تغییرات مکانی شاخصه‌های حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص فلات مرکزی ایران

نفیسه روح‌الهی[۱]، سیداکبر جوادی[۲]*، محمد جعفری[۳] و محمدعلی زارع‌چاهوکی[۳]

۱) دانشجوی دکتری تخصصی رشته علوم و مهندسی مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲) دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: a.javadi@srbiau.ac.ir

۳) استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

https:/doi.org/10.71916/jrnr.2024.03679

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

چکیده

بوته‌زارها با کارکردهای اکولوژیکی متنوع، سطح وسیعی از زمین‌های خشک و نیمه‌خشک را پوشانده‌اند. ارزیابی تغییرات خصوصیات خاک در بوته‌زارها می‌تواند در شناخت وضعیت تغذیه‌ای و روابط اکولوژیکی و اهداف مدیریتی سرزمین موثر واقع گردد. در این تحقیق تغییرات مکانی خصوصیات حاصلخیزی خاک بر اساس ساختار لکه و فضاهای باز بین لکه‌ای در بوته‌زارهای خالص Artemisia sieberi، Scariola orientalis و Astragalus myriacanthus واقع در اراضی خشک فلات مرکزی ایران (استان اصفهان) مورد مطالعه قرار گرفت. ارزیابی خصوصیات حاصلخیزی و کیفیت خاک با انتخاب فضای باز مرجع بین لکه‌ها و ثبت خصوصیات مورفولوژیکی لکه برای مطالعه ارتباطات اکولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت سیستماتیک با انتخاب فضای بین لکه‌ای مرجع به قطر ۳ متر و نمونه‌برداری به‌صورت خطی تا مرکز این فضا انجام شد. بر اساس نتایج، خصوصیات ماده‌آلی، ازت، فسفر و شاخص کیفیت خاک، در بین تیپ بوته‌زارها و هم در فضای بین لکه‌ای در هر تیپ تغییرات معنی‌دار را نشان داد ($P<0/01$). بالاترین مقدار شاخص کیفیت خاک برابر با ۰/۸۷ مربوط به زیر تاج پوشش در تیپ A. myriacanthus و کمترین مقدار نیز معادل ۰/۲۲ مربوط به نقطه مرکزی فضای خالی در تیپ A. sieberi بود. خصوصیات عملکردی بوته‌ها مانند زیست‌توده، ارتفاع و تاج پوشش با توزیع فضایی عناصر و فاکتورهای حاصلخیزی خاک در فضای بدون پوشش بیشترین ارتباط را نشان داد ($P<0/05$). به‌طور کلی، بسته به گونه، روابط تاثیر و تاثری بین خاک و گیاه در جوامع بوته‌ای مورد مطالعه متفاوت بود که این اطلاعات در انتخاب فواصل مناسب کشت برای طرح‌های پایدار بوته‌کاری می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

واژهای کلیدی: تاج پوشش، عناصر غذایی، عوامل محیطی، گرادیان محیطی، مدیریت سرزمین.

مقدمه

تغییرات عناصر غذایی به‌طور قابل توجهی بسته به نوع پوشش گیاهی، خاک و فاکتورهای محیطی متفاوت است (کرمی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Yajuan et al., 2022). پوشش گیاهی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تغییرات کوچک‌مقیاس عناصر در خاک است (Gu et al., 2019; Yazdanshenas et al., 2021). در اراضی خشک، منابع کافی جهت ایجاد پوشش گیاهی کامل وجود ندارد که امکان استقرار و رشد گونه‌های گیاهی غالب فراهم شود تا بتوانند با شرایط نامطلوبی چون خشکی، شوری و دماهای شدید سازگار باشند (Amir et al., 2022)، بنابراین بوته‌ها مهم‌ترین گونه‌های سازگار و غالب در این مناطق هستند (Khosravi & Sharafatmandrad,

2020). این بوته‌زارها علاوه بر عملکردهای اکولوژیکی، زیستگاهی و حفاظتی (Molaeinasab et al., 2021) و ارایه خدمات متعدد به جمعیت‌های انسانی (Garibotti et al., 2018; Xian et al., 2015)، نقش عمده‌ای در چرخش عناصر خاک دارند (Jensen et al., 2019; Motamedi et al., 2020; Yazdanshenas et al., 2021).

بوته‌زارهای مناطق خشک و نیمه‌خشک ترکیبی از لکه‌های گیاهی و فضاهای لخت/باز بین لکه‌ای هستند که بر عناصر خاک تاثیر می‌گذارند (Khosravi & Sharafatmandrad, 2020). در بوته‌زارها عناصر خاک با توجه به متغیرهای محیطی نقطه‌به‌نقطه متفاوت است (Yajuan et al. 2022) و ارزیابی دقیق آنها نیز به توزیع فضایی عناصر در خاک بستگی دارد (Vaieretti et al., 2021). اگر چه در این مناطق مکانیسم‌های توزیع عناصر خاک هنوز به‌خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته است (Liu et al., 2021; Yazdanshenas et al., 2018).

فضاهای باز بین لکه‌ای با سطح خاک بدون پوشش گیاهی قابل‌مشاهده مشخص می‌شوند و معمولا بین میکروسایت‌های پوشش گیاهی همسایه قرار دارند (Wang et al., 2019). لکه/فضای بین لکه‌ها جریان منابع و رواناب را از طریق اکوسیستم‌های خشک تنظیم می‌کند (Barbosa-Briones et al., 2019; Molaeinasab et al., 2021). و دانش در مورد لکه و فضای بین لکه‌ها و شناخت روابط اکولوژیکی آنها برای شناسایی و مدیریت اراضی بر اساس عناصر حاصلخیزی مهم است (Molaeinasab et al., 2021).

تحقیقات متعددی در مورد تاثیر لکه‌ها بر عناصر خاک انجام شده است (مثال Li et al., 2021؛ Vaieretti et al., 2021؛ Lin et al., 2022). در اغلب این مطالعات گزارش شده که لکه‌ها چرخه مواد مغذی خاک را بهبود می‌بخشند (Garibotti et al., 2018). علاوه بر این در اکثر گزارش‌ها، ارزیابی‌های عناصر به یک نمونه خاک از مرکز فضاهای باز محدود شده و تغییرات در ویژگی‌های خاک تنها در یک نقطه مرکزی ارزیابی شده است (Barbosa-Briones et al., 2019; Molaeinasab et al., 2021). بنابراین اطلاعات دقیقی در مورد دینامیک عناصر از طریق فضاهای باز بین‌لکه‌ای وجود ندارد و با توجه به گستردگی اراضی بوته‌ای، مطالعه توزیع فضایی عناصر خاک می‌تواند اطلاعات دقیقی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای بوته‌زارها ارایه دهد.

علاوه بر این، برای درک بهتر شرایط اکوسیستم و برآوردهای دقیق دینامیک عناصر، خصوصیات پوشش زمینی نیز بسیار مهم است (Xian et al., 2015; Wang et al., 2021). با توجه به اهمیت اکولوژیکی بوته‌زارها و تاثیرات آنها بر محیط خود، اما اطلاعات دقیقی از تغییرات مکانی عناصر و تغییرات کیفیت خاک در بین بوته‌ها به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته و اکثر مطالعات تنها به بررسی نقطه‌ای عناصر در فضای بوته‌ای اکتفا کرده‌اند. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغییرات نقطه‌ای (و طولی) خصوصیات کیفی و حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص اراضی خشک فلات مرکزی ایران واقع در استان اصفهان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در اراضی خشک ناحیه مرکزی ایران واقع در استان اصفهان انجام شد. سه تیپ گیاهی در اراضی دو شهرستان علویجه و تیران مورد پژوهش قرار گرفت. ارتفاع رویشگاه‌های مورد مطالعه بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ متر و میانگین بارندگی سالانه و دمای آن به‌ترتیب ۱۸۰–۱۹۰ میلی‌متر و ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است (Molaeinasab et al., 2021). این مناطق دارای اراضی بوته‌ای غالب خالص هستند که عمدتا توسط گوسفند و بز و به‌ندرت توسط شتر به‌خوبی مدیریت و چرا می‌شوند (Yazdanshenas et al., 2018).

بر اساس مطالعات قبلی (Yazdanshenas et al., 2018؛ Molaeinasab et al., 2021) و بازدیدهای میدانی، سه نوع تیپ خالص بوته در این اراضی شناسایی شد. بنابراین آزمایش در سه تیپ گیاهی مرجع تحت پوشش بوته خالص شامل تیپ گیاهی درمنه (Artemisia sieberi)، جاز (Scariola orientalis) و گون (Astragalus myriacanthus) انجام شد. در این بوته‌زارها با توجه به اینکه بوته‌ها به شک تک‌پایه و تقریبا به‌صورت همگن در منطقه پراکنده هستند، بنابراین هر

پایه بوته به‌عنوان یک لکه در نظر گرفته شد (Khosravi & Sharafatmandrad, 2020).

روش پژوهش

مطالعات رویشگاهی در زمان حداکثر شدن تولید و پوشش گیاهان مرتعی در منطقه (اواخر خرداد ماه) انجام شد و در این زمان ارزیابی لکه‌های گیاه و خصوصیات بین لکه‌ها صورت گرفت. بررسی ویژگی‌های بوته‌ها شامل ارتفاع، تاج پوشش و شادابی در این مقطع زمانی صورت گرفت. برای تحلیل اثرات حاشیه‌ای اکوتون در مناطق مرکزی تیپ‌ها نمونه‌برداری شد (Yazdanshenas et al., 2018). علاوه بر این، پراکندگی بوته‌ها در این مناطق اغلب یکنواخت و هر پایه گیاه از نظر اکولوژیکی بر اطراف تاثیر می‌گذارد (Khosravi & Sharafatmandrad, 2020). بنابراین در این مطالعه هر پایه گیاهی به‌عنوان یک لکه در نظر گرفته شد.

با توجه به ماهیت کار نمونه‌برداری با استفاده از پلات (۵۰*۵۰ سانتی‌متر برای مطالعه و نمونه‌برداری در درون هر فضای لکه) انجام شد (Sanou et al., 2018). در سه تیپ مورد مطالعه، پایه‌های گیاهی تقریبا به‌صورت یکنواخت در منطقه پراکنش داشتند. به همین منظور یک فضای بین لکه با ابعاد مشخص به‌عنوان مرجع انتخاب شد، به‌طوری‌که فاصله بوته‌ها از یکدیگر ۳ متر بود و تکرار نیز بر مبنای اندازه فضای بین لکه مرجع صورت گرفت. بنابراین با توجه به اهداف این تحقیق، نمونه‌برداری با انتخاب فضای لکه گیاهی و نمونه‌برداری در فضای لکه به شکل سیستماتیک صورت گرفت. در این فضا علاوه بر ارزیابی ویژگی‌های مربوط به خاک در سه نقطه، خصوصیات مورفولوژیکی بوته‌ها نیز از قبیل ارتفاع، تاج پوشش، شادابی، میزان رشد سال جاری برای هر فضای لکه اندازه‌گیری ارزیابی و نتایج آن ثبت گردید.

ارزیابی خصوصیات گیاهی

خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی هر پایه بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. خصوصیاتی از قبیل ارتفاع و یا قطر بوته با ابزار متر اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی خصوصیت تولید و شادابی گیاهان، میزان رویش سال جاری بوته‌ها برداشت و درون پاکت قرار داده شد. این نمونه‌ها بلافاصله وزن و بعد از قرار دادن در سایه به مدت یک هفته و خشک شدن، مجددا توزین شدند تا بیومس و شادابی بر حسب درصد رطوبت به‌دست آید. شادابی یا درصد رطوبت اندام بوته با استفاده از توزین وزن تر و خشک محاسبه شد (Igathinathane et al., 2006).

سطح بوته با استفاده از رابطه (۱) مورد ارزیابی قرار گرفت:

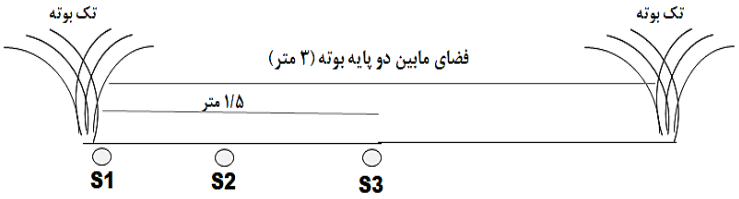
$$V=1/4\ (\eta *a*b) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه a و b به‌ترتیب قطر کوچک و بزرگ بوته هستند و η عدد ۳/۱٤ می‌باشد. حجم بوته از ضرب سطح در ارتفاع به‌دست آمد.

از روش تخریبی برای تخمین زیست‌توده بوته‌ها استفاده شد (Gebremeskel et al., 2021). برای این منظور قسمت‌های بالای زمینی گیاه بریده، جمع‌آوری و در نایلون‌های برچسب دار جداگانه قرار داده شد.

ارزیابی خصوصیات خاک

برای بررسی ویژگی‌های خاک در سه نقطه در فضای بین بوته‌ها نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در لکه گیاهی (فضای مرجع ۳ متری) انجام شد. بدین ترتیب نمونه‌برداری در سه نقطه فضای بین لکه {مرکز (S3)، ۱/٤ فضا (S2) و زیربوته (S1)} (شکل ۱) و با ٤ تکرار صورت گرفت، به‌طوری‌که در هر تیپ مورد ارزیابی ۱۲ نمونه خاک برداشت و برای ارزیابی خصوصیات مد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند.



شکل ۱. نمای شماتیک از توزیع نقاط نمونه‌برداری خاک در فضای بین بوته‌ها

بافت خاک، درصد ماده آلی، کلسیم، و هدایت الکتریکی خاک به‌ترتیب به روش هیدرومتری، روش تیتراسیون، روش حجمی یا کلسیمتری و تهیه عصاره خاک به‌دست آمد. همچنین برای اندازه‌گیری مقدار فسفر، ازت و پتاسیم به‌ترتیب با استفاده از روش السون (Olsen, 1954)، به روش کجلدال (Kjeldahl, 1883) و روش استات آمونیوم استفاده شد. کربن خاک با استفاده از روش والکی و بلاک (Walkley & Black, 1883) اندازه‌گیری و ارزیابی شد. داده‌ها در نهایت بر اساس شن و اجزای درشت نمونه خاک تصحیح شدند (Yazdanshenas et al., 2018).

شاخص کیفیت خاک

بسته به منطقه اقلیمی و موجودیت داده‌ها، کیفیت خاک بر اساس شاخص‌های مربوطه محاسبه خواهد شد. در این مطالعه با توجه به ماهیت سرزمین و داده‌های موجود، دامنه و مقادیر کیفیت خاک که توسط Bajracharya و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد شده بود با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$SQI = [(a \times RSTC) + (b \times RpH) + (c \times ROC) + (d \times RNPK)]$$

رابطه (۲)

RSTC مقادیر رتبه‌بندی شده برای کلاس بافتی خاک، RpH مقادیر رتبه‌بندی شده برای pH خاک، ROC مقادیر رتبه‌بندی اختصاص داده شده برای کربن آلی خاک، RN مقادیر رتبه‌بندی شده برای نیتروژن، RP مقادیر رتبه‌بندی شده فسفر، RK مقادیررتبه‌بندی‌شده برای پتاسیم و a=0.2، b=0.1، c=0.4 و d=0.3 مقادیر وزنی مربوط به هر یک از پارامترها هستند.

تحلیل داده‌ها

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، مقایسه خصوصیات خاک و پوشش گیاهی با استفاده از ANOVA و با استفاده از نرم‌افزار SPSS17.0 انجام شد. هر زمان که اختلاف آماری وجود داشت، برای گروه‌بندی میانگین‌ها تحت آزمون دانکن قرار گرفت. نمودارها در نرم‌افزار Excel طراحی و تهیه شدند.

نتایج

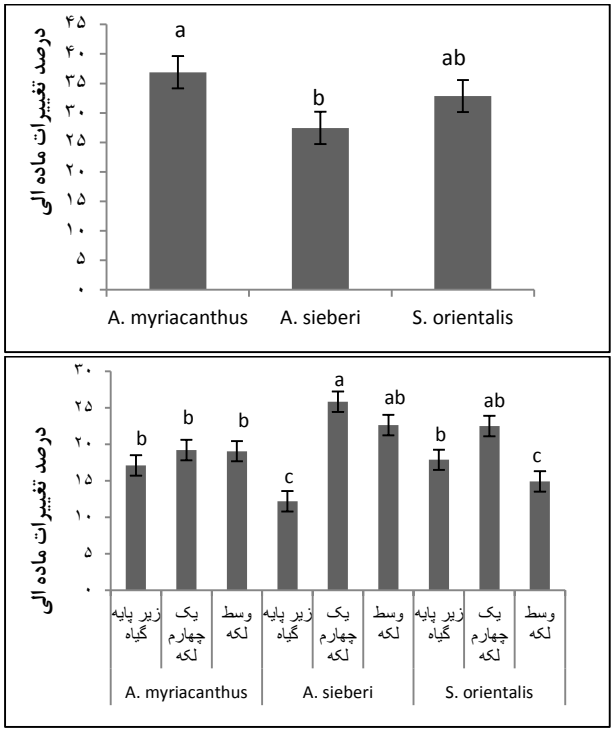
تغییرات خصوصیات خاک

ارزیابی خصوصیات خاک در بین تیپ‌های بوته‌زار و در بین بوته‌ها و فضای باز بدون پوشش تغییرات محسوس را نشان داد. به‌طور کلی فاکتورهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، ماده آلی، درصد سدیم تبادلی و نیتروژن بیشترین تغییرات معنی‌دار را نشان دادند (Sig.<۰/۰۵). فاکتورهای فیزیکی مانند اجزای بافت خاک تغییرات به‌خصوصی را نشان ندادند (جدول ۱).

ماده آلی خاک

شکل زیر تغییرات مقدار ماده آلی خاک را در هر تیپ گیاهی و نیز در بین لکه‌های گیاهی در هر تیپ خالص نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بیشترین تغییرات ماده آلی مربوط به تیپ گیاهی A. myriacanthus می‌باشد. همچنین بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته، تغییرات مقدار ماده آلی خاک در بین فضای لکه‌ها متغیر بود، به‌طوری‌که بیشترین تغییرات مربوط به فاصله یک‌چهارم (حدود ۰/۸ متر) از بوته‌ها در فضای لکه مشاهده شد. کمترین تغییرات درون تیپ‌ها مربوط به تیپ گیاهی A. sieberi با ۲۱ درصد تغییر مشاهده شد. در تیپ A. myriacanthus کمترین تغییرات ماده آلی و تیپ S. orientalis بیشترین تغییرات درون لکه در رابطه با این ویژگی را نشان داد. به عبارتی در یک گرادیان طولی از بوته به سمت مرکز فضای خالی بین بوته شاهد تغییرات درصد ماده آلی خاک بین تیپ‌های متفاوت بود. در کل ثبات بیشتر و تغییرات کمتر

مربوط به تیپ گیاهی A. myriacanthus بود.



شکل ۲. میزان تغییرات ماده آلی در درون لکه در هر تیپ گیاهی و بین تیپ‌های گیاهی مختلف

جدول ۱. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در زیر پایه گیاه و در فضای بدون پوشش در تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

عامل	As. myriacanthus				A. sieberi				S. orientalis			
	زیر پایه گیاه	یک‌چهارم لکه	وسط لکه	F	زیر پایه گیاه	یک‌چهارم لکه	وسط لکه	F	زیر پایه گیاه	یک‌چهارم لکه	وسط لکه	F
سنگریزه (٪)	٤٣/٥±٦/٥ a	٣٨/٥±٥/٤ a	٤٤/٦±٤/٨ a	٠/٤٧ ns	٣٨/٤±٧/١ a	٣٦/٥±٦/٤ a	٢٩/٤±٥/٧ a	٠/٤٧ ns	٤٣/٦±٨/٢ a	٣٨/٦±٧/٧ a	٤٠/٧±٦/٧ a	٠/٤٧ ns
شن (٪)	٣٢/٧±٥/٥a	٢٧/٢±٤/٣a	٣٣/٤±٥/٣a	١/١٤ns	٢٨/٤±٥/٤a	٣٠/٤±٧/١a	٢٣/٧±٦/٤a	١/١٤ns	٣٥/٧±٦/١a	٣٥/٦±٦/١a	٢٧/٤±٦/٥a	١/١٤ns
سیلت (٪)	٣٢/٩±٦/٢a	٤٢/٤±٧/٢a	٣٢/١±٦/٥a	٠/٨٢ns	٤٢/٨±٥/٧a	٣٣/٤±٦/٢b	٤٧/٢±٤/٧a	٣/٥١*	٢٧/٧±٧/٢b	٢٧/٧±٨/١a	٣٧/٣±٤/٧a	٣/٥١*
رس (٪)	٣٤/٤±٥/٩a	٣٠/٤±٤/٤a	٣٤/٤±٣/٨a	٠/٧٤ns	٢٨/٤±٦/١a	٣٥/٤±٥/٧a	٢٨/٤±٧/٠a	١/١٢ns	٣٦/٥±٣/٧a	٣٦/٧±٧/٢a	٣٤/٤±٩/١a	١/١٢ns
اسیدیته	٦/٤٧±١/١b	٧/٠±٠/٩ab	٧/٤٩±١/٢a	٧/٩٣**	٧/٦±٢/٠b	٨/٠±١/٢ab	٨/٣±١/٤a	٣/٣٤*	٧/٩٣±٠/٩a	٧/٨±٠/٨ab	٧/٦±١/١b	٣/٣٤*
هدایت الکتریکی	٠/١٥±٠/٠٧ b	٠/١٧±٠/٠٥ ab	٠/٢٢±٠/٠٤ a	٨/٨١**	٠/٢٠±٠/٠٦ ab	٠/١٨±٠/٠٦ b	٠/٢٣±٠/٠٦ a	٧/٢٣**	٠/١٨±٠/٠٥ b	٠/١٨±٠/٠٥ ab	٠/٢٠±٠/٠٦ a	٧/٢٣**
ماده آلی (٪)	١/٥±٠/٠٨a	١/٣±٠/٠٧b	١/٠±٠/١٠b	٥/٥١*	٠/٧٥±٠/١a	٠/٦±٠/١٧ab	٠/٥±٠/١٢b	٢/٨١*	١/٢±٠/١٠a	٠/٨٨±٠/١٤ab	٠/٨٠±٠/١٣b	٢/٨١*
درصد سدیم تبادلی	٦/٧±٠/٨ a	٨/٦±١/١ a	٩/٠±٢/٠ a	١/٢ns	١٨/٧±٢/٠ b	٢٣/٢±١/٨ ab	٢٥/٢±٢/٨ a	٣/٧*	١١/٧±١/٨ a	١٣/٤±١/٧ a	١٤/٢±١/٥ a	٢/٠١ns
ازت (٪)	١١/٤±٠/٥a	٨/٢±٠/٠٤ab	٧/٦±٠/٤٥b	٦/٢**	٣/٤±٠/٨b	٤/٢±٠/٣٢a	٤/٦±٠/٧٥a	٣/١*	٤/٣±٠/٧b	٤/٧±٠/٧٢a	٤/٧±٠/٦٥a	٣/١*
فسفر (ppm)	١٧/٨±١/٢b	١٩/٥±١/٠ab	٢١/٥±١/٧a	٣/٤*	١٤/٧±١/٨a	١٥/٧±٢/١a	١٧/٨±٢/٧a	٢/٤ns	١٤/٧±١/٧a	١٥/٧±١/٩a	١٧/٨±٣/١a	٢/٤ns
پتاسیم (ppm)	٦٥٣/٤±٢٥/٦a	٦٤٢/٥±٥٥/٩a	٦٦٣/٢±٦٥/١a	٠/٨٩ns	٧١٢/٥±٣٨/٧b	٧٤٩/١±٣٢/٧ab	٧٦٩/٢±٥٤/٠a	٣/٣١*	٥٨٨/٨±٥٢/٠b	٥٩٠/٧±٤٥/٤ab	٥٩٤/٥±٤٩/٠a	٣/٣٢*
آهک (٪)	١٤±٢/٥b	١٨/٥±٣/٤b	٢٢/٥±٣/١a	٣/٤*	٢٢/٢±٤/٧b	٢٩/٧±٨/٤ab	٣٢/٦±٤/١a	٣/٣٢*	١٧/٢±٣/٥b	٢١/٧±٧/٥ab	٢٤/٦±٥/٢a	٣/٣٢*

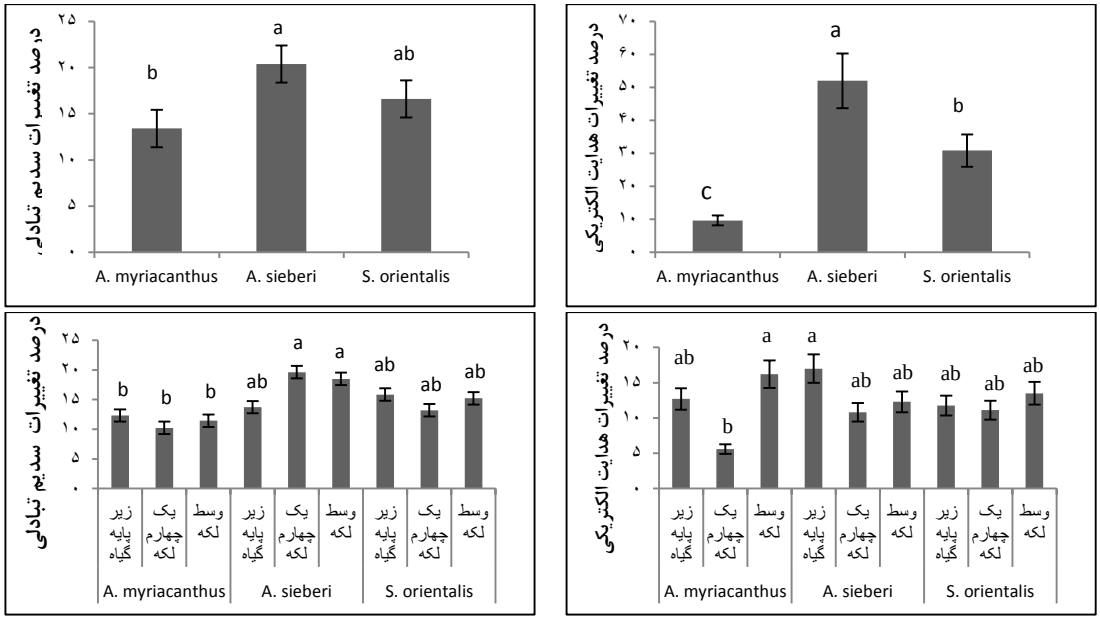
هدایت الکتریکی و سدیم تبادلی

تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد میزان نوسانات بسته به نوع تیپ گیاهی متفاوت می‌باشد. به‌طورکلی بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی در تیپ گیاهی A. sieberi مشاهده شد. همچنین این ویژگی در فضای ما بین تیپ‌های گیاهی مختلف متفاوت بود (شکل ۳). تیپ گیاهی A. sieberi بیشترین ناهمگنی در مقدار هدایت الکتریکی را داشت.

روند تغییرات خصوصیت هدایت الکتریکی در درون هر تیپ گیاهی و در درون فضای لکه در شکل (۳) نشان داده شده است. اگرچه مقدار هدایت الکتریکی با تغییرات شدیدی روبه‌رو بوده، اما تغییرات این ویژگی روند منظمی را در لکه‌ها

ما بین هر تیپ نشان نداده است. در فاصله یک‌چهارم در تیپ گیاهی A. myriacanthus کمترین مقدار (معادل ٦ درصد) مشاهده شد، به‌طوری‌که در زیر پایه گیاه تغییرات بیشتر (۱۲ درصد) مشاهده گشت.

بالاترین مقادیر و تغییرات مقادیر سدیم تبادلی خاک در تیپ گیاهی A. sieberi (با مقدار ۲۱ درصد) که در یک منطقه خشک واقع شده مشاهده شد. همچنین تغییرات این ویژگی از خاک تحت تاثیر فضای لکه قرار گرفت، به‌طوری‌که در برخی از تیپ‌ها مقدار این فاکتور در وسط لکه بالاترین تغییرات را نشان داد. درصد تغییرات خصوصیت سدیم تبادلی در بین فضای لکه نوسانات نسبتا منظمی را نشان داد. مقادیر این خصوصیات در جداول قبلی ارایه شده و درصد این تغییرات در شکل (۳) نشان داده شده است. تیپ گیاهی A. sieberi بالاترین میزان تغییرات را نشان داد، به‌طوری‌که در نقطه یک‌چهارم تغییرات در حدود ۱۹ درصد مشاهده شد. کمترین تغییرات نیز مربوط به نقطه یک‌چهارم تیپ گیاهی A. myriacanthus معادل ۱۰ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳. میزان تغییرات هدایت الکتریکی و سدیم تبادلی در درون لکه در هر تیپ گیاهی و بین تیپ‌های گیاهی مختلف

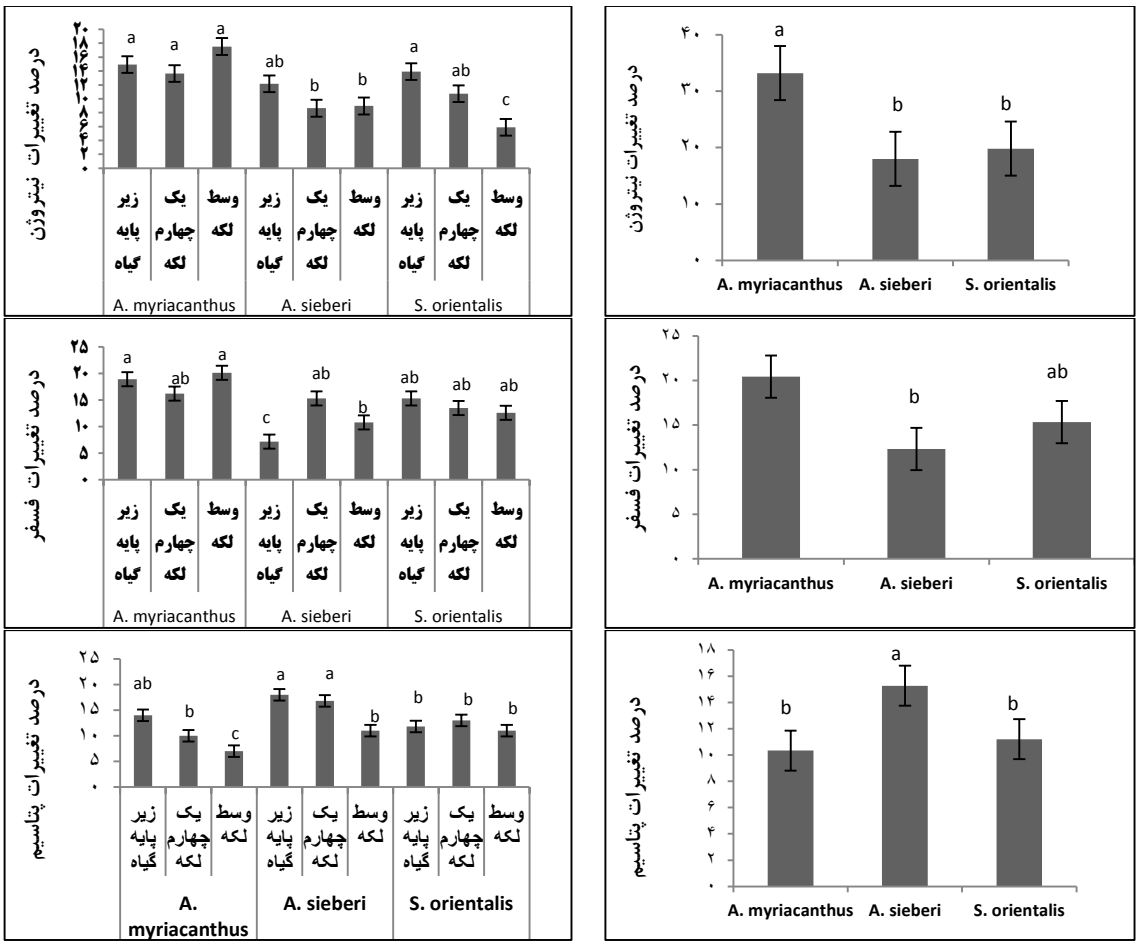
نیتروژن، فسفر و پتاسیم

نیتروژن خاک به‌عنوان یک مولفه موثر در تولید گیاهان تحت تاثیر تیپ گیاهی و فضای بین بوته‌ها قرار گرفت. به‌طور کلی بیشترین تغییرات نیتروژن مربوط به تیپ گیاهی A. myriacanthus بود. در واقع بالاترین مقدار نیتروژن تحت تاثیر رویش گیاهان در طی سالیان دراز تجمع نیتروژن زیر سطح تاج پوشش همین گونه مشاهده شد. برای مثال مقدار نیتروژن از زیربوته تا مرکز فضای باز بین بوته به مقدار ۳۳ درصد تغییرات داشت. در سایر تیپ‌های گیاهی با توجه به جذب مقدار نیتروژن توسط پایه‌های گیاهی، تغییرات درون لکه‌ها نیز قابل مشاهده بود، این تغییرات در فضای بین سایر تیپ بوته‌ها روند خاصی را نشان نداد (شکل ٤). روند درصد تغییرات نیتروژن خاک در درون لکه نشان داد تیپ گیاهی A. myriacanthus بیشترین تغییرات را داشته و البته این تغییرات احتمالا به‌دلیل خصوصیت ترسیب نیتروژن در خاک می‌باشد که در زیر پایه گیاه بیشترین مقدار (و البته نوسانات کمتر) و در فاصله دورتر از پایه گیاه مقدار کمتری داشته که موجب افزایش دامنه تغییرات آن شده است (شکل ٤).

فسفر به‌عنوان یک عنصر مورد نیاز گیاهان تحت تاثیر پوشش گیاهی قرار می‌گیرد و معمولا جذب می‌شود. تغییرات این عنصر در تیپ‌های مختلف و همچنین در فضای مابین بوته‌های گیاه در یک تیپ گیاهی تغییراتی را نشان داد. بیشترین

تغییرات مقادیر فسفر (حدود ۲۰ درصد) در تیپ گیاهی A. myriacanthus مشاهده شد که احتمالا به‌دلیل رطوبت بیشتر در تیپ گیاهی و جذب و کمبود فسفر در نقاط نزدیک بوته‌ها می‌باشد (شکل ٤).

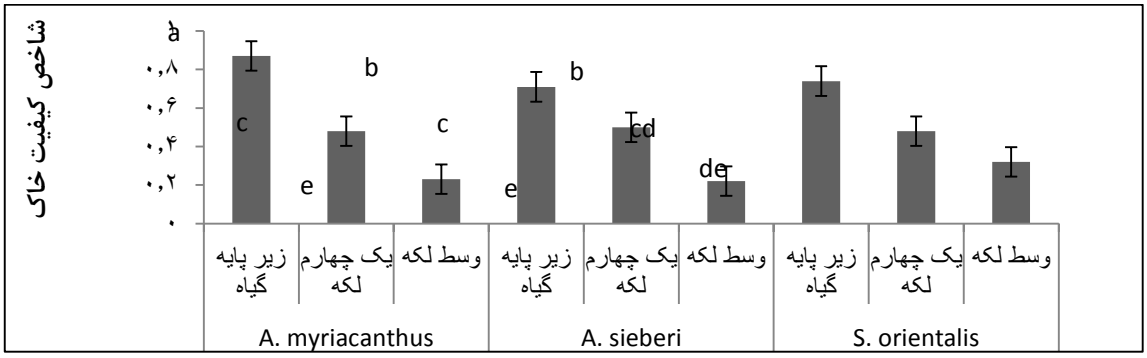
همچنین پتاسیم به‌عنوان یک عنصر مهم و البته فراوان در مناطق خشک تحت تاثیر تیپ‌های گیاهی و فضای لکه‌ها قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین تغییر مقادیر پتاسیم مربوط به تیپ گیاهی A. sieberi بود که به احتمال زیاد تحت تاثیر وجود پوشش گیاهی این تغییرات اتفاق افتاده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تغییرات پتاسیم در قسمت زیرتاج پوشش گیاه در هر تیپ گیاهی مشاهده شد (شکل ٤).



شکل ۴. درصد تغییرات خصوصیات نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در فضای بین لکه در هر تیپ و بین تیپ‌های مختلف

شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک بسته به تیپ بوته‌زار و همچنین محل نمونه‌برداری در فضای بین و زیربوته‌ها تفاوت‌های معنی‌داری را نشان داد (Sig.<۰/۰۱). بالاترین مقدار شاخص مربوط به خاک زیرتاج پوشش گونه A. myriacanthus و برابر با ۰/۸۷ بود و کمترین مقدار نیز مربوط به نقطه مرکزی فضای خالی در تیپ A. sieberi و معادل ۰/۲۲ بود. به‌طور کلی تغییرات محسوسی از سمت پایه گیاه به سمت مرکز فضای باز بین بوته در همه تیپ‌های بوته‌زار مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵. توزیع مکانی مقدار شاخص کیفیت خاک در تیپ بوته‌زارهای مورد مطالعه

ارتباط ویژگی‌های بوته‌ها و خصوصیات خاک

بررسی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در فضای درون لکه‌ها در هر تیپ گیاهی و ویژگی‌های رویشی بوته‌ها در هر تیپ به شرح زیر می‌باشد:

در تیپ گیاهی As. myriacanthus خصوصیاتی از قبیل میزان شن خصوصا در زیرپایه گیاه با شادابی بوته‌ها ارتباط مستقیم معنی‌داری را نشان داد. همچنین میزان رطوبت در خاک با مقدار تولید بوته ارتباط معنی‌داری را نشان داد. مقادیر ماده آلی خاک به‌صورت معنی‌دار در سطح یک درصد خطا بر میزان تولید گیاه تاثیر مثبتی داشت (جدول ۲). مشابه با تیپ A. myriacanthus در تیپ A. sieberi خصوصیاتی شیمیایی- فیزیکی خاک ارتباط معنی‌داری را با برخی از ویژگی‌های عملکردی بوته‌های A. sieberi در این منطقه نشان داد. به‌طوری‌که ویژگی‌های ارتفاع، حجم و تولید بوته و یا تغییر در بافت خاک همچنین خصوصیات شیمیایی از قبیل ماده آلی، فسفر و ازت خاک به‌صورت معنی‌داری با میزان بیومس بوته‌ها ارتباط داشت.

در تیپ گیاهی S. orientalis مهم‌ترین خصوصیاتی که موجب تغییر و یا با ویژگی‌های بوته‌های این تیپ ارتباط معنی‌داری را نشان داد، مقدار ماده آلی و فسفر خاک بود. البته مقدار برخی عناصر نیز در این منطقه ارتباط معنی‌داری را با عملکرد بوته‌های گیاه نشان دادند، به‌طوری‌که برخی خصوصیات مانند سدیم تبادلی آهک و پتاسیم تاثیر مثبت و یا منفی معنی‌داری را بر روی ویژگی‌های عملکرد بوته‌های S. orientalis نداشتند. عموما تاثیرات مثبت و ارتباطات معنی‌دار بین خصوصیات بوته با ویژگی‌های زیربوته‌ها نمایان شده است (جدول ۲).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد بسته به نوع بوته‌ها، خصوصیات خاک در زیرپایه‌های گیاهی و نیز در فضای بین بوته‌ها تغییرات محسوس دارد. در این بین ماده آلی خاک بیشترین تغییرات را نشان داد. عواملی مانند pH، EC، زیست‌توده زیرزمینی و روزمینی و فاصله از پایه گیاه بیشترین همبستگی را با یکدیگر نشان دادند. به‌طور مشابه، Tashi و همکاران (۲۰۱۶) و Zhou و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند مقدار عناصر خاک به‌طور مستقیم با خصوصیات پوشش گیاهی در اراضی بوته‌ای مرتبط است. در این مناطق فاصله از پایه بوته بیشترین تاثیر را بر خاک دارد و این تغییرات در مناطق جنگلی نیز به‌خوبی نشان داده شده است (Shen et al., 2019).

بین زیست‌توده و ماده آلی خاک رابطه معنی‌داری وجود داشت. ماده آلی به‌شدت به ورودی بقایای گیاهی و کانی‌سازی آن توسط میکروبیوتای خاک بستگی دارد (Qi et al., 2019). به‌طور مشابه، Yang و همکاران (۲۰۱۹) و Yazdanshenas و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش دادند که پوشش گیاهی و زیست‌توده بیشتر منجر به عملکرد بیولوژیکی بیشتری می‌شود که می‌تواند خواص معدنی- شیمیایی خاک و میزان ماده آلی و عناصر خاک را در طول زمان تغییر دهد. مشابه با این یافته‌ها، چنین نتیجه‌ای برای Astragalus microcephalus در شمال ایران نیز گزارش شده است (Motamedi et al., 2020).

به‌طور کلی، فرآیندهای فیزیکوشیمیایی و برهمکنش‌های بین گیاهان و موجودات زنده خاک از طریق لکه‌ها و فضای

بین‌لکه‌ها نقش مهمی در فرآیندهای اکولوژیکی ایفا می‌کنند (Liu et al., 2021; in 't Zandt et al., 2022). در واقع، رسوبات و عناصرمغذی که در ابتدا در زیر سایبان پایه گیاه ذخیره می‌شود، تمایل دارد به میکروسایت‌های لخت و بدون پوشش منتقل شده و در آن رسوب کند که منجر به توزیع‌های فضایی همگن‌تر می‌شود (Wang et al., 2019). بنابراین، به‌دلیل محدودیت‌های محیطی در مناطق خشک، یعنی خشکی و دما، نقاط نزدیک به لکه‌ها غنی‌تر هستند (Amir et al., 2022؛ ادنانی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۲. ضرایب همبستگی اسپیرمن در ارتباط با ویژگی‌های خاک و بوته‌ها در تیپ‌های خالص بوته

		S. orientalis				A. sieberi				As. myriacanthus			
عامل		ارتفاع	سطح	حجم	تولید	شادابی	ارتفاع	سطح	حجم	تولید	شادابی	ارتفاع	سطح	حجم	تولید	شادابی
	زیربوته	ns۰/۰۸	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۱٤	ns۰/۲۸	ns۰/۰۲	ns۰/۰۲	ns۰/۱۱	ns۰/۰٥	*۰/۱۰	ns۰/۲۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱٤	ns۰/۱۷	*۰/٤٤
سنگریزه	۱/٤ لکه	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۰۸	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳	ns۰/۱۰	ns۰/۱٤	ns۰/۲۸
	وسط لکه	ns۰/۱۲	ns۰/۱۰	ns۰/۰۸	ns۰/۱۳	ns۰/۲۱	ns۰/۱۱	ns۰/۰٦	ns۰/۰۸	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۰۱	ns۰/۰۰	ns۰/۲٥	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳
	زیربوته	ns۰/۳۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳	ns۰/۳۲	*۰/٤٥	ns۰/۲۰	ns۰/۱۱	ns۰/۲۳	**۰/٥۲	**۰/٥۹	ns۰/۲٦	ns۰/۰٥	ns۰/۱۱	*۰/٤۲	**۰/٦۷
شن	۱/٤ لکه	ns۰/۲۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	*۰/٤٥	*۰/٤٤	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۲۱	ns۰/۰٤	*۰/٤٤	ns۰/۱۱	ns۰/۰۷	ns۰/۱۰	ns۰/۰۸	*۰/٥۲
	وسط لکه	ns۰/۲۰	ns۰/۰۹	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۲٤	ns۰/۱۲	ns۰/۲۳	ns۰/۱۱	ns۰/۲۱	ns۰/۲۰	ns۰/۱۰	ns۰/۰٦	ns۰/۰۷	ns۰/۱۱	ns۰/۳۰
	زیربوته	ns۰/۰٤	ns۰/۱۳	ns۰/۱۷	ns۰/۱٤	ns۰/۰۸	ns۰/۰٥	ns۰/۰۸	ns۰/۱٥	ns۰/۰٥	ns۰/۱۱	ns۰/۱۰	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۷	ns۰/۱۱
سیلت	۱/٤ لکه	ns۰/۰٤	ns۰/۱۳	ns۰/۱٥	ns۰/۱٥	ns۰/۱۲	ns۰/۰٤	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۸	ns۰/۱۲
	وسط لکه	ns۰/۱۲	ns۰/۱۷	ns۰/۱۳	ns۰/۱۳	ns۰/۱٤	ns۰/۰۰	ns۰/۱۰	ns۰/۱٤	ns۰/۰۸	ns۰/۱۲	ns۰/۰۰	ns۰/۰٥	ns۰/۱۷	ns۰/۱۱	ns۰/۰٥
	زیربوته	*۰/٤٥	ns۰/۱۲	ns۰/۱٤	**۰/٦۸	ns۰/۱٤	ns۰/۳٥	ns۰/۲۱	ns۰/۱٤	**۰/٦٥	ns۰/۰٥	*۰/٥۷	ns۰/۱۱	ns۰/۱۷	**۰/۷٥	ns۰/۱۱
رس	۱/٤ لکه	ns۰/۲۳	ns۰/۰۸	ns۰/۱۲	ns۰/۳۱	ns۰/۱٥	ns۰/۲۲	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳	*۰/٤۱	ns۰/۱۱	ns۰/۰٥	ns۰/۱۱	ns۰/۳۲	ns۰/۳۲	ns۰/۱۳
	وسط لکه	ns۰/۲۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱٦	ns۰/۲۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۰۸	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۰۳	ns۰/۱۲	ns۰/۰۰	ns۰/۱۳	ns۰/۱۱	ns۰/۰۲
	زیربوته	ns۰/۲٤	ns۰/۱۷	ns۰/۲۰	ns۰/۲٤	ns۰/۳۱	*۰/٤۲	ns۰/۱۷	ns۰/۲۱	ns۰/۰۹	*۰/٤۳	*۰/٤٤	ns۰/۱٤	*۰/۳۸	ns۰/۲۸	*۰/٤٥
اسدیته	۱/٤ لکه	ns۰/۲۲	ns۰/۱٥	ns۰/۱۱	ns۰/۲۲	ns۰/۲۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۰٥	*۰/٤۱	ns۰/۳۳	ns۰/۱۱	ns۰/۲۱	ns۰/۲۱	ns۰/۳۰
	وسط لکه	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳	ns۰/۱۱	ns۰/۳۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۰	ns۰/۱۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳	ns۰/۰۹	ns۰/۱۱	ns۰/۱۰	ns۰/۲٤
	زیربوته	ns۰/۳۱	ns۰/۱٥	ns۰/۱۱	ns۰/۲۲	ns۰/۲۳	*۰/۳۸	ns۰/۲٤	ns۰/۳۳	ns۰/۱٤	ns۰/۳۰	*۰/٤٤	ns۰/۰٥	ns۰/۳۱	ns۰/۱۱	*۰/٤٦
هدایت‌الکتریکی	۱/٤ لکه	ns۰/۳۱	ns۰/۱٦	ns۰/۳۱	ns۰/۱٤	ns۰/۱۸	ns۰/۱۱	ns۰/۰۲	ns۰/۲٤	ns۰/۱٤	ns۰/۱٤	ns۰/۱۲	ns۰/۰۲	ns۰/۳۳	ns۰/۱۲	ns۰/۱٦
	وسط لکه	ns۰/۲۲	ns۰/۱۲	ns۰/۲۱	ns۰/۰۹	ns۰/۱٥	ns۰/۰۸	ns۰/۰۳	ns۰/۰۹	ns۰/۰٥	ns۰/۱۱	ns۰/۱۰	ns۰/۰۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳	ns۰/۱۳
	زیربوته	**۰/٦٦	**۰/۷۲	**۰/٦٥	**۰/۷٥	*۰/٤۸	**۰/٦٦	**۰/٦٥	**۰/٦۸	**۰/۷٤	**۰/۷۸	**۰/۷٥	**۰/۷۱	**۰/٦٥	**۰/٦۹	**۰/۷٦
ماده آلی	۱/٤ لکه	**۰/٥٦	**۰/٦٤	*۰/٥٥	**۰/۷۱	ns۰/۱۳	**۰/٦٤	**۰/٥۹	*۰/٦٥	**۰/٦٦	**۰/۷۱	**۰/٥٦	**۰/٦۲	*۰/٤٥	**۰/٥٥	**۰/٦۳
	وسط لکه	ns۰/۲۸	ns۰/۱۸	ns۰/۱٥	ns۰/۳۲	ns۰/۲۰	*۰/٤۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱٤	ns۰/۲٥	ns۰/۳۲	ns۰/۳۱	ns۰/۲٤	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۲۳
	زیربوته	ns۰/۲۱	ns۰/۱۸	ns۰/۰۸	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۰۷	ns۰/۱۱	*۰/٤۱	ns۰/۲٥	ns۰/۳۳	ns۰/۱۱	ns۰/۲۲	*۰/٤۱	ns۰/۳۱	*۰/٤۱
سدیم تبادلی	۱/٤ لکه	ns۰/۲۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۳۰	ns۰/۳۱	ns۰/۰٥	ns۰/۲٤	ns۰/۲۲	ns۰/۲٤	ns۰/۲٤	ns۰/۱۰	ns۰/۱۱	ns۰/۲۲	ns۰/۳۰	ns۰/۲۲
	وسط لکه	ns۰/۱۹	ns۰/۰۸	ns۰/۰۹	ns۰/۱۷	ns۰/۰۹	ns۰/۱٤	ns۰/۳۲	ns۰/۱٤	ns۰/۳۲	ns۰/۱۸	ns۰/۱۲	ns۰/۱٤	ns۰/۱۲	ns۰/۲۲	ns۰/۱۳
	زیربوته	**۰/٥۸	**۰/٥۹	ns۰/۱۹	*۰/٥۱	ns۰/۱۸	**۰/۷۱	**۰/٦٦	**۰/٦٤	**۰/٦٦	ns۰/۱٤	**۰/٦۳	**۰/٥۹	*۰/٤۲	**۰/٦٥	ns۰/۳۲
ازت	۱/٤ لکه	*۰/٤۲	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۳	ns۰/۱۷	*۰/٦٤	*۰/۳۲	ns۰/۳۱	ns۰/۳۱	ns۰/۲۱	*۰/۳۸	*۰/٤۱	*۰/٤۱	ns۰/۲۱	ns۰/۳۲
	وسط لکه	*۰/٤۸	ns۰/۱۸	ns۰/۱۲	ns۰/۲۰	ns۰/۱۲	ns۰/۳۲	ns۰/۲۲	ns۰/۱۲	ns۰/۲۲	ns۰/۱۱	ns۰/۲۱	*۰/٤۲	ns۰/۲۱	ns۰/۲۱	ns۰/۱۰
	زیربوته	*۰/٤۱	**۰/۷۰	**۰/٦٦	**۰/٦٤	**۰/٦۲	**۰/٦٥	**۰/٦٦	**۰/٦٦	**۰/٦۱	**۰/٥۹	**۰/۸۱	**۰/۷٤	**۰/۷۷	**۰/٦۸	**۰/٦٦
فسفر	۱/٤ لکه	*۰/٤۲	ns۰/۳٤	ns۰/۱٥	ns۰/۱۹	*۰/٤۳	**۰/٥٥	*۰/٤٥	ns۰/۲٤	ns۰/۳۲	ns۰/۱۸	**۰/٦۲	**۰/٦٥	*۰/٤۲	ns۰/۲٦	ns۰/۱٤
	وسط لکه	**۰/٥۲	ns۰/۱٤	ns۰/۱٦	ns۰/۱٤	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۲۰	ns۰/۳۱	ns۰/۲۲	ns۰/۱۹	ns۰/۲۱	ns۰/۱۲	*۰/٤٤	ns۰/۱۳	ns۰/۱٥
	زیربوته	ns۰/۲۱	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۰۹	ns۰/۱٤	ns۰/۰۹	ns۰/۳۱	ns۰/۱٥	ns۰/۱٥	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۲۱	ns۰/۳۲	*۰/٤٥
پتاسیم	۱/٤ لکه	ns۰/۲۲	ns۰/۲۱	ns۰/۰۱	ns۰/۲۱	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۲	ns۰/۲۲	ns۰/۰٥	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۳	*۰/٤۱	ns۰/۳٦	*۰/٤٤
	وسط لکه	ns۰/۰۹	ns۰/۱۳	ns۰/۳۲	ns۰/۱۱	ns۰/۱۲	ns۰/۱۱	ns۰/۰۷	ns۰/۳۱	ns۰/۱۳	ns۰/۲۲	ns۰/۱۰	ns۰/۱٤	ns۰/۲۲	ns۰/۰۸	ns۰/۳۲
	زیربوته	ns۰/۱۱	ns۰/۱۱	ns۰/۲۳	ns۰/۲٤	ns۰/۳۱	ns۰/۱۸	ns۰/۱۸	ns۰/۲۲	**۰/٥٦	*۰/٤٤	ns۰/۳۲	*۰/٤۱	ns۰/۲٤	**۰/٦٦	*۰/٤٥
آهک	۱/٤ لکه	ns۰/۱٦	ns۰/۱٦	ns۰/۳۱	ns۰/۲۳	ns۰/۱۲	ns۰/۰۹	ns۰/۱۸	ns۰/۳۳	*۰/۳٦	ns۰/۲۱	ns۰/۲۲	ns۰/۱۱	*۰/٤۲	*۰/٤٥	ns۰/۳۲
	وسط لکه	ns۰/۱۳	ns۰/۱۳	ns۰/۱۱	ns۰/۱٤	ns۰/۲٤	ns۰/۱۲	ns۰/۳۱	ns۰/۱۱	ns۰/۱٤	ns۰/۱۸	ns۰/۰٤	ns۰/۲۳	ns۰/۲۰	ns۰/۱۱	ns۰/۱۳

همچنین مطالعات قبلی گزارش دادند که بیومس هوایی، تاج پوشش و به‌ویژه سیستم ریشه در لکه‌ها منجر به پوشش حفاظتی بیشتر خاک و در نتیجه افزایش کارآیی خاک در حفظ و ذخیره مواد مغذی شده که این امر منجر به افزایش عناصر در لکه‌ها و کاهش عناصر در فضاهای باز بین‌لکه‌ای می‌شود (Molaeinasab et al., 2021; Zhang & Hu, 2019).

علاوه بر این، در اراضی بوته‌ای، تغییر ویژگی‌های خاک از طریق لکه‌ها و فضای بین‌لکه‌ها عمدتا تحت تاثیر توزیع و پویایی آب خاک در تعامل با ریشه‌های بوته است (Xian et al., 2015) و به‌دلیل خشکی این مناطق، مواد غذایی به آرامی در لایه‌های خاک حرکت می‌کنند (Molaeinasab et al., 2021). بنابراین، در این مناطق فرآیندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی به‌عنوان فعل‌وانفعالات اکوهیدرولوژیکی که منجر به زیست‌توده و عناصر مغذی بالاتر از طریق لکه‌ها و فضای بین‌لکه‌ها می‌شود، مرتبط می‌گردد (Barbosa-Briones et al., 2019; Urgeghe et al., 2021). از سوی دیگر، زیست‌توده زیرزمینی نه تنها خواص خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه زیست‌توده ریزتر ریشه نیز تاثیر بسیار بالایی بر پایداری خاک دارد (Gu et al., 2019). این تفاوت در سیستم ریشه گونه‌های مورد مطالعه به‌طور نسبی مشهود بود، به‌طوری‌که ریشه گونه A. myriacanthus از توزیع جانبی کمتری نسبت به گونه‌های A. sieberi و S. orientalis برخوردار بود. به‌طور مشابه Yao و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی بوته‌زارهای مناطق بیابانی نشان دادند خصوصیاتی مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کربن در نزدیک بوته‌ها بیشتر از منطقه بدون پوشش است. همچنین طی تحقیقی Zhou و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند در بوته‌زارهای گز و درمنه، مقادیر کربن، نیتروژن و ماده‌آلی در زیربوته‌ها بیشتر از فضای بدون پوشش بود که این تغییرات مثبت را به شرایط بهتر فضای زیربوته مربوط دانسته‌اند.

به‌طور کلی، در اراضی بوته‌ای منابع سینک بین لکه‌ها و فضای بین‌لکه‌ها به‌عنوان واحدهای اساسی و موثر بر عملکرد اکوسیستم هستند (Urgeghe et al., 2021; Garibotti et al., 2018; Barbosa-Briones et al., 2019) که به‌شدت تحت تاثیر عوامل محیطی و گرادیان آنها قرار گرفته است (Yazdanshenas et al., 2021). درواقع یک ارتباط چندگانه بین بخش فیزیکی بیولوژیک و شیمیایی خاک در بوته‌زارها وجود دارد (Xie et al., 2023) و حذف یا کشت مجدد بوته تاثیر مستقیمی بر فرآیندهای تبادل بخش زیستی و شیمیایی خاک و تغییر کیفیت حاصلخیزی (NPK) خاک دارد (Deng et al., 2023). به‌طور مشابه نیز Yazdanshenas و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند کیفیت خاک بسته به تیپ گیاهی و خصوصیات پوشش متفاوت است.

شاخص کیفیت خاک نیز به شکل محسوس در تیپ بوته‌زارها و نقاط نمونه‌برداری در هر تیپ بوته تغییراتی را نشان داد. کیفیت خاک ظرفیت ذاتی خاک برای عملکرد در یک اکوسیستم است که به خواص خاک بستگی دارد و تحت تاثیر الگوهای سرزمین تغییر می‌کند. مشابه با این یافته‌ها Mirghaed و Souri (۲۰۲۲) کیفیت خاک در حوضه رودخانه شور در غرب ایران را به روش مجموعه حداقل داده‌ها بررسی و گزارش نمودند که این شاخص به‌شدت تحت تاثیر وجود و تراکم پوشش قرار گرفته است. عامل کیفیت خاک در یک سرزمین برای مدیریت پایدار خاک ضروری است (Zeraatpisheh et al., 2022). و بوته‌زارها نیز از طریق تحت تاثیر قرار دادن ویژگی‌های دمایی و رطوبتی و کیفیت خاک، موجب حفاظت بهتر خاک می‌شوند که البته این امر شدیدا بستگی به فاکتورهای زیست‌محیطی مانند اقلیم و توپوگرافی دارد (Kemppinen et al., 2021). در همین راستا Bienes و همکاران (۲۰۱۶) با انجام بوته‌کاری در خاک‌های تخریب‌یافته نیز بعد از ۱۲ سال نشان دادند بوته‌ها تاثیر مثبت به‌سزایی بر خصوصیاتی از قبیل نیتروژن و کربن خاک داشته و کیفیت خاک از قبیل خلل و فرج خاک و توزیع و ثبات خاکدانه‌ها نیز افزایش داشته است.

در نهایت بسته به گونه گیاهی، تغییرات ویژگی‌های حاصلخیزی خاک شامل نیتروژن، پتاسیم، فسفر و ماده آلی در زیرتاج لکه و در فضای بین لکه‌ای بوته‌زارهای خالص A. sieberi، S. orientalis و A. myriacanthus متفاوت بود. به‌طور کلی مقادیر عناصر خاک با فاصله گرفتن از پایه بوته

کاهش معنی‌داری را نشان داد. بیشترین تغییرات خصوصیات حاصلخیزی خاک در فضای بین بوته‌ای در تیپ خالص A. myriacanthus و مربوط به مقدار ماده آلی خاک بود، به‌طوری‌که بالاترین مقادیر ازت و ماده‌آلی در زیرتاج پوشش گیاه و کمترین مقدار در دورترین فاصله از پایه بوته در مرکز فضای باز مشاهده شد. کیفیت خاک نیز شدیدا از سمت پایه بوته به سمت فضای باز کاهش نشان داد. نتایج کلی نشان داد خصوصیات عملکردی بوته‌ها مانند زیست‌توده، ارتفاع و تاج پوشش با توزیع مکانی عناصر و فاکتورهای حاصلخیزی خاک در فضای بدون پوشش بیشترین ارتباط را دارند. در پایان با توجه به گستردگی اراضی بوته‌ای در ایران و نیز خصوصیات اکولوژیکی منحصربه‌فرد این زیست‌بوم‌ها، پیشنهاد می‌شود برای درک بهتر اثرات متقابل گیاه و خاک، مطالعات جامع‌تری در خصوص گرادیان و تغییرات خصوصیات خاک مابین فضای بین لکه‌ای در تیپ‌های مختلف بوته‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

ادنانی، س.م.، افتخاری، ع.ر.، غلامی، پ.، توکلی‌نکو، ح. و پورمیدانی، ع. (۱۴۰۱) بررسی تاثیر قرق بر ویژگی های پوشش گیاهی مراتع رزبند استان قم. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۳(۱): ۳۹-۵۰.

کرمی، ف.، کرمشاهی، ع.ع.، مدبری، ا.، مهدوی، ع. و هناره-خلیانی، ج. (۱۴۰۲) برآورد ارزش اقتصادی کارکرد حفظ و نگهداری عناصر غذایی خاک در بوم‌سازگان جنگلی زاگرس، مطالعه موردی منطقه دالاب ایلام. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۴(۱): ۱۴۱-۱۵۰.

Amir, M.M., Ilan, S., Shlomo, S., Hiam, A.G., Shimshon, S. and Eli, Z. (2022) The dynamic of the eco-hydrological interrelations between shrubs and biocrusts in the Negev shrub-lands: Empiric assessments and perspectives for shrubland rehabilitation. Catena Journal, 214, 106296. Retrieved from https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1038805/

Bajracharya, R.M., Sharma, S., Dahal, B.M., Sitaula, B.K., Rokaya, K. and Jeng, A. (2006) Assessment of soil quality using physiochemical and biological indicators in a mid-hill watershed of Nepal. In Proceedings of Int'l. Seminar on Environmental and Social Impacts of Agricultural Intensification in Himalayan Watersheds, pp. 105-114.

Barbosa-Briones, E., Cardona-Benavides, A., Reyes-Hernández, H. and Muñoz-Robles, C. (2019) Ecohydrological function of vegetation patches in semi-arid shrub-lands of central Mexico. Journal of Arid Environments, 168(1): 36–45.

Bienes, R., Marques, M.J., Sastre, B., García-Díaz, A. and Ruiz-Colmenero, M. (2016) Eleven years after shrub revegetation in semiarid eroded soils. Influence in soil properties. Geoderma, 273: 106-114.

Deng, J., Zhou, W., Dai, L., Yuan, Q., Zhou, L., Qi, L. and Yu, D. (2023) The effects of shrub removal on soil microbial communities in primary forest, secondary forest and plantation forest on Changbai Mountain. Microbial Ecology, 85(2): 642-658.

Garibotti, I.A., Gonzalez, Polo, M. and Tabeni, S. (2018) Linking biological soil crust attributes to the multifunctionality of vegetated patches and interspaces in a semiarid shrubland. Functional Ecology, 32(4): 1065–1078.

Gebremeskel, D., Birhane, E., Rannestad, M.M., Gebre, S. and Tesfay, G. (2021) Biomass and soil carbon stocks of Rhamnus prinoides based agroforestry practice with varied density in the drylands of Northern Ethiopia. Agroforestry Systems, 95(7): 1275-1293.

Gu, X., Fang, X., Xiang, W., Zeng, Y., Zhang, S., Lei, P., Peng, C. and Kuzyakov, Y. (2019) Vegetation restoration stimulates soil carbon sequestration and stabilization in a subtropical area of southern China. Catena Journal, 181, 104098.

Igathinathane, C., Womac, A.R., Sokhansanj, S. and Pordesimo, L.O. (2006) Mass and moisture distribution in aboveground components of standing corn plants. Transactions of the ASABE, 49(1): 97-106.

in 't Zandt, D., Hoekstra, N.J., de Caluwe, H., Cruijsen, P.M., Visser, E.J. and de Kroon, H. (2022) Plant life-history traits rather than soil legacies determine colonisation of soil patches in a multi-species grassland. Journal of Ecology, 110(4): 889-901.

Jensen, J.L., Schjønning, P., Watts, C.W., Christensen, B.T., Peltre, C. and Munkholm, L.J. (2019) Relating soil C and organic matter

Olsen, S.R. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939), US Department of Agriculture.

Sanou, L., Zida, D., Savadogo, P. and Thiombiano, A. (2018) Comparison of aboveground vegetation and soil seed bank composition at sites of different grazing intensity around a savanna-woodland watering point in West Africa. Journal of plant research, 131(5): 773-788.

Shen, C., Ma, L., Hu, J., Huang, L., Chen, Y. and Guan, D. (2019) Soil carbon storage and its determinants in forest fragments of differentiated patch size. Forests, 10(11): 1044.

Tashi, S., Singh, B., Keitel, C. and Adams, M. (2016) Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. Global Change Biology, 22(6): 2255–2268.

Urgeghe, A.M., Mayor, Á.G., Turrión, D., Rodr\'\iguez, F. and Bautista, S (2021) Disentangling the independent effects of vegetation cover and pattern on runoff and sediment yield in aridland systems-Uncovering processes through mimicked plant patches. Journal of Arid Environments, 193, 104585.

Vaieretti, M.V., Conti, G., Poca, M., Kowaljow, E., Gorné, L., Bertone, G., Cingolani, A.M. and Pérez-Harguindeguy, N. (2021) Plant and soil carbon stocks in grassland patches maintained by extensive grazing in the highlands of central Argentina. Austral Ecology, 46(3): 374–386.

Wang, G., Li, J., Ravi, S., Dukes, D., Gonzales, H.B. and Sankey, J.B. (2019) Post-fire redistribution of soil carbon and nitrogen at a grassland--shrubland ecotone. Ecosystems, 22(1): 174–188.

Wang, L.X., Gao, J.X., Shen, W.M., Shi, Y.L. and Zhang, H.W. (2021) Carbon storage in vegetation and soil in Chinese ecosystems estimated by carbon transfer rate method. Ecosphere, 12(1): e03341.

Xian, G., Homer, C., Rigge, M., Shi, H. and Meyer, D. (2015) Characterization of shrubland ecosystem components as continuous fields in the northwest United States. Remote Sensing of Environment, V(168): 286–300.

Xie, L., Li, W., Pang, X., Liu, Q. and Yin, C. (2023) Soil properties and root traits are important factors driving rhizosphere soil bacterial and fungal community variations in alpine Rhododendron nitidulum shrub fractions to soil structural stability. Geoderma, 337(?): 834–843.

Kemppinen, J., Niittynen, P., Virkkala, A.M., Happonen, K., Riihimäki, H., Aalto, J. and Luoto, M. (2021) Dwarf shrubs impact tundra soils: Drier, colder, and less organic carbon. Ecosystems, 24(6): 1378-1392.

Kjeldahl, J. (1883) A new method for the determination of nitrogen in organic matter. Zeitschrift für Analytische Chemie, 22, 366p.

Khosravi, A. and Sharafatmandrad, M. (2020) Assessing the effects of shrubs on ecosystem functions in arid sand dune ecosystems. Arid Land Research and Management, 34(2): 171-187.

Li, J., Chen, H., Guo, K., Li, W., Feng, X. and Liu, X. (2021) Changes in soil properties induced by pioneer vegetation patches in coastal ecosystem. Catena Journal, 204, 105393.

Lin, L., Cao, G., Guo, X., Li, Q., Qian, D., Du, Y., Huang, J., Fan, B., Li, B. and Lan, Y. (2022) The Process of Soil Nutrient Stabilization in Micro-Patches in Alpine Kobresia Meadows. Diversity, 14(8): 656-656.

Liu, Q., Huang, C. and Li, H. (2021) Mapping plant communities within quasi-circular vegetation patches using tasseled cap brightness, greenness, and topsoil grain size index derived from GF-1 imagery. Earth Science Informatics, 14(1): 975–984.

Mirghaed, F.A. and Souri, B. (2022) Spatial analysis of soil quality through landscape patterns in the Shoor River Basin, Southwestern Iran. Catena Journal, 211, 106028.

Molaeinasab, A., Bashari, H., Mosaddeghi, M.R. and Tarkesh Esfahani, M. (2021) Effects of different vegetation patches on soil functionality in the central Iranian Arid Zone. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(2): 1112–1124.

Motamedi, J., Bahraminia, D., Mofidi, C.M. and Sheidai, K.E. (2020) Estimation of annual carbon storage of Astragalus microcephalus species in ecological sites of Nazlochai mountain rangelands, West Azerbaijan. Journal of Range and Watershed Management, 73(3): 613-631.

Qi, J.Y., Wang, X., Zhao, X., Pu, C., Kan, Z.R., Li, C., Liu, P., Xiao, X.P., Lal, R. and Zhang, H.L. (2019) Temporal variability of soil organic carbon in paddies during 13-year conservation tillage. Land Degradation and Development, 30(15): 1840–1850.

Yazdanshenas, H., Tavili, A., Jafari, M. and Shafeian, E. (2018) Evidence for relationship between carbon storage and surface cover characteristics of soil in rangelands. Catena Journal, V(167): 139-146.

Yazdanshenas, H., Tehrani, M.S.G., Ajirloo, M.K. and Tarnian, F. (2021) Changes in soil organic carbon across an atmospheric CO2 gradient under natural and artificial vegetation of semi-arid lands. Environmental Earth Sciences, V(80): 1–10.

Zeraatpisheh, M., Bottega, E.L., Bakhshandeh, E., Owliaie, H.R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R. and Xu, M. (2022) Spatial variability of soil quality within management zones: Homogeneity and purity of delineated zones. Catena Journal, 209, 105835.

Zhang, G. and Hu, J. (2019) Effects of patchy distributed Artemisia capillaris on overland flow hydrodynamic characteristics. International Soil and Water Conservation Research, 7(1): 81–88.

Zhou, L., Shen, H., Xu, Y., Li, H., Chen, L., Wang, Y., Zhang, P., Zhao, X., Liu, T., Hu, H. and Fang, J. (2019) Soil organic carbon components in inner Mongolian shrub-encroached grasslands. Plant and Soil, V(442): 199-213.

ecosystems along an altitudinal gradient. Science of the Total Environment, V(864): 161048.

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.

Yajuan, W., Meiying, L., Ji, W., Xiaohong, D. and Yanlong, H. (2022) The effects of vegetation communities on soil organic carbon stock in an enclosed desert-steppe region of northern China. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 68(2): 284-94.

Yang, Y., Tilman, D., Furey, G. and Lehman, C. (2019) Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. Nature Communications, 10(1): 1–7.

Yao, Y., Shao, M., Fu, X., Wang, X. and Wei, X. (2019) Effects of shrubs on soil nutrients and enzymatic activities over a 0–100 cm soil profile in the desert-loess transition zone. Catena Journal, V(174): 362-370.

Yazdanshenas, H., Jafari, M., Azarnivand, H. and Arzani, H. (2015) Evaluation of soil quality based on minimum data set in Karvan Rangeland, Isfahan, Iran. Journal of Rangeland Science, 5(4): 251-259.

Spatial changes of soil fertility factors in pure shrublands of the central plateau of Iran

Nafiseh Roohollahi[1], Seyed Akbar Javadi[2],*, Mohammad Jafari[3] and Mohammad Ali Zare Chahouki[3]

1) Ph.D. student in Rangeland Science and Engineering, Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Associate Professor, Nature Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author E-mail Address: a.javadi@srbiau.ac.ir
3) Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Date of Submission: 2024/02/25 **Date of Acceptance: 2024/04/08**

Abstract

Shrubs with diverse ecological functions cover a large area of arid and semi-arid lands. Evaluation of changes in soil properties in shrublands can be effective in understanding the ecological relationships of these biomes and their nutritional status for land management. Here, the spatial changes of soil characteristics based on patch structure and open spaces between patches were studied in Artemisia sieberi, Scariola orientalis and Astragalus myriacanthus shrub types located in Isfahan province/central plateau of Iran. The evaluation of soil characteristics and quality was investigated by selecting the reference open spaces between the patches and recording the morphological characteristics of the patches. A systematically experiment was carried out by selecting a reference space with a diameter of 3 meters and sampling linearly to the center of this space. The results showed the properties of organic matter, nitrogen, phosphorus and soil quality index (SQI) had the most significant changes between the shrublands and in the space between patches ($P<0.01$). The highest value of the SQI equal to 0.87 was related to the A. myriacanthus patche, and the lowest value equal to 0.22 was related to the central point of the open space in A. sieberi type. Biomass, height and canopy showed the highest correlation with the spatial distribution of soil elements and quality beatween patches ($P<0.05$). In general, depending on the species, the relationships between soil and plants in shrub types was different, and this information can be taken into account in choosing suitable planting intervals for sustainable plant cultivation plans.

Key words: Canopy cover, Environmental gradient, Environmental variables, Land management, Nutrients.