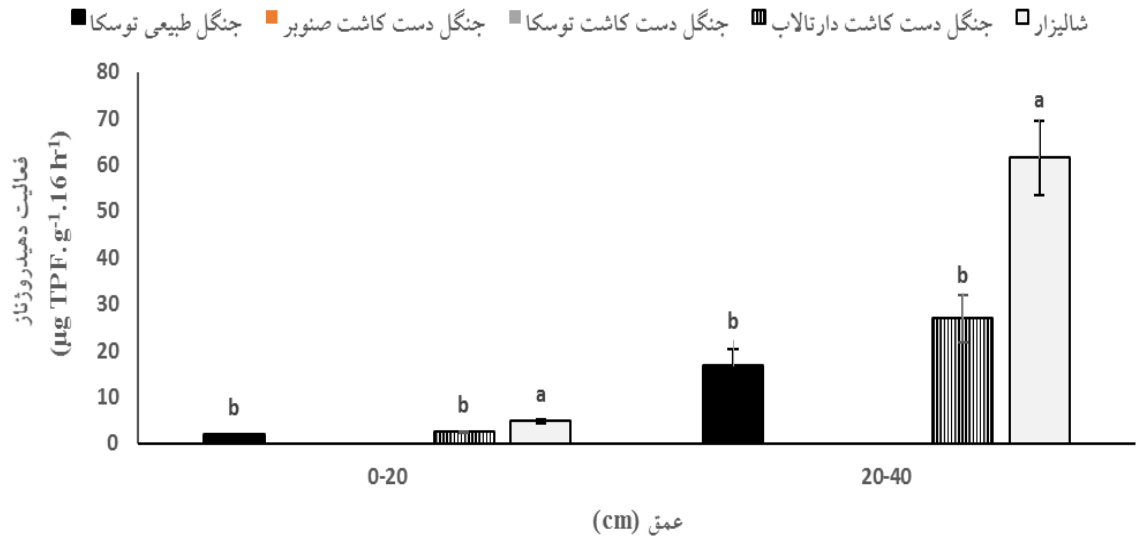
شالیزار < جنگل دست کاشت صنوبر < جنگل دست کاشت توسکا < جنگل دست کاشت دارتالاب < جنگل طبیعی توسکا

فعالیت این آنزیم با مقدار ماده‌آلی در خاک همبستگی مثبت دارد (جدول ۳) و دلیل کاهش فعالیت این آنزیم از جنگل طبیعی به شالیزار کاهش مقدار ماده‌آلی است. همچنین دلیل بالا بودن فعالیت این آنزیم در جنگل دست کاشت دارتالاب به دلیل ورود بقایای آلی زیاد از این جنگل‌ها به داخل خاک است (Mahmoudi Toleghani *et al.*, 2007).



شکل ۳- فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز برای پنج کاربری در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است. خطوط عمودی مقادیر خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

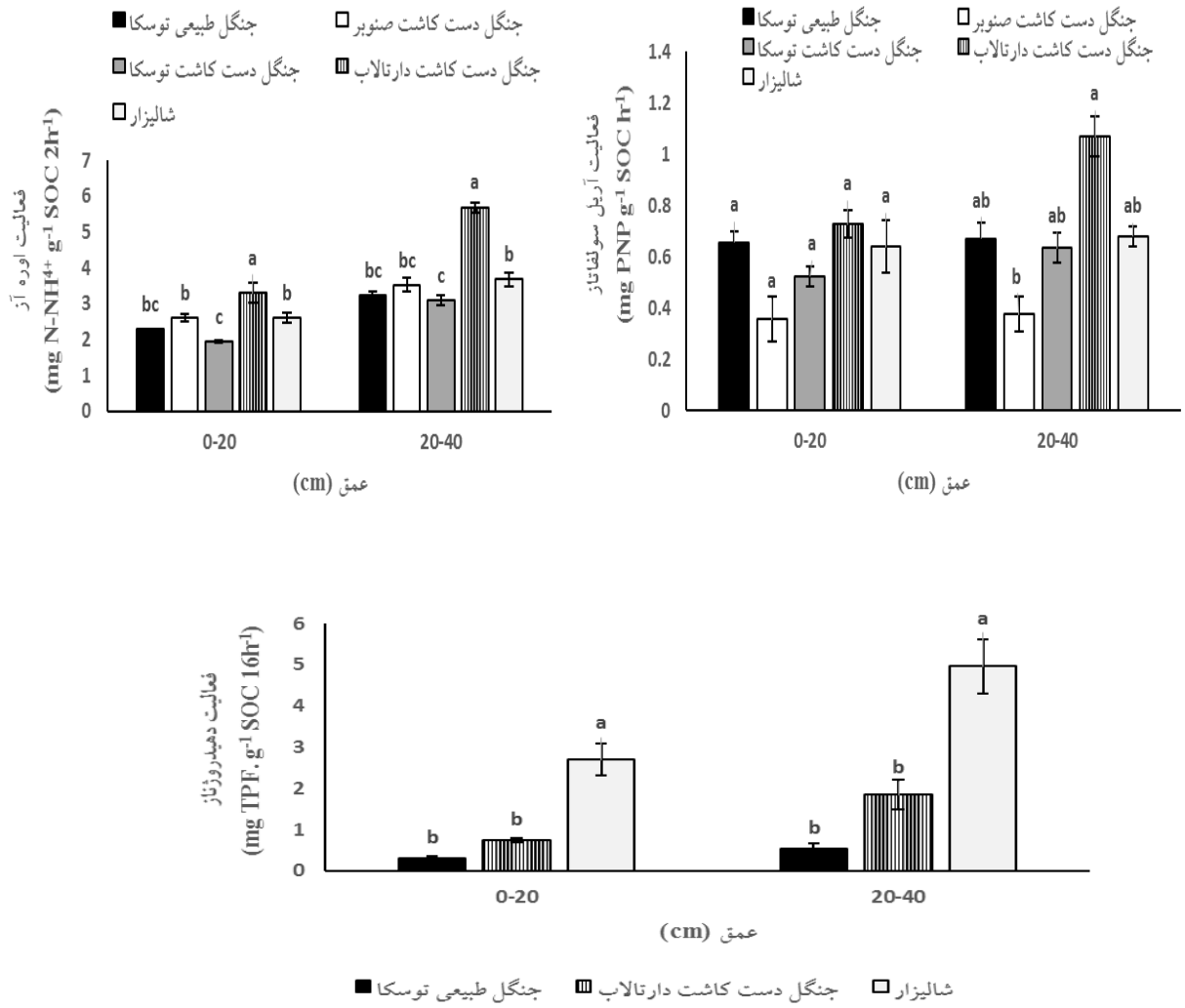
فعالیت دهیدروژنازها در شالیزار بیشتر از جنگل طبیعی بود (شکل ۴). همچنین فعالیت این آنزیم با افزایش عمق افزایش یافت. روند متفاوتی برای این آنزیم در مقایسه با سایر آنزیم‌ها مشاهده گردید. این آنزیم در جنگل دست‌کاشت دارتالاب به‌دلیل وجود رطوبت فعال بود درحالی که فعالیت دهیدروژناز در جنگل صنوبر و توسکا متوقف شد. این نشان می‌دهد که در دسترس بودن اکسیژن و رطوبت بر فعالیت دهیدروژناز تاثیر می‌گذارد و با افزایش رطوبت خاک فعالیت آن افزایش می‌یابد. همچنین افزایش فعالیت این آنزیم با عمق احتمالاً به‌دلیل افزایش رطوبت از سطح به عمق خاک است.



شکل ۴- فعالیت آنزیم دهیدروژناز برای پنج کاربری در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است. خطوط عمودی مقادیر خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

تاثیر کاربری بر فعالیت ویژه آنزیمی خاک (فعالیت آنزیم در واحد کربن آلی خاک)

تغییر در فعالیت آنزیمی در واحد کربن آلی خاک (EA/OC) با تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار واضح بود (شکل ۵). در همه آنزیم‌ها این نسبت از جنگل به شالیزار افزایش یافت و در همه آنزیم‌ها با افزایش عمق افزایش یافت (شکل ۵). با این‌حال این افزایش در اوره‌آز و آریل سولفاتاز معنی‌دار نبود. در صورتی که افزایش این نسبت در دهیدروژناز (۸۲۶-۸۱۸ درصد) معنی‌دار بود (شکل ۵). در جنگل دست‌کاشت دارتالاب این نسبت برای همه آنزیم‌ها افزایش یافت زیرا فعالیت آنزیم بیش از کربن‌آلی است.



شکل ۵- فعالیت ویژه آنزیم (فعالیت آنزیم در واحد کربن آلی خاک) برای پنج کاربری در دو لایه (۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری)(n=3) ، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است.

یک همبستگی منفی و معنی‌دار بین این نسبت (به استثنای دهیدروژناز) با میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربن آلی خاک وجود داشت (جدول ۳). همچنین دهیدروژناز یک همبستگی منفی و معنی‌دار با pH داشت (جدول ۳).

فعالیت آنزیمی در واحد کربن آلی خاک (EA/OC) می‌تواند برای نشان دادن اختلاف در محتویات کربن آلی خاک و یا اختلاف در میزان آنزیم‌های ایموبیلیزه شده تحت کاربری‌های مختلف استفاده گردد. در حقیقت فعالیت ویژه آنزیم‌ها یک روش جدید برای اتصال فعالیت آنزیمی به کربن آلی خاک است و نشان‌دهنده این است که فعالیت آنزیمی به ویژگی دیگری از خاک به غیر از کربن آلی خاک بستگی دارد. یعنی تغییر در فعالیت آنزیمی می‌تواند مستقل از تغییر در ماده آلی خاک رخ دهد. در برخی موارد به علت شکسته شدن خاکدانه‌ها پس از کشت و آزاد شدن آنزیم‌های به دام افتاده در بین خاکدانه‌ها این نسبت افزایش یافته است.

این می‌تواند با همبستگی منفی و معنی‌دار بین نسبت (EA/OC) با میانگین وزنی قطر خاکدانه تایید شود (جدول ۳). همچنین افزایش این نسبت می‌تواند به‌علت از بین رفتن سریع مواد آلی ناپایدار در اثر شخم و کشت و کار باشد (Trasar-Cepeda *et al*., 2008) و یا حتی ممکن است به سایر ویژگی‌های خاک مرتبط باشد. به عنوان مثال در این مطالعه با تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار مقدار کربن آلی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت درحالی که نسبت آنزیم به کربن آلی در مورد آنزیم دهیدروژناز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این نشان‌دهنده آن است که فعالیت این آنزیم مستقل از تغییرات کربن آلی خاک است (چون در این‌صورت بایستی با کاهش میزان کربن‌آلی فعالیت آنزیم هم کاهش می‌یافت) و به میزان رطوبت خاک وابسته است.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی وبیولوژیکی اندازه‌گیری‌شده با فعالیت و مقدار ویژه آنزیم خاک در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در کاربری‌های مختلف

MBC	SOC	MWD	pH	Variables
۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۸۰**	−۰/۰۲^{ns}	Urease
۰/۷۱**	۰/۸۰**	۰/۷۶**	۰/۱۸ ^{ns}	Arylsulfatase
−۰/۴۳**	−۰/۳۲**	−۰/۴۰**	۰/۷۷**	Dehydrogenase
−۰/۶۴**	−۰/۵۹**	−۰/۵۵**	۰/۳۰**	Urease/OC
−۰/۴۴**	−۰/۳۶**	−۰/۳۶**	۰/۴۷**	Arylsulfatase/OC
−۰/۲۱ ^{ns}	−۰/۱۱^{ns}	−۰/۱۵^{ns}	−۰/۵۶**	Dehydrogenase/OC

(MWD) میانگین پایداری خاکدانه، (SOC) کربن آلی خاک، (MBC) زیست توده میکروبی، (Urease) اوره‌آز، (Arylsulfatase) آریل سولفاتاز، (Dehydrogenase) دهیدروژناز

***، **، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

Trasar-Cepeda *et al*., (2008) پیشنهاد کردند که غنی شدن آنزیمی خاک‌های کشت شده ممکن است در نتیجه این حقیقت باشد که در اثر کشت و کار موادآلی ناپایدار در اثر تنفس از بین رفته و جزء هومیکی که مستحکم هستند باقی می‌مانند. جزء هومیکی حاوی آنزیم‌های خارج سلولی پیوند شده با مواد هومیکی به صورت کلوئیدهای رس-هوموس-آنزیم بوده که باعث افزایش نسبی فعالیت آنزیم می‌گردد. همچنین Wang *et al*., (2012) و Raiesi and Beheshti (2014), (2015) در مطالعات خود بیان نمودند که با تغییر کاربری از جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی و افزایش کشت و کار نسبت EA/OC افزایش می‌یابد. افزایش این نسبت احتمالاً به‌دلیل کاهش بیشتر کربن آلی خاک نسبت به آنزیم است. در همه آنزیم‌ها به‌طور میانگین این نسبت از سطح به عمق افزایش یافت (شکل ۵). با افزایش عمق هم فعالیت آنزیمی و هم مقدار تجزیه ماده‌آلی کاهش می‌یابد. ولی با توجه به نتایج این پژوهش کاهش ماده‌آلی بیش‌تر از کاهش فعالیت آنزیمی بود. در جنگل دست‌کاشت دارتالاب این نسبت در همه آنزیم‌ها بیشتر از جنگل طبیعی بود. دارتالاب جز سوزنی برگان است که نسبت C/N در آن بالا بوده و مواد آلی مقاوم در آن وجود دارد، که آنزیم‌ها به این مواد متصل شده و آن‌ها هم به نوبه خود به کلوئیدهای خاک وصل می‌شوند و کمپلکس رس-هوموس-آنزیم را به‌وجود می‌آید. این امر موجب نگه‌داری آنزیم و افزایش نسبی فعالیت آنزیم می‌گردد. همچنین با تخریب خاکدانه آنزیم داخل آن‌ها آزاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

تغییر کاربری موجب کاهش کربن آلی خاک، زیست‌توده میکروبی، میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع و خاصیت آب‌گریزی در شالیزار شد. تخریب خاکدانه‌ها به‌ویژه تبدیل خاکدانه‌های بزرگ به کوچک موجب آزاد شدن کربن آلی حفاظت شده گردید. در اثر عملیات خاک‌ورزی تهویه خاک افزایش می‌یابد که آن موجب افزایش سرعت تجزیه بقایا و کاهش ذخیره عناصر غذایی و تبع آن کاهش جمعیت میکروبی می‌گردد. بنابراین فعالیت آنزیم اوره‌آز و آریل سولفاتاز در شالیزار کمتر از جنگل طبیعی شد. احیای اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل‌های دست‌کاشت موجب بهبود برخی از پارامترهای کیفی و آنزیمی خاک شد. جنگل دست کاشت صنوبر باعث بهبود بیشتر میانگین وزنی قطر خاک‌دانه و کربن زیست‌توده میکروبی در اراضی جنگل-زدایی شده در مقایسه با دارتالاب گردید. در حالیکه تاثیر پوشش دارتالاب در افزایش خاصیت آب گریزی، کربن آلی و فعالیت آنزیم اوره‌آز و آریل‌سولفاتاز بیش از پوشش‌های گیاهی دیگر بود. در مقایسه با ویژگی‌های کیفی و فعالیت آنزیم می‌توان نتیجه گرفت که پوشش دارتالاب بهتر از پوشش صنوبر و توسکا این ویژگی‌ها را بهبود بخشید. امروزه تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار در شمال ایران با کاهش شدید ویژگی‌های کیفی و آنزیمی خاک همراه بوده

که نهایتاً موجب تخریب خاک گردیده است. با احیای این اراضی به‌وسیله جنگل‌های دست‌کاشت می‌توان تخریب ویژگی‌های کیفی و کاهش فعالیت آنزیمی خاک را تعدیل کرده و شرایط را به شرایط طبیعی نزدیک نمود.

REFERENCES

Acosta-Martinez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D and Perez-Alegria, L. (2007). Enzyme activities as affected by soil properties and land use min a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*. 35: 35-45.

Aliasgharzade, N. (2006). Laboratory Methods in Soil Biology. *University of Tabriz Publications*. Pp: 540.

Amirnejad, H., Khalilian, S., Assareh, M.H and Ahmadian, M. (2006). Estimating the existence value of north forests of Iran by using a contingent valuation method. *Ecology Economy*. 58: 665-675.

An, S., Zheng, F., Zhang, F., Van Peltc, S., Hamer, U and Makeschin, F. (2008). Soil quality degradation processes a deforestation choronosequence in the Zimulingarea, China. *Catena*. 75: 248-256.

Angers, D.A., Bullock, M.S. and Mehuys, G.R. (2008). Aggregate stability to water. pp: 811-819. In: Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds). Soil Sampling and methods of analysid. Chap: 62 CRC Press. *Canadian Society of Soil Science*.

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: 121-133.

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. In: A.L. Page, Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical analysis. American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of American Inc. Madison, WI. 595-624.

Cardoso, E.J.B.N., Vasconcellos, R.L.F., Bini, Miyauchi, M.Y.H., dos Santos, C.A., Alves, P.R.L., de Paula, A.M., Nakatani, A.S., Pereira, J.M. and Nogueira, M.A. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*. 70: 274–289.

Carter, M.R and Gregorich, E.G. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition. *Canadian Society of Soil Science Publisher*. 823.

Dekker, L.W and Ritsema, C.J. (1994). How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research*. 30: 2507-2517.

Dick, R.P. (1997). Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health. CAB International, Wallingford, CT*, pp. 121–156.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In: A. Klute. (Ed), Methods of soil analysis. Part1, Physical and mineralogical methods. *American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA*. pp. 383-411.

Gol, C. (2009). The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *Journal of Environmental Biology*. 30: 825-830.

Golchin, A and Asgari, H. (2008). Land use effects on soil quality indicators in northeastern Iran. *Soil Research*. 49: 27-36.

Humpenoder, F., Popp, A., Dietrich, J.P., Klein, D., Lotze-Campen, H., Bonsch, M., Bodirsky, B.L., Weindl, I., Stevanovic, M and Muller, C. (2014). Investigating afforestation and bioenergy CCS as climate change mitigation strategies. *Environmental Research Letters*. 9,064029.

Kalembasa, S. and Symanowicz, B. (2012). Enzymatic activity of soil after supplying various waste organic matter, ash and mineral fertilizers. *Polish Journal of Environmental Studies*. 21**:** 1635–1641

Klute, A. and Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. Methods of soil analysis: part 1—*physical and mineralogical methods*, (methodsofsoilan1). 687-734.

Kooch, Y and Zoghi, Z. (2014). Comparison of soil fertility of Acer insigne, Quercus castaneifolia, and Pinus brutia stands in the Hyrcanian forests of Iran. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*. 20: 899–905.

Kooch, Y., Hosseini, S. M., Zaccone, C., Jalilvand, H., & Hojjati, S. M. (2012). Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: the Darab Kola forest (North of Iran) case study. Journal of Environmental Monitoring. 14: 2438–2446.

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 of Soils*. 47: 283–291.

Lambin, E.F and Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108: 3465–3472.

Liu, Y.R., Li, X., Shen, Q.R. and Xu, Y.C. (2013). Enzyme activity in water-sable soil aggregates as affected by long-term application of organic manure and chemical fertilizer. *Pedosphere*. 23(1): 11-119.

Maharjan, M., Sananllah, M., Razavi, B.S and Kuzyakov, Y. (2017). Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top and up soil. *Applied Soil Ecology*. 113: 27-28.

Mahmoudi Tolghani, E., Zahedi Amiri, Gh., Adeli, I.

and Saghib Talibi, JH. (2007). Estimation of sequestration rate Soil Carbon in Managed Forests (Case Study Golband Forest in the North of Iran). *Journal of Scientific Research Iranian Forest and Poplar Research*. 15: 241-252.

Mataix-Solera, J. and Doerr, S. H. (2004). Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forests in southeastern Spain. *Geoderma.* 118(1-2): 77-88.

Margesion, R. (2012). Enzymes involved in phosphorus metabolism. 13.2. Acid and alkaline phosphomonoesterase activity with the substrate p-nitrophenyl phosphate. P. 213-217. Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler. And Margesin, R. (Eds). *Methods in soil biology. Part, 13. Springer*. P. 437.

Moges, A., Dagnachew, M. and Yimer, F. (2013). Land use effects on soil quality indicators: A case study of Abo-Wonsho Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*. 1-9.

Mganga, K.Z., Razavi, B.S and Kuzyakov, Y. (2016). Land use affects soil biochemical properties in Mt. Kilimanjaro region. *Catena*. 141: 22–29.

Nannipieri, P., Ascher, J., Ceccherini, M.T., Landi, L., Pietramellara, G and Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54: 655-670.

Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties (2nd Ed). Agronomy monograph, NO. 9, *American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.* pp. 181-196.

Pabst, H., Kühnel, A and Kuzyakov, Y. (2013). Effect of land-use and elevation on microbial biomass and water extractable carbon in soils of Mt. Kilimanjaro ecosystems. *Applied Soil Ecology*. 67: 10-19.

Padel, T., Özen, I., Boix, J., Barbariga, M., Gaceb, A., Roth, M. and Paul, G. (2016). Platelet-derived growth factor-BB has neurorestorative effects and modulates the pericyte response in a partial 6-hydroxydopamine lesion mouse model of Parkinson's disease. *Neurobiology of disease.* 94: 95-105.

Raiesi, F. and Beheshti, A. (2014). Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute enzyme activity in primary forests of northwest Iran. Applied Soil Ecology. 75: 63–70.

Raiesi, F. and Beheshti, A. (2015). Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. Ecological Indicators. 50: 173-185.

Rostam Abadi, A., Tabari, M., Salehi, A., Sayyad, E. and Salehi, A. (2010). Comparison of Nutrient Nutrition, Recovery and Reabsorption in Bald Alder and Taxodium Habitats in Amol-Mazandaran Habitat Area. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research.* 1 (17): 65-78

Rostam Abadi, A., Tabari, M., Sayad, E and Salehi, A. (2013). Influence of Alnus subcordata, Populus deltoides and Taxodium distichum on Poor Drainage Soil, Northern Iran. *Ecopersia*. 1: 207-218.

Schloter, M., Dilly, O and Munch, J.C. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 98: 255–262.

Strobl, W. and Traunmuller, M. (2012). Enzymes involved in carbon metabolism. 12.4. B-glucosidase activity. P. 198-201. Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler. And Margesin, R. (Eds). *Methods in soil biology. Part, 12. Springer*. P. 437.

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: 2146–2155.

Turner, B.L., Lambin, E.F and Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences. U. S. A*. 104: 20666–20671.

Vance, E.D., Brookes, P.C and Jenkinson, D.S. (1987). An extraction method for measuring microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry.* 19: 703–707.

Van der Heijden, M.G.A., Bardgett, R.D. and van Straalen, N.M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 11: 296–310.

Wang, M., Markert, B. and Shen, W.M. (2011a). Microbial biomass carbon and enzyme activities of urban soils in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research.* 18: 958-967.

Wang, B., Liu, G.B., Xue, S and Zhu, B. (2011b). Changes in soil physico-chemical and microbiological properties during natural succession on abandoned farmlands in the Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*. 62: 915–925.

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 vegetation in the Loess Plateau area, Northwest China. *Catena*. 92: 186–195.

Woche, S. K., Goebel, M. O., Kirkham, M. B., Horton, R., Van der Ploeg, R. R. and Bachmann, J. (2005). Contact angle of soils as affected by depth, texture, and land management. *European Journal of Soil Science*. 56(2): 239-251.

Yao, H.Y. and Huang, C.Y. (2006). Soil microbial ecology and experimental technology. (In Chinese.) *Science Press, Beijing*.

Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q. and Zhou, D. (2018). Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science Of The Total Environmeant*. Pp: 564–571.

Zabelina, O.N. (2014). Enzymatic activity of soils in natural recreational landscapes of urban territories.

combustion capture of CO2. *Chemical engineering science*. 64(22): 4732-4736.

Sovremennye problem nauki I obrazovania, NO.2.
Zhang, J., Yedlapalli, P. and Lee, J. W. (2009). Thermodynamic analysis of hydrate-based pre-