

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.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶

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 تأثیر و تأثیری 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.

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

مقدمه

(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, 2021).

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., 2022).

وجود ندارد و با توجه به گستردگی اراضی بوته‌ای، مطالعه توزیع فضایی عناصر خاک می‌تواند اطلاعات دقیقی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای بوته‌زارها ارائه 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 به ترتیب ۱۸۰-۱۹۰ میلی‌متر و ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است (Molaeinasab et al., 2021). این مناطق دارای اراضی بوته‌ای غالب خالص هستند که عمدتاً 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 تقریباً به‌صورت همگن در منطقه پراکنده هستند، بنابراین هر

این بوته‌زارها علاوه بر عملکردهای اکولوژیکی، زیستگاهی و حفاظتی (Molaeinasab et al., 2021) و ارائه خدمات متعدد به جمعیت‌های انسانی (Garibotti et al., 2015; 2018)، 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 قابل مشاهده مشخص می‌شوند و معمولاً 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 بین لکه‌ای

ارزیابی خصوصیات گیاهی

خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی هر پایه بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. خصوصیتی از قبیل ارتفاع و یا قطر بوته با ابزار متر اندازه‌گیری شد. به منظور 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، مجدداً توزین شدند تا بیومس و شادابی بر حسب درصد رطوبت به دست 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 به ترتیب قطر کوچک و بزرگ بوته هستند و η عدد $3/14$ می‌باشد. حجم بوته از ضرب سطح در ارتفاع به دست 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

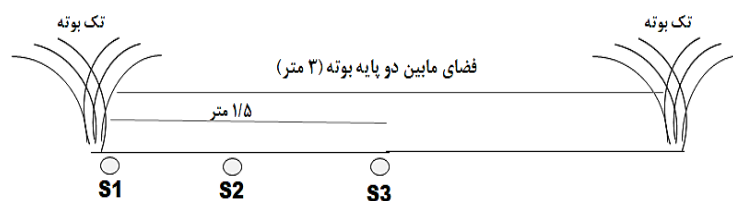
برای بررسی ویژگی‌های خاک در سه نقطه در فضای بین بوته‌ها نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در لکه گیاهی (فضای مرجع ۳ متری) انجام شد. بدین ترتیب نمونه‌برداری در سه نقطه فضای بین لکه {مرکز (S3)، ۱/۴ فضا (S2) و زیربوته (S1)} (شکل ۱) و با ۴ تکرار صورت گرفت، به طوری که در هر تیپ مورد ارزیابی ۱۲ نمونه خاک برداشت و برای ارزیابی خصوصیات مد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند.

پایه بوته به عنوان 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 به عنوان 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 تقریباً به صورت یکنواخت در منطقه پراکنش داشتند. به همین منظور یک فضای بین لکه با ابعاد مشخص به عنوان مرجع انتخاب شد، به طوری که 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.



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

و پوشش گیاهی با استفاده از ANOVA و با استفاده از نرم افزار SPSS17.0 انجام شد. هر زمان که اختلاف آماری وجود داشت، برای گروه بندی میانگین‌ها تحت آزمون دانکن قرار گرفت. نمودارها در نرم افزار 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. به طور کلی فاکتورهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، ماده آلی، درصد سدیم تبادلی و نیتروژن بیشترین تغییرات معنی دار را نشان دادند ($\text{Sig} < 0.05$). فاکتورهای فیزیکی مانند اجزای بافت خاک تغییرات به خصوصی 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، به طوری که بیشترین تغییرات مربوط به فاصله یک چهارم (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

بافت خاک، درصد ماده آلی، کلسیم، و هدایت الکتریکی خاک به ترتیب به روش هیدرومتری، روش تیتراسیون، روش حجمی یا کلسیمتری و تهیه عصاره خاک به دست آمد. همچنین برای اندازه‌گیری مقدار فسفر، ازت و پتاسیم به ترتیب 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:

$$SQI = [(a \times RSTC) + (b \times RpH) + (c \times ROC) + (d \times RNPK)] \quad \text{رابطه (۲)}$$

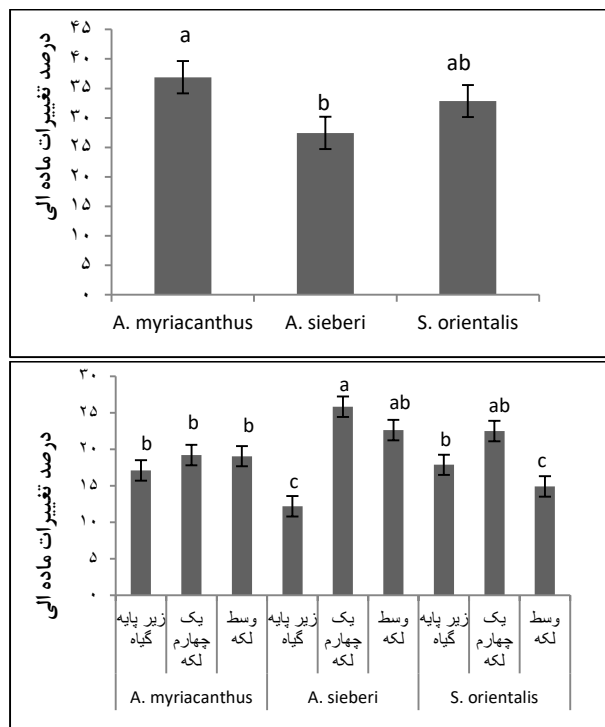
RSTC مقادیر رتبه بندی شده برای کلاس بافتی خاک، RpH مقادیر رتبه بندی شده برای pH خاک، ROC مقادیر رتبه بندی اختصاص داده شده برای کربن آلی خاک، RN مقادیر رتبه بندی شده برای نیتروژن، RP مقادیر رتبه بندی شده فسفر، RK مقادیر رتبه بندی شده برای پتاسیم و $a=0.2$ $b=0.1$ $c=0.4$ و $d=0.3$ مقادیر وزنی مربوط به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

تحلیل داده‌ها

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، مقایسه خصوصیات خاک

تغییرات مکانی شاخصه‌های حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص فلات مرکزی ایران/۱۵۱

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	<i>S. orientalis</i>			<i>A. sieberi</i>			<i>As. myriacanthus</i>					
	F	وسط لکه	یک چهارم لکه	زیر پایه گیاه	F	وسط لکه	یک چهارم لکه	زیر پایه گیاه	F	وسط لکه	یک چهارم لکه	زیر پایه گیاه
سنگریزه (%)	۰/۴۷ ns	۴۰/۷±۶/۷ a	۳۸/۶±۷/۷ a	۴۳/۶±۸/۲ a	۰/۴۷ ns	۲۹/۴±۵/۷ a	۳۶/۵±۶/۴ a	۳۸/۴±۷/۱ a	۰/۴۷ ns	۴۴/۶±۴/۸ a	۳۸/۵±۵/۴ a	۴۳/۵±۶/۵ a
شن (%)	۱/۱۴ ns	۲۷/۴±۶/۵ a	۳۵/۶±۶/۱ a	۳۵/۷±۶/۱ a	۱/۱۴ ns	۲۳/۷±۶/۴ a	۳۰/۴±۷/۱ a	۲۸/۴±۵/۴ a	۱/۱۴ ns	۳۳/۴±۵/۳ a	۲۷/۲±۴/۳ a	۳۲/۷±۵/۵ a
سیلت (%)	۳/۵۱ *	۳۷/۳±۴/۷ a	۲۷/۷±۷/۲ b	۲۷/۷±۸/۱ a	۳/۵۱ *	۴۷/۲±۴/۷ a	۳۳/۴±۶/۲ b	۴۲/۸±۵/۷ a	۰/۸۲ ns	۳۲/۱±۶/۵ a	۴۲/۴±۷/۲ a	۳۲/۹±۶/۲ a
رس (%)	۱/۱۲ ns	۳۴/۴±۹/۱ a	۳۶/۵±۳/۷ a	۳۶/۷±۷/۲ a	۱/۱۲ ns	۲۸/۴±۷/۰ a	۳۵/۴±۵/۷ a	۲۸/۴±۶/۱ a	۰/۷۴ ns	۳۴/۴±۳/۸ a	۳۰/۴±۴/۴ a	۳۴/۴±۵/۹ a
اسیدیته	۳/۳۴ *	۷/۹۳±۰/۹ a	۷/۸±۰/۸ ab	۷/۶±۱/۱ b	۳/۳۴ *	۸/۳±۱/۴ a	۸/۰±۱/۲ ab	۷/۶±۲/۰ b	۷/۹۳ ***	۷/۴۹±۱/۲ a	۷/۰±۰/۹ ab	۶/۴۷±۱/۱ b
هدایت الکتریکی	۷/۲۳ ***	۰/۲۰±۰/۰۶ a	۰/۱۸±۰/۰۵ b	۰/۱۷±۰/۰۵ ab	۷/۲۳ ***	۰/۲۳±۰/۰۶ a	۰/۱۸±۰/۰۶ b	۰/۲۰±۰/۰۶ ab	۸/۸۱ ***	۰/۲۲±۰/۰۴ a	۰/۱۷±۰/۰۵ ab	۰/۱۵±۰/۰۷ b
ماده آلی (%)	۲/۸۱ *	۰/۸۰±۰/۱۳ b	۰/۸۸±۰/۱۴ ab	۱/۲±۰/۱۰ a	۲/۸۱ *	۰/۵±۰/۱۲ b	۰/۶±۰/۱۷ ab	۰/۷±۰/۱۱ a	۵/۵۱ *	۱/۰±۰/۱۰ b	۱/۳±۰/۰۷ b	۱/۵±۰/۰۸ a
درصد سدیم تبادلی	۲/۰۱ ns	۱۴/۲±۱/۵ a	۱۳/۴±۱/۷ a	۱۱/۷±۱/۸ a	۳/۷ *	۲۵/۲±۲/۸ a	۲۳/۲±۱/۸ ab	۱۸/۷±۲/۰ b	۱/۲ ns	۹/۰±۲/۰ a	۸/۶±۱/۱ a	۶/۷±۰/۸ a
ازت (%)	۳/۱ *	۴/۷±۰/۶۵ a	۴/۷±۰/۷۲ a	۴/۳±۰/۷ b	۳/۱ *	۴/۶±۰/۷۵ a	۴/۲±۰/۳۲ a	۳/۴±۰/۸ b	۶/۲ ***	۷/۶±۰/۴۵ b	۸/۲±۰/۰۴ ab	۱۱/۴±۰/۵ a
فسفر (ppm)	۲/۴ ns	۱۷/۸±۳/۱ a	۱۵/۷±۱/۹ a	۱۴/۷±۱/۷ a	۲/۴ ns	۱۷/۸±۲/۷ a	۱۵/۷±۲/۱ a	۱۴/۷±۱/۸ a	۳/۴ *	۲۱/۵±۱/۷ a	۱۹/۵±۱/۰ ab	۱۷/۸±۱/۲ b
پتاسیم (ppm)	۳/۳۲ *	۵۹۴/۵±۴۹/۰ a	۵۹۰/۷±۴۵/۴ ab	۵۸۸/۸±۵۲/۰ b	۳/۳۱ *	۷۶۹/۲±۵۴/۰ a	۷۴۹/۱±۳۲/۷ ab	۷۱۲/۵±۳۸/۷ b	۰/۸۹ ns	۶۶۳/۲±۶۵/۱ a	۶۴۲/۵±۵۵/۹ a	۶۵۳/۴±۲۵/۶ a
آهک (%)	۳/۳۲ *	۲۴/۶±۵/۲ a	۲۱/۷±۷/۵ ab	۱۷/۲±۳/۵ b	۳/۳۲ *	۳۲/۶±۴/۱ a	۲۹/۷±۸/۴ ab	۲۲/۲±۴/۷ b	۳/۴ *	۲۲/۵±۳/۱ a	۱۸/۵±۳/۴ b	۱۴±۲/۵ b

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

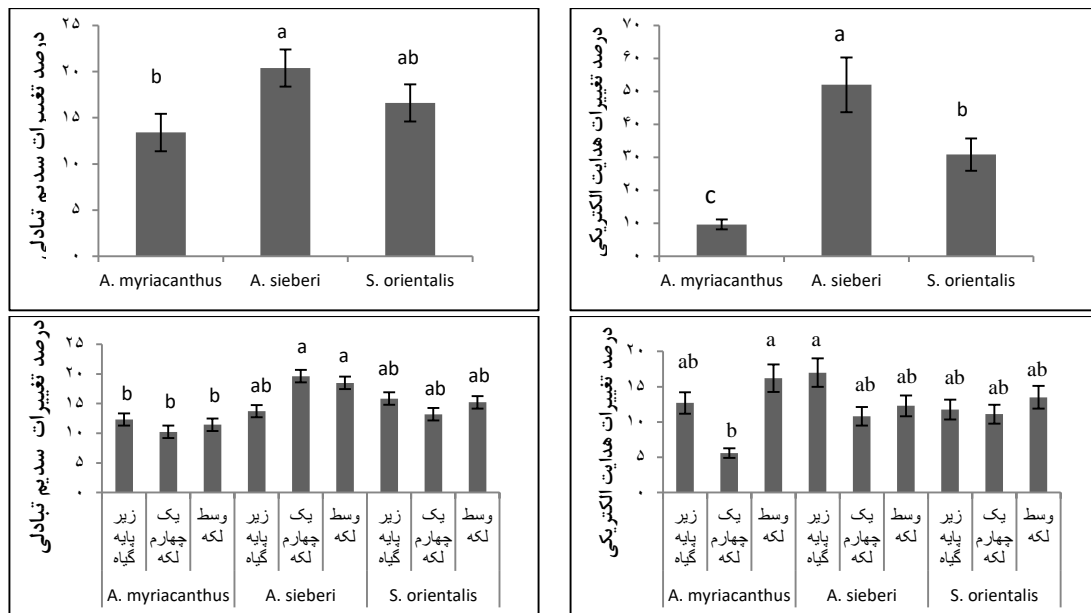
هدایت الکتریکی و سدیم تبادلی

تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد میزان نوسانات بسته به نوع تیپ گیاهی متفاوت می‌باشد. به‌طور کلی بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی در تیپ گیاهی *A. sieberi* مشاهده شد. همچنین این ویژگی در فضای ما بین تیپ‌های گیاهی

نشان داد. درصد تغییرات خصوصیت سدیم تبادلی در بین فضای لکه نوسانات نسبتاً منظمی را نشان داد. مقادیر این خصوصیات در جداول قبلی ارائه شده و درصد این تغییرات در شکل (۳) نشان داده شده است. تیپ گیاهی *A. sieberi* بالاترین میزان تغییرات را نشان داد، به طوری که در نقطه یک چهارم تغییرات در حدود ۱۹ درصد مشاهده شد. کمترین تغییرات نیز مربوط به نقطه یک چهارم تیپ گیاهی *A. myriacanthus* معادل ۱۰ درصد بود (شکل ۳).

ما بین هر تیپ نشان نداده است. در فاصله یک چهارم در تیپ گیاهی *A. myriacanthus* کمترین مقدار (معادل ۶ درصد) مشاهده شد، به طوری که 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، به طوری که در برخی از تیپها مقدار این فاکتور در وسط لکه بالاترین تغییرات را



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

روند خاصی را نشان نداد (شکل ۴). روند درصد تغییرات نیتروژن خاک در درون لکه نشان داد تیپ گیاهی *A. myriacanthus* بیشترین تغییرات را داشته و البته این تغییرات احتمالاً به دلیل خصوصیت ترسیب نیتروژن در خاک می باشد که در زیر پایه گیاه بیشترین مقدار (و البته نوسانات کمتر) و در فاصله دورتر از پایه گیاه کمتری داشته که موجب افزایش دامنه تغییرات آن شده است (شکل ۴).

فسفر به عنوان یک عنصر مورد نیاز گیاهان تحت تاثیر پوشش گیاهی قرار می گیرد و معمولاً جذب می شود. تغییرات این عنصر در تیپهای مختلف و همچنین در فضای مابین بوته های گیاه در یک تیپ گیاهی تغییراتی را نشان داد. بیشترین

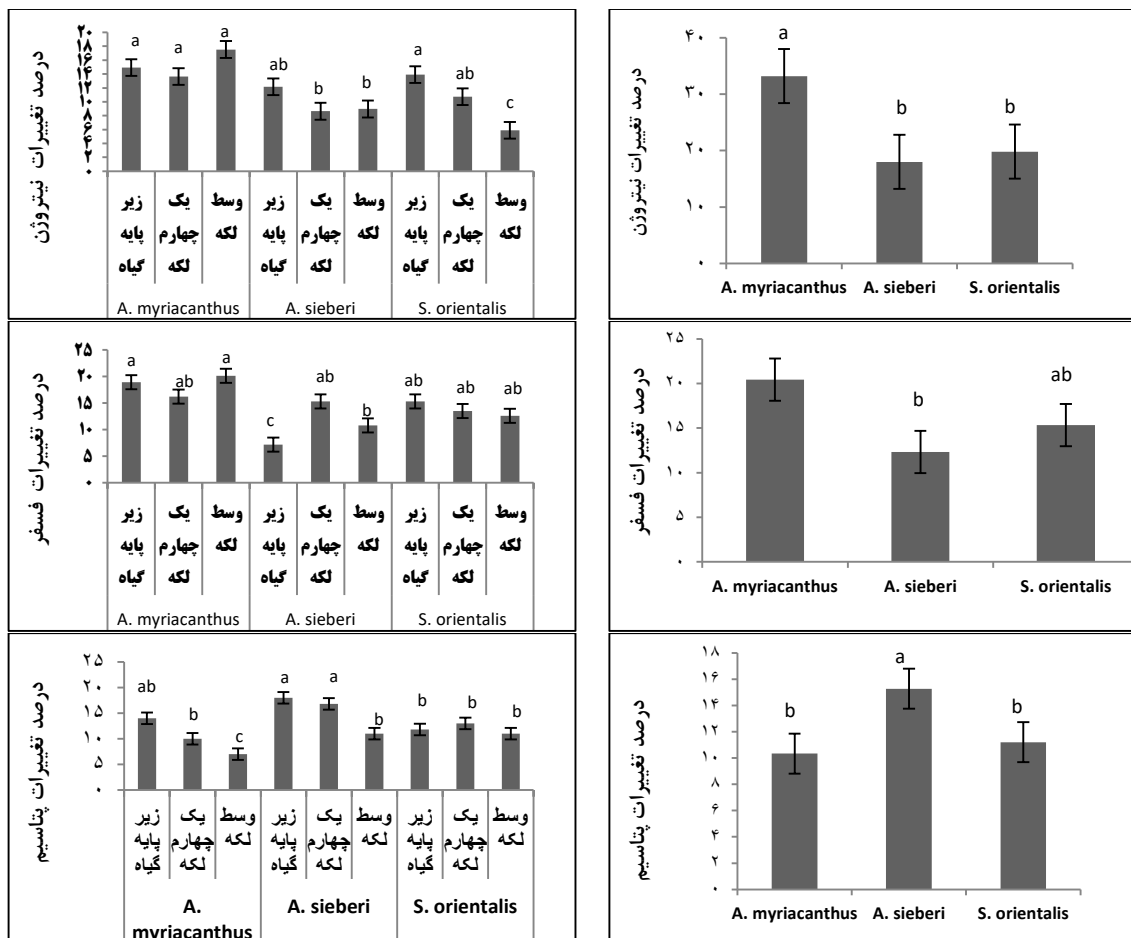
نیتروژن، فسفر و پتاسیم

نیتروژن خاک به عنوان یک مولفه موثر در تولید گیاهان تحت تاثیر تیپ گیاهی و فضای بین بوته ها قرار گرفت. به طور 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 زیر بوته تا مرکز فضای باز بین بوته به مقدار ۳۳ درصد تغییرات داشت. در سایر تیپهای گیاهی با توجه به جذب مقدار نیتروژن توسط پایه های گیاهی، تغییرات درون لکه ها نیز قابل مشاهده بود، این تغییرات در فضای بین سایر تیپ بوته ها

تغییرات مکانی شاخصه‌های حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص فلات مرکزی ایران/۱۵۳

گرفت، به طوری که 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 به دست آمده بیشترین تغییرات پتاسیم در قسمت زیرتاج پوشش گیاه در هر تیپ گیاهی مشاهده شد (شکل ۴).

تغییرات مقادیر فسفر (حدود ۲۰ درصد) در تیپ گیاهی *A. myriacanthus* مشاهده شد که احتمالاً به دلیل رطوبت بیشتر در تیپ گیاهی و جذب و کمبود فسفر در نقاط نزدیک بوته‌ها می‌باشد (شکل ۴). همچنین پتاسیم به عنوان یک عنصر مهم و البته فراوان در مناطق خشک تحت تاثیر تیپ‌های گیاهی و فضای لکه‌ها قرار

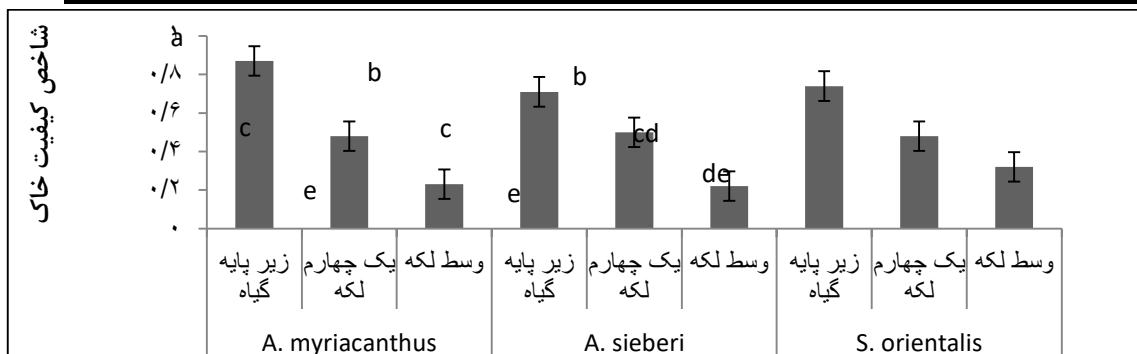


شکل ۴. درصد تغییرات خصوصیات نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در فضای بین لکه در هر تیپ و بین تیپ‌های مختلف

بود و کمترین مقدار نیز مربوط به نقطه مرکزی فضای خالی در تیپ *A. sieberi* و معادل ۰/۲۲ بود. به طور کلی تغییرات محسوسی از سمت پایه گیاه به سمت مرکز فضای باز بین بوته در همه تیپ‌های بوته‌زار مشاهده شد (شکل ۵).

شاخص کیفیت خاک

شاخص کیفیت خاک بسته به تیپ بوته‌زار و همچنین محل نمونه‌برداری در فضای بین و زیربوته‌ها تفاوت‌های معنی‌داری را نشان داد ($\text{Sig.} < 0.01$). بالاترین مقدار شاخص مربوط به خاک زیرتاج پوشش گونه *A. myriacanthus* و برابر با ۰/۸۷



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

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

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* خصوصیات از قبیل میزان شن خصوصاً 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* خصوصیات 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 خصوصیات 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. عموماً تاثیرات مثبت و ارتباطات معنی‌دار

تغییرات مکانی شاخصه‌های حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص فلات مرکزی ایران/۱۵۵

فضایی همگن‌تر می‌شود (Wang et al., 2019). بنابراین، به دلیل محدودیت‌های محیطی در مناطق خشک، یعنی خشکی و دما، نقاط نزدیک به لکه‌ها غنی‌تر هستند (Amir et al., 2022: ادنایی و همکاران، ۱۴۰۱).

بین‌لکه‌ها نقش مهمی در فرآیندهای اکولوژیکی ایفا می‌کنند (Liu et al., 2021; in 't Zandt et al., 2022). در واقع، رسوبات و عناصر مغذی 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

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

عامل	S. orientalis			A. sieberi			As. myriacanthus			
	ارتفاع	سطح	حجم	تولید	شادابی	ارتفاع	سطح	حجم	تولید	شادابی
زیربوته	ns/08	ns/12	ns/12	ns/14	ns/28	ns/02	ns/02	ns/11	ns/05	ns/10
	ns/11	ns/12	ns/13	ns/12	ns/12	ns/08	ns/11	ns/12	ns/12	ns/12
	ns/12	ns/10	ns/08	ns/13	ns/21	ns/11	ns/06	ns/08	ns/11	ns/13
سنگریزه	ns/08	ns/12	ns/12	ns/14	ns/28	ns/02	ns/02	ns/11	ns/05	ns/10
	ns/11	ns/12	ns/13	ns/12	ns/12	ns/08	ns/11	ns/12	ns/12	ns/12
	ns/12	ns/10	ns/08	ns/13	ns/21	ns/11	ns/06	ns/08	ns/11	ns/13
زیربوته	ns/33	ns/11	ns/13	ns/32	ns/45	ns/20	ns/11	ns/23	ns/52	ns/59
	ns/21	ns/12	ns/11	ns/11	ns/44	ns/12	ns/11	ns/21	ns/04	ns/44
	ns/20	ns/09	ns/12	ns/12	ns/24	ns/12	ns/33	ns/12	ns/21	ns/20
شن	ns/33	ns/11	ns/13	ns/32	ns/45	ns/20	ns/11	ns/23	ns/52	ns/59
	ns/21	ns/12	ns/11	ns/11	ns/44	ns/12	ns/11	ns/21	ns/04	ns/44
	ns/20	ns/09	ns/12	ns/12	ns/24	ns/12	ns/33	ns/12	ns/21	ns/20
سیلت	ns/04	ns/13	ns/13	ns/14	ns/08	ns/05	ns/08	ns/11	ns/05	ns/10
	ns/04	ns/13	ns/13	ns/14	ns/08	ns/05	ns/08	ns/11	ns/05	ns/10
	ns/12	ns/17	ns/17	ns/13	ns/14	ns/00	ns/10	ns/14	ns/08	ns/13
رس	ns/45	ns/12	ns/12	ns/14	ns/68	ns/16	ns/35	ns/21	ns/65	ns/75
	ns/23	ns/08	ns/12	ns/31	ns/15	ns/22	ns/12	ns/13	ns/41	ns/11
	ns/22	ns/11	ns/16	ns/22	ns/11	ns/11	ns/08	ns/12	ns/13	ns/11
زیربوته	ns/24	ns/17	ns/17	ns/24	ns/31	ns/42	ns/17	ns/21	ns/09	ns/43
	ns/22	ns/15	ns/11	ns/22	ns/11	ns/12	ns/11	ns/12	ns/11	ns/11
	ns/12	ns/11	ns/13	ns/11	ns/22	ns/10	ns/12	ns/13	ns/12	ns/12
اسدیته	ns/24	ns/17	ns/17	ns/24	ns/31	ns/42	ns/17	ns/21	ns/09	ns/43
	ns/22	ns/15	ns/11	ns/22	ns/11	ns/12	ns/11	ns/12	ns/11	ns/11
	ns/12	ns/11	ns/13	ns/11	ns/22	ns/10	ns/12	ns/13	ns/12	ns/12
هدایت الکتریکی	ns/31	ns/15	ns/15	ns/31	ns/23	ns/22	ns/38	ns/24	ns/33	ns/30
	ns/31	ns/16	ns/31	ns/31	ns/18	ns/14	ns/11	ns/12	ns/14	ns/16
	ns/22	ns/12	ns/12	ns/22	ns/15	ns/09	ns/08	ns/13	ns/09	ns/13
ماده آلی	ns/66	ns/72	ns/72	ns/66	ns/75	ns/66	ns/68	ns/65	ns/74	ns/78
	ns/56	ns/64	ns/55	ns/71	ns/64	ns/59	ns/66	ns/66	ns/71	ns/66
	ns/28	ns/18	ns/18	ns/28	ns/32	ns/20	ns/12	ns/12	ns/12	ns/12
سدیم تبادل	ns/21	ns/18	ns/18	ns/21	ns/11	ns/17	ns/11	ns/11	ns/16	ns/16
	ns/23	ns/11	ns/11	ns/30	ns/31	ns/05	ns/12	ns/12	ns/12	ns/12
	ns/19	ns/08	ns/08	ns/17	ns/09	ns/17	ns/14	ns/14	ns/14	ns/14
ازت	ns/58	ns/59	ns/59	ns/58	ns/51	ns/18	ns/71	ns/66	ns/66	ns/66
	ns/42	ns/12	ns/12	ns/3	ns/17	ns/17	ns/31	ns/31	ns/32	ns/31
	ns/48	ns/18	ns/18	ns/20	ns/12	ns/22	ns/22	ns/22	ns/22	ns/22
فسفر	ns/41	ns/70	ns/70	ns/41	ns/66	ns/65	ns/68	ns/65	ns/74	ns/78
	ns/42	ns/34	ns/34	ns/42	ns/19	ns/55	ns/43	ns/43	ns/43	ns/43
	ns/52	ns/14	ns/14	ns/52	ns/16	ns/11	ns/11	ns/11	ns/11	ns/11
پتاسیم	ns/21	ns/11	ns/11	ns/21	ns/11	ns/09	ns/14	ns/14	ns/14	ns/14
	ns/22	ns/21	ns/21	ns/21	ns/11	ns/22	ns/12	ns/12	ns/12	ns/12
	ns/09	ns/13	ns/13	ns/32	ns/11	ns/07	ns/11	ns/12	ns/12	ns/12
آهک	ns/11	ns/11	ns/11	ns/24	ns/31	ns/18	ns/18	ns/18	ns/22	ns/22
	ns/16	ns/16	ns/16	ns/31	ns/23	ns/12	ns/09	ns/12	ns/12	ns/12
	ns/13	ns/13	ns/13	ns/14	ns/11	ns/12	ns/31	ns/12	ns/12	ns/12

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 کارایی 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 عمدتاً تحت تاثیر توزیع و پویایی آب خاک در تعامل با ریشه‌های بوته است (Xian et al., 2015) و به دلیل 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 فعل و انفعالات 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 خصوصیات 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 ماده آلی 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., 2019; Barbosa-Briones et al., 2018) که به‌شدت

تحت تاثیر عوامل محیطی و گرادیان آنها قرار گرفته است (Yazdanshenas et al., 2021). در واقع یک ارتباط چندگانه بین بخش فیزیکی بیولوژیکی 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 (Zeraatpishah 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 شدیداً 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 خصوصیات 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* و *S. orientalis* متفاوت بود. به‌طور کلی مقادیر عناصر خاک با فاصله گرفتن از پایه بوته

تغییرات مکانی شاخصه‌های حاصلخیزی خاک در بوته‌زارهای خالص فلات مرکزی ایران/ ۱۵۷

- 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., Cruijssen, 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 کاهش معنی‌داری را نشان داد. بیشترین تغییرات خصوصیات حاصلخیزی خاک در فضای بین بوته‌ای در تیپ خالص *myriacanthus* و مربوط به مقدار ماده آلی خاک بود، به طوری که بالاترین مقادیر ازت و ماده آلی در زیرتاج پوشش گیاه و کمترین مقدار در دورترین فاصله از پایه بوته در مرکز فضای باز مشاهده شد. کیفیت خاک نیز شدیداً 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 فرق بر ویژگی‌های پوشش گیاهی مراتع رزیند استان قم. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۳(۱): ۳۹-۵۰.
- کرمی، ف.، کرشاهی، 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*

- 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., Rodríguez, 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., Meiyang, 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 Roohollahi¹, Seyed Akbar Javadi^{2,*}, Mohammad Jafari³ and Mohammad Ali Zare Chahouki³

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 between 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.