

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 GOLCHIN², SEYED ABDOLLAH MUSAVI KUPAR³

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

تاثیر تغییر کاربری و احیای اراضی تخریب شده روی برخی از ویژگی های کیفی و فعالیت تعدادی آنزیم در خاک

زهرا وارسته خانلری^{۱*}، احمد گلچین^۲، سید عبدالله موسوی کوپر^۳

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 ویژگی های کیفی و آنزیمی خاک مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این پژوهش ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در استان گیلان شهرستان آستانه اشرفیه انتخاب شد. نمونه های خاک از ۵ کاربری (جنگل طبیعی، جنگل های دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب و شالیزار) و از دو عمق (۲۰-۴۰ و ۰-۲۰ سانتی متری) جمع آوری شدند. داده های این پژوهش به صورت 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 ۱۰×۵=۵۰ 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 می داد. در نمونه ها برخی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه گیری 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 زیست توده میکروبی (۵۳ درصد) در جنگل طبیعی بیشتر از شالیزار بود. همچنین فعالیت آنزیم اوره آز و آریل سولفاتاز به طور معنی داری 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 می دهد که در دسترس بودن اکسیژن و رطوبت بر فعالیت دهیدروژناز اثر می گذارد و با افزایش رطوبت خاک، فعالیت آن افزایش می یابد. احیای برخی از اراضی تخریب شده به وسیله جنگل دست کاشت نشان داد پوشش گیاهی صنوبر موثرتر از پوشش های گیاهی دیگر در افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع و کربن زیست توده میکروبی بود. در حالیکه تاثیر پوشش دارتالاب در افزایش خاصیت آب گریزی، کربن آلی و فعالیت آنزیم اوره آز و آریل سولفاتاز بیش از پوشش های گیاهی دیگر بود. فعالیت ویژه آنزیم (فعالیت آنزیم در واحد کربن آلی) در دهیدروژناز در شالیزار به طور معنی داری بیشتر از جنگل طبیعی بود که این نشان دهنده آن است که فعالیت این آنزیم مستقل از تغییرات کربن آلی خاک بوده و به رطوبت خاک وابسته است. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که در مقایسه با ویژگی های کیفی و فعالیت آنزیمی، پوشش دارتالاب بهتر از پوشش صنوبر و توسکا این ویژگی ها را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی: احیای اراضی تخریب شده، آنزیم های خاک، تغییر کاربری، کربن زیست توده 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 اکوسیستم ها و نابودی گونه ها کمک می کند (Turner et al., 2007). تبدیل اکوسیستم های طبیعی به زمین های زراعی یکی از شکل های عمده تغییر کاربری اراضی است (Lambin and Meyfroidt, 2011). تبدیل جنگل ها به زمین های کشاورزی موجب از بین رفتن مواد آلی خاک (Lagomarsino et al., 2011)

و تغییر زیست توده میکروبی و فعالیت آن ها شده که در نهایت تغییر کیفیت خاک را به همراه دارد (Schloter et al., 2003). تغییر کاربری در ایران مانند سایر نقاط جهان به ویژه 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 جنگل های تخریب شده در ایران مجدداً

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 فیزیکی شیمیایی 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 ماده آلی، تخلخل کل، نیتروژن کل و پایداری خاک‌دانه‌ها و افزایش وزن مخصوص ظاهری شده، همچنین تغییر مقدار ماده آلی، تغییر در فعالیت‌های آنزیمی در داخل پروفیل خاک را به دنبال 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 به وسیله جنگل‌های دست‌کاشت و ثانیاً ارتباط بین از دست رفتن ماده آلی 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

به منظور 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؛ به طوری که تمام فاکتورهای خاک‌سازی به جز پوشش گیاهی برای همه کاربری‌های انتخاب شده مشابه باشد. مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است.

جنگل کاری شده‌اند. جنگل‌های دست‌کاشت به صورت 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 جنگل کاری 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 در حالی که احیای آن‌ها به کندی صورت می‌پذیرد.

تغییر کاربری و احیای مجدد این اراضی می‌تواند به صورت تغییر در ویژگی‌های بیوشیمیایی و میکروبی خاک منعکس گردد (An *et al.*, 2008). ویژگی‌های میکروبی و بیوشیمیایی خاک به-عنوان 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 به طور متداول به عنوان 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; Kalembsa and Symanowicz, 2012) اشاره گردیده است. عقیده بر این است که افزایش یا کاهش فعالیت آنزیم‌ها به طور جداگانه یا در کل می‌تواند به عنوان 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 به عنوان شاخص بالقوه برای ارزیابی کیفیت خاک به کار گرفته شوند. میکروارگانیسم‌ها منبع اصلی آنزیم‌ها در خاک هستند و می‌توانند واکنش‌های مختلف و فرایندهای متابولیکی خاک مانند تجزیه مواد آلی، چرخه مواد مغذی و استحکام ساختمان خاک را تسریع نمایند (Wang *et al.*, 2011a). آنزیم‌های خاک تغییر و تحول کربن، نیتروژن،

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی منطقه مورد مطالعه

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

برخی ویژگی‌های بیولوژیکی و آنزیمی اندازه‌گیری شده

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 (Margeson, 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 به صورت 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 $5 \times 2 = 10$ 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 تغییر کاربری 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 به وسیله 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 به طور میانگین ۳/۹ برابر بیشتر از شالیزار بود. این نتایج مبین آن است که عملیات کشت و کار در زمین‌های بکر از یک

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 Bornum*) توسکای بیلاقی (*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 مخروطه زیر کشت برنج رفته است در حالی که قسمت دیگری از جنگل‌های مخروطه مجدداً احیا گردیده و درختان دست‌کاشت در آن‌ها کشت شده‌اند.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور نمونه‌برداری از خاک منطقه در تابستان ۱۳۹۶، هر کاربری به سه قسمت مختلف تقسیم و هر قسمت به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد و در هر قسمت اقدام به جمع‌آوری نمونه از عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ 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 صورتی که قسمت دوم در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری ویژگی‌های میکروبی و فعالیت آنزیمی نگه‌داری شد.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده

در نمونه‌های خاک بافت (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.

طرف با کاهش ورود بقایای آلی به خاک (به علت برداشت محصول) و از سوی دیگر با شکستن خاکدانه‌ها و تخریب می‌شود. 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)	آب‌گریزی	pH	کربن آلی (g kg ⁻¹)	نیترژن کل
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 کاشت صنوبر	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۸۱ Ab	۲۰/۸۴ Ab	۴۶/۰۰ Ac	۶/۵۳ Ac	۳۶/۱۶ Abc	۳/۴۶ Ab
	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۱/۰۳ Bb	۱۹/۴۶ Bb	۲۵/۶۷ Bb	۶/۴۹ Ac	۲۲/۸۷ Bb	۲/۲۰ Bb
جنگل دست کاشت توسکا	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۶۴ Ab	۱۵/۱۳ Ac	۵۵/۳۳ Ab	۶/۸۹ Abc	۳۴/۴۱ Ac	۳/۶۸ Ab
	۲۰-۴۰	لوم سیلتی	۰/۷۵ Bc	۱۰/۱۵ Bc	۳۳/۳۳ Bb	۶/۸۷ Ab	۲۰/۱۸ Bc	۲/۱۹ Bb
جنگل دست کاشت دارتالاب	۰-۲۰	لوم سیلتی	۱/۲۵ Ac	۶/۶۶ Ad	۷۷/۰۰ Aa	۷/۴۸ Aab	۴۰/۴۱ Ab	۳/۲۳ Ab
	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	۰/۶۵ Ad	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، ۰/۰۱، ۰/۰۵، تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار (حروف متفاوت) (حروف بزرگ برای عمق‌های متفاوت و حروف کوچک برای کاربری مختلف) نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ در آزمون دانکن است.

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 بیلاقی، به عنوان یک توده تثبیت کننده ازت، اغلب عناصر تغذیه‌ای در برگ سبز، و عناصر بازگشتی از قبیل نیترژن، پتاسیم و منیزیم در لاش برگ به طور معنی‌داری بیشتر از توده سوزنی برگ خزان کننده دارتالاب می‌باشد. این امر، در نهایت می‌تواند حاصل خیز 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 نیترژن لاش برگ، و میزان نیترژن باز جذب شده برگ قبل از خزان درخت در توده دارتالاب، به ترتیب

احیای اراضی تخریب شده به وسیله جنگل دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب به ترتیب 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. به طور میانگین جنگل دست کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب به ترتیب ۳۶، ۴۷ و ۵۸ درصد با شرایط بهینه فاصله داشتند. از سطح به عمق این پوشش‌ها سبب بهبود خاک شدند. با اینکه مقدار کربن آلی در دارتالاب بیشتر از دو جنگل دست کاشت دیگر است (جدول ۲) ولی میزان بهبود میانگین وزنی قطر

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 آب‌گیری را دارا بودند. یکی از علل خاصیت آب‌گیری در درختان همیشه سبز و سوزنی‌برگ‌ها وجود مقادیر قابل ملاحظه- ای 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 (۰-۲۰ سانتی‌متری) و ۵۴/۶ درصد کاهش مربوط به لایه زیرسطحی (۲۰-۴۰ سانتی‌متری) بود. احیای اراضی جنگل‌زدایی شده به‌وسیله جنگل دست‌کاشت موجب جبران تقریباً ۵۷/۰، ۴۶/۸ و ۳۸ درصد به‌ترتیب توسط جنگل دست‌کاشت 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 دست‌کاشت صنوبر، جنگل دست‌کاشت توسکا، جنگل طبیعی توسکا، جنگل دست‌کاشت 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 الگوی مشابه با توزیع کربن آلی در خاک تبعیت کرد (جدول ۲) به‌طوری که مقدار نیتروژن کل خاک جنگلی بین (۱/۸-۲/۱) برابر و در هر دو عمق بیش از خاک شالیزار بود. احیای قسمتی از اراضی تخریب شده به‌وسیله جنگل دست‌کاشت صنوبر، توسکا و دارتالاب موجب جبران مقداری از نیتروژن هدر رفته در اثر تغییر کاربری شد ولی بین کاربری‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با این حال جبران نیتروژن کل توسط جنگل دست‌کاشت توسکا بیش‌تر از سایر پوشش‌ها بود (جدول ۲). این را می‌توان به حضور میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده ازت در گره‌های ریشه‌های توسکا نسبت داد.

بیانگر تجزیه‌پذیری کندتر و کم‌تر بودن نیتروژن لاش‌برگ‌های این توده در مقایسه با توده توسکا بیلاقی 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 (۰-۲۰ سانتی‌متری) خاک جنگلی به ۱/۵۹ سانتی‌متر در روز در لایه سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) خاک شالیزار کاهش 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 ۰/۰۱۴ 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 کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد (جدول ۲). کمترین مقدار بهبود در جنگل دست‌کاشت دارتالاب دیده شد. که احتمالاً به‌دلیل آب‌گیری 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 (جدول ۲). 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 ۲۰-۴۰ 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 آب‌گیری خاک بود (جدول ۲). در تمام کاربری‌ها بیش‌ترین مقدار آب‌گیری در خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) مشاهده گردید که با افزایش عمق این خاصیت به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. کاهش میزان آب‌گیری با افزایش عمق به نظر می‌رسد به‌دلیل کاهش میزان مواد آلی 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 مواد آلی باشد. در بین کاربری‌های مختلف در این مطالعه خاصیت آب‌گیری در جنگل دست‌کاشت دارتالاب از سایر کاربری‌ها بیشتر بود (جدول ۲) Woche et al., (2005) با بررسی خاصیت آب‌گیری پوشش

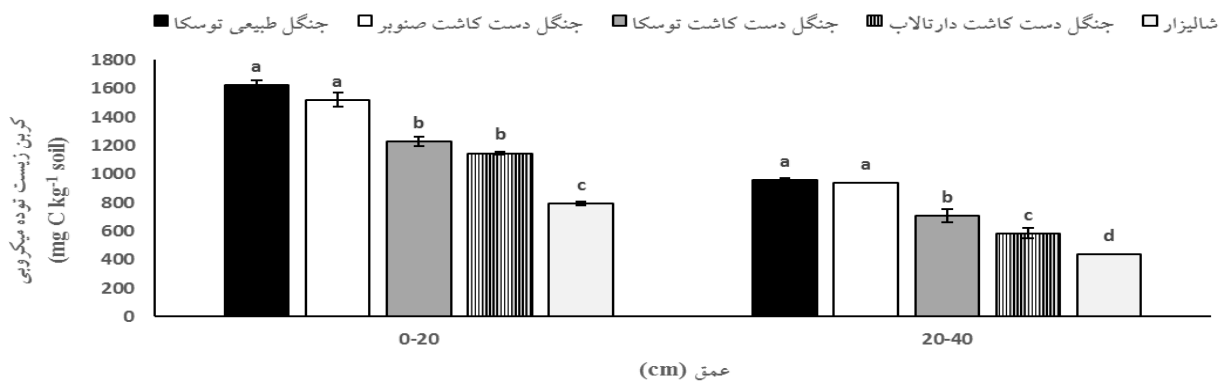
(جدول ۲). Pabst *et al.*, (2013) گزارش کردند که میزان کربن زیست توده میکروبی در اراضی کشاورزی بسیار کم تر از اکوسیستم های طبیعی است. بنابراین تغییر کاربری علاوه بر تاثیر روی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک روی جمعیت میکروبی درگیر در چرخه کربن نیز موثر است. احیای جنگل های مخروطه به طور متوسط موجب جبران ۸۰ درصدی کاهش کربن زیست توده میکروبی تنها در لایه سطحی شد (شکل ۱). بیشترین و کمترین کربن زیست توده میکروبی در جنگل های دست کاشت به ترتیب در جنگل دست کاشت صنوبر (۱۵۲۰ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و جنگل دست کاشت دارتالاب (۱۱۴۵ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک) مشاهده شد. مقدار بهبود کربن زیست توده میکروبی در مقایسه با شالیزار تقریباً ۹۰، ۷۴ و ۵۶ درصد به ترتیب در صنوبر، توسکا و دارتالاب بود. مقدار کربن زیست توده میکروبی در پنج کاربری از روند زیر تبعیت کرد:

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

تاثیر تغییر کاربری اراضی و احیای برخی از اراضی تخریب شده بر برخی ویژگی های بیولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه

تاثیر تغییر کاربری اراضی و احیای برخی از اراضی تخریب شده بر کربن زیست توده میکروبی

محتوای کربن زیست توده میکروبی در هر کاربری در شکل (۱) نشان داده شده است. تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار تاثیر معنی داری بر روی کربن زیست توده میکروبی داشت. البته بزرگی این تغییرات در کربن زیست توده میکروبی بسته به عمق خاک داشت. مقدار کربن زیست توده میکروبی در شالیزار (به طور متوسط ۵۲/۸ درصد) کمتر از جنگل طبیعی بود. این مقدار نتیجه کاهش کمتر کربن زیست توده میکروبی (۵۱/۳ درصد) در لایه سطحی (۲۰-۴۰ سانتی متری) 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 (به طور متوسط ۴۵/۲ درصد) در شالیزار منتج شده از جنگل طبیعی مشاهده شد که این با یک کاهش ۴۳/۶ درصد در لایه سطحی (۲۰-۴۰ سانتی متری) و ۴۸ درصدی در لایه (۲۰-۴۰ سانتی متری) همراه بود



شکل ۱- مقدار کربن زیست توده میکروبی در پنج کاربری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون ها نشان دهنده اختلاف معنی دار بین کاربری ها در سطح ۵ درصد است.

در شالیزار ($51/8 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} 2\text{h}^{-1}$) یافت شد (شکل ۲). کاهش از جنگل طبیعی به شالیزار به طور میانگین ۵۴ درصد بود. احیای جنگل های مخروطه توسط جنگل های دست کاشت موجب جبران حدود ۶۵، ۵۲ و ۱۴ درصد از این کاهش ها به ترتیب توسط جنگل دست کاشت دارتالاب، صنوبر و توسکا گردید. مقدار این آنزیم در کاربری های مختلف به صورت زیر بود:

شالیزار > جنگل دست کاشت توسکا > جنگل دست کاشت صنوبر > جنگل دست کاشت دارتالاب > جنگل طبیعی توسکا
 اوره آز یک آنزیم کلیدی در گردش نیتروژن بوده و نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی ایفا می کند. این آنزیم توسط

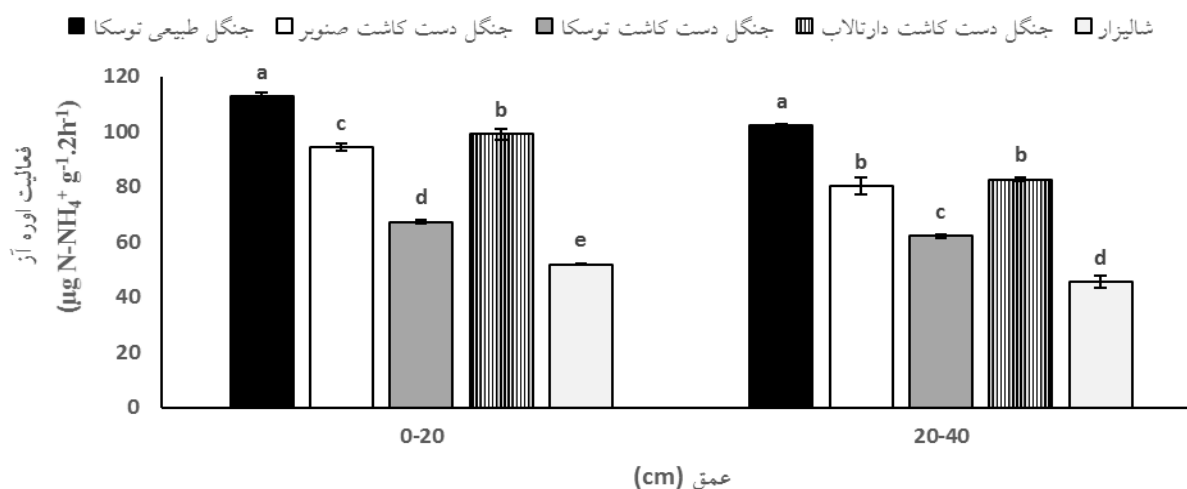
به طور کلی افزایش کربن زیست توده میکروبی توسط پهن برگ ها بیشتر از سوزنی برگان بود. زیرا پهن برگ ها سریع رشد و خزان شونده هستند در نتیجه مقدار زیادی بقایا به سطح خاک اضافه می کنند همچنین به دلیل اینکه (C/N) در این بقایا کم است. سریعاً تجزیه شده و کربن زیست توده میکروبی در سطح خاک افزایش می یابد.

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

بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین مقدار فعالیت اوره آز در جنگل طبیعی ($112/9 \mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} 2\text{h}^{-1}$) و کمترین مقدار

کاهش ورود بقایا به خاک در این نواحی می‌باشد. در مطالعه حاضر با وجود مصرف کود اوره (۲۵۰-۳۰۰ 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.

گیاهان و میکروارگانیسم‌ها ترشح می‌گردند. 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 به دلیل



شکل ۲- فعالیت آنزیم اوره‌آز برای پنج کاربری در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ 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.

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.

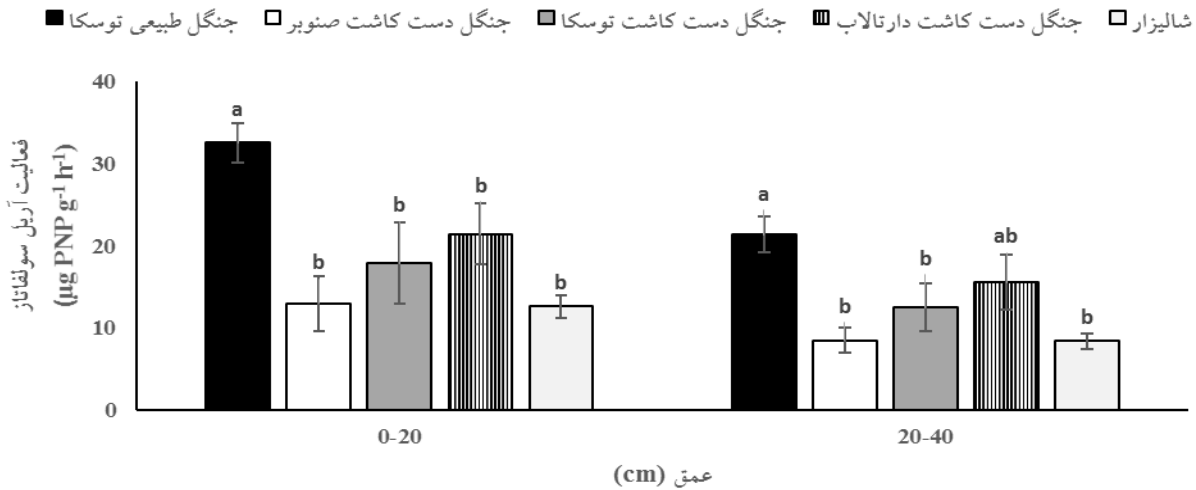
فعالیت آریل سولفاتازها در خاک سطحی در جنگل طبیعی در مقایسه با سایر کاربری‌ها بیشتر بود (شکل ۳). در خاک عمقی هم همین روند مشاهده گردید. میزان کاهش در اثر تغییر کاربری چیزی حدود ۶۱ درصد بود که حدود ۳۲ درصد توسط جنگل دست‌کاشت دارتالاب جبران گردید ولی میزان جبران توسط جنگل دست‌کاشت صنوبر بسیار کم بود. فعالیت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

Zhang et al., (2009) بیان نمودند فعالیت آنزیم اوره‌آز به نوع کاربری و زمان نمونه‌برداری بستگی دارد و تحت‌تأثیر محتوای رطوبت خاک، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس قرار می‌گیرند. (Maharjan et al., 2017) با مطالعه تأثیر 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 دست‌کاشت، 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. تأثیر زیست‌توده میکروبی، کربن آلی خاک و پایداری قطر خاکدانه بر فعالیت‌های آنزیمی به‌وسیله همبستگی مثبت بین فعالیت این آنزیم‌ها این ویژگی‌ها تایید می‌شود (جدول ۳). ورودی بالای مواد

مثبت دارد (جدول ۳) و دلیل کاهش فعالیت این آنزیم از جنگل طبیعی به شالیزار کاهش مقدار ماده آلی 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).

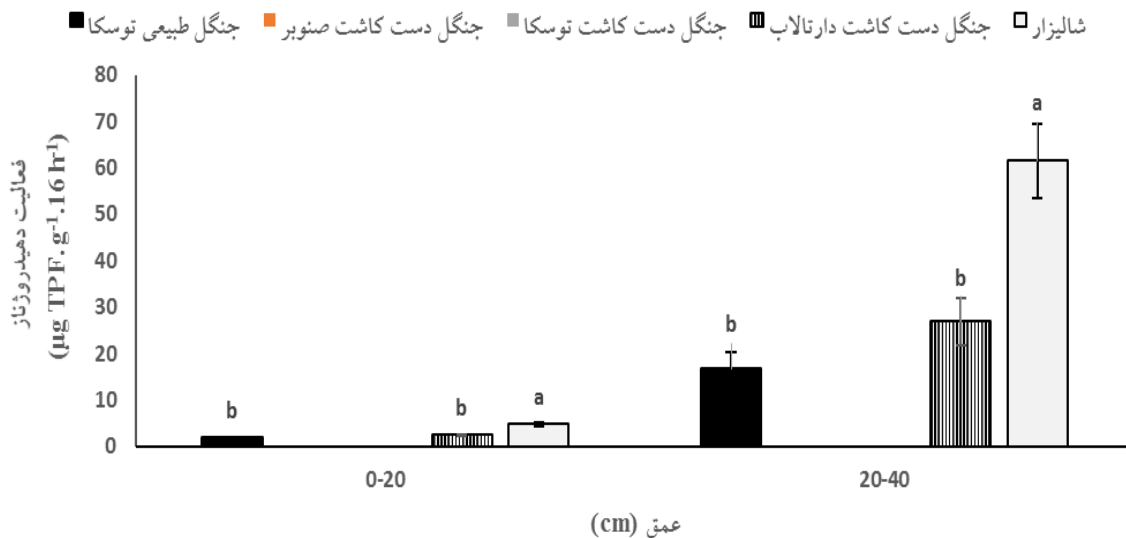
سولفاتاز در کاربری‌های مختلف از روند زیر تبعیت کرد: شالیزار > جنگل دست کاشت صنوبر > جنگل دست کاشت توسکا > جنگل دست کاشت دارتالاب > جنگل طبیعی توسکا. فعالیت این آنزیم با مقدار ماده آلی در خاک همبستگی



شکل ۳- فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز برای پنج کاربری در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ 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.

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 به دلیل افزایش رطوبت از سطح به عمق خاک است.

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 دست کاشت دارتالاب به دلیل وجود رطوبت فعال بود در حالی که فعالیت دهیدروژناز در جنگل

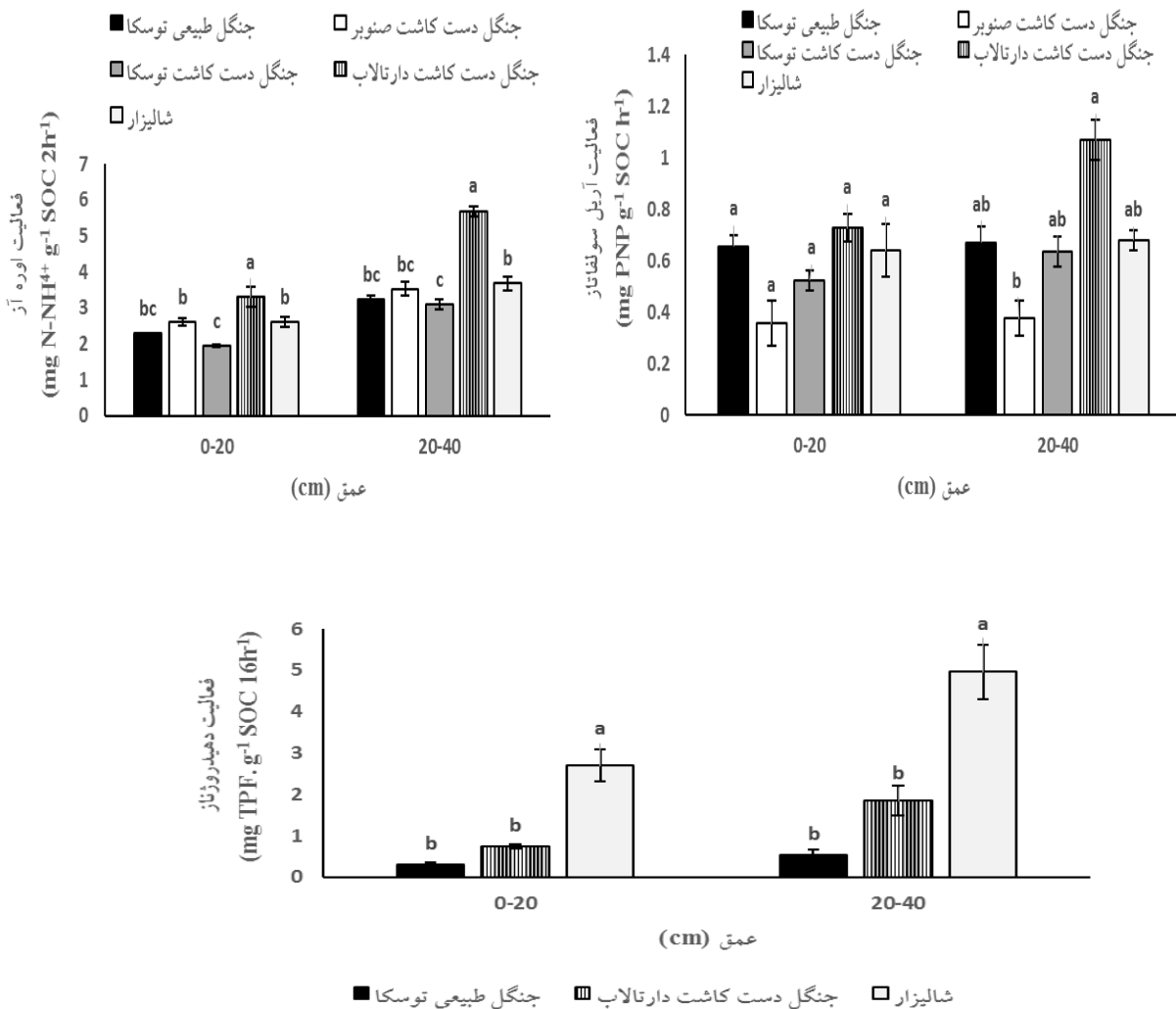


شکل ۴- فعالیت آنزیم دهیدروژناز برای پنج کاربری در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری (n=3)، حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین کاربری‌ها در سطح ۵ درصد است. خطوط عمودی مقادیر خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

این افزایش در اوره آز و آریل سولفاتاز معنی دار نبود. در صورتی که افزایش این نسبت در دهیدروژناز (۸۲۶-۸۱۸ درصد) معنی دار بود (شکل ۵). در جنگل دست کاشت دارتالاب این نسبت برای همه آنزیم‌ها افزایش یافت زیرا فعالیت آنزیم بیش از کربن آلی است.

تأثیر 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 این حال



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

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 دام افتاده در بین خاکدانه‌ها این نسبت افزایش یافته است.

یک همبستگی منفی و معنی دار 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 معنی دار 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

طبیعی به شالیزار مقدار کربن آلی به طور معنی داری کاهش یافت در حالی که نسبت آنزیم به کربن آلی در مورد آنزیم دهیدروژناز به طور معنی داری افزایش یافت. این نشان دهنده آن است که فعالیت این آنزیم مستقل از تغییرات کربن آلی خاک است (چون در این صورت بایستی با کاهش میزان کربن آلی فعالیت آنزیم هم کاهش می یافت) و به میزان رطوبت خاک وابسته است.

این می تواند با همبستگی منفی و معنی دار بین نسبت (EA/OC) با میانگین وزنی قطر خاکدانه تایید شود (جدول ۳). همچنین افزایش این نسبت می تواند به علت 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 ویژگی های خاک مرتبط باشد. به عنوان مثال در این مطالعه با تغییر کاربری از جنگل

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون (r) بین برخی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه گیری شده با فعالیت و مقدار ویژه آنزیم خاک در عمق های ۲۰-۴۰ و ۲۰-۴۰ سانتی متری خاک در کاربری های 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) اوره آز، (Arylsulfatase) آریل سولفاتاز، (Dehydrogenase) دهیدروژناز ***، **، * و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۱، ۰/۰۵ و ۵ درصد و غیرمعنی دار

آنزیم داخل آن ها آزاد می شود.

نتیجه گیری

تغییر کاربری موجب کاهش کربن آلی خاک، زیست توده میکروبی، میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی اشباع و خاصیت آب گریزی در شالیزار شد. تخریب خاکدانه ها به ویژه تبدیل خاکدانه های بزرگ به کوچک موجب آزاد شدن کربن آلی حفاظت شده گردید. در اثر عملیات خاک ورزی تهویه خاک افزایش می یابد که آن موجب افزایش سرعت تجزیه بقایا و کاهش ذخیره عناصر غذایی و تبع آن کاهش جمعیت میکروبی می گردد. بنابراین فعالیت آنزیم اوره آز و آریل سولفاتاز در شالیزار کمتر از جنگل طبیعی شد. احیای اراضی تخریب شده به وسیله جنگل های دست کاشت موجب بهبود برخی از پارامترهای کیفی و آنزیمی خاک شد. جنگل دست کاشت صنوبر باعث بهبود بیشتر میانگین وزنی قطر خاکدانه و کربن زیست توده 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 اوره آز و آریل سولفاتاز بیش از پوشش های گیاهی دیگر بود. در مقایسه با ویژگی های کیفی و فعالیت آنزیم می توان نتیجه گرفت که پوشش دارتالاب بهتر از پوشش صنوبر و توسکا این ویژگی ها را بهبود بخشید. امروزه تبدیل جنگل طبیعی به شالیزار در شمال ایران با کاهش شدید ویژگی های کیفی و آنزیمی خاک همراه بوده

(Trasar-Cepeda *et al.*, 2008) پیشنهاد کردند که غنی

شدن آنزیمی خاک های کشت شده ممکن است در نتیجه این حقیقت باشد که در اثر کشت و کار مواد آلی ناپایدار در اثر تنفس از بین رفته و جزء هومیکی که مستحکم هستند باقی می مانند. جزء هومیکی حاوی آنزیم های خارج سلولی پیوند شده با مواد هومیکی به صورت کلئیدهای رس-هوموس-آنزیم بوده که باعث افزایش نسبی فعالیت آنزیم می گردد. همچنین Wang *et al.*, (2012) و (2015)، (2014) Raiesi and Beheshti در مطالعات خود بیان نمودند که با تغییر کاربری از جنگل طبیعی به اراضی کشاورزی و افزایش کشت و کار نسبت EA/OC افزایش می یابد. افزایش این نسبت احتمالاً به دلیل کاهش بیشتر کربن آلی خاک نسبت به آنزیم است. در همه آنزیم ها به طور میانگین این نسبت از سطح به عمق افزایش یافت (شکل ۵). با افزایش عمق هم فعالیت آنزیمی و هم مقدار تجزیه ماده آلی کاهش می یابد. ولی با توجه به نتایج این پژوهش کاهش ماده آلی بیش تر از کاهش فعالیت آنزیمی بود. در جنگل دست کاشت دارتالاب این نسبت در همه آنزیم ها 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 آنزیم ها به این مواد متصل شده و آن ها هم به نوبه خود به کلئیدهای خاک وصل می شوند و کمپلکس رس-هوموس-آنزیم را به وجود می آید. این امر موجب نگهداری آنزیم و افزایش نسبی فعالیت آنزیم می گردد. همچنین با تخریب خاکدانه

کیفی و کاهش فعالیت آنزیمی خاک را تعدیل کرده و شرایط را به شرایط طبیعی نزدیک نمود.

که نهایتاً موجب تخریب خاک گردیده است. با احیای این اراضی به وسیله جنگل‌های دست‌کاشت می‌توان تخریب ویژگی‌های

REFERENCES

- Acosta-Martinez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D and Perez-Alegria, L. (2007). Enzyme activities as affected by soil properties and land use in 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 Pelt, S., Hamer, U and Makeshin, F. (2008). Soil quality degradation processes a deforestation chronosequence 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 analysis*. 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., Zaccane, 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 Saghbi 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.
- Schlöter, M., Dilly, O and Munch, J.C. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 98: 255-262.
- Strobl, W. and Traummüller, 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 Environment*. Pp: 564-571.
- Zabelina, O.N. (2014). Enzymatic activity of soils in natural recreational landscapes of urban territories. *Journal of Ecological Indicators*. 14: 103-110.

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

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