پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تأثیر پخش سیلاب بر فعالیت آنزیم‌ها و حاصل‌خیزی خاک در عرصه‌های مرتعی دشت گربایگان فسا

ندا سلیمان‌دهکردی [۱]، محمد متینی‌زاده [۲*]، حمیدرضا عسگری [۳]، محمد جواد روستا [۴]، چوقی‌بایرام کمکی [۵]، مریم ممبنی [۶]

۱ – دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲ – دانشیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳ – دانشیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴ – دانشیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۵ – استادیار، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۶ – دکتری بیابان‌زدایی، دفتر امور بیابان، سازمان منابع‌طبیعی و آبخیزداری، تهران، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

در بوم‌نظام‌های مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل شرایط محیطی خاص، خاک به‌عنوان پل ارتباطی بخش زنـــده و غیر زنده‌ی بوم نظام‌ها، در پراکنش و تراکم پوشـــش گیاهی این مناطق بیشـــترین نقش را دارد. آنزیم‌های خـــاک در تمام مرحله‌های تجزیه‌ی مواد آلی در ســـاختار خاک نقش زیست‌شـــیمیایی مهمی را بر عهده دارند. این آنزیم‌ها در پایداری ساختمان خاک، تجزیه و تشکیل ماده‌ی آلی، چرخه‌ی عناصر و فعالیت ریزجانداران خاک نقش بســـیار برجسته‌ای را ایفا می‌کنند. تنش‌های محیطی مانند خشک‌سالی بر رشد گیاهان و فعالیت ریزجانداران خاک تأثیرات منفی دارند. از این رو ارزیابی تأثیر پخش ســـیلاب بر شـــاخص‌های کیفی خاک می‌تواند گامی مفید در ارتقا

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** matini@rifr-ac.ir
استناد: سلیمان‌دهکردی، ن.، متینی‌زاده، م.، عسگری، ح.م.، روستا، م.ج.، کمکی، چ.ب.، ممبنی، م. ۱۴۰۲. تأثیر پخش سیلاب بر فعالیت آنزیم‌ها و حاصل خیزی خاک در عرصه‌های مرتعی دشت گربایگان فسا. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۱): ۷۹-۶۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360841.1510

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۲۲، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۱۲/۲۸، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۱/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره‌ی ۳۷، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۴۲، بهار ۱۴۰۳، صفحه‌های ۶۳ تا ۷۹

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
©نویسندگان

دانش در این زمینه باشد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پخش سیلاب، نوع گیاه و ویژگی‌های خاک بر برخی شاخص‌های زیستی در عرصه های پخش سیلاب کوثر در گربایگان فسا در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد.

مواد و روش‌ها

در فصل‌های بهار و پاییز نمونه‌برداری خاک پیرامون ریشه‌ی گیاهان درمنه‌ی دشتی (*Artemisia seiberi* Besser)، سیاه‌گینه (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr) Van Tiegh) و گل‌آفتابی ((L) *Heliantemum lippii* Pers)، در دو وضعیت پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (منطقه‌ی شاهد) از ژرفای ۲۰-۰ سانتی‌متر در سه تکرار انجام شد. پس از اطمینان از بهنجار بودن و همگنی پراکندگی (واریانس) داده‌ها به‌وسیله‌ی آزمون‌های شاپیرو و لون، تجزیه‌ی داده‌ها با روش پراکندگی دوطرفه و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح یک و پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک نشان داد که میان سه گونه‌ی مرتعی مطالعه‌شده اندازه‌ی فسفر و پتاسیم قابل استفاده در شرایط پخش سیلاب و منطقه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما در تمام گونه‌های بررسی‌شده در منطقه‌ی پخش سیلاب اندازه‌ی کربن و نیتروژن (ماده‌ی آلی برای منطقه‌ی پخش سیلاب ۰/۳٪ و برای منطقه‌ی شاهد ۰/۱۵٪) به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که در وضعیت پخش سیلاب، در فصل بهار بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک زیرپوشش گونه‌ی سیاه‌گینه بود و کمترین فعالیت آن در خاک زیر پوشش گونه‌ی گل‌آفتابی مشاهده شد. فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تمام گونه‌ها در فصل بهار به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل پاییز بود. در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار بیشترین فعالیت این آنزیم در گونه‌های گیاهی درمنه ی دشتی (با میانگین ۱۸۶ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) مشاهده شد و در منطقه‌ی شاهد در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی گل‌آفتابی (با میانگین ۵۷ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) بود. به‌طور کلی، در منطقه پخش سیلاب در فصل بهار اندازه‌ی فعالیت آنزیم فسفاتاز در گونه‌ی درمنه‌ی دشتی ۸۹ ٪ بیشتر از منطقه‌ی شاهد بود. فعالیت آنزیم دهیدروژناز در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود. همچنین در فصل بهار در منطقه‌ی شاهد بیشترین فعالیت این آنزیم در گونه‌ی سیاه گینه (با میانگین ۸/۵ میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان بر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) بود. در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی درمنه‌ی دشتی (با میانگین یک میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان بر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) بود. به‌طور کلی، در دو منطقه‌ی شاهد و پخش سیلاب در فصل بهار اندازه‌ی فعالیت آنزیم دهیدروژناز ۶۶ ٪ بیشتر از فصل پاییز بود. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط پخش سیلاب در هر دو فصل بهار و پاییز فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌ترتیب با میانگین ۳۰۰ و ۲۷۰ میکروگرم نیتروژن در هر گرم خاک خشک در دو ساعت بیشتر از منطقه شاهد با میانگین ۲۵۰ و ۱۷۳ میکروگرم نیتروژن در هر گرم خاک خشک در دو ساعت بود. همچنین در هر سه گونه‌ی مطالعه‌شده در دو منطقه‌ی شاهد و پخش سیلاب، شاخص‌های کیفیت خاک با هم اختلاف معنی‌دار داشتند و پخش سیلاب باعث افزایش اندازه‌ی این شاخص در گونه‌ی گل‌آفتابی و درمنه‌ی دشتی شد، در حالی که شاخص‌های کیفیت خاک در گونه‌ی سیاه‌گینه با پخش سیلاب کاهش یافت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه‌ی پخش سیلاب یک روش مطلوب برای بهبود کربن آلی خاک است و با کاشت گیاهان کارایی آن بیشتر می‌شود. افزایش رطوبت و اندازه‌ی ماده‌ی آلی در منطقه‌ی پخش سیلاب می‌تواند دلیلی برای افزایش فعالیت آنزیم‌ها در منطقه‌ی پخش سیلاب باشد. در این پژوهش در هر دو فصل بهار و پاییز فعالیت آنزیم‌های خاک بیشتر از منطقه شاهد شد. با توجه به نقش مهم مواد آلی در بهبود شاخص‌های زیستی، کیفیت و سلامت خاک، احیای مراتع سیلابی با گونه‌های بومی می‌تواند در فراهم آوردن این شرایط نقش مهمی ایفا کند. همچنین پیشنهاد می‌شود این آزمایش‌ها با تعداد نمونه‌های بیشتر و در مناطق متفاوت تکرار شود و چرخه‌های نیتروژن، کربن، گوگرد و فسفر و ارتباط آن‌ها با فعالیت دیگر آنزیم‌های خاک بررسی شود.

واژگان کلیدی: آنزیم‌های خاک، پخش سیلاب، شاخص‌های کیفیت خاک، گربایگان فسا، گونه‌های مرتعی، مواد آلی خاک

مقدمه

در بوم‌نظام های مرتعی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل شرایط محیطی خاص، خاک به‌عنوان پل ارتباطی بخش زنده و غیر زنده بوم‌نظام‌ها در پراکنش و تراکم پوشش گیاهی این مناطق بیشترین نقش را دارد. خصوصیات خاک برآیند اثرهای دیگر عامل‌های محیطی در طول زمان است که تغییر در وضعیت هرکدام تأثیر شدیدی بر دیگر کارکردهای بوم‌نظام می‌گذارد. کیفیت خاک عاملی مؤثر برای زنده‌مانی، استقرار و رشد گیاهان است. مدیریت زمین‌ها به‌عنوان مؤثرترین عامل تغییرات کربن آلی در خاک بسته به آب و هوا و بافت خاک در نظر گرفته شده است. به‌عبارت دیگر، تغییر نوع کاربری زمین‌ها، با تغییر اندازه‌ی ورودی کربن آلی و سرعت تجزیه‌ی آن یک عامل مهم و مؤثر بر پویایی کربن آلی است (خالیک و همکاران ۲۰۱۳). فعالیت‌های زیست‌شیمیایی خاک به‌عنوان یکی از شناخته شده‌ترین شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک به‌شمار می‌آیند، که در ارزیابی اثر گونه‌های کاشته‌شده بر ویژگی‌های خاک به آن توجه شده است (روستا و همکاران ۲۰۲۱). در کیفیت خاک ریزجانداران موجود در خاک نقش مهمی ایفا می‌کنند. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که دوره‌های متناوب خشک‌سالی و رطوبت بیش از حد خاک می‌تواند تأثیر زیادی بر موجودات زنده خاک داشته باشد (فو و همکاران ۲۰۰۴).

آنزیم‌ها، شاخص مناسبی برای سنجش حاصل‌خیزی خاک به‌شمار می‌آیند (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). نیاز روزافزون به کشاورزی پایدار و حفظ کیفیت منابع‌طبیعی باعث‌شده تا معیارهای گوناگونی در سنجش کیفیت خاک به‌کار گرفته شود. آنزیم‌های خاک نقش‌های زیست‌شیمیایی کلیدی در تمام مرحله‌های تجزیه مواد آلی در ساختار خاک بر عهده دارند. این آنزیم‌ها در پایداری ساختمان خاک، تجزیه و تشکیل ماده‌ی آلی، چرخه‌ی عناصر و فعالیت ریزجانداران خاک نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند (چیس و سینگ ۲۰۱۴). فعالیت آنزیم‌ها که بیان‌گر و معیار سنجش سطح فعالیت میکروبی در خاک است، به‌شکل فصلی متغیر است و به ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک (یانگ و همکاران ۲۰۱۳) روند و شدت فرآیندهای زیست‌شیمیایی (شو و همکاران ۲۰۲۲) و نیز رطوبت خاک بستگی دارد (مقیمیان و همکاران ۲۰۱۷) و تحت تأثیر نوع خاک (کوردرو و همکاران ۲۰۱۹) نوع کاربری، پوشش گیاهی و طرح مدیریتی خاک تغییر می‌کند (نوری و همکاران ۲۰۲۰؛ کوردرو و همکاران ۲۰۱۹). گروهی از آنزیم‌های خاک (مانند دهیدروژناز، کاتالاز و غیره) نشان‌دهنده‌ی فعالیت درون‌سلولی در خاک هستند و منعکس‌کننده‌ی فعالیت میکروبی عمومی خاک هستند (گارسیا و همکاران ۱۹۹۷)، در حالی که دیگر آنزیم‌ها نشان‌دهنده‌ی فعالیت برون سلولی در خاک هستند (مانند فسفاتاز، اوره آز و غیره). آنزیم‌های برون سلولی خاک نقش حیاتی در تجزیه‌ی مواد آلی، تنظیم انباشت کربن و فراهم کردن مواد غذایی برای فعالیت‌های میکروبی زیرزمینی و روزمینی ایفا می‌کنند (داکورا و فلیپس ۲۰۰۲). ازجمله آنزیم‌های برون سلولی می‌توان به اوره‌آز، فسفاتازهای اسیدی و قلیایی، اینورتاز و آریل سولفاتاز اشاره کرد. بررسی آنزیم‌ها اطلاعات زیادی در رابطه با تنوع عملکردی فعالیت‌های میکروبی خاک، فرآیندهای شیمیایی خاک، سرعت معدنی شدن و تجمع ماده‌ی آلی فراهم می‌کند (شو و همکاران ۲۰۲۲). آنزیم فسفاتاز از روش آبکافت (هیدرولیز) ترکیب‌های آلی حاوی فسفر، باعث آزادسازی یون‌های فسفات قابل استفاده برای گیاه می شود و یکی از آنزیم‌های مؤثر در چرخه‌ی فسفر به‌شمار می‌آید و معمولاً در خاک‌های قلیایی فراوان‌تر است و فعالیت بیشتری دارد (طباطبایی ۱۹۹۴؛ نورزمان و همکاران ۲۰۰۶). آنزیم اوره‌آز باعث آبکافت اوره به دی‌اکسیدکربن و آمونیاک می‌شود (اسپیر و همکاران ۱۹۹۵)، بنابراین در معدنی شدن نیتروژن آلی نقش مهمی دارد.

آنزیم دهیدروژناز باعث اکسایش ترکیب‌های آلی می‌شود. فعالیت این آنزیم به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی سامانه‌ی اکسایش و احیا استفاده می‌شود. از آنجایی که این آنزیم فقط در سلول‌های زنده‌ی میکروبی وجود دارد، فعالیت آن، نشان‌دهنده‌ی فعالیت میکروبی و شدت اکسایش میکروبی مواد آلی در خاک است (دولمن و هانسترا ۱۹۷۹). افزایش فعالیت آنزیمی در خاک با عملکرد میکروبی خاک تناسب دارد و از آنجایی که فعالیت آنزیمی با فرآیندهای بوم‌نظامی گوناگون شامل تشکیل خاک، تبدیل مواد آلی و فعالیت‌های زیست پالایی در ارتباط است، یافتن عامل‌های فیزیکی و شیمیایی اثرگذار بر فعالیت‌های آنزیمی اهمیت ویژه‌ای دارد (نوری و همکاران ۲۰۲۰). به‌طورکلی، کمبود رطوبت در خاک، به‌عنوان عاملی برای کاهش فعالیت‌های آنزیمی شناخته‌شده است (کیلهام ۱۹۹۴؛ کنانت و همکاران ۲۰۰۰). همچنین فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، فسفاتاز اسیدی و قلیایی در اثر خشکی، کاهش می‌یابد (کارداسو و همکاران ۲۰۱۳).

ناحیه‌ی ریشه‌گاه (ریزوسفر) گیاه یک منطقه‌ی کلیدی میان ریشه‌ی گیاه و خاک است که شامل تعداد زیادی از ریزجانداران خاک است که در فرآیندهای پیچیده‌ی زیستی

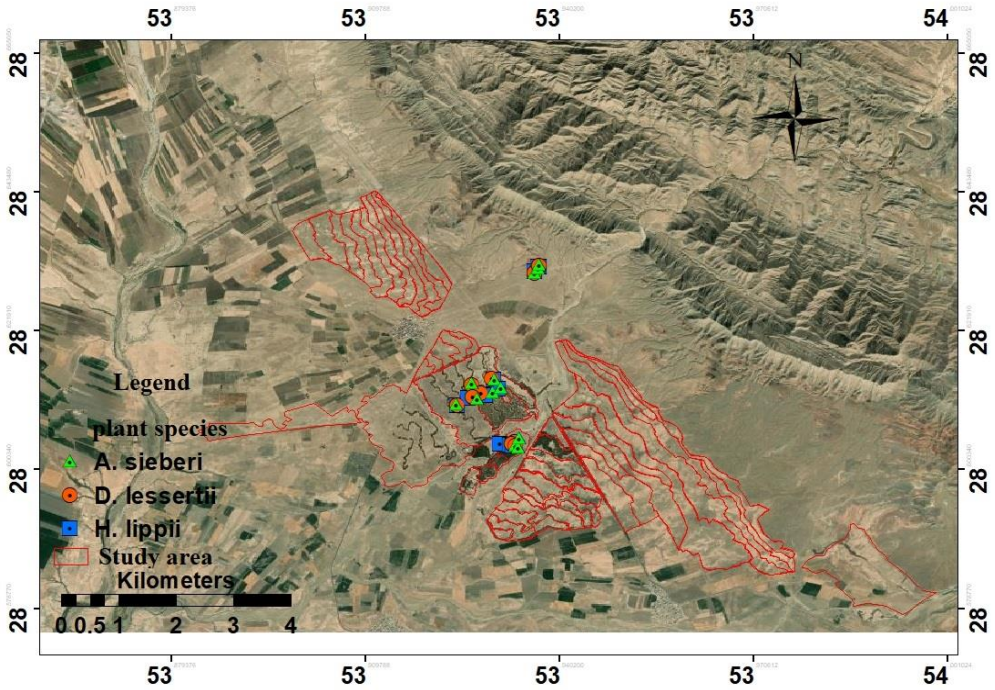
و بوم‌شناختی نقش دارند؛ بنابراین ناحیه‌ی ریشه‌گاهی به یکی از فعال‌ترین رابط‌ها در زیست‌بوم تبدیل می شود (تیان و همکاران ۲۰۲۰). ریشه‌های گیاهان، ریزجانداران و آنزیم‌ها به‌طور مشترک در منطقه‌ی ریشه‌گاهی فعالیت می‌کنند که می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تنظیم کنند (باستیدا و همکاران ۲۰۰۸ ؛ نانیپیری و همکاران ۲۰۱۱). تنش‌های محیطی ازجمله خشک‌سالی که بسیاری از مناطق کشور را تحت تأثیر قرارداده است، بر رشد گیاهان و همچنین فعالیت ریزجانداران خاک نیز تأثیرگذار است. یکی از ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزون بر کمی نزولات جوی، رخداد رگبارهای شدید و کوتاه مدت است که در بیشتر موارد سبب رخداد سیلاب‌های فراوان و کمبود آب در این مناطق می‌شود. به عقیده کوثر (۱۹۹۲) خشک‌سالی تهدیدی همیشگی برای ایران است که یکی از بهترین راهکارها برای مدیریت سیلاب، سامانه‌ی پخش سیلاب است زیرا از نظر محیطی بی‌خطر، مالی مناسب و اجتماعی پذیرفتنی است (کوثر ۱۹۹۲). از سه دهه‌ی پیش تاکنون با توجه به شرایط حاکم بر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور از نظر بحران آب و تولید علوفه، گسترش سیلاب به‌عنوان یکی از روش‌های اصلاحی در نظر گرفته شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک پخش سیلاب بر عرصه‌ی آبخوان‌ها، گزینه‌ای مطلوب برای کاهش مشکلات ناشی از کم‌آبی، سیل و افزایش تولید علوفه و چوب است. ارزیابی تأثیر پخش سیلاب بر شاخص‌های کیفی خاک و اندازه‌ی دست‌یابی به اهداف پیش‌بینی‌شده در انجام طرح‌های پخش سیلاب، گامی مفید در این زمینه است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پخش سیلاب، نوع گیاه و ویژگی‌های خاک بر برخی شاخص‌های زیستی در عرصه‌های پخش سیلاب مرتعی ایستگاه آبخوان‌داری کوثر در گربایگان فسا و مقایسه‌ی آن با عرصه‌های مجاور بدون پخش سیلاب در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

ایستگاه کوثر در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی فسا در عرض جغرافیایی ′۳۸ °۲۸ شمالی و طول جغرافیایی ′۵۳ °۵۵ شرقی، با بلندی ۱۱۴۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). بر اساس آمار ۱۲ ساله‌ی ایستگاه هواشناسی گربایگان میانگین سالانه‌ی بارش ۲۰۶/۱ میلی‌متر، دما °C ۱۹/۹۲ و تبخیر سالانه، ۲۵۴۸/۰۹ میلی‌متر است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده تاکنون جمعاً ۳۸ خانواده و ۱۵۴ گونه‌ی گیاهی جمع‌آوری و شناسایی‌شده است و بیشتر گونه‌ها به‌ترتیب مربوط به خانواده‌ی کاسنی *Asteraceae* با ۳۶ گونه، خانواده‌ی گندمیان *Poaceae* با ۳۰ گونه، خانواده‌ی پروانه‌آسا *Papilionaceae* با ۲۱ گونه، خانواده‌ی شب‌بو *Brasicaceae* با هفت گونه و خانواده‌ی چتریان *Apiaceae* با شش گونه است و جمعاً ۶۴/۹۳٪ گونه‌ها به پنج خانواده‌ی گیاهی تعلق دارد و بقیه‌ی گونه‌ها (۵۴ گونه‌ی دیگر) به ۳۳ خانواده‌ی گیاهی تعلق دارد (حبیبیان ۱۴۰۱). گونه‌های بوته‌ایی بررسی‌شده در این پژوهش شامل درمنه‌ی دشتی *(Artemisia Sieberi* Besser)، سیاه‌گینه *(Dendrostellera lessertii* (Wikstr)Van Tiegh.) و گل‌آفتابی(*Heliantemum lippii* Per (*L*)) است. خاک منطقه عمدتاً شنی و بدون ساختمان است و میانگین شن، لای و رس آن به‌ترتیب ۷۰، ۱۸ و ۱۲٪ است و بافت آن sandy lomy است.

در فصل‌های بهار و پاییز از خاک پیرامون ریشه تا ژرفای ۲۰ سانتی‌متری گونه‌های غالب مطالعه‌شده در منطقه‌های مرتع طبیعی با پخش سیلاب و قطعه‌ی شاهد (مرتع طبیعی بدون پخش سیلاب) و از هرکدام در سه تکرار نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک تحت شرایط سرد به آزمایشگاه منتقل شد و سپس از الک شماره‌ی دو میلی‌متری عبور داده شد و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای °C ۲۰- (به‌منظور جلوگیری از فعالیت ریزجانداران خاک، تغییرات عناصر و ...) نگهداری شدند.



شکل ۱- منطقه و نقطه‌های نمونه‌برداری‌شده در مناطق تحت پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب.
Figure 1- The area and the sampled points in the flood spreading and non-flood spreading areas.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

مـــاده‌ی آلی بـــا روش ســـرد (واکلی و بلـــک ۱۹۳۴) و نیتـــروژن کل با دســـتگاه کجلـــدال (برمرانـــد مولوینی ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شـــد. فســـفر قابل جذب با دستگاه اســـپکتروفتومتر با طول موج ۷۵۰-۷۲۰ نانومتر تعیین شد (هومر و پرت ۱۹۶۱). پتاسیم با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شـــد (هارون ۱۹۸۳). آنزیم‌های فسفاتازهای اســـیدی و قلیایی با اســـپکتروفتومتر با طول موج ۴۰۰ نانومتـــر برحســـب ($\mu g\ p\text{-}nitrophenol\ g^{-1}\ soil\ h^{-1}$) اندازه‌گیری شد (شینر و همکاران ۱۹۹۶). فعالیت آنزیم اوره‌آز با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۶۹۰ نانومتر برحسب ($\mu g\ N/g.dm.2h$) محاســـبه شد (سینسبو و همکاران ۲۰۰۰). فعالیت آنزیم دهیدروژناز با دســـتگاه اســـپکتروفتومتر با طول مـــوج ۵۴۶ نانومتر برحســـب ($\mu g\ TPF\ g^{-1}\ soil24\ h^{-1}$) اندازه‌گیری شـــد (اوهلینگر ۱۹۹۶).

بر اســـاس فعالیت چهار آنزیم مطالعه‌شـــده و مقایسه با اندازه‌ی کربن آلی ظرفیت زیست‌شیمیایی حاصل‌خیزی خاک (Mw) که شاخص کیفیت خاک است، با استفاده از معادله‌ی ۱ محاسبه شد (لابر و همکاران ۲۰۰۹).

$$Mw = (ACP + ALP + SDH + URE \times 10^{-1}) \times \%OC \quad (۱)$$

ALP: فســـفاتاز قلیایی، ACP: اسید فسفاتاز، SDH: دهیدروژناز، URE: اوره‌آز، OC: درصد کربن آلی است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا به‌وسیله‌ی آزمون‌های شاپیرو و لون تســـت بهنجار بودن و همگنی پراکندگی داده‌ها انجام شـــد. بیشـــتر ســـنجه‌ها از توزیع بهنجار و همگنی پراکندگی پیروی کردند و تعدادی به‌وســـیله‌ی لوگاریتـــم و مجـــذور بهنجار شـــدند. برای مقایســـه‌ی میانگین‌ها (تیمارها و شـــاهد) از روش تحلیل پراکندگی دو طرفه و برای بررســـی وجود اختـــلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها از آزمون دانکن اســـتفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با کمک نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج

تجزیه‌ی پراکندگی ویژگی‌هـــای حاصل‌خیزی خاک در منطقه‌ی بررسی‌شده نشان داد که اثر مستقل نوع منطقه در تمام ویژگی‌های مطالعه شده به جز اندازه‌ی منیزیم، پتاسیم و نسبت جذب سدیم معنی‌دار شد. اما اثر گونه‌ی گیاهـــی و اثر هم زمان این دو عامل در ســـایر ویژگی‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه‌ی پراکندگی دوطرفه تأثیر پخش سیلاب، نوع پوشش گیاهی و برهم‌کنش آن‌ها بر متغیرهای حاصل‌خیزی خاک.

Table 1- Variance analysis of the effect of flood spreading, type of plant species and their interaction on soil fertility variables.

Soil fertility characteristics	Degrees of freedom	Organic carbon (%) Average of squares	F Statistic	Significant percentage		Total nitrogen (%) Average of squares	F Statistic	Significant percentage	
Region (A)	1	0.089	39.92	0.001	**	0.001	55.773	0.001	**
Plant species(B)	2	0.00007	0.03	0.971	ns	0.0005	1.961	0.183	ns
(A × B)	2	0.00009	0.03	0.961	ns	0.00003	1.368	0.292	ns
Total residual error	12	0.002				0.00002			
		Available phosphorus(mg/kg dry soil)				Available potassium(mg/kg dry soil)			
Region (A)	1	22.75	20.068	0.001	**	48.35	0.438	0.521	ns
Plant species(B)	2	0.062	0.556	0.582	ns	141.77	1.285	0.312	ns
(A × B)	2	0.062	0.384	0.689	ns	79.17	0.717	0.508	ns
Total residual error	12	0.11				110.35			

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، *: معنی‌دار در سطح ۵٪، ns : غیر معنی‌دار.

**: significant at the 1% level, *: significant at the 5% level, ns: not significant.

تجزیه‌ی پراکندگی فعالیت آنزیم‌های خاک در گونه‌ی گیاهی، نوع منطقه و فصل‌های (بهار و پاییز) مطالعه‌شده اندازه‌های متفاوتی نشان داد. در این پژوهش بر اساس نتایج جدول ۲ اثر عامل نوع منطقه و فصل‌ها در سایر این آنزیم‌ها به‌جز فسفاتاز اسیدی معنی‌دار شد. همچنین اثر عامل گونه‌ی گیاهی و اثر هم‌زمان عامل‌ها در تمام ویژگی‌ها معنی‌دار شد

جدول ۲- تجزیه‌ی پراکندگی تأثیر پخش سیلاب، نوع پوشش گیاهی و برهمکنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم‌های بررسی‌شده.

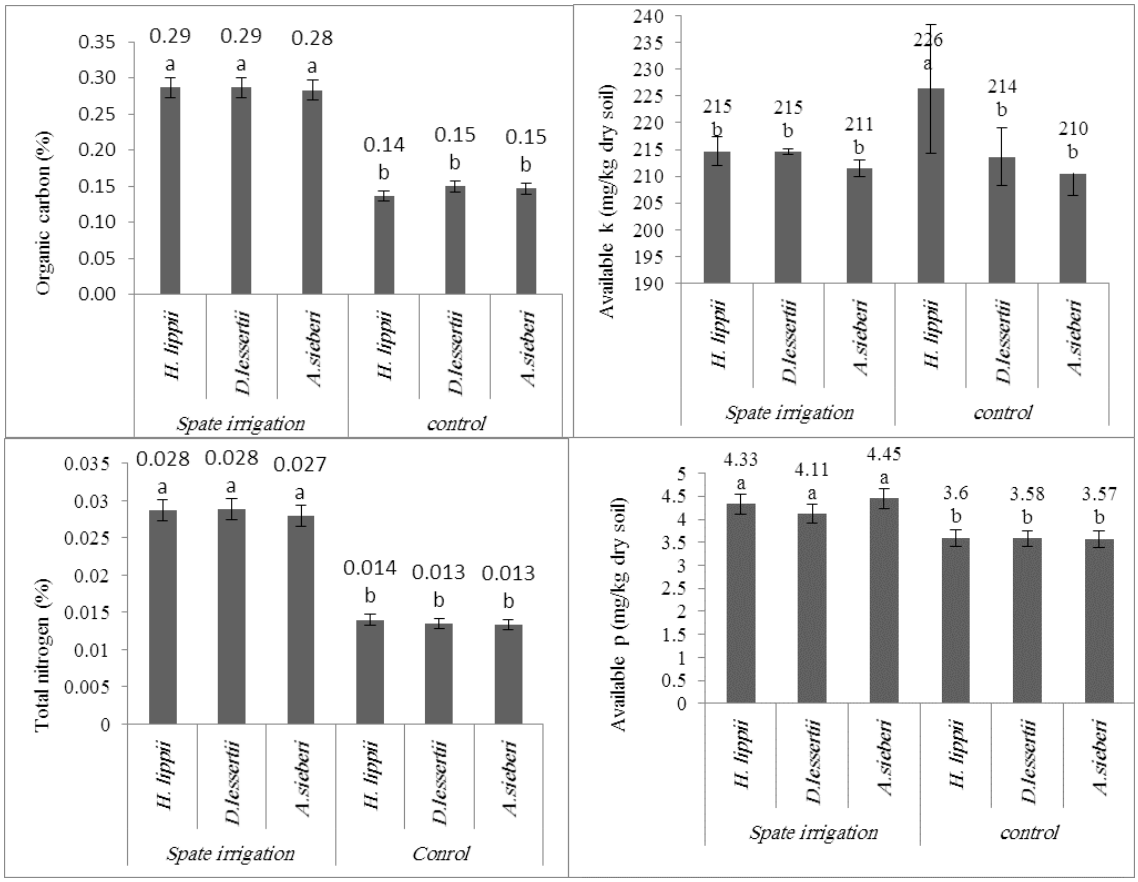
Table 2- Variance analysis of the effect of flood spreading, type of plant species and their interaction on the activity of investigated enzymes.

Biological characteristics	Degrees of freedom	Acid phosphatase (µg p-nitrophenol g^{-1} soil h^{-1}) Average of squares	F Statistic	Significant percentage		Alkaline phosphatase (µg p-nitrophenol g^{-1} soil h^{-1}) Average of squares	F Statistic	Significant percentage	
Region (A)	1	227	2.186	0.152	ns	9793	13.216	0.001	*
Year (B)	1	309	1.487	0.264	ns	11965	16.147	0.001	*
plant species (C)	2	3823	36.761	0.001	**	29919	40.379	0.001	**
(B × A)	1	1439	13.835	0.001	**	1672	2.257	0.012	**
(A × C)	2	198	0.002	0.969	ns	1091	1.472	0.023	**
(B × C)	2	612	5.884	0.008	**	1331	1.797	0.018	**
(B × A× C)	2	245	2.358	0.116	ns	9752	13.161	0.001	**
Total residual error	24	104				741			
		Dehydrogenase (µg TPFg^{-1} soil 24 h^{-1})				Urease (µg/N g^{-1} $2h^{-1}$)			
Region (A)	1	50.51	39.777	0.001	*	136471	52.843	0.001	*
Year (B)	1	61.23	48.221	0.001	*	18466	7.15	0.003	**
plant species (C)	2	98.92	77.899	0.001	**	13502	5.228	0.031	**
(B × A)	1	14.45	11.382	0.001	**	22713	8.795	0.001	**
(A × C)	2	9.55	7.521	0.011	*	13248	5.130	0.032	*
(B × C)	2	17.7	13.939	0.001	**	4948	1.916	0.169	ns
(B × A× C)	2	72.82	57.344	0.001	**	37963	14.70	0.001	**
Total residual error	24	1.27				2583			

**: معنی‌دار در سطح ۱٪، *: معنی‌دار در سطح ۵٪، ns : غیر معنی‌دار.

**: significant at the 1% level, *: significant at the 5% level, ns: not significant.

نتایج ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک در سه گونه‌ی مطالعه‌شده نشان داد که اندازه‌ی فسفر و پتاسیم قابل استفاده در شرایط پخش سیلاب و منطقه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما اندازه‌ی کربن آلی و نیتروژن کل در تمام گونه‌های بررسی‌شده در منطقه‌ی پخش سیلاب به‌طور معنی‌داری (ماده‌ی آلی در منطقه‌ی پخش سیلاب ۰/۳٪ و در منطقه‌ی شاهد ۰/۱۵٪) بیشتر از شاهد بود (تقریباً ۵۰٪). اندازه‌ی فسفر قابل جذب در خاک نیز از ۳/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب تا ۴/۴۵ میلی‌گرم در منطقه‌ی پخش سیلاب متغییر بود. اندازه‌ی پتاسیم قابل استفاده در شرایط پخش سیلاب و منطقه‌ی شاهد با میانگین ۲۱۷ mg/kg تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۲).



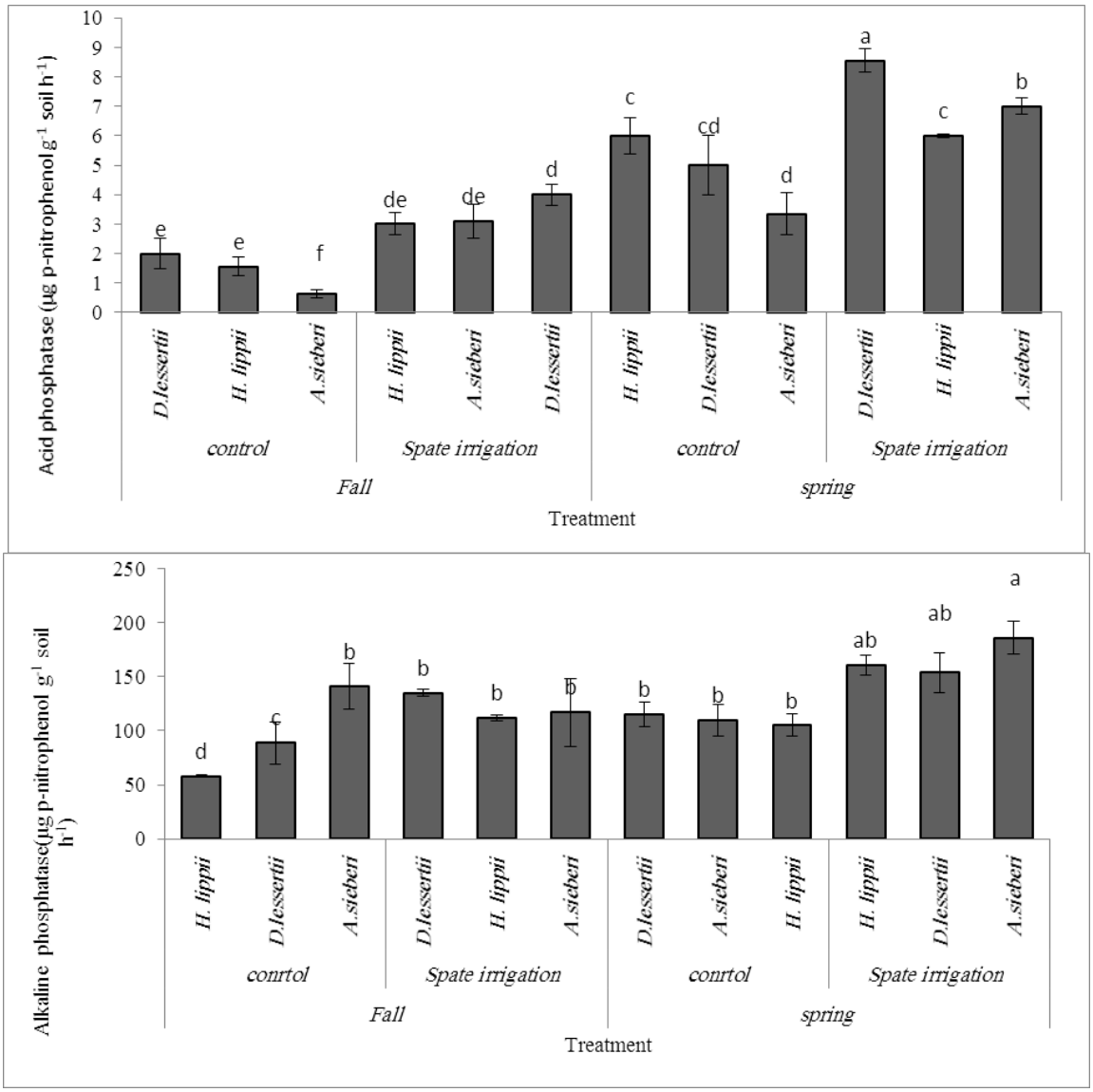
شکل ۲- ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک گونه‌های مختلف در زمین‌های پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد).

Figure 2- Nutrient characteristics of soil of different types in flood spreading and non-flooding lands (control).

حروف کوچک مختلف نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های معنی‌دار است (دانکن، سطح معنی‌داری کم‌تر از ۰/۰۵).

Different lowercase letters indicate significant differences (Duncan's, $P < 0.05$).

در وضعیت پخش سیلاب در فصل بهار و پاییز بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک زیرپوشش گونه‌ی *D. lessertii* و کمترین فعالیت آن در خاک زیر پوشش گونه‌ی *H. lippii* به‌طور معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۳). فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در تمام گونه‌ها در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود. در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در گونه‌های گیاهی *A. sieberi* (با میانگین ۱۸۶ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) مشاهده شد و در منطقه‌ی شاهد در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی *H. lippii* (با میانگین ۵۷ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) بود. به‌طور کلی در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار اندازه‌ی فعالیت آنزیم فسفاتاز در گونه‌ی *A. sieberi* ۸۹ ٪بیشتر از شاهد بود.



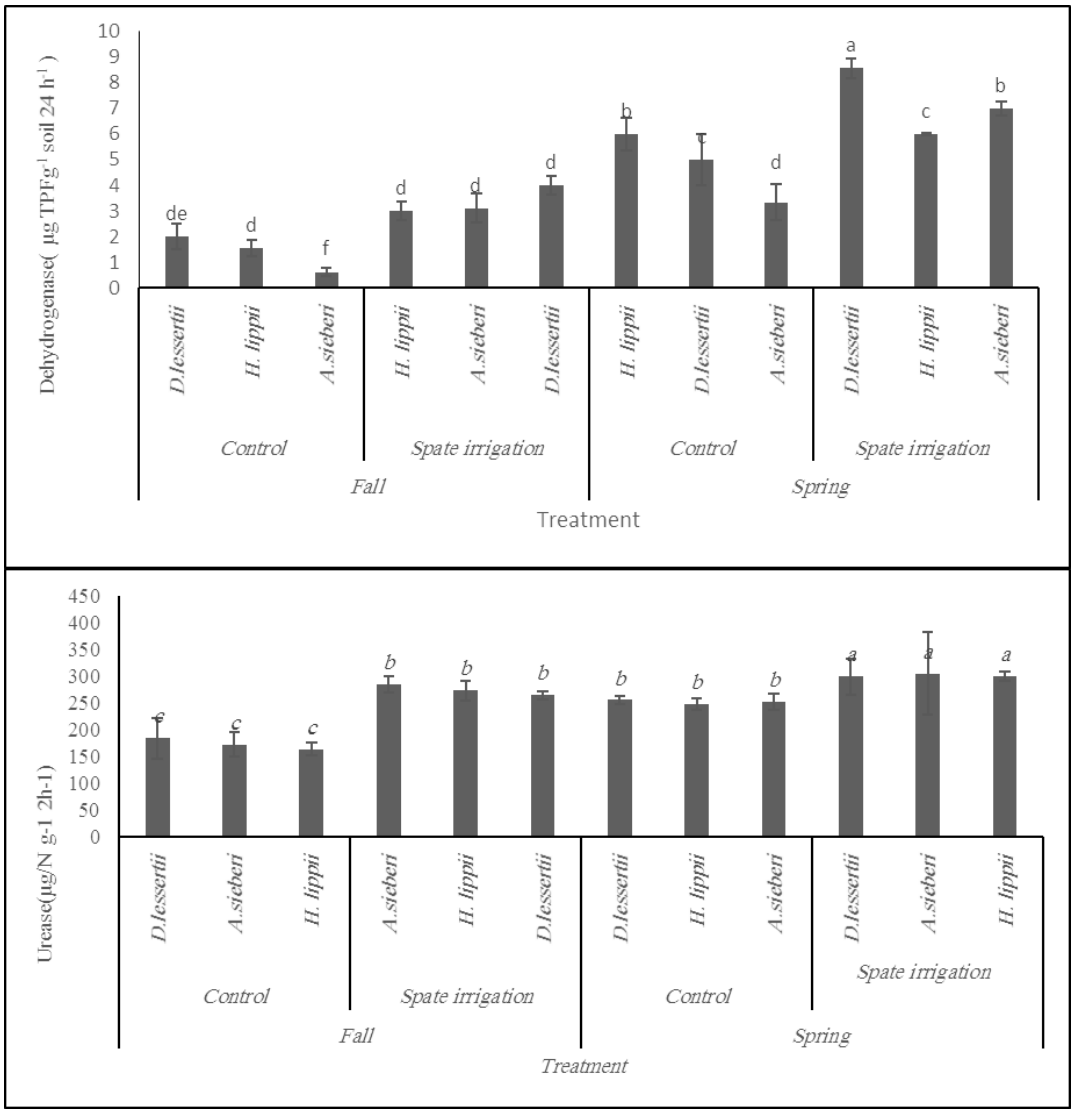
شکل ۳- فعالیت آنزیم‌های اسید و قلیایی فسفاتاز خاک گونه‌های مختلف در زمین‌های پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد) در دو فصل بهار و پاییز.

Figure 3- The activity of acid and alkaline phosphatase enzymes in the soil of different species in flood spreading and non-flooding lands (control) in autumn and spring.

حروف کوچک مختلف نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های معنی‌دار است (دانکن، سطح معنی داری کم‌تر از ۰/۰۵).

Different lowercase letters indicate significant differences (Duncan's, P < 0.0).

فعالیت آنزیم دهیدروژناز در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود (شکل ۴). در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار بیشترین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در گونه‌ی *D.lesserti* (با میانگین ۸/۵ میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان برگرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) مشاهده شد. همچنین در منطقه‌ی شاهد در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی *A. sieberi* (با میانگین ۱میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان بر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) بود. به‌طور کلی در دو منطقه‌ی شاهد و پخش سیلاب اندازه‌ی فعالیت آنزیم دهیدروژناز در فصل بهار ۶۶ ٪ بیشتر از فصل پاییز مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط پخش سیلاب در هر دو فصل پاییز و بهار فعالیت آنزیم اوره‌آز به‌ترتیب با میانگین ۲۷۰ و ۳۰۰ میکروگرم نیتروژن در هر گرم خاک خشک در دو ساعت بیشتر از منطقه‌ی شاهد با میانگین ۱۷۳ و ۲۵۰ میکروگرم نیتروژن در هرگرم خاک خشک در دو ساعت بود.



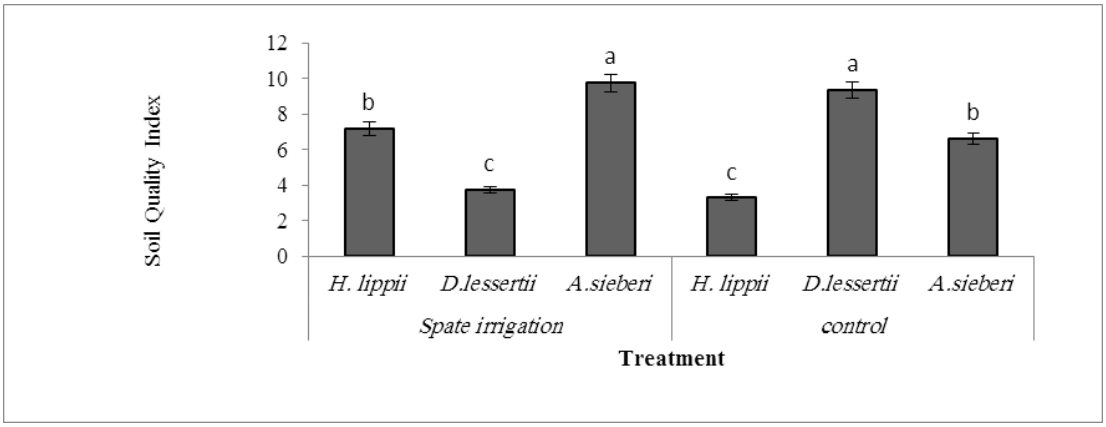
شکل ۴- فعالیت دهیدروژناز و اوره‌آز خاک گونه‌های مختلف در زمین‌های پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد) در دو فصل بهار و پاییز.

Figure 4- Soil dehydrogenase and urease activity of different species in flood spreading and non-flooding lands (control) in autumn and spring.

حروف کوچک مختلف نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های معنی‌دار است (دانکن، سطح معنی داری کم‌تر از ۰/۰۵).

Different lowercase letters indicate significant differences (Duncan's, $P < 0.05$).

در ایـــن پژوهش در ســـه گونـــه‌ی مطالعه‌شـــده در دو منطقه‌ی شـــاهد و پخش سیلاب، شاخص کیفیت خاک (که بـــر مبنای فعالیـــت آنزیم‌ها و انـــدازه‌ی کربن آلی تعیین می‌شود) با هم اختلاف معنی‌دار داشتند و پخش سـیلاب باعث افزایش اندازه‌ی این شاخص در گونه‌های *H. lippii* و *A. sieberi* شـد، در حالی که شاخص کیفیت خاک در گونه‌ی *D. lessertii* با پخش سیلاب کاهش یافت (شکل ۵).



شکل ۵ – مقایسه‌ی شاخص کیفیت خاک گونه‌های مختلف در زمین‌های پخش سیلاب و بدون پخش سیلاب (شاهد).

Figure 5- Comparison of the soil quality index of different species in flood spreading and non-flood spreading lands (control).

حروف کوچک مختلف نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های معنی‌دار است (دانکن، سطح معنی داری کم‌تر از ۰/۰۵).

Different lowercase letters indicate significant differences (Duncan's, $P < 0.05$).

بحث

در منطقه‌ی پخش سیلاب اندازه‌ی کربن و نیتروژن در تمام گونه‌های بررسی‌شده به‌طور معنی‌داری (ماده‌ی آلی در منطقه‌ی پخش سیلاب ۰/۳٪ و در منطقه‌ی شاهد ۰/۱۵٪) بیشتر از شاهد بود (تقریباً ۵۰ ٪). در منطقه‌ی پخش سیلاب به‌طور معنی‌داری (ماده‌ی آلی در منطقه‌ی پخش سیلاب ۰/۳٪ و در منطقه‌ی شاهد ۰/۱۵٪) بیشتر از شاهد بود (تقریباً ۵۰٪). اندازه‌ی فسفر قابل جذب در خاک نیز از ۳/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در عرصه‌ی بدون پخش سیلاب تا ۴/۴۵ میلی‌گرم در منطقه‌ی پخش سیلاب متغییر بود. اندازه‌ی پتاسیم قابل استفاده در شرایط پخش سیلاب و منطقه‌ی شاهد با میانگین ۲۱۷ mg/kg تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. افزایش نیتروژن را می‌توان به‌دلیل پوشش گیاهی در منطقه‌ی پخش دانست. با توجه به اینکه نیتروژن خاک به‌ویژه در لایه‌های سطحی بیشتر به‌شکل ترکیبات آلی وجود دارد، بنابراین فرایند تجمع نیتروژن در خاک با تجمع مواد آلی به‌طور معنی‌داری ارتباط داشت؛ بنابراین در منطقه‌ی شاهد از اندازه‌ی نیتروژن به‌شدت کاسته شد. این یافته با نتایج محمودیان و همکاران ۲۰۱۷ مطابقت دارد. در منطقه‌ی پخش سیلاب دلیل افزایش کربن و ماده‌ی آلی خاک درصد زیاد تاج پوشش گیاهی و لاشبرگ است (خالیک و همکاران ۲۰۱۳) . می‌توان گفت که در هر دو منطقه با افزایش شدت چرا به‌دلیل برداشت پوشش گیاهی به‌وسیله‌ی دام و کم شدن درصد پوشش و زی‌توده گیاهی، بازگشت ماده‌ی آلی به خاک و در نهایت کربن آلی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، زیستی و شیمیایی خاک تحت تأثیر کربن و نیتروژن خاک است. برخی از این ویژگی‌ها مانند ساختمان، ظرفیت نگهداری آب، حاصل‌خیزی، فعالیت‌های زیستی و هوادیدگی خاک است. بر اساس نظر فو و همکاران (۲۰۰۴) چرای دام با تأثیر بر ماده‌ی آلی خاک نقش اساسی در تأمین کربن خاک و انرژی ریزجانداران هتروتروف دارد و نتایج این پژوهش با نظر این پژوهشگران هم‌راستا است. بافت خاک از عامل‌های مؤثر در اندازه‌ی ازت، است. خاک‌های با سیلت کم و رس زیاد ازت بیشتری دارند. در این پژوهش اندازه‌ی رس در منطقه‌ی پخش سیلاب به مراتب بیشتر و اندازه‌ی سیلت کمتر از منطقه شاهد بود. اندازه‌ی نیتروژن خاک نیز بیشتر از منطقه‌ی شاهد بود. دلیل این یافته مربوط به قدرت نگهداری بیشتر ازت معدنی به‌وسیله‌ی رس‌ها است (چیس و سینگ ۲۰۱۴).

روستا و همکاران در سال ۲۰۲۱ گزارش کردند در عرصه‌های پخش سیلاب تغییر نمایان بافت خاک از درشت به متوسط و ریز، عامل مهم ذخیره کربن بود و به‌دلیل فراهم شدن رطوبت کافی برای رشد بیش‌تر گیاهان و در نتیجه تولید زی‌توده‌ی بیش‌تر، فعالیت ریزجانداران بهبودیافته و شاخ و برگ گیاهی و لاشبرگ آنها به ماده‌ی آلی پایدار (هوموس) تبدیل می‌شود و خاکدانه‌های پایدار تشکیل می‌شود.

همچنین نتایج نشان داد که فسفر خاک در دو رویشگاه اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند با این حال اندازه‌ی فسفر خاک منطقه‌ی شاهد (۳/۱ ppm) کمتر از منطقه‌ی پخش سیلاب (۴/۱ ppm) بود. می‌توان گفت قسمت عمده‌ی فسفر خاک به‌شکل ترکیب با مواد آلی است بنابراین خاک‌های سرشار از مواد آلی، فسفر بیشتری دارند. گیاه، فسفر را از ژرفای خاک جذب می‌کند و بعد

از خشک شدن گیاه، فسفر در سطح خاک آزاد می‌شود. درصد پوشش گیاهی و لاشبرگ در منطقه با شدت چرای کم، زیاد بود، بنابراین در این مناطق فسفر نیز در لایه های سطحی زیاد بود که با نتایج محمودیان و نیک نهاد (۲۰۲۰) همخوانی دارد.

هر چهار آنزیم بررسی‌شده در مناطق مختلف، در گونه‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی نشان دادند. فسفاتاز آنزیمی است که در چرخه‌ی فسفر دخالت دارد. افزایش فعالیت این آنزیم (اسیدی یا قلیایی) را می‌توان ناشی از افزایش اندازه‌ی فسفر و در نتیجه ایجاد شرایط مطلوب‌تر درخاک دانست. فعالیت فسفاتاز اسیدی تحت تأثیر عامل‌های گوناگونی مانند pH، کربن، فسفر و کمیت و کیفیت ماده‌ی آلی خاک است (یانگ و همکاران ۲۰۱۳). در وضعیت پخش سیلاب در فصل بهار و پاییز بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در خاک زیرپوشش گونه‌ی *D. lessertii* مشاهده شد. همچنین کمترین فعالیت این آنزیم در خاک زیر پوشش گونه‌ی *H. lippii* بود. در تمام گونه‌ها فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود. در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در گونه های گیاهی *A. sieberi* (با میانگین ۱۸۶ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) مشاهده شد. در منطقه‌ی شاهد در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی *H. lippii* (با میانگین ۵۷ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت) بود. به‌طور کلی در منطقه‌ی پخش سیلاب اندازه‌ی فعالیت آنزیم فسفاتاز در گونه‌ی *A. sieberi* در فصل بهار بیشتر از شاهد بود (تقریباً ۸۹ ٪). آنزیم فسفاتاز یک آنزیم برون سلولی است، از این رو، فعالیت آن ارتباط مستقیم با فعالیت ریزجانداران تولیدکننده‌ی این آنزیم در خاک دارد. رطوبت و اکسیژن کافی، وجود عناصر غذایی مورد نیاز و حضور مواد آلی در خاک شرایط را برای ریزجانداران خاک برای تولید آنزیم فسفاتاز فراهم می‌کنند. از آنجایی که pH خاک مطالعه‌شده قلیایی بود و بهینه‌ی pH برای فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ۶/۵ است (وانگ و همکاران ۲۰۱۹)؛ بنابراین کاهش فعالیت فسفاتاز اسیدی در مقایسه با فسفاتاز قلیایی به احتمال زیاد مربوط به شرایط بهینه‌ی عمل آنزیم است که این یافته با نتایج نانیپیر و همکاران ۲۰۱۱ هم‌راستا است در حقیقت گیاهان با از دست دادن زی‌توده هواییشان، برای دریافت فسفر قابل جذب بیشترین فعالیت را دارند (نورزمان و همکاران ۲۰۰۶). اندازه‌ی نیتروژن و ماده‌ی آلی خاک در منطقه‌ی پخش سیلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه‌ی شاهد به‌دست آمد همین عامل می‌تواند دلیلی دیگر بر افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم فسفاتاز در منطقه‌ی پخش سیلاب باشد (شو و همکاران۲۰۲۲). آغاز فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی ریشه‌ی گیاهان است (طباطبایی ۱۹۹۴). اندازه‌ی بیشتر این آنزیم در زیر پوشش گیاهان منطقه‌ی پخش سیلاب به‌دلیل ریشه‌های گسترده‌تر در اثر رطوبت سیلاب در مقایسه با منطقه‌ی شاهد دور از انتظار نبود. در حالی که، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک اغلب گونه‌ها در بهار بیشتر از پاییز بود. این امر، به‌دلیل فعالیت فراوان ریشه‌های گیاه در بهار، طبیعی است. زیرا نیاز گیاه با توجه به کمبود دیگر عناصر غذایی در این فصل، بسیار است و در نتیجه فعالیت ریشه‌های آن در مقایسه با پاییز نیز بیشتر است. در این پژوهش ریزجانداران که مسئول فراهم کردن فسفاتاز قلیایی در این رویشگاه بودند، با ورود به فصل گرما و خشکی، به‌شدت از فعالیتشان کاسته شد. می‌توان نتیجه گرفت که در فصل بهار مسئولیت تأمین فسفاتاز لازم برای تبدیل فسفات آلی به معدنی بر عهده‌ی ریزجانداران است و در فصل پاییز، بر عهده‌ی ریشه‌ی گیاهان است (داکورا و فلیپس ۲۰۰۲). آنزیم فسفاتاز قلیایی از ریزجانداران خاک ترشح می‌شود (یی و همکاران ۲۰۱۵). این نتایج با نتایج پژوهش کارداسو و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت.

آنزیم دهیدروژناز که در ریزجانداران وجود دارد و فعالیت آن، نشان از حیات و فعالیت ریزجانداران در خاک است (نانیپری و همکاران ۲۰۰۲). این آنزیم بخشی از مسیر تنفسی ریزجانداران خاک است و ارتباط نزدیکی با نوع خاک و شرایط آب و هوایی دارد (گلینسکی و استپنیوسکی ۱۹۸۵؛ کندلر و همکاران؛ دولمن و هانسترا ۱۹۷۹). همچنین برای ردیابی شیوه‌های مدیریتی اعمال شده در خاک از این آنزیم استفاده می شود. فعالیت آنزیم دهیدروژناز در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود. همچنین در منطقه‌ی پخش سیلاب در فصل بهار بیشترین فعالیت آنزیم دهیدروژناز در گونه‌ی *D. lesserti* (با میانگین ۸/۵ میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان برگرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) بود. در منطقه‌ی شاهد در فصل پاییز کمترین اندازه‌ی این آنزیم در گونه‌ی *A. sieberi* (با میانگین ۱ میکروگرم تری‌فنل‌فرمازان بر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت) مشاهده شد. به‌طور کلی در هر دو منطقه‌ی شاهد و پخش سیلاب اندازه‌ی فعالیت آنزیم دهیدروژناز در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بود (تقریباً ۶۶٪). دلیل این امر آن است که در شرایط کمبود آب، فعالیت‌های ریزجانداران برای افزایش جذب مواد غذایی افزایش می‌یابد (مقیمیان و همکاران ۲۰۱۷). در چرخه‌ی نیتروژن آنزیم اوره‌آز در

آبکافت اوره به آمونیاک و دی‌اکسیدکربن نقش دارد. در این پژوهش ارزیابی شاخص‌های زیست‌شناختی حاصل‌خیزی نشان داد که منطقه‌ی شاهد در مقایسه با منطقه‌ی دیگر از نظر شاخص سلامت زیست شناختی که بر اساس محتوای کربن آلی است، ضعیف‌تر بود (نوری و همکاران ۲۰۲۰).

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط پخش سیلاب در هر دو فصل پاییز و بهار فعالیت آنزیم اوره‌آز با میانگین (۳۰۰ و ۲۷۰) بیشتر از منطقه‌ی شاهد با میانگین (۲۵۰ در فصل بهار و ۱۷۳ در فصل پاییز) بود. همچنین در شرایط پخش سیلاب در سه گونه‌ی گیاهی روند فعالیت آنزیم اوره‌آز در طی زمان متغیر بود. رطوبت ناشی از پخش سیلاب می‌تواند سبب ایجاد تنش در فعالیت ریزجانداران هوازی تولیدکننده‌ی آنزیم اوره‌آز شود. وجود این ریزجانداران امکان استفاده از گیرنده‌های ثانویه‌ی الکترون نظیر ترکیب‌های آهن، منگنز، سولفات و غیره را فراهم می‌کند. پخش سیلاب با ایجاد تغییر در اجتماع میکروبی موجب افزایش اکسیژن، افزایش تولید آنزیم، کاهش غلظت بازدارنده هایی مانند آهن و منگنز می‌شود (حلالیت شان در شرایط احیا کاهش می‌یابد).

با افزایش انتشار اکسیژن درون خاک مرطوب سوخت و ساز هوازی بیشتر می‌شود که می‌تواند بیان‌گر تغییر نوع فعالیت آنزیم اوره‌آز باشد و این احتمال وجود دارد که در این پژوهش در مناطق پخش سیلاب حتی در شرایط غرقاب فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز ناشی از سوخت و ساز غیرهوازی سبب افزایش فعالیت این آنزیم شده باشد. این یافته‌ها با نتایج پریزینسینگ و همکاران (۲۰۰۰)، راستین و همکاران (۱۹۹۸) و اسپیر و همکاران (۱۹۵۵) مطابقت دارد.

براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که وجود سیلاب و رطوبت باعث افزایش عملکرد آنزیم‌ها شد. با توجه به اینکه اغلب میکروب‌های خاک برای انجام فعالیت به ۸۰- ۶۰٪ رطوبت ظرفیت مزرعه نیاز دارند، کاهش رطوبت خاک از دامنه‌ی مطلوب آن باعث کاهش فعالیت آن‌ها می‌شود (کیلهام ۱۹۹۴؛ کنانت و همکاران ۲۰۰۰). رطوبت خاک ناشی از پخش سیلاب به‌طور مستقیم بر اندازه‌ی آب لازم برای انجام فعالیت‌های موجودات خاک و همچنین تحرک ریزجانداران مؤثر است و هم به‌طور غیرمستقیم با تغییر وضعیت خلل و فرج و تهویه‌ی خاک بر اندازه و شدت فعالیت این موجودات مؤثر است. کمبود رطوبت خاک عامل محدودکننده‌ی فعالیت‌های میکروبی در خاک‌های خشک و نیمه خشک است (کیلهام۱۹۹۴). آنزیم‌های خاک نقش اساسی در معدنی کردن عناصر غذایی دارند و فعالیت آن‌ها به‌عنوان یک حسگر پیش‌بینی کننده ظرفیت عرضه عناصر غذایی خاک به گیاهان است.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد سامانه‌ی پخش سیلاب یک روش مطلوب برای بهبود کربن آلی خاک است و با کاشت گیاه کارایی آن بیشتر می‌شود. افزایش رطوبت و اندازه‌ی ماده آلی در منطقه‌ی پخش سیلاب می‌تواند سبب افزایش فعالیت آنزیم‌ها در منطقه پخش سیلاب شود. در هر دو فصل پاییز و بهار فعالیت آنزیم‌های خاک بیشتر از منطقه شاهد شد. با توجه به نقش مهم مواد آلی در بهبود شاخص‌های زیست شناختی، کیفیت و سلامت خاک، به‌منظور افزایش اندازه‌ی مواد آلی خاک و بهبود فعالیت آنزیمی خاک، احیای مراتع سیلابی با پوشش بومی و سازگار پیشنهاد می‌شود. در نهایت ارزیابی شاخص‌های زیست‌شناختی حاصلخیزی نشان داد که منطقه‌ی شاهد در مقایسه با منطقه‌ی پخش سیلاب که بر اساس محتوای کربن آلی است از نظر شاخص سلامت زیست‌شناختی ضعیف‌تر بود. همچنین پیشنهاد می‌شود این آزمایش‌ها با تعداد نمونه‌های بیشتر و در مناطق متفاوت تکرار شود و چرخه‌های نیتروژن، کربن، گوگرد و فسفر و ارتباط آن با فعالیت دیگر آنزیم‌های خاک مربوط به آن چرخه بررسی شود.

فهرست منابع

Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Nitrogen-total. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. pp. 595–624. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31

Cardoso EJBN, Vasconcellos RLF, Bini D, Miyauchi MYH, Santos CAdos, Alves PRL, Nogueira MA. 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(4):274–289. DOI:10.1590/S0103-90162013000400009

Chase P, Singh OP. 2014. Soil nutrients and fertility in three traditional land use systems of Khonoma, Nagaland India. Resources and Environment. 4(4):181-189. DOI: 10.5923/j.re.20140404.01

Cordero I, Snell H, Bardgett RD. (2019). High throughput method for measuring urease activity in soil. Soil Biology and Biochemistry. 134:72-77. DOI:10.1016/j.soilbio.2019.03.014

Gmbh EU, Bundesanstalt SB, Maikornes P. 1993. Eine modifizierte methode zur erfassung der dehydrogenaseaktivität {TTC-Reduktion) Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Braunschweig, Germany. 45(9):180–185.

Dakora FD, Phillips DA. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments food security in nutrient-stressed environments: exploiting plants' genetic capabilities. Springer, Dordrecht. 245:35-47

Deng, HL, Xiong YC, Zhang HJ, Li FQ, Zhou H, Wang YC, Deng ZR. 2019. Maize productivity and soil properties in the Loess Plateau in response to ridge-furrow cultivation with polyethylene and straw mulch. Scientific reports. 9:3090. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39637-w

Doelman P, Haanstra L. 1979. Effect of lead on soil respiration and dehdrogenase activity. Soil Biology and Biochimistry 11(5):475-479. https://doi.org/10.1016/0038-0717(79)90005-1

Duff SMG, Sarath G, Plaxton WC. 1994. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. Physiol Plant. 90: 791-800. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb02539

Fu BJ, Liu SL, Ma KM, Zhu YG. 2004. Relationships between soil characteristics, topography and plant diversity in a heterogeneous deciduous broad-leaved forest near Beijing. China. Plant and soil. 261: 47-54.

Garcia-Franco N, Wiesmeier M, Goberna M, Martínez-Mena M, Albaladejo J. 2014. Carbon dynamics after afforestation of semiarid shrublands: implications of site preparation techniques. Forest Ecology and Management. 319:107-115. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.043

Habibian MR. 1401. The final report of the research project to evaluate the effect of flood expansion on the vegetation of Kotsar watershed research station. Research Institute of Soil Protection and Watershed Management. 127 p.

Harron WRA, Webster GR, Cairns RR. 1983. Relationship between exchangeable sodium and sodium adsorption ratio in a sologetzic soil association Canadian Journal of Soil Science . 63(3): 461–467. https://doi.org/10.4141/cjss83-047

Homer CD, Pratt PF.1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Agricultural Sciences Press, Berkeley. 27(1): 309-315. https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700010004x

Khlik KA, El-Sheikh M, El-Aidarous A. 2013. Floristic diversity and vegetation analysis

of wadi Al-Noman, Mecca, Saudi Arabia. Turkish Journal of Botany. 37(5):894-907. DOI:10.3906/bot-1209-56. (In Persian).

Kowsar A. 1992. Desertification control floodwater spreading in Iran. Unasylva (An International Journal of Forestry and Forest Industries). 43:27-30. (In Persian).

Kuntu-Blankson K, Sommer R, Kühne RF, Gluecks I, Nyawira S, Isselstein J. 2018. Model-based assessment of grazing impact on soil carbon stocks and dynamics of a kenyan rangeland. Properties in Rangelands. Geoderma. 125:167-176.

Lauber CI, Hamady M, Knight R, Fierer N. 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. Applied and Environmental Microbiology. 75(15):5111-5120. Doi:10.1128/AEM.00335-09

MahmoodianChooplu A, DianatiTilaki G, Alavi SJ. 2017. Investigating aeluropus lagopoides and Salsola turcomanica response curves to some environmental gradients using HOF function in Inchehboroun rangelands. 10(3):20-25

Moghimian N, Hosseini SM, Kooch Y, Darki BZ. 2017. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activity. Catena. 157:407-414. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.003. (In Persian).

Nannipieri PB, Kandler E, Ruggiero P. (Eds). 2002. Enzyme activity and microbial and biochemical processes in soil. In: Burns, R.G. and Dick, R.P.; Enzymesin the Environment: Activity, Ecology and Applications. Marcel Dekker Inc, New York, pp. 1-33.

Nannipieri PL. Giagnoni L, Landi G, Renella. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil. pp. 215-243. Doi:10.1007/978-3-642-15271-9_9

Nouri E, Matinizadeh M, Moshki A, Zolfaghari A, Rajaei S, Janoušková M. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi benefit drought-stressed Salsola laricina. Plant Ecology. 221(8): 683-694. (In Persian).

Ohlinger R. 1996. Biomass-N by fumigation-extraction technique. In: F. Schinner, E. Kandeler, and R. Margesin (Eds.), Methods in soil biology. Springer-Verlag Berlin. Soil Biology and Biochemistry. 28(1):33-37.

Pierzynski G, Sims J, Vance G. 2000. Soils and environmental quality, CRC Press LLC. Boca Raton, 509 p. https://doi.org/10.1201/b12786.

Rastin N, Rosenplänter K, Hüttermann A. 1988. Seasonal variation of enzyme activity and their dependenceon certain soil factors in a beech forest soil. Soil Biology and Biochemistry. 20(5): 637-642. https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90147-2

Rousta M, Matinizadeh M, Nouri E, Zarafshar M,Enayati M. 2021. Interactions between flood spreading and vegetation type on some biological indices of soil in the Gareh-Bygone Plain of Fasa (Kowsar station). Journal of Watershed Research. 36(1): 120-121. 10.22092/wmrj.2022.359066.1481

Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E, Margesin R.1996. Methods in Soil Biology. 596 p

Speir TW, Kettles H, Parshotam A, Searle P, Vlaar L. 1995. A simple kinetic approach to derive the ecological dose value, ED50, for the assessment of Cr (VI) toxicity to soil biological properties. Soil Biology and Biochemistry. 27(6):801-810. DOI:10.1016/0038-0717(94)00231-O

Sinsabaugh R, Reynolds H, Long T. 2000. Rapid assay for amidohydrolase (urease) activity in environmental samples. Soil Biology and Biochemistry. 32(14): 2095–2097. https://doi.org/ 10.1016/S0038-0717(00)00102-4

Tabatabai MA. 1994. Soil enzymes. In: R. W. Weaver, J. S. Angle, and P. S. Bottomley (Eds.), Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties. Part 2. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. 775-83. https://doi.org/10.2136/

sssabookser5.2.c37

Tian P, Razavi BS, Zhang X, Wang Q, Blagodatskaya E. 2020. Microbial growth and enzyme kinetics in rhizosphere hotspots are modulated by soil organics and nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry 141:107662. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107662

Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 29-38.

Wang D, Feng H, Liu X, Li Y, Zhou L, Zhang A, Dyck M. 2018. Effects of gravel mulching on yield and multilevel water use efficiency of wheat-maize cropping system in semi-arid region of Northwest China. Field Crops Research. 218: 201-212.

Wang L, Zhang W, Wang J, Zhu L, Wang L, Yan S, Ahmad Z. 2019. Toxicity of enrofloxacin and Cadmium alone and in combination to enzymatic activities and microbial community structure in soil . Environmental Geochemistry and Health. pp. 1-14. https://doi.org/10.1002/adfm.201804004

Xu L, Han Y, Yi M, Yi H, Guo E, Zhang A. 2019. Shift of millet rhizosphere bacterial community during the maturation of parent soil revealed by 16S rDNA high-throughput sequencing. Soil Ecology 135:157-165. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.004

Yang K, Zhu J, Zhang M, Yan Q, Sun OJ. 2013. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: A comparison between natural secondary forest and larch plantation. Journal of Plant Ecology. 3 (3):175-182.

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Effect of Flood Spreading on Enzymes Activity and Soil Fertility in the Pastures of the Fasa, Gareh-Bygone Plain

Neda Soleiman Dehkordi[1], Mohammad Matinizadeh[2*], Hamid Reza Asgari[3], Mohammad Javad Rousta[4], Chooghi Bairam Komaki[5], Maryam Mombeni[6]

1- Ph.D. Student in Desert Management and Control, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan
2- Associate Professor, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Department of Desert Zones Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4-Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
5-Department of Arid Zone Management Department, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran
6- Ph.D. in Desertification, Office of Desert Affairs, Natural Resources and Watershed Management Organization, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

The rangeland ecosystems of arid and semi-arid regions play the most important role in the distribution and density of vegetation in these areas due to the specific environmental conditions governing the soil, which is the bridge between living and non-living parts of ecosystems. Soil enzymes play important biochemical roles in the decomposition of organic matter at all stages in the soil system. These enzymes play an important role in the stability of the soil structure, the decomposition and formation of organic matter, the cycle of elements and the activity of soil microorganisms. Environmental stresses, such as drought, have negative impact on plant growth and soil microorganism's activity. Therefore, evaluating the effect of flood spreading on soil quality indicators can be a useful step in improving knowledge in this field. Therefore, this research was conducted during 2018 and 2019 to investigate the effect of flood spreading, plant types and characteristics on biological soil in the Kowsar floodplains located in Gareh-Bygone, Fasa.

Article Type: Research Article
***Corresponding Author E-mail:** matini@rifr-ac.ir
Citation: Soleiman Dehkordi, N., Matinizadeh, M., Asgari, H.R., Rousta, M.J., Komaki, CH.B., Mombeni, M. 2023. The effect of flood spreading on the activity of enzymes and soil fertility in the pastures of Fasa the Gareh-Bygone plain. Watershed Management Research. 36(3): 63-79.
DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360841.1510
Received: 18 December 2022, **Received in revised form:** 11 February 2023, **Accepted**: 19 March 2023, **Published online**: 20 March 2024
Watershed Management Research, VOL. 37, No.1, Ser. No: 142, Spring 2024, pp. 63-79.
Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)

Materials and Methods

Sampling of the soil around the roots of *Artemisia sieberi* Besser, *Dendrostellera lessertii* (Wikstr) Van Tiegh and *Heliantemum lippii* (L) Pers, in two situations: with flood spreading and without flood spreading (control area) in spring and autumn from a depth of 0-20 cm and in three repetitions. After ensuring the normality and homogeneity of the variance of the data by the Shapiro–Wilk and Levene tests, the data were analyzed using the two-way variance method and mean comparison were made using Duncan's test at the 1% and 5% level and using the R software.

Results and Discussion

The results of soil fertility characteristics showed that there was no significant difference in the amount of phosphorus and potassium in the three pasture species studied under flood spreading and the control areas. However, the amount of carbon and nitrogen in all studied species was significantly higher in the flood spreading area (containing 0.3% organic matter) than the control area (with 0.15% organic matter). In addition, the results of this research indicated that the highest activity of acid phosphatase enzyme was observed in the rhizosphere of D. lessertii species and in the spring season, and on the contrary the lowest activity was observed in the rhizosphere of H. lippii species under the flood spreading condition.

Alkaline phosphatase activity in all species was significantly higher in spring than in autumn season. The highest activity of this enzyme was observed for A. sieberi in the spring season with an average of 186 (µg p-nitrophenol g-1 soil h-1) in the flood spreading area and the lowest level was observed for H. lippii in the control area with an average of 57 (µg p-nitrophenol g-1 soil h-1) in the autumn season. In general, the level of phosphatase enzyme activity for the A. sieberi species in the spring season was approximately 89% higher in the flood spreading area than in the control area. The dehydrogenase enzyme activity was higher in spring than in autumn. Also, the highest activity of this enzyme was observed in the spring season for the D. lessertii species with an average of 8.5(µg TPFg-1 soil 24 h-1) in the control area, and the lowest level was observed in the autumn season for the A. sieberi species in the flood spreading area with an average amount of triphenol formazan was 1 (µg TPFg-1 soil 24 h-1) .In other words, the amount of dehydrogenase enzyme activity in the spring season was approximately 66% higher than that in the fall season in both areas (control and flood spreading). The results of this research showed that the activity of urease enzyme under flood spreading conditions in both seasons (autumn and spring), with an average of 270 and 300 (µg N/g.dm.2h) is more than the control area with an average of 173 and 250 (µg N/g.dm.2h). Also, the soil quality indices in all three studied species in the two (control and flood spreading) areas have a significant difference, so that the flood spreading operation has upgraded the value of these indices for the H. lippii species and the A. sieberi, while which has reduced the soil quality index of D. lessertii.

Conclusions and Suggestions

The results of this research showed that the flood spreading system is a desirable method for improving soil organic carbon, and its efficiency increases with the plant planting. The increase in moisture and the amount of organic matter in the flood spreading area can be a reason for increasing the activity of enzymes in the flood spreading area, so that in both autumn and spring, the activity of soil enzymes is more in the region. Considering the important role of organic matter in improving biological indicators and soil quality and health, the restoration of floodplains with native species can play an important role in providing these conditions. In addition, it is recommended that these tests be repeated with more samples and in different areas and the nitrogen, carbon, sulfur and phosphorus cycles and its relationship with the activity of other soil enzymes related to this cycle should be investigated.

Keywords: Flood spreading, Gareh-Bygone Fasa, pasture species, soil enzymes, soil organic matter, soil quality indicators