

بررسی فعالیت آنزیم‌ها و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در رویشگاه کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) Druce) و سمر (*P. juliflora* (SW.) DC.)

طاهره علی‌زاده^۱، هاشم حبشی^{۲*}، محمد متینی‌زاده^۳ و سیدموسی صادقی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 ۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 پست الکترونیک: habashi@gau.ac.ir
 ۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
 ۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

چکیده

باتوجه به دشواری حفاظت و احیای مناطق خشک و بیابانی، ارزیابی تغییرات ناشی از ورود گونه‌های غیربومی به این بوم‌سازگان‌های شکننده بسیار مهم است. با بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌عنوان پایه بوم‌سازگان می‌توان اثر ورود و استقرار گونه‌های غیربومی را ارزیابی کرد. در پژوهش پیش‌رو، اثرات کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) Druce) و سمر (*P. juliflora* (SW.) DC.) به‌عنوان دو گونه مهم ناحیه رویشی صحارا-سندی بر خاک رویشگاه شهرستان عسلویه در استان بوشهر بررسی و مقایسه شدند. بدین‌منظور، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، اوره‌آز، دهیدروژناز و اینورتاز در رابطه با برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (رطوبت اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب) در زیر و بیرون تاج این درختان ارزیابی شد. ۲۴ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از رویشگاه طبیعی کهور ایرانی و سمر به‌روش تصادفی نمونه‌برداری شدند. نتایج آنالیز آماری با استفاده از طرح کرت‌های خردشده نشان داد که اثر موقعیت نمونه‌برداری بر فعالیت همه آنزیم‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد معنی‌دار است. به‌طوری‌که این آنزیم‌ها در خاک زیر تاج درختان نمونه، فعالیت بیشتری نسبت به بیرون تاج داشتند. فعالیت آنزیم‌های مورد مطالعه در زیر تاج درختان کهور ایرانی، تفاوت معنی‌داری با سمر نشان نداد. اثرات متقابل گونه و موقعیت نمونه‌برداری فقط بر آنزیم فسفاتاز قلیایی معنی‌دار بودند ($p < 0.01$). به‌طورکلی سمر، اثرات نامطلوبی بر فعالیت آنزیم‌های خاک نداشت. به‌نظر می‌رسد که با اعمال مدیریت علمی و صحیح، این گونه تندرشد می‌تواند همراه با گونه بومی کهور ایرانی در برنامه‌های بیابان‌زدایی و احیای جنگل‌های ناحیه رویشی صحارا-سندی در منطقه عسلویه مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: صحارا-سندی، عسلویه، گونه بومی، گونه غیربومی، ویژگی‌های زیستی خاک.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی همراه با رخداد‌های طبیعی مانند خشک‌سالی‌های پی‌درپی سبب تخریب بوم‌سازگان‌های جنگلی می‌شوند. این اثرات در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک مانند رویشگاه‌های سواحل جنوبی ایران، نمود بیشتری دارند، بنابراین بازسازی و احیا رویشگاه‌های جنگلی در این مناطق با گونه‌های بومی و غیربومی از اهداف اصلی مدیران عرصه‌های جنگلی هستند. در بوم‌سازگان‌های بیابانی در جنوب کشور، گونه بومی کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) Druce) و گونه غیربومی سمر (کهور آمریکایی) (*P. juliflora* (SW.) DC.) از جمله درختان مهم و شناخته‌شده هستند. برای سمر می‌توان فواید بی‌شماری مانند سهولت تولید نهال، رویش بسیار سریع، مقاومت نسبی به خشکی و شوری، تثبیت شن‌های روان و جلوگیری از فرسایش خاک ذکر کرد. گونه‌های درختی نه تنها رابطه‌های آب-خاک-گیاه در این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه زندگی بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی دیگر نیز متأثر از حضور آن‌ها است (Moslehi et al., 2019). گونه‌های مختلف با تغییر در مواد آلی ورودی به خاک می‌توانند بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک رویشگاه مؤثر باشند (Ghasemi Aghbash, 2018)، بنابراین آن‌ها می‌توانند تولید و کیفیت بوم‌سازگان‌های جنگلی را افزایش یا کاهش دهند (Zheng et al., 2018). همچنین، به دنبال افزایش رطوبت و مواد مغذی خاک در زیر تاج درختان مهم بیابانی مانند کهور ایرانی و سمر، شدت نور خورشید کاهش می‌یابد، بنابراین شرایط بهتری برای رشد گونه‌های دیگر فراهم می‌شود (Najafi Tireh & Shabankareh & Jalali, 2012).

به منظور بررسی اثرات گونه‌های بومی و غیربومی بر خاک رویشگاه، شاخص‌های مختلفی مدنظر پژوهشگران قرار گرفته‌اند. در این میان، پارامترهای زیستی حائز اهمیت زیادی هستند (Zarafshar et al., 2020). با بررسی آنزیم‌های خاک می‌توان اطلاعات مفیدی در مورد

فعالیت‌های زیستی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک به دست آورد تا بتوان تأثیر گونه بر خاک را بهتر درک کرد. آنزیم‌های خارج سلولی، نقش مهمی در واکنش‌های زیست‌شیمیایی خاک و چرخه‌های زیست‌زمین‌شیمیایی ایفا می‌کنند (Raiesi & Salek-Gilani, 2018). با این حال، پاسخ آنزیم‌های خارج سلولی و داخل سلولی خاک به رهاسازی و احیای پوشش گیاهی در ناحیه رویشی صحارا-سندی چندان مورد پژوهش قرار نگرفته است. مقایسه زی‌گیتاشناختی (Biogeographic) سمر در محدوده‌های بومی و غیربومی آن نشان داد که سمر و کهور ایرانی، منبع مغذی از کربن آلی و نیتروژن در زیر تاج (Rhizosphere) خود هستند (Kaur et al., 2012). با این حال، برخی ویژگی‌های خاک در زیر تاج درختان این دو گونه باهم تفاوت معنی‌دار داشتند. با ارزیابی اثرات این دو گونه بر ویژگی‌های خاک در بیابان‌های خشک امارات متحده عربی مشخص شد که هدایت الکتریکی، پتاسیم، نیتروژن، کربن آلی و pH در خاک زیر تاج آن‌ها بیشتر از بیرون تاج هستند (El-Keblawy & Abdelfatah, 2014). همچنین، بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک کهور ایرانی و سمر در رویشگاه‌های سیریک هرمزگان نشان داد که مقدار منیزیم، ماده آلی و رطوبت اشباع خاک در زیر تاج درختان کهور ایرانی بیشتر از سمر هستند، اما نتایج معکوسی برای هدایت الکتریکی خاک گزارش شد (Bijani et al., 2020).

با توجه به اهمیت آنزیم‌های خاک در پژوهش‌های خاک‌شناسی و جایگاه دو گونه کهور ایرانی و سمر در رویشگاه‌های جنوب کشور، پژوهش پیش‌رو برای اولین بار به مقایسه آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، اوره‌آز، دهیدروژناز و اینورتاز در خاک زیر و بیرون تاج درختان این دو گونه در کنار چند عامل مهم فیزیکوشیمیایی خاک (رطوبت اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب) پرداخت. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات جامع‌تری را در اختیار مدیران و دست‌اندرکاران منابع طبیعی قرار دهد تا قضاوت بهتر و

ویژگی‌های زیستی خاک، این نمونه‌ها بلافاصله پس از عبور از الک دو میلی‌متری در شرایط سرد (داخل یخدان) قرار گرفتند. سپس به منظور ثابت ماندن فعالیت ریزاندامگان خاک، نمونه‌های مذکور به فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند (Öhlinger, 1996). ویژگی‌های زیستی اندازه‌گیری شده شامل فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، اوره‌آز، دهیدروژناز و اینورتاز (Öhlinger, 1996) با اسپکتروفتومتر بودند. برای سنجش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، نمونه‌های خاک پس از عبور از الک دو میلی‌متری در هوا خشک شدند و در دمای محیط نگهداری شدند. از ویژگی‌های فیزیکی خاک، درصد رطوبت اشباع به روش گل اشباع (Jafari, 2003) و از ویژگی‌های شیمیایی، کربن آلی با روش اکسایش تر (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Ghazanshahi, 1997) و فسفر قابل جذب با استفاده از روش اولسن (Olsen, 1954) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت آزمایش کرت‌های خردشده با گونه به عنوان عامل اصلی و موقعیت نمونه برداری (زیر و بیرون تاج پوشش) به عنوان عامل فرعی با شش تکرار و در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. توزیع نرمال باقی مانده‌های مدل با استفاده از آزمون لی‌لی فورس (تصحیح شده آزمون کولموگروف-سمیرنوف) بررسی شد. برای متغیرهایی که اثر معنی‌دار عوامل مورد مطالعه و برهم‌کنش آن‌ها به وسیله آزمون تجزیه واریانس اثبات شد، مقایسه میانگین به صورت برش‌دهی و با استفاده از مقایسه‌های دوگانه (Independent Samples T-Test) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. همه داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 22 تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج

مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تجزیه واریانس اثر عوامل اصلی، فرعی و متقابل

صحیح‌تری برای انتخاب صحیح گونه‌های غیربومی پرفایده مانند سمر در عملیات احیا و بازسازی عرصه‌های منابع طبیعی جنوب کشور اتخاذ کنند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در شهرستان عسلویه با موقعیت جغرافیایی $27^{\circ} 28' 34''$ عرض شمالی و $52^{\circ} 36' 27''$ طول شرقی واقع در کرانه خلیج فارس در استان بوشهر انجام شد. در این منطقه، متوسط ارتفاع از سطح دریا و میانگین سالانه بارش و درجه حرارت به ترتیب برابر با ۱۸ متر، ۱۸۰ میلی‌متر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد هستند. منطقه نمونه برداری، (روبروی مجتمع پارس جنوبی) توده‌ای آمیخته به وسعت ۱۵ هکتار بود که درختان کهور ایرانی و سمر به طور طبیعی در آن حضور داشتند. در این رویشگاه، درختان سمر در اثر رویش بذره‌های منتقل شده توسط دام و زادآوری طبیعی به وجود آمده‌اند. این منطقه با شیب عمومی کمتر از سه درصد در جهت جغرافیایی شمالی- جنوبی قرار دارد. خاک آن نیز با بافت لومی شنی، pH قلیایی دارد. (Unknown, 2015)

روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی در منطقه مورد مطالعه، ۳۰ پایه تقریباً هم‌سن از هر دو گونه کهور ایرانی و سمر به صورت تصادفی انتخاب شدند. برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، نمونه برداری در اوایل فصل بهار در زیر تاج (نزدیک لبه انتهایی تاج) و بیرون آن (به اندازه نصف قطر تاج به بیرون به شرطی که تاج درخت دیگری در آن وجود نداشته باشد) در جهت شمال درختان نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. نمونه‌های خاک در شش گروه پنج‌تایی به صورت تصادفی ترکیب شدند. در نهایت، برای هر گونه ۱۲ نمونه ترکیبی و در مجموع، ۲۴ نمونه به دست آمد. برای سنجش

با ۱/۵۵ و ۰/۶۲ درصد (شکل ۲) و میانگین نیتروژن کل به ترتیب ۰/۱۰۸ و ۰/۰۷۲ درصد به دست آمد (شکل ۳). همچنین، اثرات معنی‌داری برای عامل اصلی گونه، عامل فرعی موقعیت نمونه برداری و برهم‌کنش آن‌ها بر مقدار فسفر قابل جذب خاک مشاهده شد ($p < 0.01$). میانگین این ویژگی در خاک کهور ایرانی و سمر به ترتیب ۱۸/۸۶ و ۲۹/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم (شکل ۴- الف) و در زیر و بیرون تاج درختان نمونه به ترتیب ۲۶/۶ و ۲۱/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (شکل ۴- ب) به دست آمد. همچنین، مقدار میانگین فسفر قابل جذب در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی به ترتیب ۲۳/۶۸ و ۱۴/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در زیر و بیرون تاج سمر به ترتیب ۲۹/۵۲ و ۲۸/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند (شکل ۴- ج).

مورد بررسی بر رطوبت اشباع و غلظت عناصر خاک در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی و سمر نشان داد که تأثیر موقعیت نمونه برداری و نیز اثرات متقابل گونه و موقعیت نمونه برداری بر درصد رطوبت اشباع خاک در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد معنی‌دار هستند (جدول ۱). میانگین رطوبت اشباع خاک در زیر و بیرون تاج درختان مورد مطالعه به ترتیب ۳۶/۷ و ۲۷/۷۵ درصد بودند (شکل ۱- الف). همچنین، مقدار این مشخصه در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی به ترتیب ۳۳/۲۳ و ۲۸/۳ درصد و برای سمر به ترتیب ۴۰/۱۷ و ۲۷/۲ درصد به دست آمد (شکل ۱- ب). براساس نتایج دیگر جدول ۱، درصد کربن آلی و نیتروژن کل خاک نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر موقعیت نمونه برداری قرار داشتند. در زیر و بیرون تاج درختان نمونه، میانگین کربن آلی خاک به ترتیب برابر

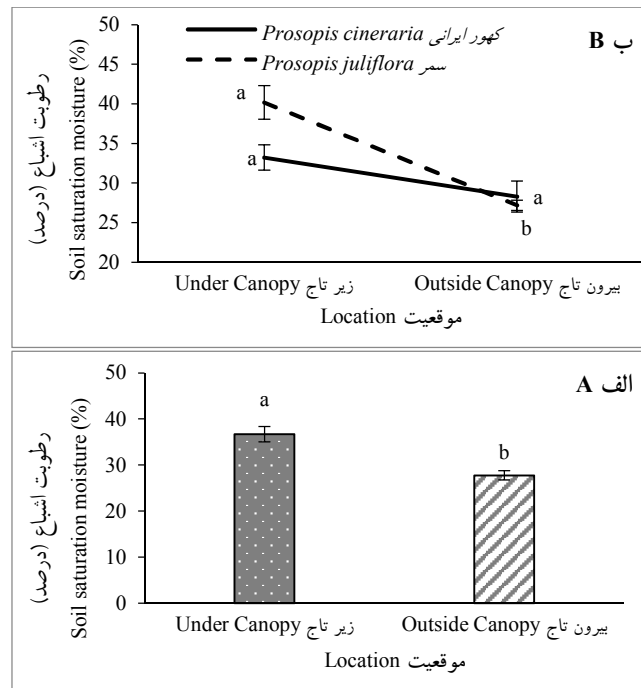
جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی و سمر

Table 1. The mean of squares obtained from analysis of variance of soil physicochemical properties under and outside the canopy of *Prosopis cineraria* and *P. juliflora*

منبع تغییر Source of change	درجه آزادی Degree of freedom	رطوبت اشباع خاک Soil saturation moisture	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر قابل جذب Available phosphorus
گونه Species	1	51.12 ^{ns}	0 ^{ns}	0 ^{ns}	631.206 ^{**}
خطای عامل اصلی Main factor error	10	14.887	0.283	0.001	4.61
موقعیت Location	1	480.731 ^{**}	5.272 ^{**}	0.008 [*]	163.443 ^{**}
گونه × موقعیت Species × Location	1	96.693 [*]	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	117.152 ^{**}
خطا Error	10	19.193	0.104	0.001	3.96
جمع Total	23				

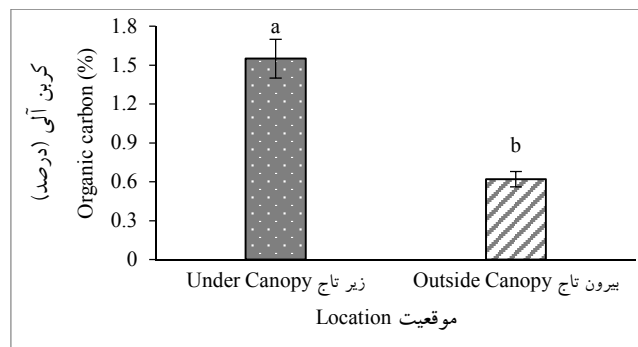
** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ^{ns} غیر معنی‌دار

** Significant at $p < 0.01$; * Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant



شکل ۱- مقایسه میانگین رطوبت اشباع خاک تحت تأثیر موقعیت نمونه برداری (الف) و اثرات متقابل گونه و موقعیت نمونه برداری (ب) حرف های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می دهند.

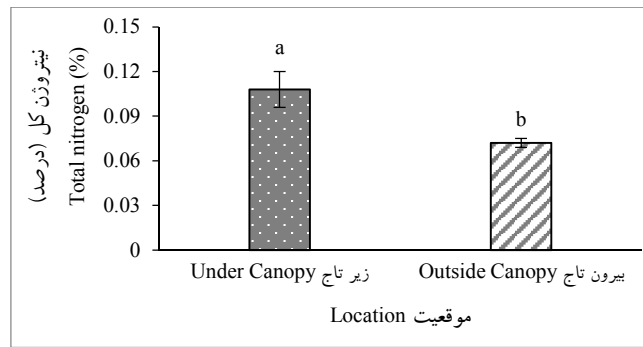
Figure 1. Mean comparisons of soil saturation moisture under the effect of sampling location (A) and the interaction effects of species and sampling location (B)
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.



شکل ۲- مقایسه میانگین کربن آلی خاک تحت تأثیر موقعیت نمونه برداری

حرف های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می دهند.

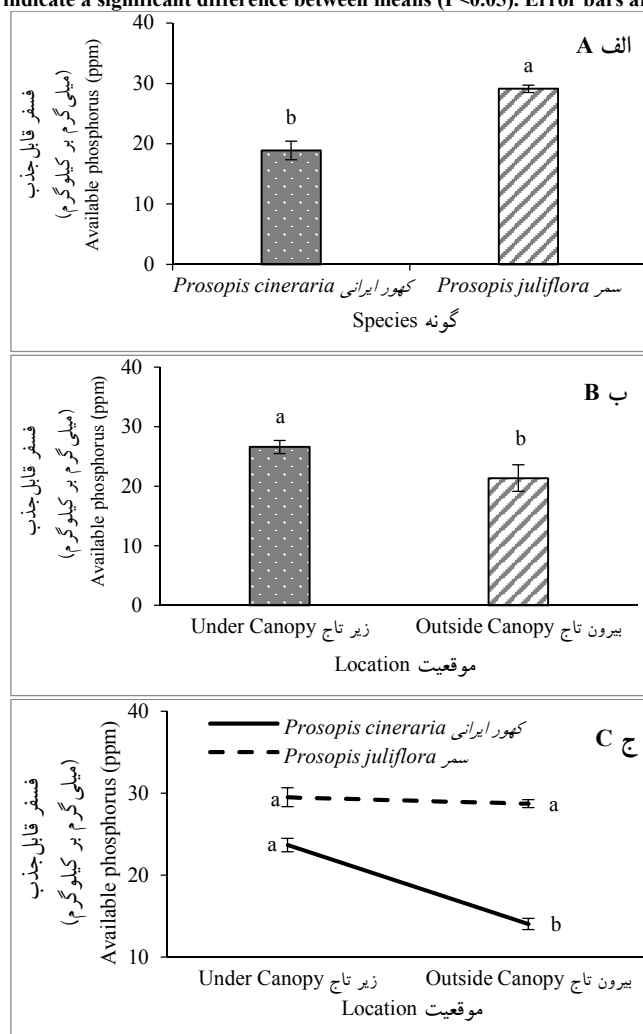
Figure 2. Mean comparisons of soil organic carbon under the effect of sampling location
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.



شکل ۳- مقایسه میانگین نیتروژن کل خاک تحت تأثیر موقعیت نمونه برداری

حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

Figure 3. Mean comparisons of soil total nitrogen under the effect of sampling location
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.



شکل ۴- مقایسه میانگین فسفر قابل جذب خاک تحت تأثیر گونه (الف) و موقعیت نمونه برداری (ب) و اثرات متقابل آن‌ها (ج)

حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

Figure 4. Mean comparison of soil available phosphorus under the effects of the species (A) and the sampling location (B) and their interaction effects (C)

Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.

مقایسه فعالیت آنزیم‌های خاک

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد که اثر گونه بر فعالیت هیچ‌یک از آنزیم‌های بررسی شده معنی‌دار نبود. با این حال، فعالیت همه آنزیم‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر موقعیت نمونه‌برداری قرار داشتند. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، مقدار میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در زیر و بیرون تاج درختان نمونه به ترتیب ۷۳/۳۵ و ۲۵/۶۵ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت بود (شکل ۵-الف). این اعداد برای فسفاتاز قلیایی به ترتیب ۲۰۳/۹۸ و ۱۱۸/۲۴ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت به دست آمد (شکل ۶-الف). مقدار میانگین فعالیت آنزیم اوره‌آز در زیر تاج درختان نمونه ۴۸۰/۳ و بیرون تاج ۲۷۲/۶۹ میکروگرم نیتروژن در هر گرم خاک خشک در دو ساعت بود (شکل ۵-ب). این اعداد برای آنزیم دهیدروژناز

به ترتیب ۱۷/۵۳ و ۱۰/۴۹ میکروگرم تری‌فنیل‌فورمازان در هر گرم خاک خشک در شانزده ساعت (شکل ۵-ج) و برای آنزیم اینورتاز به ترتیب ۴۲۶/۹۹ و ۳۱۵/۸۸ میکروگرم گلوکز در هر گرم خاک خشک در ۲۴ ساعت به دست آمد (شکل ۵-د). به‌طور کلی، فعالیت هر پنج آنزیم بررسی شده در زیر تاج درختان نمونه به‌طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج بود ($p < 0.05$). فقط فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی تحت اثرات متقابل گونه و موقعیت نمونه‌برداری قرار گرفت ($p < 0.01$). مقدار میانگین این آنزیم در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی به ترتیب ۲۳۳/۳ و ۹۹/۸ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت و در زیر و بیرون تاج سمر به ترتیب ۱۷۴/۶۶ و ۱۳۶/۶ میکروگرم پارانیتروفنل در هر گرم خاک خشک در ساعت به دست آمد (شکل ۶-ب).

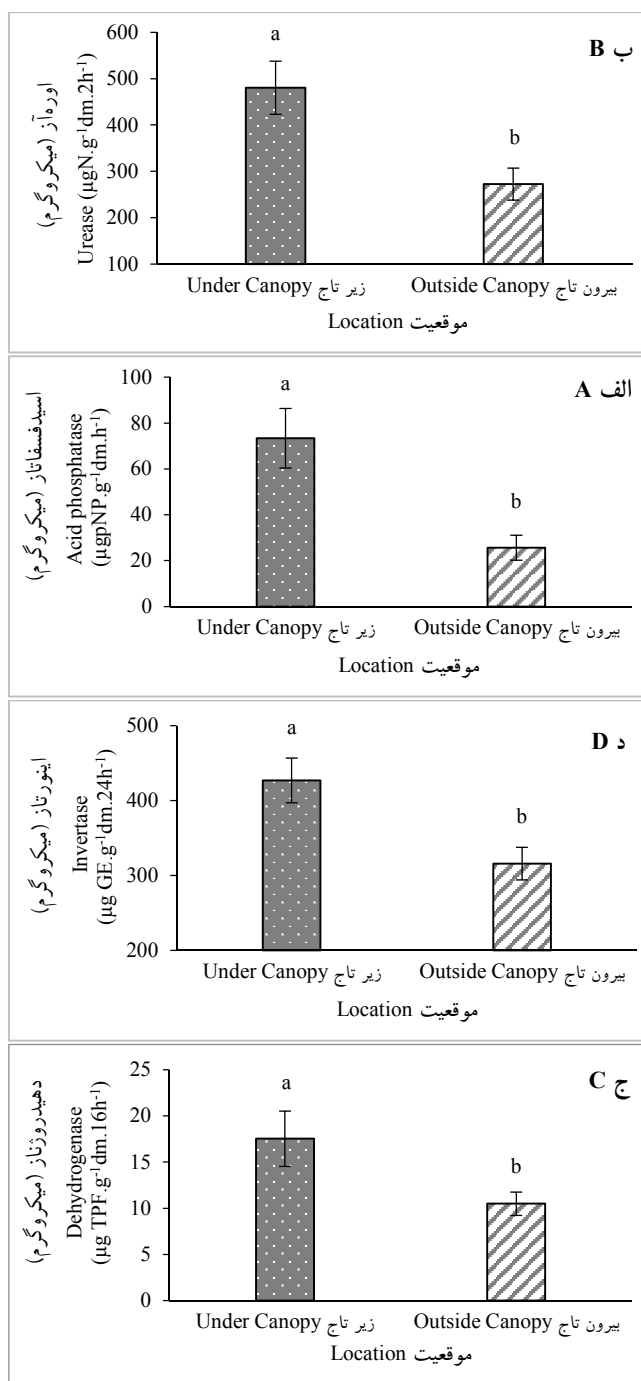
جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس آنزیم‌های خاک در زیر و بیرون تاج کهور ایرانی و سمر

Table 2. The mean of squares obtained from analysis of variance of soil enzymes under and outside the canopy of *Prosopis cineraria* and *P. juliflora*

منبع تغییر	درجه آزادی	فسفاتاز اسیدی	فسفاتاز قلیایی	اوره‌آز	دهیدروژناز	اینورتاز
Source of change	Degree of freedom	Acid phosphatase	Alkaline phosphatase	Urease	Dehydrogenase	Invertase
گونه	1	726.154 ^{ns}	713.340 ^{ns}	7644.727 ^{ns}	7.515 ^{ns}	246.176 ^{ns}
Species						
خطای عامل اصلی	10	1902.314	1860.661	37.028.201	88.24	9586.713
Main factor error						
موقعیت	1	1365.074 ^{**}	44111.001 ^{**}	258621.438 ^{**}	297.285 [*]	74073.593 [*]
Location						
گونه × موقعیت	1	231.428 ^{ns}	13671.495 ^{**}	3019.572 ^{ns}	8.425 ^{ns}	2131.992 ^{ns}
Species × Location						
خطا	10	616.276	1091.198	20892.929	50.955	8273.41
Error						
جمع	23					
Total						

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ^{ns} غیر معنی‌دار

***: Significant at $p < 0.01$; *: Significant at $p < 0.05$; ns: non-significant

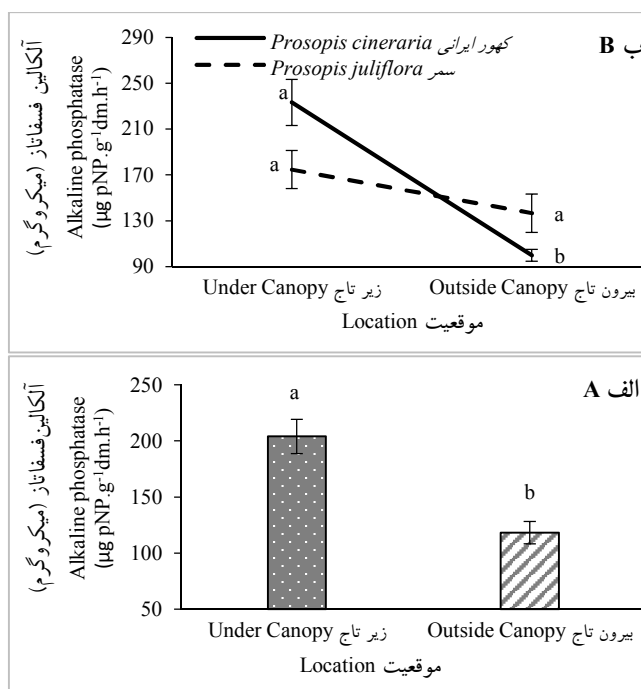


شکل ۵- مقایسه میانگین آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی (الف)، اوره‌آز (ب)، دهیدروژناز (ج) و اینورتاز خاک (د) تحت تأثیر موقعیت

نمونه‌برداری

حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

Figure 5. Mean comparisons of acid phosphatase (A), urease (B), dehydrogenase (C) and invertase (D) soil enzymes under the effect of sampling location
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.



شکل ۶- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی خاک تحت تأثیر موقعیت نمونه برداری (الف) و اثرات متقابل گونه و موقعیت نمونه برداری (ب)

حرف‌های متفاوت لاتین بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. بارها، اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

Figure 6. Mean comparisons of alkaline phosphatase soil enzyme under the effect of sampling location (A) and the interaction effects of species and sampling location (B)
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$). Error bars are standard errors.

بحث

(2009). با کاهش تعداد آن‌ها در بیرون تاج، انتظار می‌رود که ماده آلی خاک نیز کاهش یابد. در زیر تاج درختان به دلیل رطوبت بیشتر، ریزش لاش‌برگ و پوسیدن و تجزیه شدن آن‌ها، مواد آلی بیشتری وارد خاک می‌شود. به دنبال آن، ظرفیت نگهداری آب و ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک بهبود می‌یابند (El-Keblawy & Abdelfatah, 2014). همچنین، مقدار بیشتر ماده آلی در زیر تاج درختان را می‌توان به وجود بقایای میوه، بذر و ریشه‌های مرده و نازک در خاک و ورود ماده آلی از طریق تجزیه آن‌ها و نیز ترشح‌های ریشه در خاک نسبت داد (Desta et al., 2018). به‌غیر از بهبود مواد آلی خاک، تجزیه لاش‌برگ سبب افزایش عناصر تغذیه‌ای به‌ویژه نیتروژن در خاک زیر تاج درختان نیز می‌شود (Prescott, 2002)، بنابراین می‌توان گفت که الگوی توزیع مکانی نیتروژن به مواد آلی خاک وابسته است (Gallardo, 2003). براساس

درخت سمر، تاج بسیار گسترده و آویزانی دارد. به طوری که انتهای تاج آن نزدیک به سطح زمین است، بنابراین زیر تاج سمر به‌طور کامل حالت سایه و تاریک دارد و نور خورشید به آن نمی‌رسد. به همین دلیل، مقدار تبخیر و تعرق آب در زیر تاج سمر بسیار کمتر و درصد رطوبت اشباع خاک به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بیرون تاج آن است. این یافته با نتایج Imani و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. به دلیل تاج کروی و تنه کشیده در کهور ایرانی، فاصله تاج آن از سطح زمین زیاد است. در نتیجه، نور خورشید به‌طور کامل به زیر تاج آن می‌رسد و باعث افزایش مقدار تبخیر و تعرق در خاک می‌شود، بنابراین درصد رطوبت اشباع خاک در زیر تاج آن، تفاوت معنی‌داری با بیرون تاج ندارد. برگ‌ها، منبع اصلی ماده آلی هستند (Kahi et al.,

می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم فسفاتاز در زیر تاج درختان کهور ایرانی و سمر باشد. منشأ فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی، ریشه گیاهان است (Tabatabai, 1994). بنابراین مقدار بیشتر این آنزیم در زیر تاج درختان مورد مطالعه به دلیل وجود ریشه‌های گسترده آن‌ها، دور از انتظار نیست. برهم‌کنش گونه و موقعیت نمونه‌برداری فقط اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی نشان داد. منشأ این آنزیم، مجموعه زیباگان (Fauna) و ریزاندامگان خاک هستند. رطوبت بیشتر و مقدار نور کمتر در زیر تاج درختان، شرایط را برای فعالیت ریزاندامگان بهتر می‌کند و افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز را به دنبال دارد. در پژوهش پیش‌رو، مقدار فسفر قابل جذب در زیر تاج سمر به طور معنی‌داری بیشتر از کهور ایرانی به دست آمد، اما فعالیت فسفاتاز قلیایی در کهور ایرانی بیشتر بود. بنابراین مواد ترشح‌یافته از لاش برگ و ریشه سمر می‌تواند بر فعالیت ریزاندامگان خاک و فسفاتاز قلیایی، اثر منفی بگذارد (Kaur et al., 2012). فعالیت فسفاتازها به مقدار سوپسترا و pH محل فعالیت آن‌ها نیز بستگی دارد (Browman & Tabatabai, 1978). با توجه به pH قلیایی خاک مورد مطالعه و وجود شرایط بهینه برای ریزاندامگان خاک، فعالیت سه‌برابری آنزیم فسفاتاز قلیایی نسبت به فسفاتاز اسیدی، طبیعی است. به طور کلی، افزایش مقدار لاش برگ، بذر، میوه، مواد آلی، عناصر تغذیه‌ای و رطوبت خاک سبب بهبود فعالیت ریزاندامگان می‌شوند. به دنبال آن، سلول‌های زنده میکروبی افزایش خواهند یافت. از آنجایی که آنزیم دهیدروژناز در سلول‌های زنده میکروبی وجود دارد (Watts et al., 2010)، به همین دلیل، فعالیت این آنزیم در زیر تاج درختان مورد مطالعه به طور معنی‌داری بیشتر بود. این نتایج با یافته‌های Wolińska و Stępniewska (۲۰۱۲) مطابقت دارند.

فعالیت آنزیم اوره‌آز تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از جمله اسیدیته، مواد غذایی، کربن، زی‌توده میکروبی نیتروژن و کودهای نیتروژنه قرار می‌گیرد (Moghimian et al., 2017). این آنزیم در چرخه نیتروژن با هیدرولیز اوره به

نتایج پژوهش پیش‌رو، کهور ایرانی و سمر، منبع مغذی نیتروژن و کربن آلی در ناحیه زیر تاج خود هستند. Kaur و همکاران (۲۰۱۲)، یافته‌های مشابهی را گزارش کردند.

نقش درختان در تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اغلب در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک مشاهده شده است. گستردگی تاج و ویژگی‌های آن از جمله مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کمیت و کیفیت لاش برگ هستند (Dijkstra, 2001) که می‌توانند بر مقدار ماده مغذی بازیافت‌شده، جانوران و ترکیب ریزاندامگان خاک اثر بگذارند. به عنوان مثال، تاج درختان به عنوان منبع اصلی لاش برگ در چرخه فسفر خاک، نقش مهمی ایفا می‌کند. بیشتر از نیمی از مقدار فسفر در زیست‌توده درختان ذخیره شده است (Kaur et al., 2012). نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که مقدار فسفر قابل جذب خاک در زیر تاج درختان نمونه به طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج است. از جمله دلایل آن می‌توان به وابستگی فسفر به تراکم و توزیع ریشه‌ها در اطراف درختان اشاره کرد (Gallardo, 2003). با توجه به تاج گسترده سمر، مقدار فسفر قابل جذب در زیر تاج آن به طور معنی‌داری بیشتر از کهور ایرانی به دست آمد (شکل ۴- الف). همچنین، تراکم بیشتر جست‌های سمر سبب افزایش در ساق آب و مقدار فسفر قابل جذب در زیر تاج آن نسبت به بیرون تاج می‌شود. زیرا آبی که از داخل تاج درختان این گونه به زمین می‌رسد، فسفر قابل جذب را به خاک زیر تاج آن‌ها اضافه می‌کند.

فسفاتاز، آنزیمی است که در چرخه فسفر دخالت دارد. فعالیت زیادتر این آنزیم (اسیدی و قلیایی) در زیر تاج درختان مورد مطالعه را می‌توان ناشی از تجزیه لاش برگ، افزایش مقدار فسفر و در نتیجه، ایجاد شرایط مطلوب‌تر در خاک دانست. فعالیت فسفاتاز اسیدی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند pH، کربن، نیتروژن، فسفر و کیفیت و کمیت ماده آلی خاک قرار می‌گیرد (Meena & Rao, 2021). همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، مقدار فسفر قابل جذب خاک در زیر تاج درختان مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو به طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج به دست آمد. همین عامل

منابع مورد استفاده

- Araújo, A.S.F., Cesarz, S., Leite, L.F.C., Borges, C.D., Tsai, S.M. and Eisenhauer, N., 2013. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, 66: 175-181.
 - Bijani, A., Moslehi, M., and Parvaresh, H., 2020. Effects of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some chemical characteristics of soil. *Iranian Journal of Forest*, 12(1): 101-111 (In Persian with English summary).
 - Browman, M.G. and Tabatabai, M.A., 1978. Phosphodiesterase activity of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 42(2): 284-290
 - Desta, K.N., Lisanenwork, N. and Mukhtar, M., 2018. Physico-chemical properties of soil under the canopies of *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev and *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayen in park land agroforestry system in Central rift Valley, Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 10(1): 1-8.
 - Dijkstra, F.A., 2001. Effects of tree species on soil properties in a forest of the northeastern United States. Ph.D. thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 120p.
 - El-Keblawy, A. and Abdelfatah, M.A., 2014. Impacts of native and invasive exotic *Prosopis* congeners on soil properties and associated flora in the arid United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments*, 100-101: 1-8.
 - Gallardo, A., 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiologia*, 47: 117-125.
 - Ghasemi Aghbash, F., 2018. Soil carbon sequestration and understory plant diversity under needle and broad-leaved plantations (case study: Shahed Forest Park of Malayer City). *Ecopersia*, 6(1): 1-10.
 - Ghazanshahi, J., 1997. *Soil and Plant Analysis* (translation). Ayizh Publications, Tehran, 272p (In Persian).
 - Imani, F., Moradi, M. and Basiri, R., 2016. The effect of *Prosopis juliflora* afforestation on soil physicochemical properties in sand dunes (Case study: Magran Shush. *Journal of Water and Soil science*, 20(77): 173-183 (In Persian with English summary).
 - Jafari Haghghi, M., 2003. *Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis*. Nedaye Zoha Press, Sari, Iran, 236p (In Persian).
 - Kahi, C.H., Ngugi, R.K., Mureithi, S.M. and Ng'ethe, J.C., 2009. The canopy effects of *Prosopis juliflora* (DC.) and *Acacia tortilis* (Hayne) trees on herbaceous plants species and soil physicochemical
- آمونیاک و دی‌اکسیدکربن نقش دارد. مقدار نیتروژن کل در زیر تاج کهور ایرانی و سمر به‌طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج به‌دست آمد، بنابراین قابل‌بیش‌بینی بود که فعالیت آنزیم آورده‌آز نیز در زیر تاج درختان مورد مطالعه بیشتر باشد. تاج می‌تواند مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن را در شاخ‌وبرگ خود ذخیره کند. سپس، با ورود تدریجی آن‌ها به سطح خاک سبب افزایش مقدار این عنصر در خاک زیر تاج شود (Prescott, 2002).
- آنزیم اینورتاز در چرخه کربن نقش دارد. مقدار کربن آلی در زیر تاج درختان نمونه به‌طور معنی‌داری بیشتر از بیرون تاج بود، بنابراین به‌نظر می‌رسد که فعالیت بیشتر این آنزیم در زیر تاج به‌دلیل حجم زیادتر لاش‌ریزه و ورودی مواد آلی و نیز افزایش مقدار عناصر غذایی باشد. همچنین، دسترسی به ماده آلی تازه برای تجزیه میکروبی در خاک جنگل باعث افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز می‌شود (Vinhai-Freitas *et al.*, 2017). به‌طورکلی، فعالیت بیشتر آنزیم‌های خاک در جنگل‌های طبیعی را می‌توان به افزایش کیفیت و کمیت لاش‌برگ نسبت داد (Araújo *et al.*, 2013).
- شاخص‌های زیستی خاک می‌توانند نشان‌دهنده پتانسیل جوامع میکروبی خاک باشند. در پژوهش پیش‌رو از نظر فعالیت آنزیم‌های خاک به‌عنوان شاخص‌های زیستی حساس، تفاوت معنی‌داری بین گونه بومی کهور ایرانی و گونه غیربومی سمر مشاهده نشد. می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب مواد ترشح‌یافته از ریشه و مواد آلی موجود در شاخ‌وبرگ کهور ایرانی و سمر کمابیش به‌شکل یکسان بر فعالیت ریزاندامگان خاک به‌عنوان منشأ اصلی آنزیم‌ها اثر می‌گذارند. سمر به‌عنوان یک گونه تندرشد با فواید متعدد، اثرات نامطلوبی بر فعالیت آنزیم‌های خاک نداشت. با اعمال مدیریت علمی و صحیح به‌نظر می‌رسد که سمر به‌عنوان یک گونه ارزشمند درختی می‌تواند در کنار کهور ایرانی در برنامه‌های بیابان‌زدایی ناحیه رویشی صحارا- سندی در منطقه عسلویه مورد توجه قرار گیرد.

- for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment. *Applied Soil Ecology*, 126: 140-147.
- Tabatabai, M.A., 1994. Soil enzymes: 775-833. In: Weaver, R.W., Angle, S., Bottomley, P., Bezdicek, D., Smith, S., Tabatabai, A. and Wollum, A. (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1121p.
 - Unknown, 2015. "Pars energy special economic zone (Assaluyeh)". Supreme council of free trade-industrial zones. fa.wikipedia.org.
 - Vinhal-Freitas, I.C., Correa, G.F., Wendling, B., Bobul'ská, L. and Ferreira, A.S., 2017. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological Indicators*, 74: 182-190.
 - Walkley, A. and Black, I.A., 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(1): 29-38.
 - Watts, D.B., Torbert, H.A., Feng, Y. and Prior, S.A., 2010. Soil microbial community dynamics as influenced by composted dairy manure, soil properties, and landscape position. *Soil Science*, 175(10): 474-486.
 - Wolińska, A. and Stepniewska, Z., 2012. Dehydrogenase activity in the soil environment: 183-264. In: Canuto, R.A. (Ed.). *Dehydrogenases*. Published by InTech, Rijeka, Croatia, 370p.
 - Zarafshar, M., Bazot, S., Matinizadeh, M., Bordbar, S.K., Roustaei, M.J., Kooch, Y., ... and Negahdarsaber, M., 2020. Do tree plantations or cultivated fields have the same ability to maintain soil quality as natural forests? *Applied Soil Ecology*, 151: 103536.
 - Zheng, H., Ouyang, Z., Xu, W., Wang, X., Miao, H., Li, X. and Tian, Y., 2008. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4): 1113-1121.
 - properties in Njemps Flats, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(3): 441-449.
 - Kaur, R., Gonzales, W.L., Llambi, L.D., Soriano, P.J., Callaway, R.M., Rout, M.E., ... and Inderjit, T., 2012. Community impacts of *Prosopis juliflora* invasion: Biogeographic and congeneric comparisons. *Plos One*, 7(9): e44966.
 - Meena, A. and Rao, K.S., 2021. Assessment of soil microbial and enzyme activity in the rhizosphere zone under different land use/cover of a semiarid region, India. *Ecological Processes*, 10: 16.
 - Moghimian, N., Hosseini, S.M., Kooch, Y. and Darki, B.Z., 2017. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. *Catena*, 157: 407-414.
 - Moslehi, M., Habashi, H., Khormali, F., Ahmadi, A., Bruner, I. and Zimmerman, S., 2019. Base cation dynamics in rainfall, throughfall, litterflow and soil solution under oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) trees in northern Iran. *Annals of Forest Science*, 76: 55.
 - Najafi Tireh Shabankareh, K. and Jalili, A., 2012. Effects of *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some physical and chemical soil properties. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(3): 406-420 (In Persian with English summary).
 - Öhlinger, R., 1996. Biomass-N by fumigation-extraction technique: 58-60. In: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. and Margesin, R. (Eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin, 426p.
 - Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Circular No. 939, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 19p.
 - Prescott, C.E., 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology*, 22(15-16): 1193-1200.
 - Raiesi, F. and Salek-Gilani, S., 2018. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator

Investigating the enzyme activities and physicochemical properties of soil in the habitat of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *P. juliflora* (SW.) DC.

T. Alizadeh ¹, H. Habashi ^{2*}, M. Matinizadeh ³ and S.M. Sadeghi ⁴

1- Ph.D. Student of Biology Forest Sciences, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2* - Corresponding author, Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi@gau.ac.ir

3- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 19.12.2021

Accepted: 31.01.2022

Abstract

Changes due to the introduction of non-native species are very important, especially in arid and desert areas. Because protection and regeneration in these fragile ecosystems are difficult. Soil is the basis of ecosystems. The effect of introduction and establishment of non-native species can be evaluated by sensitive indicators such as soil enzyme activities. The activity of acid and alkaline phosphatase, urease, dehydrogenase, and invertase enzymes were investigated as well as soil physicochemical properties (the percentage of soil moisture, organic carbon, total nitrogen and available phosphorus) under and outside the canopy of *Prosopis cineraria* (L.) Druce and *P. juliflora* (SW.) DC.). Soil sampling (in total, 24 samples) was done randomly from a depth of 0-30 cm in a natural habitat of the two species located in Assaluyeh, Bushehr province, Iran. The statistical analysis showed the sampling location had a significant effect on activities of the all studied enzymes ($p < 0.05$). These enzymes were more active under the canopy of the sample trees. Under the canopy of *P. juliflora*, enzyme activities did not differ significantly from that of *P. cineraria*. The interaction of species and sampling location was only significant in alkaline phosphatase enzyme activity ($p < 0.01$). Due to the lack of harmful effects of *P. juliflora* as a non-native species on soil enzymes activities and also it's a very fast growth, it seems that with the application of scientific and correct management, *P. juliflora* in de-desertification and forest regeneration programs in Sahara-Sindhi habitats in Assaluyeh should be noticed.

Keywords: Assaluyeh, native species, non-native species, Sahara-Sindhi, soil biology properties.