

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۶

ص ۴۵۳-۴۶۰

## تغییرات فعالیت فسفاتاز و خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک در مراحل مختلف تحولی جنگل راش رضوانشهر

- ❖ **طاهره علی‌زاده\***: کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران
- ❖ **محمد متینی‌زاده**: دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران
- ❖ **علی صالحی**: استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
- ❖ **کامبیز طاهری آبکنار**: دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

### چکیده

مفهوم تحول‌پذیری در اکوسیستم‌هایی مانند اکوسیستم جنگل، سه مرحله اولیه، بلوغ و پوسیدگی را شامل می‌شود. در هر کدام از مراحل تحولی ذکرشده، حجم تاج‌پوشش و میزان نور رسیده به خاک تغییر می‌کند و موجب تغییراتی در خصوصیات خاک و به‌خصوص خواص زیستی خاک می‌شود. خواص زیستی و فعالیت‌های آنزیم‌های خاک، مناسب‌ترین شاخص برای تعیین کیفیت خاک است. هدف از این تحقیق، ارزیابی شرایط خاک در مراحل مختلف تحولی است. به این منظور فعالیت آنزیم فسفاتاز و خصوصیات فیزیکی خاک در مراحل مختلف تحولی جنگل راش رضوانشهر تعیین شد. نمونه‌برداری از خاک به‌طور تصادفی و از دو عمق ۱۰-۲۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز با استفاده از واکنش با سوپسترا و توسط اسپکتروفتومتر سنجیده شد. همچنین برخی از خصوصیات فیزیکی خاک اندازه‌گیری شد. برپایه نتایج به‌دست‌آمده، آنزیم‌های اسید و آلکالین فسفاتاز و درصد سیلت در سطح احتمال ۹۹ درصد، وزن مخصوص ظاهری عمق اول در سطح احتمال ۹۵ درصد، در مراحل مختلف تحولی اختلاف معنی‌داری دارند و جز مقدار وزن مخصوص ظاهری در عمق اول، فعالیت تمام عوامل ذکرشده در مرحله پوسیدگی بیشترین مقدار را داشته است. همچنین در مرحله پوسیدگی اسید فسفاتاز در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر با فسفر قابل جذب و آلکالین فسفاتاز در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری در سطح احتمال ۹۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند. براساس نتایج این تحقیق می‌توان عنوان کرد که مرحله پوسیدگی نسبت به دو مرحله دیگر تحولی، شرایط بهتری را از نظر تجمع میکروبی و فعالیت میکروارگانیسم‌های ترشح‌کننده فسفاتازها داشته است.

**واژگان کلیدی:** آلکالین فسفاتاز، اسید فسفاتاز، راش، زیست‌خاک.

## مقدمه

فسفاتازها از اهمیت خاصی در خاک‌های جنگلی برخوردارند، زیرا معدنی شدن ترکیبات فسفر آلی توسط آنها صورت می‌گیرد [۴]. فسفاتازهای خاک از نوع خارج سلولی هستند و توسط ریشه گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و در زمان کمبود فسفر ترشح می‌شوند [۵] و از آنزیم‌های کلیدی در چرخه فسفر خاک و شاخصی خوب برای افزایش توان معدنی شدن فسفر آلی و فعالیت زیستی خاک‌ها به حساب می‌آیند [۴]. فعالیت آنزیم خاک در طول مراحل مختلف تحولی متفاوت گزارش شده است که ممکن است با تغییر در ترکیب جامعه میکروبی همراه باشد [۶]. با توجه به اینکه شناسایی مراحل تحولی در جنگل بسیار حساس است و ارزیابی تغییرات به وجود آمده در خاک چندان ساده نیست، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک در مراحل مختلف تحولی جنگل سنجیده شده است. نتایج این تحقیق سبب شناخت وضعیت زیستی و فیزیکی خاک در هر یک از مراحل تحولی و اثر آنها بر یکدیگر می‌شود.

## مواد و روش‌ها

## منطقه تحقیق

این مطالعه در جنگل‌های مدیریت نشده راش در غرب استان گیلان واقع در پارسل ۳۴ سری ۹ حوزه سفارود تالش انجام گرفت. پس از جنگل‌گردشی فراوان و در قالب یکی از طرح‌های پژوهشی کلان مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سه قطعه نمونه یک هکتاری راش خالص در پارسل مورد نظر که تا حد ممکن فاصله 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

یکی از مفاهیم مهم در اکوسیستم‌هایی مانند اکوسیستم جنگل تحول‌پذیری است که سه مرحله اولیه<sup>۱</sup>، بلوغ<sup>۲</sup> و پوسیدگی<sup>۳</sup> را شامل می‌شود. یک درخت جنگلی پس از رسیدن به سن دیرزیستی، افتاده و در نتیجه حفره‌هایی در تاج پوشش جنگل ایجاد می‌شود که در واقع روندهای تحولی در جنگل‌های دست‌نخورده از همین نقطه آغاز می‌شود [۱]. این مرحله تحولی می‌تواند به‌طور نسبی طولانی یا کوتاه‌مدت باشد. با ایجاد حفره در توده‌های جنگلی و تابش نور بر عرصه و نیز مساعد بودن شرایط رویشگاهی، گروه‌های زادآوری به تدریج حفره‌های موجود را پوشش می‌دهند که این مرحله از تحول را مرحله اولیه می‌نامند. همچنین به‌علت جوان شدن توده، رشد سریع شده و در نتیجه تاج پوشش بسته‌تر می‌شود و حجم توده افزایش می‌یابد، در پایان این مرحله، درختان مسن از بین می‌روند و توده جوان به‌صورت همگن عرصه را اشغال می‌کند، که این مرحله را مرحله بلوغ می‌نامند. در تمام این مراحل، خاک و اجزای زنده آن تحت تأثیر تغییرات محیطی به‌خصوص میزان نور قرار می‌گیرند که در نتیجه تنوع و فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در آن متفاوت خواهد بود.

یکی از روش‌هایی که امروزه برای ارزیابی اکوسیستم به‌کار می‌رود، استفاده از سنجش کمی آنزیم‌های خاک است. فعالیت آنزیم‌های خاک، شاخصی از حاصلخیزی خاک و کیفیت آن است [۲]. فعالیت آنزیم‌های خاک اغلب تحت تأثیر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مدیریت خاک است [۳]. از بین این آنزیم‌ها،

1. initial
2. optimal
3. decay

سالیانه حوزه (ارتفاع ۱۲۰۰ متر) ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بیشینه و کمینه دما به ترتیب ۲۱ و ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالیانه ۹۸۹/۷ میلی‌متر است و منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم نیمه‌مدیترانه‌ای مرطوب قرار دارد [۸].

**نمونه‌برداری و روش‌های تجزیه آزمایشگاهی خاک**  
برای هر کدام از مراحل تحولی ذکرشده پنج نقطه به‌طور تصادفی انتخاب شد و نمونه‌برداری خاک از دو عمق ۱۰-۱۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت. شایان ذکر است که با توجه به شرایط منطقه، جهت و مقدار شیب هر یک از مناطق تحت پوشش مراحل مختلف تحولی تقریباً یکسان است و نمونه‌برداری به‌طور تصادفی در مناطق با شیب و جهت یکسان انجام گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شده 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 فیزیکی در دمای اتاق نگهداری شد.

در آزمایشگاه، ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل، بافت خاک به روش هیدرومتری بایکاس، وزن مخصوص حقیقی به روش پیکنومتری، وزن مخصوص ظاهری توسط روش کلوخه و درصد تخلخل هم با استفاده از داده‌های وزن مخصوص ظاهری و حقیقی و درصد رطوبت اشباع به روش استاندارد وزنی محاسبه شد [۹]. با استفاده از واکنش آنزیم/سوبسترا و به‌دست‌آمدن محصول و به‌کمک اسپکتروفتومتر و سپس رسم منحنی‌های استاندارد مخصوص هر آنزیم، فعالیت فسفاتازهای اسیدی و قلیایی برحسب میکروگرم پارانیتروفنل فسفات (pNP) در گرم خاک اندازه‌گیری

از نظر مراحل مختلف تحولی جنگل تفاوت داشتند، انتخاب شد. این انتخاب برای مراحل تحولی جنگل، در سه مرحله تحولی ابتدایی، بلوغ و پوسیدگی براساس نظریه کورپل (۱۹۹۵) انجام گرفت [۷]. در مرحله اولیه، توده جوان، رشد سریع و موجودی در حال افزایش است. در مرحله بلوغ، توده یک‌آشکوبه و منظم و فاقد خشکه‌دار قطور و رسیده در سطح توده است؛ در مرحله پوسیدگی درختان خشکه‌دار قطور بیشتری دیده می‌شود و درختان مسن در حال افتادن و پوسیدگی‌اند و حجم و تاج‌پوشش کاهش می‌یابد.

پارسل مورد نظر که در حد ارتفاعی حداقل ۱۱۰۰ و حداکثر ۱۵۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است، جزء جنگل‌های بالابند محسوب می‌شود و در حوزه استحفاظی اداره منابع طبیعی شهرستان رضوانشهر واقع شده است. منطقه در طول جغرافیایی ۵۹° ۴۸' تا ۳۹° ۴۹' ۲۹" و عرض جغرافیایی ۴۳° ۲۷' ۳۷" تا ۲۸° ۳۷' واقع است و از نظر زمین‌شناسی رسوبات و ته‌نشست‌های آن به دوران دوم زمین‌شناسی تعلق دارد. بنابر بررسی‌ها و گزارش‌های خاک‌شناسی، ساختمان خاک، دانه‌ای و نوع بافت آن در لایه سطحی، لومی شنی (Sandy Loam) است که در لایه پایین به بافت لومی (Loam) تبدیل می‌شود. عمق خاک اغلب کم و متوسط است. عمق ریشه‌دوانی، خوب و نفوذپذیری خاک خوب تا متوسط است. گونه غالب منطقه راش است، ولی گونه‌های پلت، شیردار، ممرز و توسکای بیلاقی را می‌توان به‌صورت پراکنده در آن مشاهده کرد. عسلک، فریون، اسپرولا، کارکس و گندمیان از گونه‌های عمده کف جنگل هستند [۸]. براساس اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه شاندرمن در ۲۵ کیلومتری محل تحقیق، سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۷۳)، متوسط دمای

پیرسون استفاده شد. آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS نسخه ۱۷ انجام گرفت.

### نتایج و بحث

#### نتایج ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج تحقیق نشان داد که از میان ویژگی‌های فیزیکی خاک در مراحل مختلف تحولی، وزن مخصوص ظاهری در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد دارد و بیشترین مقدار آن در مرحله اولیه می‌باشد (جدول ۱). ذرات سیلت در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر در سطح احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار داشته و هر دو بیشترین مقدار را در مرحله پوسیدگی دارند (جدول ۱).

شد [۱۰]. همچنین برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل pH، مقدار فسفر قابل جذب به روش اولسن، ماده آلی از روش والکلی-بلک، مقدار ازت کل به روش کج‌لدال و پتاسیم قابل تبادل به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک مولار با اسیدیته ۷ انجام شد [۱۱].

#### روش‌های تجزیه و تحلیل 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، مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و آنزیم‌های خاک در مراحل تحولی جنگل، با به‌کارگیری آزمون تجزیه واریانس یکطرفه و مقایسه جفتی بین هر یک از مراحل تحولی با روش دانکن صورت گرفت. در ادامه به منظور بررسی ارتباط بین آنزیم‌های خاک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی از ضریب همبستگی

جدول ۱. مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی خاک در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک

سطح معنی‌داری	مرحله پوسیدگی	مرحله بلوغ	مرحله اولیه	عمق‌های خاک	خصوصیات خاک
*./۰۳۵	<sup>b</sup> ۱/۵۹۲ ± ۰/۰۵۶	<sup>ab</sup> ۱/۶۹۸ ± ۰/۰۷۱	<sup>a</sup> ۱/۸۲۰ ± ۰/۰۲۰	۰-۱۰ سانتی‌متر	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )
./۰۹۰	۱/۷۷۰ ± ۰/۰۳۰	۱/۶۴۴ ± ۰/۰۴۵	۱/۷۴۲ ± ۰/۰۳۸	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	درصد تخلخل
./۰۵۹	۲۷/۰۸۴ ± ۲/۸۴۲	۱۹/۸۲۴ ± ۲/۶۸۷	۱۷/۸۹۸ ± ۲/۰۴۲	۰-۱۰ سانتی‌متر	درصد رس
./۸۲۶	۲۰/۱۶۶ ± ۱/۸۳۴	۲۲/۴۱۰ ± ۲/۱۳۶	۲۱/۶۳۸ ± ۳/۴۹۳	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	درصد سیلت
./۷۸۵	۱۳/۶۸۰ ± ۲/۵۶۱	۱۶/۸۸۰ ± ۳/۳۱۰	۱۵/۲۸۰ ± ۳/۶۸۷	۰-۱۰ سانتی‌متر	درصد شن
./۲۷۴	۱۸/۰۸۰ ± ۲/۶۵۳	۲۰/۰۸۰ ± ۳/۱۳۶	۱۳/۶۸۰ ± ۲/۳۱۵	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	درصد رطوبت اشباع
./۳۱۶	۲۷/۲۸۰ ± ۱/۸۹۷	۲۴/۰۸۰ ± ۲/۲۴۴	۲۳/۶۸۰ ± ۰/۷۴۸	۰-۱۰ سانتی‌متر	
**./۰۰۹	<sup>a</sup> ۲۸/۴۸۰ ± ۲/۲۴۴	<sup>c</sup> ۱۹/۲۸۰ ± ۱/۷۸۸	<sup>b</sup> ۲۵/۲۸۰ ± ۰/۸۹۴	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	
./۹۱۴	۵۹/۰۴۰ ± ۳/۳۷۰	۵۹/۰۴۰ ± ۴/۴۴۵	۶۱/۰۴۰ ± ۳/۶۰۰	۰-۱۰ سانتی‌متر	
./۲۳۲	۵۳/۴۴۰ ± ۱/۶۷۳	۶۰/۶۴۰ ± ۴/۶۷۳	۶۱/۰۴۰ ± ۲/۹۲۵	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	
./۳۸۳	۲۹/۹۷۰ ± ۰/۴۸۲	۲۹/۳۳۲ ± ۰/۵۲۶	۳۰/۲۴۶ ± ۰/۳۴۹	۰-۱۰ سانتی‌متر	
./۶۴۷	۳۲/۲۸۹ ± ۰/۶۲۰	۳۱/۴۳۶ ± ۰/۴۲۹	۳۱/۸۶۶ ± ۰/۷۹۹	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

وزن مخصوص ظاهری در خاک بسته به مقدار مواد آلی خاک متغیر است. همچنین نوع بافت خاک منطقه سبک و بیشتر از نوع لومی شنی است که درصد تخلخل آن کمتر و وزن مخصوص ظاهری بیشتر می‌شود.

#### نتایج مربوط به تغییرات آنزیم‌های بررسی شده

نتایج تحقیق نشان داد که از ویژگی‌های زیستی خاک در سه مرحله تحولی و در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک، آنزیم اسید فسفاتاز در عمق اول و آنزیم آلکالین فسفاتاز در عمق دوم دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصدند و هر دو بیشترین مقدار را در مرحله پوسیدگی دارند (جدول ۲).

ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله تخلخل، ساختمان خاک، وزن مخصوص و ...، بیش از آنکه به گونه درختی وابسته باشند به شرایط رویشگاهی بستگی دارند [۱۲]. وزن مخصوص حقیقی خاک به‌طور معمول ثابت است و به‌راحتی تغییر نمی‌کند و با درصد تخلخل خاک ارتباط دارد. در مورد تخلخل، مواد آلی، روزنه و بافت خاک بسیار مهم‌اند. در مرحله پوسیدگی با افتادن درختان، مقدار مواد غذایی و به‌خصوص مواد آلی مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد و سبب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود [۱۳]. از طرف دیگر وزن مخصوص ظاهری با تخلخل رابطه عکس دارد و همیشه تغییر یکی از عوامل با تغییر دیگری همراه است.

جدول ۲. مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) آنزیم‌های اسید و آلکالین فسفاتاز در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری خاک

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحله اولیه	مرحله بلوغ	مرحله پوسیدگی	سطح معنی‌داری
اسید فسفاتاز	۰-۱۰ سانتی‌متر	<sup>b</sup> ۸۱۶/۹۳ ± ۱۷/۸۵۶	<sup>c</sup> ۸۱۶/۹۳ ± ۱۷/۸۵۶	<sup>a</sup> ۸۶۴/۵۱۶ ± ۱۴/۵۸۰	**/۰۰۰
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۶۹۶/۰۶۱ ± ۱۹/۰۷۸	۶۸۲/۵۸۲ ± ۲۹/۰۷۵	۷۴۸/۵۴۸ ± ۱۳/۲۴۸	۰/۱۰۵
آلکالین فسفاتاز	۰-۱۰ سانتی‌متر	۲۶۴/۵۸۸ ± ۵/۳۰۲	۳۵۱/۵۷۶ ± ۸۵/۱۰۳	۳۳۵/۷۲۳ ± ۲۸/۷۳۱	۰/۱۴۱
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	<sup>c</sup> ۶۴/۰۹۶ ± ۷/۳۰۹	<sup>b</sup> ۶۷/۳۲۰ ± ۴/۵۸۰	<sup>a</sup> ۱۲۰/۱۳۸ ± ۵/۴۹۶	**/۰۰۰

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

ریشه گیاهان ترشح می‌شوند [۵] و در مرحله پوسیدگی، درختان سن بیشتری نسبت به دو مرحله دیگر دارند، بنابراین ریشه‌دوانی آنها گسترده‌تر است؛ بنابراین می‌تواند دلیلی برای بیشتر شدن فعالیت این آنزیم باشد. همچنین بیان کردند که فعالیت فسفاتازها به رطوبت و دمای خاک نیز بستگی دارد [۱۵]. پراکنش مکانی آن دسته از میکروارگانیسم‌ها و جانداران خاک که تولید این آنزیم خارج سلولی را کنترل می‌کنند، در پراکنندگی مکانی فعالیت این آنزیم مؤثرند [۱۶] و شاید بر همین اساس می‌توان عنوان کرد که این آنزیم در عمق دوم مرحله پوسیدگی تفاوت معنی‌دار داشته است. منشأ تولید آلکالین فسفاتازها میکروارگانیسم‌ها و فون خاک

در مقیاس اکوسیستم فعالیت آنزیم در خاک، تابعی از فعالیت میکروبی و ریشه است که خود به تنظیم رطوبت، دما و کیفیت سوبسترا (در دسترس بودن مواد غذایی) بستگی دارد [۱۴]. بنابراین تغییرات در آنزیم‌ها و فعالیت میکروبی می‌تواند مواد غذایی موجود برای گیاه را تغییر دهد که این تغییرات شاخص‌های بسیار حساسی در بیان کیفیت خاک هستند. معدنی شدن ترکیبات فسفر آلی توسط فسفاتازها صورت می‌گیرد [۴]. آنزیم‌های اسید فسفاتاز، آنزیم‌هایی اجباری هستند که تأثیر بسیار مهمی در چرخه فسفر در اکوسیستم‌های جنگلی دارند، به‌ویژه زمانی که مقدار فسفر قابل جذب برای گیاه کافی نباشد [۴]. فسفاتازها به مقدار زیادی از

هستند و ارتباطی با ریشه ندارند و گیاهان از این آنزیم عاری هستند [۱۷]. در مرحله پوسیدگی و رسیدن درختان به سن دیرزیستی، افتادن و پوسیده شدن آنها بیشتر می‌شود و به‌همین دلیل شرایط زیستی برای فعالیت میکروارگانیسم به‌لحاظ کافی بودن مواد غذایی، اکسیژن، دما و رطوبت، مساعدتر از دو مرحله دیگر است [۱۳].

### همبستگی ویژگی‌های فیزیکی خاک با آنزیم‌های اسید و آلکالین فسفاتاز

در هر سه مرحله تحولی، اسید فسفاتاز با هیچ‌کدام از ویژگی‌های فیزیکی خاک همبستگی نداشت و آلکالین فسفاتاز در مرحله اولیه با درصد رطوبت اشباع در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر، در مرحله بلوغ در عمق ۲۰-

۱۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری و در مرحله پوسیدگی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر با درصد تخلخل خاک همبستگی منفی و معنی‌دار و در عمق دوم با وزن مخصوص ظاهری همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد (جدول ۳).

### همبستگی ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم‌های اسید و آلکالین فسفاتاز

از بین ویژگی‌های شیمیایی خاک، فسفر قابل جذب با اسید فسفاتاز در مرحله پوسیدگی در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر همبستگی مثبت و معنی‌دار (جدول ۴) و با آلکالین فسفاتاز در مرحله اولیه در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متر همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۵).

جدول ۳. همبستگی پیرسون (سطح معنی‌داری) بین ویژگی‌های فیزیکی خاک با آنزیم آلکالین فسفاتاز در سه مرحله تحولی

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحله اولیه	مرحله بلوغ	مرحله پوسیدگی
درصد	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۲۷۴ (۰/۶۵۵)	۰/۲۲۷ (۰/۷۱۳)	۰/۱۲۱ (۰/۸۴۷)
رطوبت اشباع	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۸۹۴* (۰/۰۴۱)	-۰/۱۶۸ (۰/۷۸۷)	-۰/۷۴۶ (۰/۱۴۸)
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۶۷۵ (۰/۲۱۱)	-۰/۳۶۰ (۰/۵۵۱)	۰/۷۷۸ (۰/۱۲۱)
درصد	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	-۰/۷۹۳ (۰/۱۰۹)	-۰/۹۲۲* (۰/۰۲۶)	۰/۸۸۰* (۰/۰۴۹)
تخلخل	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۷۳۶ (۰/۱۵۶)	-۰/۶۸۸ (۰/۱۹۹)	-۰/۸۸۱* (۰/۰۴۸)
		۰/۶۱۴ (۰/۲۷۱)	۰/۵۵۵ (۰/۳۳۱)	-۰/۷۹۲ (۰/۱۶۳)

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

جدول ۴. همبستگی پیرسون (سطح معنی‌داری) بین ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم اسید فسفاتاز در سه مرحله تحولی

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحله اولیه	مرحله بلوغ	مرحله پوسیدگی
فسفر قابل جذب (ppm)	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۲۶۷ (۰/۶۶۴)	-۰/۵۹۳ (۰/۲۹۲)	۰/۹۲۲* (۰/۰۲۶)
درصد ازت کل	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۴۱۱ (۰/۴۹۲)	-۰/۳۱۲ (۰/۷۳۲)	۰/۴۸۶ (۰/۴۰۶)
پتانسیم تبادل (meq/100g)	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۳۷۷ (۰/۵۳۲)	-۰/۵۸۸ (۰/۲۹۷)	۰/۱۲۰ (۰/۸۴۸)
درصد ماده آلی	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۴۴۷ (۰/۴۵۱)	-۰/۲۲۶ (۰/۷۱۵)	۰/۴۴۵ (۰/۴۵۳)
	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۵۳۶ (۰/۳۵۱)	۰/۴۷۴ (۰/۴۲۰)	۰/۵۴۶ (۰/۳۴۱)
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۲۷۰ (۰/۶۶۰)	۰/۵۲۷ (۰/۳۶۱)	۰/۱۲۶ (۰/۸۴۰)
	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۳۰۴ (۰/۶۱۹)	-۰/۴۷۵ (۰/۴۱۹)	۰/۱۲۰ (۰/۸۴۸)
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۶۸۵ (۰/۲۰۲)	۰/۲۷۶ (۰/۶۵۳)	۰/۴۴۵ (۰/۴۵۳)
	۱۰-۰ سانتی‌متر	۰/۷۰۹ (۰/۱۸۰)	-۰/۳۶۷ (۰/۵۴۳)	۰/۰۵۶ (۰/۹۲۹)
pH	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۵۶۶ (۰/۳۲۰)	۰/۵۵۹ (۰/۳۲۷)	۰/۸۲۷ (۰/۰۸۴)

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

جدول ۵. همبستگی پیرسون و (سطح معنی داری) بین ویژگی‌های شیمیایی خاک با آنزیم آلکالین فسفاتاز در سه مرحله تحولی

خصوصیات خاک	عمق‌های خاک	مرحله اولیه	مرحله بلوغ	مرحله پوسیدگی
فسفر قابل جذب (ppm)	۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۱۴۰ - ۰/۸۲۳	۰/۱۷۳ - ۰/۷۸۰	۰/۰۲۱ - ۰/۹۷۳
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۸۷۹ - ۰/۰۵۰*	۰/۷۸۸ - ۰/۱۱۴	۰/۷۳۳ - ۰/۱۵۹
درصد ازت کل	۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۳۷۷ - ۰/۵۲۲	۰/۳۱۱ - ۰/۶۱۱	۰/۸۴۴ - ۰/۰۷۲
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۴۴۷ - ۰/۴۵۱	۰/۲۸۸ - ۰/۶۳۹	۰/۶۰۹ - ۰/۲۷۶
پتاسیم تبادل (meq/100g)	۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۳۸۲ - ۰/۵۲۵	۰/۴۹۸ - ۰/۳۹۳	۰/۵۲۳ - ۰/۳۶۵
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۶۰۰ - ۰/۲۸۵	۰/۶۳۳ - ۰/۲۵۱	۰/۰۵۹ - ۰/۹۲۴
درصد ماده آلی	۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۲۹۵ - ۰/۶۳۰	۰/۰۸۰ - ۰/۸۹۸	۰/۳۴۳ - ۰/۵۷۲
	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۰۴۹ - ۰/۹۲۸	۰/۷۰۲ - ۰/۱۸۶	۰/۰۶۶ - ۰/۹۱۷
	۰-۱۰ سانتی‌متر	۰/۸۱۲ - ۰/۰۹۵	۰/۷۹۵ - ۰/۱۰۸	۰/۸۰۲ - ۰/۱۰۲
pH	۱۰-۲۰ سانتی‌متر	۰/۳۰۱ - ۰/۶۲۲	۰/۰۳۶ - ۰/۹۵۴	۰/۶۶۴ - ۰/۲۲۲

\* معنی داری در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ \*\* معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد.

خاصی از فسفر اتفاق می‌افتد، به طوری که اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز می‌تواند عاملی بسیار مهم و مفید در تعیین محدودیت و قابلیت دسترسی عنصر غذایی فسفر در خاک باشد [۲۰].

### نتیجه‌گیری

با مقایسه و تجزیه و تحلیل متغیرهای بررسی شده در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که شدت فعالیت آنزیم‌های خاک شاخص مهمی در مراحل مختلف تحولی است و براساس آن می‌توان ارزیابی بهتری از مراحل تحولی داشت و به نظر می‌رسد ارزیابی تفاوت آنزیم‌های خاک در مقایسه با تفاوت ویژگی‌های فیزیکی خاک کارایی بهتر و بیشتری بین مراحل مختلف تحولی داشته باشد.

همچنین هیچ رابطه مثبت یا منفی بین مقدار فسفر قابل دسترس در خاک و فعالیت آنزیم فسفاتاز (اسیدی و قلیایی) در خاک‌هایی که مقدار فسفر قابل دسترس آنها بین ۵۰ تا ۶۱۰ میکروگرم در هر گرم خاک است وجود ندارد [۱۸]. همین‌طور در خاک‌های جنگلی بین مقدار ۴ تا ۵۰ میکروگرم فسفر قابل دسترس در هر گرم خاک با فعالیت آنزیم فسفاتاز (اسیدی و قلیایی) رابطه‌ای مثبت وجود دارد [۱۹]. وجود ضریب همبستگی ۰/۹۲۲ بین فعالیت اسید فسفاتاز با فسفر قابل دسترس در منطقه نشان داد که مقدار فسفر معدنی موجود در منطقه، محدودیتی برای فعالیت آنزیم فسفاتاز ایجاد نمی‌کند و مانع فعالیت این آنزیم نمی‌شود [۲۰]. همچنین همبستگی بین فسفر قابل دسترس و آنزیم فسفاتاز در خاک‌های مختلف متفاوت است و همبستگی منفی در محدوده

## References

- [1]. Delphan Abazary, B. (2002). Studying effect of development stages in beech natural stand in Kelardasht, Ph.D. thesis. Islamic azad university Tehran Research Science, 211 pp.
- [2]. Bastida, F., Zsolnay, A., Hernandez, T., and Garcia, C. (2008). Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma*, 147: 159–171.
- [3]. Alvarez, S., and Guerrero, M.C. (2000). Enzymatic activities associated with decomposition of particulate organic matter in two shallow ponds. *Soil Biology Biochemistry*, 32: 1941–1951.
- [4]. Speir, T.W., and Ross, D.J. (1978). Soil phosphatase and sulphatase. In: Burns, R.G. (ed.), *Soil Enzymes*. Academic Press, London, 197-250.
- [5]. Antonietta Rao, M., Violante, A., and Gianfreda, L. (2000). Interaction of acid phosphatase with clays, organic molecules and organo-mineral complexes: kinetics and stability. *Soil Biology Biochemistry*, 32: 1007-1014.
- [6]. Allison, V.J., Condon, L.M., Peltzer, D.A., Richardson, S.J., and Turner, B.L. (2007). Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Joseph chronosequence, New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1770–1781.
- [7]. Korpel, S. (1995). *Die urwaelder der westkarpaten*. Gustav ficher verlag, stuttgart, 310 pp.
- [8]. Unknown, (2006). Forestry project record area 9 of Shafarood, Research Institute of forests and rangelands, 289 pp.
- [9]. Ghazan Shahi, J. (1997). *Soil and Plant Analysis*. Homa Publication, 311 pp.
- [10]. Ohlinger, R. (1996). *Methods in soil biology*. Schinner, F., Kandeler, E., and Margesin, R. (eds.), Springer-Verlag Berlin, 58-60.
- [11]. Bartels, J.M. (1996). *Methods of soil analysis part 3 chemical methods*, Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., and Sumner, M.E., (eds.), Madison, Wisconsin, USA.
- [12]. Graham, R.C., and Wood, H.B. (1991). Morphologic development and clay redistribution in lysimeter soils under chaparral and pine. *Soil Science Society of America Journal*, 55(6): 1638-1646. [13]. Siddiqui, S., and Adams, W.A. (2002). The fate of diesel hydrocarbons in soils and their effect on the germination of Perennial Ryegrass. *Environmental Toxicology*, 118: 49-62.
- [14]. Tabatabai, M.A. (1994). *Methods of soil analysis part 2 microbiological and biochemical properties*, Weaver, R.W., Angle, J.S., and Bottomley, P.S., (eds.), Madison, Wisconsin, USA.
- [15]. Speir, T.W., and Cowling, J.C. (1991). Phosphatase activities of pasture plants and soils: relationship with plant productivity and soil P fertility indices. *Biology and Fertility of Soils*, 12:189-194.
- [16]. Amador, J.A., Glucksman, A.M. and Gorres, J.H. (1997). Spatial distribution of soil phosphates activity within a riparian forest. *Soil Science*, 11:808-825.
- [17]. Tarafdar, J.C., Yadav, R.S., and Meena, S.C. (2001). Comparative efficiency of acid phosphatase originated from plant and fungal sources. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(3): 279-282.
- [18]. Harrison, A.F. (1987). *Soil organic phosphorus*. Commonwealth Agricultural Bureaux. International United Kingdom. 257.
- [19]. Allen, L.H. (1982). Calcium bioavailability and absorption: a review. *American Journal of Clinical Nutrition*, 35: 783-808.
- [20]. Harrison, W.G. (1983). Uptake and recycling of soluble reactive phosphorus by marine microplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 10: 127-135.