تغییرات فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در مراحل مختلف تحولی تودهٔ جنگلی راش (مطالعهٔ موردی: جنگل رزه در غرب استان گیلان)

طاهره علی‌زاده[۱]، علی صالحی[۲*]، محمد متینی‌زاده[۳] و کامبیز طاهری آبکنار[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان
[۲] استادیار گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان
[۳] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۶)

چکیده

مراحل تحولی در جنگل‌های بکر و بدون دخالت انسان در چرخه‌های زمانی متفاوت صورت می‌گیرد و سه مرحلهٔ، ابتدایی (initial)، بلوغ (optimal) و پوسیدگی (decay) را شامل می‌شود. در هر کدام از مراحل یادشده، تحولاتی در جنگل مانند تغییرات شدت نور رسیده به کف جنگل روی می‌دهد که در نتیجهٔ آن ویژگی‌های شیمیایی و فعالیت میکروارگانیسم‌های داخل خاک ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد. این تحقیق به‌منظور بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در مراحل مختلف تحولی تودهٔ جنگلی مدیریت-نشدهٔ راش در حوزهٔ شهرستان رضوانشهر انجام گرفت. نمونه‌برداری از خاک به‌طور تصادفی صورت گرفت. برای هر کدام از مراحل تحولی ذکرشده پنج نمونه، از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر گرفته‌شد و فعالیت این دو آنزیم با استفاده از واکنش با سوبسترا، توسط اسپکتروفتومتر سنجش شد. از میان ویژگی‌های شیمیایی، pH، عناصر تغذیه‌ای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین ماده آلی خاک اندازه‌گیری شد. بر پایهٔ نتایج pH و آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در مراحل مختلف تحولی اختلاف معنادار داشتند و فعالیت آنزیم‌های یادشده در مرحلهٔ پوسیدگی بیشتر از مراحل تحولی دیگر است. بر این اساس می‌توان عنوان کرد مرحلهٔ پوسیدگی شرایط مساعدتری نسبت به دو مرحلهٔ تحولی دیگر از نظر فعالیت میکروارگانیسمی داشته است. این تحقیق همچنین نشان داد فعالیت آنزیم‌های خاک شاخص مناسب‌تری برای بیان اختلافات بین مراحل مختلف تحولی جنگل است، اما ویژگی‌های شیمیایی خاک ممکن است در تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از آنزیم‌ها بسیار مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های خاک، راش، مراحل تحولی جنگل، ویژگی‌های شیمیایی خاک.

[*] نویسنده مسئول تلفن: ۰۱۸۲۳۲۲۳۵۹۹ email:asalehi@guilan.ac.ir

مقدمه و هدف

اساساً تحولات اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه جنگل‌ها به‌صورت بطئی اتفاق می‌افتد، به‌طوری‌که در زمان کوتاه قابل مشاهده یا ارزیابی نیست. به‌عبارت دیگر، یک درخت جنگلی در نتیجهٔ رسیدن به سن دیرزیستی فیزیولوژیک، با پوسیدگی مواجه می‌شود و با افتادن، روشنه‌ای را در جنگل ایجاد می‌کند، سپس بذرهای ریخته شده در این روشنه‌ها به‌دلیل مهیا بودن شرایط رشد، رویش خود را آغاز می‌کنند. نهال-های حاصل در نتیجهٔ رقابت و طی مراحل رویشی گوناگون، توده‌های جنگلی نهایی را به‌وجود می‌آورند. تمام اتفاقاتی که در این مدت به‌وقوع می‌پیوندد، همراه با تحولاتی در جنگل است که در اصطلاح، مراحل تحولی نام می‌گیرند (دلفان اباذری و ثاقب-طالبی، ۱۳۸۶). در همهٔ این مراحل و رویدادها، خاک و اجزای زندهٔ آن تحت تأثیر تغییرات محیطی به-خصوص نور قرار می‌گیرند و با پیچیدگی‌هایی روبه‌رو هستند. خاک‌های جنگلی از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بسیار پیچیده‌اند. این خصوصیات تأثیرات متفاوتی بر هم دارند. خصوصیات مختلف خاک در طول زمان و در اثر عوامل و فرآیندهای مختلف، در طبیعت دستخوش تغییر می‌شوند. یکی از عوامل مهم تشکیل خاک و تغییردهندهٔ خصوصیات آن، موجودات زنده‌اند که در خاک‌های جنگلی، گیاهان و میکرو و ماکروارگانیسم‌ها، مهم‌ترین آنها هستند. گیاهان با ریزش برگ یا در اثر ترشحات ریشه-ای، منبعی از کربن و سایر مواد مغذی را برای تجزیه-کنندگان خاک ایجاد می‌کنند و موجودات زندهٔ خاک، به‌ویژه میکروارگانیسم‌ها، مواد آلی خاک را تجزیه کرده و ساختمان خاک را مستحکم می‌کنند و در ایجاد یا تغییر ویژگی‌های فیزیکی، چرخهٔ عناصر و آزاد شدن مواد مغذی که برای رشد گیاهان اعمال می‌شود، نقش مهمی دارند (Porazinska *et al.*, 2003). خواص بیوشیمیایی و زیستی خاک به‌سرعت به تغییرات و تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Nannipieri *et al.*, 1990; Klein *et al.*, 1985). فعالیت‌های میکروبی که فعالیت آنزیمی را نیز شامل می‌شود در مقایسه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حساس‌ترند و اغلب شاخص‌های مرتبط با کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند (Vanhala & Ahtiainen, 1994; Yakovchenko *et al.*, 1996; Pankhurst *et al.*, 1997). آنزیم‌های مختلفی در خاک وجود دارند که هر کدام نقش خاصی به عهده دارند. از بین این آنزیم‌ها، دو آنزیم دهیدروژناز و اوره‌آز در خاک‌های جنگلی اهمیت خاصی دارند. آنزیم دهیدروژناز متعلق به اکسیدوردوکتازها و انتقال‌دهندهٔ هیدروژن است. فعالیت دهیدروژناز، یک شاخص بر سیستم زیستی اکسایش و کاهش است و چون فقط در سلول‌های زندهٔ میکروبی وجود دارد، نشانه و مقیاس مناسبی برای فعالیت میکروبی و اندازه‌گیری شدت متابولیسم میکروبی در خاک محسوب می‌شود (Nannipieri *et al.*, 1990). اوره‌آز آنزیمی با منشأ میکروبی است که هیدرولیز ترکیبات آمیدی با منشأ حیوانی، گیاهی و میکروارگانیسمی را بر عهده دارد (Frankenberg & Tabatabai, 1991). اهمیت سنجش اوره‌آز به‌دلیل ارزیابی هیدرولازها در خاک است که می‌توانند در فرآیندهای تجزیه مؤثر باشند.

آنزیم‌های خاک می‌توانند در تبیین تغییرات خاک شاخص‌های مناسبی باشند. از طرف دیگر مراحل تحولی در جنگل نیز بسیار حساس است و شناخت تغییرات ناشی از آن در خاک جنگل چندان ساده نیست. از این رو در این تحقیق، فعالیت برخی شاخص‌های زیستی خاک مانند آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز و ویژگی‌های شیمیایی مرتبط با آن‌ها از جمله pH، عناصر تغذیه‌ای (N, P, K) و ماده آلی خاک در مراحل مختلف تحولی در جنگل بررسی شده است. نتایج این تحقیق کمک خواهد کرد که ضمن شناخت وضعیت زیستی و شیمیایی خاک در هر یک از مراحل تحولی جنگل، درک بهتری از تأثیر این رویداد مهم طبیعی بر خاک و اکوسیستم جنگل به‌دست آید.

مواد و روش‌ها

- منطقهٔ تحقیق

این تحقیق در جنگل‌های مدیریت‌نشدهٔ غرب استان گیلان واقع در پارسل ۳۴ "جنگل رزه" در سری ۹ حوزهٔ شفارود تالش انجام گرفت. برای این کار، پس از جنگل‌گردشی فراوان و در قالب یکی از طرح‌های پژوهشی کلان مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سه قطعه نمونهٔ یک هکتاری راش خالص در پارسل مورد نظر که تا حد ممکن فاصلهٔ کمی از هم داشتند و از نظر ارتفاع از سطح دریا، مقدار و جهت شیب، نوع پوشش گیاهی و دیگر خصوصیات محیطی تا حد امکان شبیه هم بودند و فقط از نظر مراحل مختلف تحولی جنگل تفاوت داشتند، انتخاب شد. این انتخاب بر اساس نظریهٔ Korpel (1995) برای مراحل تحولی جنگل، در سه مرحلهٔ تحولی ابتدایی، بلوغ و پوسیدگی یا تخریب انجام گرفت. بر اساس معرفی این محقق، در مرحلهٔ اول، تودهٔ جوان، رشد سریع و موجودی، در حال افزایش است. در مرحلهٔ بلوغ یا اوج، توده یک آشکوبه و منظم به‌نظر می‌رسد و فاقد خشکه‌دار قطور و رسیده در سطح توده است. در مرحلهٔ پوسیدگی درختان، خشکه‌دار قطور بیشتری دیده می‌شود و درختان مسن در حال افتادن و پوسیدنند و حجم و تاج پوشش کاهش می‌یابد.

پارسل مورد نظر که در حد ارتفاعی ۱۵۵۰-۱۱۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است، جزء جنگل‌های میان‌بند محسوب می‌شود و در حوزهٔ استحفاظی ادارهٔ منابع طبیعی شهرستان رضوانشهر واقع شده است. طول جغرافیایی آن بین ´´۵۹ ´۴۸ °۴۸ تا ´´۳۹ ´۴۹ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی بین ´´۴۳ ´۲۷ °۳۷ تا ´´۲۹ ´۲۸ °۳۷ شمالی واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی رسوبات و ته‌نشست‌های آن متعلق به‌دوران دوم زمین‌شناسی است. نوع سنگ مادری قطعهٔ مورد بررسی، آهکی ناخالص با منشأ آذرین و دگرگونی همراه با آثار و شیارهای گیاهی فسیل‌شده، مربوط به‌دورهٔ کرتاسه است. بنابر بررسی‌ها و گزارش‌های خاک‌شناسی، ساختمان خاک، دانه‌ای و نوع بافت آن در لایهٔ سطحی لومی شنی است و در لایهٔ پایین به بافت لومی تبدیل می‌شود. خاک بیشتر با عمق کم و متوسط است. عمق ریشه‌دوانی خوب و نفوذپذیری خاک، خوب تا متوسط است. گونهٔ غالب منطقه راش است، ولی گونه‌های پلت، شیردار، ممرز و توسکای ییلاقی را می‌توان به‌صورت پراکنده در آن مشاهده کرد. عسلک، فرفیون، آسپرولا، کارکس و گندمیان از گونه‌های عمدهٔ کف جنگل هستند (بی‌نام، ۱۳۸۵).

برای تحقیقات آب‌وهوایی از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه شاندرمن در ۲۵ کیلومتری محل تحقیق، سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۷۳) استفاده شد. بر اساس اطلاعات موجود، متوسط درجهٔ حرارت سالیانهٔ حوزه (در ارتفاع ۱۲۰۰متر) ۱۵/۷ سانتی‌گراد و متوسط حداکثر و حداقل دما به‌ترتیب ۲۱ و ۱۰/۵ سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالیانه ۹۸۹/۷ میلی‌متر است و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، منطقه در اقلیم نیمه‌مدیترانه‌ای مرطوب قرار دارد (بی‌نام، ۱۳۸۵).

- نمونه‌برداری و روش‌های تجزیهٔ آزمایشگاهی خاک

برای هر کدام از مراحل تحولی ذکرشده پنج نقطه به‌طور تصادفی انتخاب و از دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر از خاک آنها نمونه‌برداری انجام گرفت. شایان ذکر است که با توجه به‌شرایط موجود در منطقه، جهت و شیب هر یک از مراحل تحولی تقریباً یکسان است و نمونه‌برداری به‌طور تصادفی در این مناطق با شیب و جهت یکسان انجام گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و در آنجا پس از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری به دو قسمت تقسیم شدند. یک قسمت از نمونه‌های خاک برای سنجش‌های زیستی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد و قسمت دیگر برای سنجش‌های شیمیایی در دمای اتاق نگهداری شد.

در آزمایشگاه، ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل، pH با استفاده از روش پتانسیل‌متری (۱:۲/۵خاک و آب) (علی‌احیایی و بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲)، ماده آلی از

روش والکلی بلاک (Walkley & Black, 1934)، مقدار ازت کل توسط روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب از روش اولسن (Olsen *et al*., 1954) پتاسیم قابل جذب از روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار با pH = 7 (Soil Survey Staff, 1984) محاسبه شد. با استفاده از واکنش آنزیم/ سوبسترا و به دست آمدن محصول و سنجش آنها با اسپکتروفتومتر و سپس رسم منحنی‌های استاندارد مخصوص هر آنزیم، فعالیت دهیدروژناز بر حسب $TPF\ g^{-1}\ h\ \mu g$ و فعالیت اوره‌آز بر حسب $\mu g\ N/g.dm.2h$ (Kandeler, 1999) محاسبه شد.

- روش‌های تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌های آماری پس از کسب اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون، میانگین ویژگی‌های شیمیایی و آنزیم‌های خاک در مراحل تحولی جنگل، با به‌کارگیری آزمون تجزیهٔ واریانس یکطرفه و مراحل تحولی با روش دانکن مقایسه شد. در ادامه به‌منظور بررسی ارتباط آنزیم‌های خاک و ویژگی‌های شیمیایی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Spss نسخه ۱۷ انجام گرفت.

نتایج

- ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج این تحقیق نشان داد که از بین ویژگی‌های شیمیایی خاک در مراحل مختلف تحولی، عناصر تغذیه‌ای (N, P, K) و کربن آلی اختلاف معناداری ندارند، ولی مقدار آنها در مراحل مختلف تحولی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری بیشتر از عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری است. از طرفی درصد مادهٔ آلی و درصد ازت کل در مرحلهٔ پوسیدگی، فسفر قابل جذب در مرحلهٔ اولیه و پتاسیم قابل جذب در مرحلهٔ بلوغ، بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۱).

در عین حال pH خاک در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک بین مراحل مختلف تحولی، اختلاف معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد دارد. بیشترین مقدار pH در هر دو عمق خاک، مربوط به مرحلهٔ تحولی بلوغ و کمترین مقدار آن مربوط به مرحلهٔ پوسیدگی است (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسهٔ میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های شیمیایی خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحلهٔ اولیه	مرحلهٔ بلوغ	مرحلهٔ پوسیدگی	سطح معناداری
درصد ماده‌آلی	۱۰-۰ سانتی‌متر	۴/۸۹۶ ±۰/۵۳۵	۴/۷۳۵ ±۰/۴۶۵	۵/۸۸۸ ±۰/۸۲۳	۰/۳۹۹
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۲/۶۴۹ ±۰/۳۴۵	۲/۴۱۴ ±۰/۳۰۶	۲/۷۱۶ ±۰/۳۵۰	۰/۸۰۲
فسفر قابل جذب (ppm)	۱۰-۰ سانتی‌متر	۱۱/۹۸۴ ±۲/۱۷۶	۹/۱۴۵ ±۲/۳۵۲	۱۰/۰۳۸ ±۰/۸۰۵	۰/۵۷۵
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۶/۳۲۸ ±۰/۵۸۲	۵/۰۹۲ ±۰/۵۹۵	۵/۲۵۲ ±۰/۷۰۳	۰/۳۵۲
درصد ازت کل	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۲۲۷ ±۰/۰۲۷	۰/۲۲۶ ±۰/۰۱۴	۰/۲۵۰ ±۰/۰۲۴	۰/۷۱۰
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۱۵۸ ±۰/۲۳۰	۰/۱۵۲ ±۰/۰۱۷	۰/۱۶۳ ±۰/۰۲۹	۰/۹۵۴
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۱۰-۰ سانتی‌متر	۶۰/۸۴۰ ±۱/۴۷۰	۶۵/۱۶۰ ±۲/۱۲۸	۶۴/۴۹۰ ±۲/۷۷۸	۰/۳۵۶
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۵۳/۳۷۰ ±۱/۵۰۷	۵۷/۲۰۰ ±۳/۰۷۴	۵۵/۵۹۰ ±۳/۴۴۸	۰/۶۳۶
pH	۱۰-۰ سانتی‌متر	$5/530 \pm 0/108^{b}$	$6/072 \pm 0/410^{a}$	$5/106 \pm 0/185^{c}$	$0/001^{**}$
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	$5/396 \pm 0/081^{b}$	$6/094 \pm 0/006^{a}$	$5/182 \pm 0/184^{c}$	$0/000^{**}$

* معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد

- نتایج مربوط به تغییرات آنزیم‌های بررسی‌شده

نتایج تحقیق نشان داد که از ویژگی‌های زیستی خاک در سه مرحلهٔ تحولی، در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک، آنزیم دهیدروژناز در عمق دوم و آنزیم اوره‌آز در هر دو عمق ذکرشده اختلاف معناداری را در سطح احتمال ۹۹ درصد داشته‌اند (جدول ۲).

جدول ۲: مقایسهٔ میانگین (± اشتباه معیار) آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحلهٔ اولیه	مرحلهٔ بلوغ	مرحلهٔ پوسیدگی	سطح معناداری
دهیدروژناز	۱۰-۰ سانتی‌متر	۱۴۸/۰۱ ±۱۳/۰۴۹	۱۵۳/۹۹۶ ±۲۵/۰۸۱	۱۹۷/۷۷۱ ±۱۰/۸۸۷	۰/۱۲۴
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۱۷/۰۴۷ ±۳/۰۸۴	۴۵/۶۳۸ ±۱۱/۷۳۱	۶۰/۷۷۹ ±۵/۵۲۸	۰/۰۰۴**
اوره‌آز	۱۰-۰ سانتی‌متر	۱۳/۰۸۳ ±۱/۱۴۰	۱۴/۶۳۰ ±۰/۵۰۰	۲۲/۷۶۳ ±۱/۳۶۵	۰/۰۰۰**
	۲۰-۱۰ سانتی‌متر	۷/۷۴۵ ±۱/۲۳۲	۱۲/۴۷۵ ±۱/۵۴۳	۱۴/۰۳۵ ±۰/۹۰۰	۰/۰۰۸**

* معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد

- تغییرات فعالیت آنزیم دهیدروژناز

براساس محاسبات آماری و مقایسهٔ میانگین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در مراحل مختلف تحولی و بین دو عمق مورد بررسی، در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۹۹ درصد دارای اختلاف معنادار است و مقدار آن در مرحلهٔ پوسیدگی بیشتر از مراحل دیگر تحولی است.

- تغییرات فعالیت آنزیم اوره‌آز

بر اساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های آماری و مقایسهٔ میانگین فعالیت آنزیم اوره‌آز، این آنزیم در مراحل مختلف تحولی هم در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر و هم در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۹۹ درصد تفاوت معناداری نشان داده و در هر دو عمق بیشترین مقدار در مرحلهٔ پوسیدگی مشاهده شده است.

- همبستگی ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز

- همبستگی در مرحلهٔ اولیه

آنزیم دهیدروژناز در مرحلهٔ اولیه تحولی، در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری با پتاسیم قابل جذب و اسیدیتهٔ خاک در سطح احتمال ۹۵ درصد همبستگی مثبت و معنادار داشته است، ولی آنزیم اوره‌آز هیچ‌گونه همبستگی نداشته است (جدول ۳).

جدول ۳: همبستگی پیرسون و (سطح معناداری) بین ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در مرحلهٔ اولیه

خصوصیات خاک	مرحلهٔ اولیه	دهیدروژناز		اوره‌آز	
	عمق	۱۰-۰	۲۰-۱۰	۱۰-۰	۲۰-۱۰
درصد ماده‌آلی	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۸۰۸	۰/۲۷۸	-۰/۱۶۷	-۰/۲۵۰
	(سطح معنادار)	(۰/۰۹۸)	(۰/۶۵۱)	(۰/۷۸۸)	(۰/۶۸۵)
فسفر قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۸۹۵	۰/۸۱۸	-۰/۳۶۹	۰/۵۴۷
	(سطح معنادار)	(۰/۰۴۰)	(۰/۰۹۱)	(۰/۵۴۲)	(۰/۳۴۰)
درصد ازت کل	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۰۸۳	۰/۱۷۰	۰/۳۹۱	-۰/۰۸۹
	(سطح معنادار)	(۰/۸۹۵)	(۰/۷۸۴)	(۰/۵۱۵)	(۰/۸۸۷)
پتاسیم قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۵۶۸	۰/۹۳۸	۰/۰۷۰	۰/۶۸۳
	(سطح معنادار)	(۰/۳۱۸)	(۰/۰۱۸)*	(۰/۹۱۱)	(۰/۲۰۴)
اسیدیته	ضریب همبستگی پیرسون	-۰/۲۲۵	۰/۹۳۸	۰/۴۵۳	۰/۲۰۱
	(سطح معنادار)	(۰/۷۱۶)	(۰/۰۱۸)*	(۰/۴۴۴)	(۰/۷۴۶)

* معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد

- همبستگی در مرحلهٔ بلوغ

آنزیم دهیدروژناز در مرحلهٔ بلوغ، در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری با فسفر قابل جذب و آنزیم اوره‌آز در همین عمق با درصد ازت کل در سطح احتمال ۹۵ درصد همبستگی مثبت و معناداری نشان داده‌اند (جدول ۴).

جدول ۴: همبستگی پیرسون و (سطح معناداری) بین ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در مرحلهٔ بلوغ

خصوصیات خاک	مرحلهٔ بلوغ	دهیدروژناز		اوره‌آز	
	عمق	۱۰-۰	۲۰-۱۰	۱۰-۰	۲۰-۱۰
درصد ماده‌آلی	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۱۸۱	۰/۱۵۶	۰/۵۸۲	۰/۵۵۴
	(سطح معنادار)	(۰/۷۷۱)	(۰/۸۰۳)	(۰/۳۰۳)	(۰/۳۳۳)
فسفر قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۲۷۵	۰/۹۱۴	۰/۴۴۳	۰/۳۶۹
	(سطح معنادار)	(۰/۶۵۵)	(۰/۰۳۰)*	(۰/۴۵۶)	(۰/۵۴۱)
درصد ازت کل	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۳۵۹	۰/۱۵۶	۰/۰۰۸	۰/۸۸۹
	(سطح معنادار)	(۰/۵۵۳)	(۰/۸۰۳)	(۰/۹۹۰)	(۰/۰۴۳)*
پتاسیم قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۱۸۱	۰/۱۵۰	۰/۲۴۷	۰/۸۳۹
	(سطح معنادار)	(۰/۷۷۱)	(۰/۸۱۰)	(۰/۶۸۹)	(۰/۰۷۶)
اسیدیته	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۵۲۳	- ۰/۱۱۷	- ۰/۸۵۴	- ۰/۶۴۱
	(سطح معنادار)	(۰/۳۶۵)	(۰/۸۵۲)	(۰/۰۶۵)	(۰/۲۴۳)

* معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد

- همبستگی در مرحلهٔ پوسیدگی

بر اساس نتایج در مرحلهٔ پوسیدگی، آنزیم دهیدروژناز در عمق دوم با پتاسیم قابل جذب در سطح احتمال ۹۵ درصد همبستگی منفی و معنادار داشته و آنزیم اوره‌آز در عمق اول با ازت کل، پتاسیم قابل جذب و اسیدیتهٔ خاک همبستگی مثبت و معنا-دار در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داده است (جدول ۵).

جدول ۵: همبستگی پیرسون و سطح معناداری بین ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم‌های دهیدروژناز و اوره‌آز در مرحلهٔ پوسیدگی

خصوصیات خاک	مرحلهٔ پوسیدگی	دهیدروژناز		اوره‌آز	
	عمق	۱۰-۰	۲۰-۱۰	۱۰-۰	۲۰-۱۰
درصد ماده‌آلی	ضریب همبستگی پیرسون	- ۰/۱۴۲	۰/۳۳۸	- ۰/۲۰۲	۰/۷۵۱
	(سطح معنادار)	(۰/۸۲۰)	(۰/۵۷۸)	(۰/۷۴۵)	(۰/۱۴۴)
فسفر قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۳۳۰	۰/۰۲۹	۰/۵۲۷	۰/۲۱۰
	(سطح معنادار)	(۰/۵۸۷)	(۰/۹۶۳)	(۰/۳۶۱)	(۰/۷۳۴)
درصد ازت کل	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۵۸۶	- ۰/۸۵۶	۰/۹۳۴	۰/۵۴۲
	(سطح معنادار)	(۰/۲۹۹)	(۰/۰۶۴)	(۰/۰۲۰)*	(۰/۳۴۶)
پتاسیم قابل جذب	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۲۵۳	- ۰/۹۱۸	۰/۹۰۸	۰/۵۳۳
	(سطح معنادار)	(۰/۶۸۱)	(۰/۰۲۸)*	(۰/۰۳۳)*	(۰/۳۵۵)
اسیدیته	ضریب همبستگی پیرسون	۰/۶۵۳	- ۰/۶۳۵	۰/۹۳۶	۰/۵۴۷
	(سطح معنادار)	(۰/۲۳۲)	(۰/۲۵۰)	(۰/۰۱۹)*	(۰/۳۴۰)

* معنادار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنادار در سطح احتمال ۹۹ درصد

بحث

همان‌گونه که اشاره شد، خواص بیوشیمیایی و زیستی خاک به‌سرعت به تغییرات و تنش‌های محیطی پاسخ می‌دهند (Nannipieri *et al*., 1990; Klein *et al*., 1985) و از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی حساس‌ترند. اغلب به‌عنوان شاخص‌های مرتبط با کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند (Alvear *et al*., 2005; Shi *et al*., 2006). آنزیم‌های خاک که یکی از این ویژگی‌ها محسوب می‌شوند، به اثرهای تخریبی انسان و رویدادهای طبیعت حساسند و اندازه‌گیری فعالیت آنها می‌تواند ارزیابی معتبری از پاسخ متابولیک خاک به‌روش‌های مدیریتی اعمال شده و تنش‌های محیطی و همچنین چرخه‌های غذایی خاک فراهم کند (Tabatabai & Dick, 2002; Sinsabaugh *et al*., 2002; Kandeler, 2007). در این پژوهش، آنزیم‌های خاک در مراحل مختلف تحولی اختلافات و پاسخ‌های مشخص‌تری در مقایسه با ویژگی‌های شیمیایی نشان دادند. آنزیم دهیدروژناز در مراحل مختلف تحولی و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری، تفاوت معناداری را نشان می‌دهد و فعالیت آن در مرحلهٔ پوسیدگی در هر دو عمق بیشتر از مراحل دیگر است. در عین حال فعالیت این آنزیم در هر کدام از مراحل تحولی در عمق اول بیشتر از عمق دوم است. دهیدروژنازها، آنزیم‌های داخل سلولی هستند که فقط در سلول‌های زندهٔ میکروبی وجود داشته و در تفکیک اولیهٔ مادهٔ آلی خاک دخالت دارند (Pascual *et al*., 2000). فعالیت دهیدروژناز درخاک، شاخصی برای سیستم زیستی اکسایش و کاهش محسوب می‌شود و به‌نوعی نشان‌دهندهٔ تعداد کلی میکروارگانیسم‌ها است و می‌تواند مقیاس مناسبی برای اندازه‌گیری شدت متابولیسم میکروبی در خاک باشد (Tabatabai, 1982). در مرحلهٔ پوسیدگی با افتادن درختان، حجم تاج‌پوشش کاهش می‌یابد و به افزایش نسبی نور می‌انجامد. به‌نظر می‌رسد با افزایش شدت نور، شرایط زیستی برای فعالیت جمعیت میکروبی و میکروارگانیسم‌ها از نظر دما و رطوبت در مرحلهٔ پوسیدگی مناسب می‌شود و ممکن است به افزایش سلول‌های زندهٔ میکروبی بینجامد. از طرف دیگر در مرحلهٔ پوسیدگی با افزایش سن درختان و رسیدن به سن دیرزیستی، افتادن و پوسیده شدن آن‌ها بیشتر می‌شود. در پی آن، مواد آلی و عناصر تغذیه‌ای به طور نسبی افزایش می‌یابد و در نهایت مواد غذایی برای میکروارگانیسم‌ها زیاد می‌شود. عناصر تغذیه‌ای در مراحل مختلف تحولی، تفاوت معناداری را نشان نداده‌اند، اما درصد ماده آلی و ازت کل در کلیهٔ مراحل مختلف تحولی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بالاترین مقدار را نشان داده است و این مقدار در مرحلهٔ پوسیدگی بیشتر از دو مرحلهٔ تحولی دیگر به دست آمده است که تأییدی بر نتیجهٔ حاصل از آنزیم است.

آنزیم اوره‌آز در بین مراحل مختلف تحولی و در هر دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در سطح احتمال ۹۵ درصد اختلاف معناداری داشت. فعالیت اوره‌آز همانند آنزیم دهیدروژناز در مرحلهٔ پوسیدگی، بیشتر و در هر کدام از مراحل تحولی نیز، در عمق اول بیشتر از عمق دوم است. به‌نظر می‌رسد مانند آنزیم دهیدروژناز، یکی از دلایل افزایش فعالیت این آنزیم در لایه‌های بالاتر، بیشتر بودن لاشبرگ‌ها و باقی‌مانده‌های گیاهی و جانوری و در نتیجهٔ فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها باشد. از آنجا که میکروارگانیسم‌های خاک‌زی منشأ این آنزیم هستند، وجود شرایط اسیدیتهٔ مناسب، کربن، نیتروژن و سایر مواد غذایی عامل مهمی برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نتیجهٔ فعالیت این آنزیم است. همبستگی مثبت و قوی بین فعالیت آنزیم اوره‌آز با مقدار ازت، pH و پتاسیم قابل جذب در مرحلهٔ پوسیدگی نشان از افزایش فعالیت این آنزیم همگام با بهبود شرایط خاک برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در این مرحلهٔ تحولی دارد. همچنین اوره‌آز در چرخه نیتروژن به‌عنوان کاتالیزور آزاد کردن

آمونیاک از اوره نقش دارد (Caldwell *et al*., 2005) و همبستگی مثبت و قوی بین اوره‌آز و ازت خاک می‌تواند نشان‌دهندهٔ موضوع باشد.

از بین عوامل شیمیایی سنجش‌شده، pH خاک بین مراحل مختلف تحولی و در دو عمق ۱۰-۰ و۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در سطح احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنادار دارد و بیشترین مقدار را در مرحلهٔ بلوغ داراست. pH خاک در سه مرحلهٔ مختلف تحولی در منطقهٔ تحقیق اسیدی است و در مرحلهٔ پوسیدگی اسیدی‌تر از دو مرحلهٔ دیگر است. به‌نظر می‌رسد از عوامل اصلی برای اسیدیته بیشتر در مرحلهٔ پوسیدگی، فعالیت بیشتر جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک (بیشتر بودن فعالیت دهیدروژناز) در این مرحلهٔ است که در نتیجهٔ CO_2 بیشتری تولید کرده و این گاز نیز در واکنش با رطوبت زیاد خاک، در نهایت pH را به مقدار بیشتری کاهش داده است (شاهویی، ۱۳۸۵).

با مقایسه و تجزیه‌وتحلیل متغیرهای بررسی‌شده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت آنزیم‌های خاک، مهم‌ترین شاخص در مراحل مختلف تحولی است و بر اساس آن می‌توان ارزیابی بهتری از مراحل تحولی داشت. از بین خواص شیمیایی خاک، تنها pH، بیشترین تأثیرپذیری را طی مراحل مختلف تحولی نشان داد و دیگر ویژگی‌های شیمیایی تغییرپذیری شایان توجه و معناداری را در بین مراحل تحولی نشان ندادند. به‌نظر می‌رسد بررسی تفاوت‌های خاک بین مراحل مختلف تحولی در جنگل بسیار حساس است و ارزیابی تفاوت آنزیم‌های خاک نسبت به‌تفاوت ویژگی‌های شیمیایی خاک، کارایی بهتر و بیشتری بین مراحل مختلف تحولی خواهد داشت.

منابع

بی‌نام، ۱۳۸۵. کتابچه طرح جنگلداری حوزه ۹ شفارود، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۲۸۹ ص.

دلفان‌اباذری، بهرام و خسرو ثاقب‌طالبی، ۱۳۸۶. بررسی روند رویش قطری و ارتفاعی راش در جنگل‌های طبیعی کلاردشت، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۴): ۳۲۸-۳۲۰.

شاهویی، سیدصابر، ۱۳۸۵. سرشت و خصوصیات خاک‌ها، تألیف ویل و برادی، انتشارات دانشگاه کردستان، ۹۰۰ ص.

علی‌احیایی، مریم و علی‌اصغر بهبهانی‌زاده، ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک، انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه ۸۹۳، ۱۲۷ ص.

Alvear, M., A. Rosas, J. L. Rouanet & F. Borie, 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile, *Soil and Tillage Research*, 82: 195–202.

Bremner, J.M. & C.S. Mulvaney, 1982. Nitrogen total, Methods of Soil Analysis, Part 2, *American Society of Agronomy*, 2(2): 595–624.

Caldwell, B.A., 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review, *Pedobiologia*, 49: 637–644.

Frankenberger, W.T., M.A. Tabatabai, 1991. L- glutaminase activity of soils, *Soil Biology Biochemistry*, 23: 869–874.

Kandeler, E., D. Tscherko, H. Spiegel, 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N minerali sation and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management, *Biology and Fertility of Soils*, 28: 343–351.

Kandeler, E., 2007. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In: Paul, E.A., *Soil Microbiology Ecology and Biochemistry*, Academic Press, Oxford, UK, 53–80.

Klein, D.A., D.L. Sorensen & E.F. Redente, 1985. Soil enzymes: A predictor of reclamation potential and progress. In: Tate, R.L., D.A. Klein, (Eds.), Soil Reclamation Processes. Microbiological Analyses and Applications, Marcel Dekker, New York, 273–340.

Korpel, S., 1995. Die Urwaelder der Westkarpaten. Gustav Ficher Verlag, Stuttgart, 310 pp.

Nannipieri, P., S. Greco & B. Ceccanti, 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag J.M. & G. Stozky, (Eds.), *Soil Biochemestry*, 6: 293–355.

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Vatanbe & L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, U.S.D.A. cir, Washington D. C., 153–155.

Pankhurst, C.E., B.M. Doube & V.V.S.R. Gupta, 1997. Biological indicators of soil health: synthesis. In: Pankhurst, C.E., B.M. Doube &V.V.S.R. Gupta, (Eds.), 1997, *Biological Indicators of Soil Health*, 419–435.

Pascual, M., X. Rodó, S. Ellner, M.J. Bouma & R. Colwell, 2000. Cholera dynamics and El Niño-Southern Oscillation, *Soil Science*, 289: 1766–1769.

Porazinska, D.L., R.D. Bardgett, M.B. Blaauw, H.W. Hunt, A.N. Parsons, T.R. Seastedt & D.H. Wall, 2003. Relationship sattheaboveground- belowgroundinter- face: plants, soil biota, and soil processes, *Ecological Monographs*, 73: 377–395.

Shi, W., E. Dell, D. Bowman, & K. Iyyemperumal, 2006. Soil enzyme activities and organic matter composition in a turfgrass chronosequence, *Plant and Soil*, 288: 285–296.

Sinsabaugh, R.L., M.M. Carreiro & S. Alvarez, 2002. Enzyme and microbial dynamics of litter Decomposition. In: Burns, R.G. & W.A. Dick, (Eds.), *Enzymes in the Environment*. Marcel Dekker, New York, 249–266.

Soil Survey Staff, 1984. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. Soil Survey Investigations Rep. No. 1. USDA- SCS Agricultural Handbook, 436 pp.

Tabatabai, M.A., 1982. Soil enzymes. In: Miller, R.H. & D.R. Keeney, (Eds.), Methods of soil analysis, part 2. American Society of Agronomy, *Soil Science of Society American Journal*, Madison, Wiscinson, 903–947.

Tabatabai, M.A. & W.A. Dick, 2002. Enzymes in soil research and development in measuring activities. *In*: Burns, R.G., R.P. Dick, (Eds.), Enzymes in the Environment Activity, *Ecology and Applications*, Dekker,New York, 567–596.

Vanhala, P. & J. Ahtiainen, 1994. Soil Respiration, ATP Content and *Photobacterium* Toxicity Test as Indicatorsof Metal Pollution in Soil, *Environmental Toxicology and Water Quality*, 9: 115–121.

Walkley, A. & I.A. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents, *Soil Science*, 63: 251–263.

Yakovchenko, V., L. Sikora & D. Rauffman, 1996. A biologically based indicator of soil quality, *Biology and Fertility of Soils,* 21: 245–251.

Alteration of dehydrogenase and urease enzymes activity and some chemical properties of soil in different development stages of beech stand (Case study: Rezvanshahr forest)

T. Alizadeh[1], A. Salehi[2*], M. Matinizadeh[3], and K. Taheri Abkenar[2]

[1] MSc Graduate, Faculty of Natural Resources, Guilan University, I.R. Iran
[2] Assistant Prof, Faculty of Natural Resources, Guilan University, I.R. Iran
[3] Assistant Prof, Research Institute of Forests and Rangelands, I.R. Iran

(Received: 4 September 2012; Accepted: 16 March 2013)

Abstract

Occurrence of development stages in the virgin forests including initial, optimal and decay are determined by species composition, which is independent from human activity. In all development stages, some differences such as the amount of light reaching to the forest floor influences soil chemical properties and activity of the soil microorganisms. Soil is a living system in which many biological and biochemical processes occur. In all these processes, enzymes play main roles. This study was carried out to investigate the alteration in activity of dehydrogenase and urease enzymes and some chemical properties of soil in different development stages of *Fagus orientalis* Lipsky forests in Rezvanshahr area. Soil samples were randomly taken from 0-10 and 10-20 cm depths. Activity of dehydrogenase and urease enzymes, using the substrate and the reaction was measured by spectrophotometer. Chemical properties of soil pH, N, P, K and organic matter were also measured. The results indicated that pH and activities of dehydrogenase and urease have significant differences in different development stages and activity of these enzymes in decay stage is higher than the other stages. This study indicated that decay stage could be a better condition for activity of soil microorganisms. Our findings showed that soil enzymes are suitable indices for presenting differences in developmental stages, and soil chemical characteristics can be effective in the interpretation of results.

Keywords: *Fagus orientalis,* Forest development stages, Soil chemical properties, Soil enzymes.

[*]Corresponding Author Tel: +981823223599 email: asalehi@guilan.ac.ir