مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۱ (پیاپی ۴۲)، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۵۳ـ۶۶

مقاله پژوهشی

مطالعهٔ تغییرات پوشش گیاهی در طول گرادیان‌های محیطی در رویشگاه‌های بیابانی غرب فردوس

مسلم رستم‌پور،[۱*] رضا یاری،[۲] جواد چزگی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰**

چکیده

این پژوهش به بررسی تغییرات تنوع گونه‌های با افزایش ارتفاع از سطح دریا و تغییرات خصوصیات خاک در رویشگاه‌های بیابانی غرب فردوس می‌پردازد. بدین منظور، از پست‌ترین نقطهٔ منطقه یعنی حاشیهٔ کویر، از جایی که اولین گونه‌های *Se. rosmarinus* مشاهده شد تا ارتفاعات ییلاقی که تیپ *St. barbata* بود، در گرادیانی به طول ۲۰ کیلومتر و دامنهٔ ارتفاعی ۹۳۸ تا ۱۶۴۲ متر، نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات پوشش گیاهی نظیر درصد پوشش تاجی، تراکم، تنوع گونه‌ای α و β و توزیع وفور گونه‌ای (SAD) در هر منطقهٔ معرف در فصل بهار اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر EC، pH، N، K، Ca، Mg، Na، Cl، بیکربنات‌ها، مادهٔ آلی، آهک، گچ و بافت و رطوبت اشباع خاک نیز در هر مکان اندازه‌گیری شد. مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش تیپ‌های گیاهی توسط تحلیل‌های رگرسیون چندگانه و PCA مشخص شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، درصد پوشش گیاهی، تعداد گونه و تنوع گونه‌ای افزایش یافت. نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که ارتفاع بیشترین تأثیر را بر درصد پوشش گیاهی دارد (β=۰/۵۳). گچ و منیزیم خاک باعث حضور گونه‌های تیپ *Se. rosmarinus* شدند. ارتفاع و رطوبت اشباع خاک در پراکنش تیپ‌های *Zy. atriplicoides* و *St. barbata* و شن در پراکنش تیپ‌های گیاهی *Ca. polygonoides* و *St. pennata* تأثیرگذارند. نتایج نشان داد که تنوع زیستی، عکس‌العمل‌های متفاوتی در طول گرادیان ارتفاعی نشان می‌دهند، همچنین تنوع β بسیار بالاست؛ این نشان از تغییرات شدید ترکیب گونه‌ای از ابتدای گرادیان تا انتهای گرادیان ارتفاعی دارد.

کلیدواژه‌ها: ارتفاع از سطح دریا، بافت خاک، تنوع زیستی، شوری خاک، مناطق خشک.

۱. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری و گروه پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران؛ rostampour@birjand.ac.ir

۲. استادیار، بخش جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

• این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه بیرجند است.

DOI: 10.22052/deej.2024.253934.1033

مقدمه

اکوسیستم‌های خشک و بیابانی جزو مناطق کلیدی برای مطالعهٔ الگوهای توزیع وفور گونه‌ای و تنوع زیستی محسوب می‌شوند (سون[1] و همکاران، ۲۰۲۳). در مناطق خشک و بیابانی، پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای متأثر از ویژگی‌های توپوگرافی، ادافیکی و اقلیمی است (جعفری و رستم‌پور، ۲۰۱۹). الگوهای تنوع گونه‌ای در امتداد گرادیان‌های محیطی از دیرباز مورد توجه بوم‌شناسان بوده و درک مکانیسم‌های زیربنایی این موضوع یکی از سؤالات اساسی در بوم‌شناسی است (ژو[2] و همکاران، ۲۰۲۱). به‌این‌ترتیب گرادیان عوامل محیطی با تأثیر مستقیم خود بر حضور و یا حضور نداشتن هر گونهٔ گیاهی و همچنین تنوع گیاهی در منطقه، باعث پراکنش آن‌ها می‌شود؛ به‌طوری‌که در صورت مشخص بودن نیازهای محیطی ویژهٔ آن گونه، می‌توان زیستگاه مناسب و اصلی آن را شناسایی کرد.

در مناطق خشک، تحقیقات در این زمینه بسیار محدود است؛ الگوهای تنوع گونه‌ها و توزیع فراوانی گونه‌ها در پاسخ به ناهمگونی زیستگاه در مناطق بیابانی تغییر می‌کنند (ژنگ[3] و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از عوامل ناهمگونی در رویشگاه‌های مناطق خشک و بیابانی، شوری خاک است. شوری خاک از مشکلات مهم زیست‌محیطی است که گیاهان را به روش‌های مختلفی دچار مشکل می‌سازد (دونگ،[4] ۲۰۱۲). یکی از بزرگ‌ترین تنش‌های غیرزیستی و از عوامل اصلی محیطی محدودکنندهٔ رشد و عملکرد گیاه در مناطق خشک و بیابانی، تنش شوری منابع آب و خاک است (جعفری و رستم‌پور، ۲۰۱۹). از این رو در تحقیقات متعددی، به مسئلهٔ شوری خاک و ارتباط آن با پوشش گیاهی پرداخته شده است. برای نمونه سلامی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی، به اندازه‌گیری تغییرات تنوع گونه‌ای در طول گرادیان شوری در مراتع اینچه‌برون پرداختند. نتایج نشان داد بین ارتفاع، میزان شوری خاک و هر دو شاخص تنوع گیاهی، رابطهٔ معنی‌دار وجود دارد؛ به‌طوری‌که با کاهش ارتفاع و افزایش شوری خاک، تنوع زیستی کاهش می‌یابد. رستم‌پور و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه و تعیین ترکیب و تنوع گیاهی در طول گرادیان شوری خاک مراتع حاشیهٔ دق‌پترگان در استان خراسان جنوبی را انجام دادند. نتایج نشان داد که بین تاج‌پوشش کل، یک‌ساله‌ها و چندساله‌ها بین زون‌های مختلف شوری خاک، تفاوت‌های معنی‌داری وجود دارد. همچنین، گرادیان شوری خاک بر غنا و تنوع گونه‌ای نیز تأثیر معنی‌داری دارد.

کیائو[5] و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به مطالعهٔ تنوع و ترکیب گیاهان در زیستگاه‌های مختلف شور در اکوسیستم‌های باتلاق نمک داخلی مغولستان داخلی پرداختند. نتایج نشان داد که تنوع گیاهی و غنای گونه‌ای در رویشگاه Carex به‌طور معنی‌داری بیشتر از رویشگاه هالوفیت گوشتی و رویشگاه علف سبز بود. توکن[6] و همکاران (۲۰۲۲) اثرات تنوع گیاهی بر بهره‌وری اولیه و پایداری جامعه در امتداد گرادیان شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک در شمال غربی چین و جامعهٔ گیاهی بیابانی در حوضهٔ دریاچهٔ Ebinur در سین کیانگ پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص یکنواختی گونه‌ای با کاهش شوری خاک افزایش یافت؛ درحالی‌که شاخص رائو و شاخص‌های تنوع گونه‌ای با افزایش شوری خاک افزایش یافت.

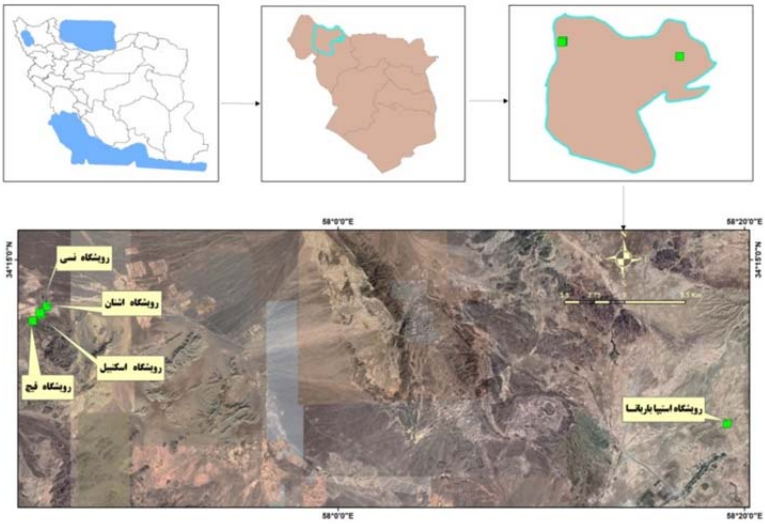
با توجه به شرایط حساس و شکنندهٔ اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، تعیین سهم عوامل مؤثر بر تنوع گونه‌ای، اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (مصداقی، ۲۰۱۴). ازآنجاکه ارزیابی و حفاظت از تنوع زیستی به‌عنوان استراتژی‌های کلیدی برای مدیریت اکوسیستم پایدار محسوب می‌شوند (هانگ[7] و همکاران، ۲۰۲۱)، هدف از این مطالعه بررسی تغییرات تنوع گونه‌های با افزایش ارتفاع از سطح دریا در مراتع غرب شهرستان فردوس در استان خراسان‌جنوبی است، چراکه هرگونه برنامه‌ریزی برای حفاظت از این مراتع مناطق خشک و بیابانی با توجه به روند کاهش روزافزون آن‌ها نیازمند طیف وسیعی از اطلاعات است تا هدف حفاظت از این منابع تحقق یابد و از نابودی آن‌ها جلوگیری شود.

1. Sun
2. Xu
3. Zang
4. Dong
5. Qiao
6. Token
7. Huang

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

این پژوهش در مراتع غرب شهرستان فردوس در بهار ۱۴۰۰ انجام شد. شهرستان فردوس واقع در شمال غربی استان خراسان جنوبی بین ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۸ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده است. شهرستان فردوس بین دو رشته‌کوه کم‌ارتفاع کلات و کوه‌سیاه و کوه‌زول در شرق و کوه شتری طبس در مغرب واقع شده است. این ناحیه به‌علت مجاورت با کویر مرکزی و لوت دارای آب‌وهوایی صحرایی و خشک است و به دو بخش آب‌وهوایی کوهستانی (شمالی) و دشت (جنوبی) تفکیک می‌شود (شکل ۱). اقلیم منطقه براساس شاخص دومارتن خشک و طول دورهٔ خشکی در منطقه ۵ ماه است (فاتحی، ۲۰۱۹؛ خادمی، ۲۰۱۹).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و مراتع شهرستان فردوس

Figure (1): The location of the studied area in Iran and the Rangelands of Ferdows

روش پژوهش

براساس مطالعات اولیه (فاتحی، ۲۰۱۹؛ خادمی، ۲۰۱۹) عامل ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین عامل تفکیک‌کنندهٔ پوشش گیاهی مراتع منطقهٔ غرب شهرستان فردوس بود. ازاین‌رو با در نظر گرفتن این عامل، پس از شناسایی اولیهٔ تیپ‌های مرتعی و بررسی تغییرات عوامل محیطی همچون ارتفاع از سطح دریا در تیپ‌های مورد مطالعه، اقدام به نمونه‌برداری از خاک و پوشش گیاهی در طول گرادیان ارتفاعی شد. بدین منظور، از پست‌ترین نقطهٔ منطقه یعنی حاشیهٔ کویر، از جایی که اولین گونه‌های *Seidlitzia rosmarinus* مشاهده شد، اقدام به نمونه‌برداری شد. پس از گذشتن از تپه‌های شنی که تیپ *Calligonum polygonoides* و *Stipagrostis pennata* بود، به دشت‌ها و تپه‌ماهوری‌های پوشیده از *Zygophyllum atriplicoides* رسیده و درنهایت تا ارتفاعات ییلاقی که تیپ *Stipa barbata* بود، نمونه‌برداری ادامه داشت. در هر تیپ مرتعی، یک منطقهٔ معرف انتخاب و در هر منطقه، ۳ ترانسکت به طول ۲۰۰ متر استقرار یافت و در هر ترانسکت، ۲۰ پلات ۴ متر مربعی (درمجموع ۶۰ پلات) به‌صورت تصادفی مستقر شد. اندازه و تعداد پلات براساس مطالعات قبلی موجود در منطقه تعیین شد (فاتحی، ۲۰۱۹؛ خادمی، ۲۰۱۹). به‌منظور انجام آزمون‌های آماری، اندازه و تعداد پلات در تمامی تیپ‌های گیاهی ثابت در نظر گرفته شد. در ابتدا، وسط و انتهای هر ترانسکت، اقدام به نمونه‌برداری از خاک (عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری) شد. نمونهٔ ترکیبی هر ترانسکت به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بیرجند منتقل شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل EC، pH، N، K، Ca، Mg، Na، Cl، بیکربنات‌ها، مادهٔ آلی، آهک، گچ و بافت و رطوبت اشباع خاک با استفاده از دستگاه‌های EC متر، pH متر، کجلدال، اسپکتروفتومتر، کلسیمتر، هیدرومتر بایکاس و روش استون و وزنی تعیین شد. همچنین ارتفاع از سطح دریا در هر ترانسکت توسط GPS تعیین شد.

ویژگی‌های پوشش گیاهی مثل درصد پوشش گیاهی، تراکم، تنوع گونه‌ای آلفا (غنا، ناهمگنی، غالبیت و یکنواختی گونه‌ای) و تنوع گونه‌ای بتا (شاخص تنوع ویتاکر) و توزیع وفور گونه‌ای در هر منطقهٔ معرف با استفاده شاخص‌های عددی (کربس، ۲۰۱۴) تعیین شد (جدول ۱). همچنین وضعیت و گرایش وضعیت مرتع به‌ترتیب به روش چهارفاکتورهٔ اصلاح‌شده و ترازو تعیین شد (ارزانی و عابدی، ۲۰۱۳؛ مقدم، ۲۰۱۴).

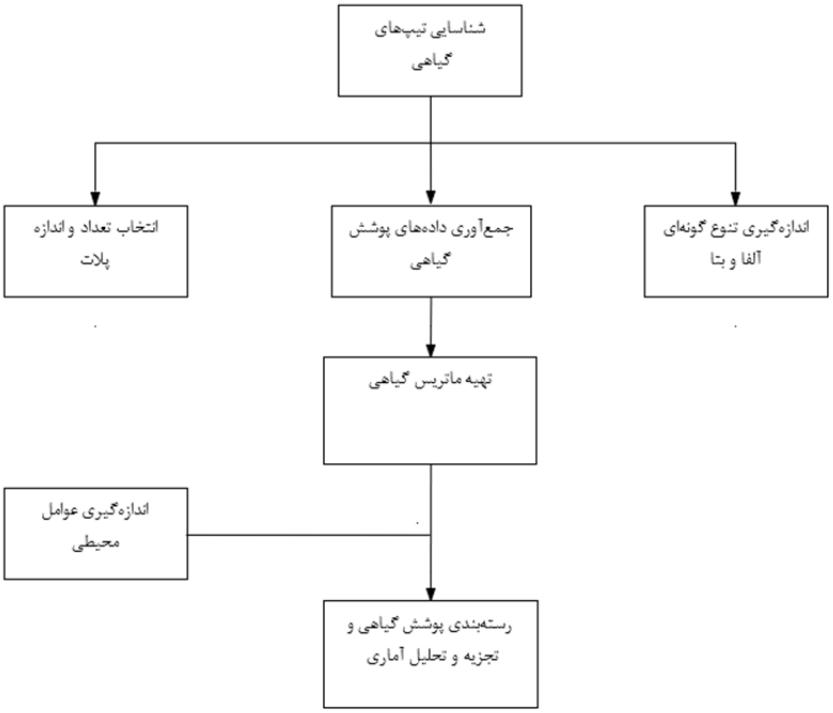
پس از ثبت عوامل محیطی و پوشش گیاهی، نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها توسط آزمون شاپیرو–ویلک و لیون بررسی شد. به‌منظور بررسی اثر تیپ بر خصوصیات مورد مطالعه، از آزمون تحلیل واریانس و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. یکی دیگر از روش‌های ارزیابی تنوع زیستی، علاوه‌بر شاخص‌های عددی، توزیع وفور گونه‌ای است (اجتهادی و همکاران، ۲۰۱۲). معنی‌داری نیکویی برازش هرکدام از مدل‌های توزیع وفور گونه‌ای با داده‌های هر تیپ با استفاده از آزمون کای اسکوئر انجام شد. برای تعیین مؤثرترین عوامل محیطی در پراکنش تیپ‌های گیاهی، از تحلیل رگرسیون چندگانه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. رگرسیون چندگانه، به روش حذف پس‌رونده (Backward) انجام شد؛ بدین ترتیب که ابتدا مدل رگرسیونی کلی که شامل همهٔ عوامل محیطی با درصد پوشش گیاهی بود بررسی شد، سپس پیش‌فرض‌های نرمالیتی، همگنی واریانس‌ها و استقلال خطاها بر روی باقی‌مانده‌های مدل تأیید شدند. همخطی چندگانه با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) بررسی شد. متغیرهایی که بیشترین میزان VIF را داشتند، یکی پس از دیگری حذف شدند و هر بار مدل رگرسیونی بر روی متغیرهای باقی‌مانده انجام شد. این عمل تا زمانی ادامه شد که میزان VIF متغیرهای پیش بین کمتر از ۵ باشد. معنی‌داری ضرایب رگرسیون چندگانه با استفاده از مقدار t بررسی شد. مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر درصد پوشش گیاهی براساس ضریب استانداردشده (β) تعیین شد. همچنین برای تعیین مؤثرترین عوامل محیطی در پراکنش تیپ‌های گیاهی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. قبل از تحلیل، متمرکزسازی و استانداردسازی بر روی ماتریس عوامل محیطی انجام شد. به‌منظور تعیین مهم‌ترین مؤلفه‌ها، از Scree plot استفاده شد. به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل محیطی با هرکدام از محورهای PCA، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. تمام آزمون‌های آماری توسط نرم‌افزار R انجام شد (R Core Team, 2021). همهٔ مراحل پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): فرمول شاخص‌های تنوع آلفا، بتا و تشابه گونه‌ای (اقتباس از کربس، ۲۰۱۴)

Table (1): The formula of alpha, beta and species similarity indices (Adapted from Krebs, 2014)

	مؤلفه	نام شاخص	رابطه	حدود
تنوع گونه‌ای آلفا	غنای گونه‌ای	چائو۱	$S_1 = S_{obs} + \frac{F_1^2}{2F_2}$	۰–∞
		منهینیک	$D_{mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	۰–∞
		مارگالف	$D_{mg} = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$	۰–∞
	ناهمگنی گونه‌ای	شانون–وینر	$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \, LnP_i$	۴–۰/۵
		سیمپسون	$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^{S} p_i^2$	۱–۰
	یکنواختی گونه‌ای	پیلو	$J' = H' / \ln(S)$	۱–۰
	غالبیت گونه‌ای	سیمپسون	$D = \sum_{i=1}^{S} p_i^2$	۱–۰
		برگر–پارکر	$BP = \frac{n_{max}}{N}$	۱–۰
تنوع گونه‌ای بتا	–	ویتاکر	$B_w = \frac{(b+c)}{(2 \times a + b + c)}$	۱–۰

S_{obs}: تعداد گونه‌های مشاهده‌شده، F_1: تعداد گونه‌های تک‌عضوی (تعداد گونه‌هایی با یک حضور در پلات)، F_2: تعداد گونه‌های دوعضوی (تعداد گونه‌هایی با دوبار حضور در پلات)، S: تعداد کل گونه، Nma: تعداد پایهٔ فراوان‌ترین گونه، N: تعداد کل پایه‌ها در نمونه، P_i: نسبت پایه‌ها در گونهٔ iام، a: تعداد گونه‌های مشترک بین دو سایت، b: تعداد گونه‌های منحصربه‌فرد سایت ۱، c: تعداد گونه‌های منحصربه‌فرد سایت ۲



شکل (۲): نمایش گرافیکی از مراحل تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی و عوامل محیطی

Figure (2): Graphical representation of stages of vegetation environmental factors analysis

نتایج

خصوصیات تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه در طول گرادیان ارتفاعی در جدول (۲) ارائه شده است. وضعیت مرتع تیپ حاشیهٔ پلایا (*Seidlitzia rosmarinus*) ضعیف و گرایش آن منفی است. وضعیت و گرایش وضعیت مرتع تیپ‌های گیاهی شنزار (*Calligonum polygonoides* و *Stipagrostis pennata*) متوسط و ثابت است. در مراتع ییلاقی (*Stipa barbata*)، وضعیت مرتع در طبقهٔ عالی و گرایش آن مثبت ارزیابی شد.

جدول (۲): موقعیت، ترکیب گونه‌ای، وضعیت و گرایش وضعیت مراتع تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

Table (2): Geographical location, species composition, range condition and range trend of plant types studied

نام تیپ	طول و عرض جغرافیایی	سهم سه گونه غالب (درصد)	وضعیت مرتع	گرایش وضعیت مرتع
Seidlitzia rosmarinus	۵۷° ۴۵′ ۳۹″ ۳۴° ۱۳′ ۶″	*Seidlitzia rosmarinus* (۴۲/۱۸) *Haloxylon ammodendron* (۱۷/۱۵) *Tribulus terrestris* (۱۲/۵۰)	ضعیف	منفی
Zygophyllum atriplicoides	۵۷° ۴۴′ ۵۸″ ۳۴° ۱۲′ ۳۲″	*Bromus tectorum* (۲۸) *Poa bulbosa* (۱۲) *Zygophyllum atriplicoides* (۸/۶۶)	خوب	ثابت
Calligonum polygonoides	۵۷° ۴۵′ ۱۸″ ۳۴° ۱۲′ ۵۱″	*Carex halleriana* (۶۹/۲۰) *Calligonum polygonoides* (۵/۲۸) *Salsola richteri* (۴/۹۸)	متوسط	ثابت
Stipagrostis pennata	۵۷° ۴۵′ ۲۲″ ۳۴° ۱۲′ ۴۶″	*Carex halleriana* (۷۷/۴۲) *Stipagrostis pennata* (۱۲/۷۴) *Heliotropium aucheri* (۱/۹۳)	متوسط	ثابت
Stipa barbata	۵۸° ۱۹′ ۹″ ۳۴° ۸′ ۲۱″	*Bromus tomentellus* (۲۷/۰۹) *Rosa persica* (۱۴/۶۳) *Stipa barbata* (۱۱/۰۳)	عالی	مثبت

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر تیپ بر تمام ویژگی‌های پوشش گیاهی مورد مطالعه در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (جدول ۳). با مقایسهٔ ضریب تغییرات (CV) بین ویژگی‌های پوشش گیاهی مورد مطالعه می‌توان مشاهده کرد که اگرچه بین ویژگی‌های پوشش گیاهی تغییرات زیادی مشاهده نمی‌شود، تراکم گیاهی، بیشترین CV و یکنواختی گونه‌ای کمترین میزان CV را در بین تیپ‌های مورد مطالعه داشته است.

جدول (۳): نتیجهٔ آزمون تحلیل واریانس در بررسی اثر تیپ بر ویژگی‌های پوشش گیاهی

Table (3): The result of analysis of variance in the study of the effect of type on vegetation characteristics

	F	p.value	CV
پوشش گیاهی	۱۱/۷۱	**۰/۰۰۰	۲۸/۴۲
تراکم گیاهی	۱۷/۱۴	**۰/۰۰۰	۳۷/۴۱
تعداد گونه	۱۴/۹۳	**۰/۰۰۰	۲۱/۳۸
غنای منیهنیک	۱۱/۲۱	**۰/۰۰۰	۱۷/۳۱
غنای مارگالف	۱۲/۱۷	**۰/۰۰۰	۱۹/۲۸
غنای چائو۱	۶/۲۱	**۰/۰۰۰	۳۳/۷۴
غالبیت سیمپسون	۹/۱۵	**۰/۰۰۰	۳۲/۵۶
غالبیت برگر-پارکر	۹/۰۰	**۰/۰۰۰	۲۵/۷۲
یکنواختی پیلو	۱۴/۳۱	**۰/۰۰۰	۱۷/۲۵
تنوع شانون	۱۱/۳۱	**۰/۰۰۰	۲۰/۰۸
تنوع سیمپسون	۹/۱۵	**۰/۰۰۲	۱۹

**= معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، *= معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ns= غیرمعنی‌دار

نتایج مقایسهٔ میانگین‌های توکی نشان می‌دهد که بیشترین درصد پوشش گیاهی در تیپ *St. ba* در منطقهٔ کوهستانی (۳۱/۷ درصد) و کمترین درصد پوشش گیاهی در تیپ *Se. ro* در حاشیهٔ کویر (۱۰/۲) است. تیپ *St. pe* در تپه‌های شنی بیشترین تراکم گونه‌ای (۱۹۳۷۵ پایه در هکتار) و تیپ *Se. ro* کمترین تراکم گونه‌ای (۲۰۰۰ پایه در هکتار) را دارد. نتایج مقایسهٔ شاخص‌های غنای گونه‌ای (تعداد گونه و مارگالف) نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا بر غنای گونه‌ای افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که کمترین غنای گونه‌ای در تیپ *Se. ro* و بیشترین غنای گونه‌ای در تیپ *St. ba* ثبت شده است. نتایج نشان می‌دهد که غالبیت گونه‌ای متأثر از ارتفاع از سطح دریا نیست و تیپ‌های شنی (*St. pe* و *Ca. po*) از غالبیت گونه‌ای (شاخص غالبیت سیمپسون) بالاتری برخوردارند. برعکس غالبیت گونه‌ای، مؤلفهٔ یکنواختی گونه‌ای در تیپ‌های شنی کمتر از سایر تیپ‌هاست. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، تنوع گونه‌ای افزایش پیدا می‌کند، اما نه به‌صورت خطی (جدول ۴).

جدول (۴): مقایسهٔ میانگین‌های ویژگی‌های پوشش گیاهی و شاخص‌های تنوع زیستی در تیپ‌های مورد مطالعه

Table (4): Comparison of the mean properties of vegetation and biodiversity indices in the studied types

نام تیپ	درصد پوشش گیاهی	تراکم گیاهی	تعداد گونه	غنای مارگالف	غالبیت سیمپسون	یکنواختی پیلو	تنوع شانون
Se. ro	۱۰/۲ b	۲۰۰۰ c	۴/۴ c	۱/۳۰ d	۰/۳۳ bc	۰/۸۵ a	۱/۲۷ b
Zy. at	۱۴/۸ b	۴۶۷۵ c	۹/۸ b	۲/۴۲ ab	۰/۲۱ c	۰/۸۴ a	۱/۸۵ a
Ca. po	۱۸/۲ ab	۱۰۶۵۰ b	۹/۲ b	۱/۹۲ bc	۰/۴۳ ab	۰/۵۸ bc	۱/۳۰ b
St. pe	۱۷/۶ ab	۱۹۳۷۵ a	۹/۴ b	۱/۷۰ cd	۰/۶۱ a	۰/۳۹ c	۰/۸۸ b
St. ba	۳۱/۷ a	۱۳۰۲۵ ab	۱۴/۲ a	۲/۸۸ a	۰/۲۴ c	۰/۷۳ ab	۱/۹۲ a

مقادیر دارای حروف متفاوت در هر ستون در سطح ۰/۰۵ دارای اختلاف معنی‌دارند.

در این پژوهش، علاوه‌بر تنوع گونه‌ای آلفا (تعداد گونه در تیپ)، تفاوت و تشابه بین ترکیب گونه‌ای بین تیپ‌ها (تنوع بتا و ضریب تشابه) محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، از تیپ اول (Se. ro) تا تیپ آخر (St. ba) حدود ۹۵ درصد گونه‌های گیاهی تغییر پیدا کرده‌اند؛ حتی بین تیپ‌های تپه شنی و نواحی کوهستانی نیز حدود ۹۵ درصد تغییر ترکیب گونه‌ای وجود دارد. کمترین تغییرات بین دو تیپ تپه شنی Ca. po و St. pe (۰/۲۹) مشاهده می‌شود (جدول ۵).

جدول (۵): شاخص تنوع بتای ویتاکر بین تیپ‌های مورد مطالعه

Table (5): Whitaker beta diversity index between the studied types

تیپ‌های گیاهی	*Se. ro*	*Zy. at*	*Ca. po*	*St. pe*	*St. ba*
Se. ro	۰	۰/۶۷	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۹۵
Zy. at	–	۰	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۷۱
Ca. po	–	–	۰	۰/۲۹	۰/۹۵
St. pe	–	–		۰	۰/۸۷
St. ba	–	–	–	–	۰

نتایج آزمون نکویی برازش (کای‌اسکوئر) نیز نشان می‌دهد که تیپ‌های *Se. ro*، *Zy. at* و *St. ba* بیشترین تطابق را با سری لگاریتمی و تیپ‌های *Ca. po* و *St. pe* با مدل لوگ–نرمال تطابق دارند (جدول ۶).

جدول (۶): آزمون نیکویی برازش (کای‌اسکوئر) تطابق توزیع وفور گونه‌ای با سه توزیع آماری رایج در اکولوژی

Table (6): goodness-of-fit test (chi-square) matching the species abundance distribution with three common statistical distributions in ecology

تیپ‌های گیاهی	سری هندسی		سری لگاریتمی		سری لوگ نرمال	
	χ2	P value	χ2	P value	χ2	P value
Se. ro	۳/۴۵	۰/۴۹	۲/۰۲	۰/۷۳	۲/۲۳	۰/۱۳
Zy. at	۸۲۵/۷	**۰/۰۰	۱۸۴/۷	**۰/۰۰	۱/۶۹	۰/۴۲
Ca. po	۴۷۱۴	**۰/۰۰	۵۱۸/۱	**۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۶۲
St. pe	۱۸/۸۷	۰/۰۶	۷/۰۶	۰/۸۵	۳/۸۷	۰/۱۴
St. ba	۸۱/۵۳	**۰/۰۰	۱۲/۸۳	۰/۸۰	۵/۴۹	۰/۱۴

**= معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، *= معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ns= غیرمعنی‌دار

نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان می‌دهد که اثر تیپ بر اکثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه به‌جز درصد مادهٔ آلی، درصد ازت و درصد آهک خاک در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است (جدول ۷). نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها به روش توکی نشان می‌دهد که بیشترین میزان املاح و عناصر شامل هدایت الکتریکی، سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، بیکربنات‌ها و گچ در تیپ گیاهی *Se. ro* مشاهده شد و بین چهار تیپ *Ca. po*، *St. pe*، *Zy. at* و *St. ba* از این لحاظ تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد ($p\geq0.05$). بیشترین درصد رطوبت اشباع و سیلت در تیپ *St. ba* مشاهده شد. ارتفاع از سطح دریا، تنها عاملی بود که در تمامی تیپ‌های گیاهی با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری داشتند.

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از تحلیل رگرسیون چندگانه استفاده شد. پس از حذف عوامل محیطی با VIF بالا، از بین متغیرهای مطالعه‌شده، تنها رطوبت اشباع، قلیائیت، منیزیم، مادهٔ آلی، ازت، آهک، گچ، شن و ارتفاع در معادلهٔ رگرسیونی باقی ماند. نتایج نشان می‌دهد که رابطهٔ خطی معنی‌داری بین عوامل محیطی و درصد پوشش گیاهی با ضریب تعیین ۰/۷۹ وجود دارد (۰/۰۰۱ ≥pو ۶/۱۳ :F). از بین عوامل محیطی، ارتفاع از سطح دریا، تنها عاملی بود که ضریب رگرسیونی آن معنی‌دار شده و در معادله باقی می‌ماند؛ همچنین داری بیشترین ضریب تأثیر (β=۰/۵۳) است. ازاین‌رو ارتفاع از سطح دریا بیشترین تأثیر را بر درصد پوشش گیاهی دارد (جدول ۸).

جدول (۷): نتیجهٔ آزمون تحلیل واریانس در بررسی اثر تیپ بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌همراه مقایسهٔ میانگین‌ها

Table (7): The result of the analysis of variance in the study of the effect of type on the physical and chemical properties of the soil along with the comparison of the averages

	رطوبت اشباع (درصد)	قلیائیت	هدایت الکتریکی (dS/m)	سدیم (meq/lit)	کلر (meq/lit)	کلسیم (meq/lit)	منیزیم (meq/lit)	مادهٔ آلی (درصد)
F	۴/۱۸	۵/۱۵	۳/۶۶	۳/۸۸	۳/۴۲	۳/۶۲	۳/۲۴	۱/۱۵
p.value	**۰/۰۱	**۰/۰۰۵	*۰/۰۲	*۰/۰۲	*۰/۰۳	*۰/۰۲	*۰/۰۳	ns۰/۳۶
CV	۱۳/۰۲	۱/۲۹	۱۹۰/۷۷	۱۹۱/۴۲	۱۹۹/۵۷	۱۸۸/۴۷	۱۸۲/۷۸	۲۰/۷۱
Se.ro	ab۲۹/۲	bv۷/۹۲	a۱۸/۱۹	a۱۲۵/۶۸	a۱۰۱	a۳۷/۲۳	a۱۵/۵۸	۰/۲۰
Ca.po	c۲۴/۲	a۸/۱	b۱/۰۷	bv۷/۱۶	b۵/۶۵	b۱/۹۳	b۰/۸۷	۰/۲۲
St.pe	bc۲۵/۴	a۸/۱	b۱/۱۴	bv۷/۳۷	b۵/۷۷	b۲/۵۱	b۱/۲۸	۰/۲۴
Zy.at	abc۲۷/۸	a۸/۱	b۳/۷۲	b۲۴/۵۹	b۱۸/۸۱	bv۷/۹۷	bv۳/۷۹	۰/۱۹
St.ba	a۳۰/۶	a۸/۰۶	b۲/۶۱	b۱۷/۱۷	b۱۴/۴۱	b۵/۷۵	b۲/۸۰	۰/۲۰

ادامهٔ جدول ۷

	ازت (درصد)	پتاسیم (meq/lit)	بیکربنات‌ها (meq/lit)	آهک (درصد)	گچ (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	ارتفاع (متر)
F	۲/۲۷	۳/۶۲	۵/۵۴	۱/۵	۱۴/۴۰	۶/۴۸	۶/۳۶	۴/۲۶	۱۵/۴۰
p.value	^{ns}۰/۱۰	*۰/۰۲	**۰/۰۰۴	^{ns}۰/۲۴	**۰/۰۰۰	**۰/۰۰۲	**۰/۰۰۲	**۰/۰۱	**۰/۰۰
CV	۲۱/۸۰	۷۴/۶۴	۹۰/۲۳	۱۹/۵۵	۵۹/۵۵	۲۰/۴۱	۷۴/۱۳	۸۲/۶۴	۲۵/۴۵
Se.ro	۰/۰۰۹	a۱/۹۸	a۵/۱۳	۱۲/۵۰	a۲/۷۱	b۶۶/۴	a۱۹/۶	a۱۴	e۹۵۳/۴
Ca.po	۰/۰۱	b۰/۶۲	b۱/۳۳	۱۱	b۰/۸۸	a۹۵/۶	b۲/۴	c۲	d۱۰۰۳
St.pe	۰/۰۱	b۰/۶۴	b۱/۱۹	۱۱/۵۰	b۰/۸۲	a۸۸	bv۷/۶	bc۴/۴	c۱۰۵۲/۴
Zy.at	۰/۰۰۹	b۱/۰۳	b۲/۳۲	۱۰	b۱/۴۰	bv۷۱/۶	a۲۰/۴	abc۸	b۱۲۶۸
St.ba	۰/۰۱	b۰/۹۶	b۱/۵۰	۱۳	b۱/۱۰	b۶۸	a۲۱/۲	ab۱۰/۸	a۱۷۷۳

**= معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، *= معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. حروف مشابه در ستون نشانهٔ عدم اختلاف معنی‌داری است.

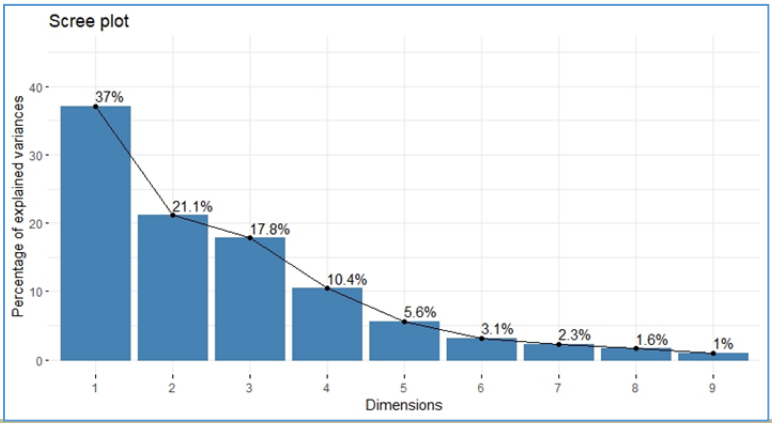
جدول (۸): ضرایب رگرسیون و عامل تورم واریانس (VIF) معادلهٔ رگرسیونی بین عوامل محیطی و درصد پوشش گیاهی

Table (8): Regression coefficients and variance inflation factor (VIF) of the regression equation between environmental factors and vegetation monitoring

	برآورد	SE	β	t value	Pr(>|t|)	VIF
مقدار ثابت	−۶۲/۷۳	۱۶۲/۹۳		−۰/۳۸	۰/۷۰	۳/۵۸
رطوبت اشباع	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۲۵	۱/۰۹	۰/۲۹	۳/۳۲
قلیائیت	۴/۸۲	۱۸/۳۱	۰/۰۵۷	۰/۲۶	۰/۷۹	۴/۰۹
منیزیم	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۷۶	۰/۳۱	۰/۷۶	۲/۵۵
ماده آلی	−۲۱/۹۹	۳۸/۴۴	−۰/۱۱	−۰/۵۷	۰/۵۶	۲/۷۶
ازت	۱۲۰۸/۶	۷۵۸/۲۴	۰/۳۲	۱/۵۹	۰/۱۳	۱/۱۴
آهک	۰/۷۶	۰/۴۹	۰/۲۰	۱/۵۴	۰/۱۴	۵/۴۶
گچ	−۴/۱۸	۲/۹۷	−۰/۳۹	−۱/۴۱	۰/۱۸	۵/۵۴
شن	−۰/۰۵	۰/۱۵	−۰/۰۹	−۰/۳۳	۰/۷۵	۲/۵۹
ارتفاع	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۵۳	۲/۷۴	*۰/۰۱	۳/۵۸

SE باقی‌مانده: ۵/۱۲، ضریب تعیین چندگانه: ۰/۷۹، ضریب تعیین تطبیق‌یافته: ۰/۶۶، آمارهٔ F: ۶/۱۳ (از درجهٔ آزادی ۹ و ۱۵)، p-value: ۰/۰۰۱

نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان می‌دهد که سه محور اول به‌ترتیب با مقادیر ویژهٔ ۳/۳۲، ۱/۹۰ و ۱/۶۰، و درصد واریانس توجیه‌شدهٔ ۳۷، ۲۱/۱ و ۱۷/۸، درمجموع ۷۵/۹۲ درصد تغییرات پراکنش تیپ‌های گیاهی را توجیه می‌کنند (جدول ۹ و شکل ۳).



شکل (۳): نمودار Scree plot؛ نمایش درصد واریانس توضیح‌داده‌شده توسط مؤلفه‌های اصلی

Figure (3: Scree plot; Display the percentage of variance explained by the principal components

نتایج ضریب همبستگی هرکدام از متغیرها با سه مؤلفهٔ اول نشان می‌دهد که گچ، منیزیم، قلیائیت و شن بیشترین همبستگی را با مؤلفهٔ اول و ارتفاع از سطح دریا، رطوبت اشباع و شن با مؤلفهٔ دوم و مادهٔ آلی و ازت با مؤلفهٔ سوم دارند.

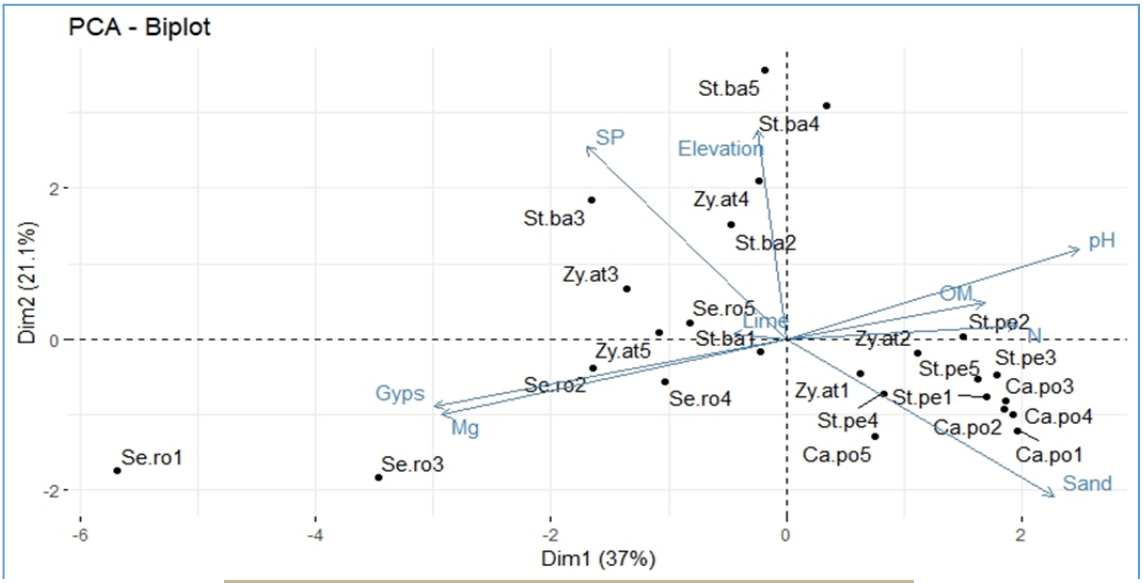
جدول (۹): مقادیر ویژه، درصد واریانس و ضرایب همبستگی هرکدام از عوامل محیطی با سه مؤلفهٔ اول

Table (9): Eigenvalues, percentage of variance and correlation coefficients of each of the environmental factors with the first three components

	محور ۱	محور ۲	محور ۳
مقدار ویژه	۳/۳۲	۱/۹۰	۱/۶۰
درصد واریانس	۳۷/۰۲	۲۱/۱۱	۱۷/۷۹
درصد واریانس تجمعی	۳۷/۰۲	۵۸/۱۳	۷۵/۹۲
رطوبت اشباع	*-۰/۵۰	**۰/۷۵	۰/۲۶
قلیائیت	**۰/۷۳	۰/۳۵	-۰/۲۸
منیزیم	**-۰/۸۶	-۰/۳۰	۰/۱۹
مادهٔ آلی	*۰/۴۹	۰/۱۴	**۰/۷۳
ازت	**۰/۵۸	۰/۰۵	**۰/۷۰
آهک	-۰/۱۳	۰/۰۲	*-۰/۴۲
گچ	**-۰/۸۸	-۰/۲۶	۰/۱۹
شن	**۰/۶۷	**-۰/۶۱	-۰/۲۶
ارتفاع	۰/۰۷	**۰/۸۱	-۰/۳۴

**= معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، *= معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

نمودار دوپلاتی تیپ‌های گیاهی و عوامل محیطی (شکل ۴) نشان می‌دهد که ویژگی‌هایی مثل گچ و منیزیم خاک باعث حضور گونه‌های تیپ *Se. ro* شدند. ارتفاع و رطوبت اشباع خاک در پراکنش تیپ‌های *Zy. at* و *St. ba* در مناطق کوهستانی تأثیرگذارند. عامل شن باعث پراکنش تیپ‌های گیاهی *Ca. po* و *St. pe* شده است.



شکل (۴): نمودار دوپلاتی تیپ‌های گیاهی و عوامل محیطی در منطقهٔ مورد مطالعه

Figure (4): Biplot of plant types and environmental factors in the study area

Sand: شن، pH: قلیائیت، Elevation: ارتفاع از سطح دریا، OM: مادهٔ آلی، SP: رطوبت اشباع، N: ازت، Gyps: گچ، Mg: منیزیم، Lime: آهک

Se.ro :Seidlitzia rosmarinus ،Zy.at :Zygophyllum atriplicoides ،Ca.po :Calligonum polygonoides ،St.pe :Stipagrostis pennata ،St.ba :Stipa barbata

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، درصد پوشش گیاهی، تعداد گونه، غنای گونه‌ای و تنوع گونه‌ای افزایش یافت. همچنین از بین ویژگی‌های مورد مطالعه، تراکم گونه‌ای و غالبیت گونه‌ای در ارتفاعات متوسط (یعنی تیپ‌های شنزار) به اوج رسید.

گرادیان دومی که ویژگی‌های پوشش گیاهی را تحت‌تأثیر قرار می‌داد، گرادیان خصوصیات شیمیایی خاک بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین میزان املاح و عناصر شامل هدایت الکتریکی، سدیم، کلر، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، بیکربنات‌ها و گچ در تیپ گیاهی Se. ro مشاهده شد. همچنین نشان داد که کمترین میزان و کمترین درصد پوشش گیاهی، تراکم گیاهی و تعداد در تیپ Se. ro با متوسط شوری ۱۹/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر بود و در تیپ‌های Ca. po ، St. pe و Zy. at که مشکل شوری ندارند (کمتر از ۳ دس‌زیمنس بر متر)، به‌لحاظ پوشش گیاهی و تعداد گونه با یکدیگر تفاوتی معنی‌داری ندارند. بنابراین می‌توان گفت که هرچه از حاشیهٔ کویر دورتر می‌شویم، به درصد پوشش و تراکم گیاهی و غنای گونه‌ای افزوده می‌شود. نتایج با نتایج بررسی گرادیان شوری مناطق خشک و بیابانی خراسان جنوبی مطابقت دارد نتایج نشان می‌دهد که تنوع و غالبیت گونه‌ای تحت تأثیر شوری خاک قرار دارد (رستم‌پور و همکاران، ۲۰۱۷). خاک‌های شور نه‌تنها عموماً از لحاظ غنا و تراکم گیاهی فقیرند، بلکه نوع گیاهانی که در آن‌ها می‌رویند نیز نامرغوب‌اند و اغلب دارای ارزش غذایی چندانی نیستند (مقدم، ۲۰۱۴). وجود گونه‌های هالوفیت *Se. ro*، *Haloxylon ammodendron* و *Salsola tomentosa*، در تیپ حاشیه کویر، خود مؤید این مطلب است.

اگرچه درصد گچ خاک در منطقهٔ مورد مطالعه بالا نبود، پراکنش تیپ‌های گیاهی تحت‌تأثیر این عامل قرار داشت. نتایج ربیع‌زاده و نصراللهی (۲۰۲۲) نشان داد که پراکنش سه گونهٔ فوق، تحت‌تأثیر گچ و ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. گیاهان در خاک‌های گچی به مانند خاک‌های شور، تحت سه تنش هم‌زمان اسمزی، سمیت عناصر غذایی و خشکی فیزیولوژیک قرار می‌گیرند (جعفری و طویلی، ۲۰۱۹)؛ به‌طوری‌که افزایش گچ خاک، با بر هم زدن تعادل عناصر غذایی، موجب افزایش کلسیم و منزیم خاک شده و باعث کمبود عناصر غذایی ضروری مانند ازت و فسفر می‌شود (ربیع‌زاده و نصراللهی، ۲۰۲۲). اوچوترانا[1] و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند گچ چالشی برای رشد، پراکنش و تکامل گیاهان محسوب می‌شود. علاوه‌بر بالا بودن گچ، بالا بودن سطح سفرهٔ آب زیرزمینی و شوری خاک دو ویژگی بارز اراضی مساعد برای گسترش Se. ro است (باغستانی میبدی و زارع، ۲۰۰۹). نتایج پژوهش حاضر با نتیجهٔ خلاصی اهوازی و زارع چاهوکی (۲۰۱۶) مطابقت ندارد. آن‌ها میزان شوری رویشگاه Se. ro در شرق استان سمنان را ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ دسی زیمنس بر متر و میزان ارتفاع از سطح دریا را ۱۶۰۰ تا ۱۷۵۰ متر گزارش کردند؛ درحالی‌که در منطقهٔ مورد مطالعه شوری بین ۳ تا ۴۸ دسی زیمنس بر متر و ارتفاع از سطح دریا ۹۴۰ تا ۹۵۰ متر متغیر بود. همچنین در پژوهش خلاصی اهوازی و زارع چاهوکی (۲۰۱۶)، پراکنش Se. ro با میزان آهک خاک بیشترین رابطه را داشت؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر، آهک هیچ تأثیری در پراکنش این گونه نداشته است. این نشان می‌دهد که دامنهٔ اکولوژیک گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و بیابانی وسیع است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیپ‌های ساموفیت که بیشترین تراکم گیاهی را دارد، از تنوع گونه‌ای کمتری برخوردارند. محققان معتقدند که تپه‌های شنی با وجود آب‌وهوای بسیار خشک، از درصد پوشش و تراکم گیاهی نسبتاً خوبی از گیاهان چوبی و درختچه‌ای برخودارند؛ علت این امر، قابلیت نفوذ بیشتر آب و تبخیر کمتر آب در ماسه‌زارهاست (مقدم، ۲۰۱۴؛ کیائو و همکاران، ۲۰۲۱). الشیخ[2] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی در بیابان نفود عربستان سعودی نتیجه گرفتند که تیپ گیاهی *Haloxylon salicornicum* که تیپ آن در تپه‌های شنی است، بیشترین تنوع گونه‌ای (یعنی غنای گونه‌ای، یکنواختی گونه‌ای و تنوع گونه‌ای شانون) و تیپ گیاهی Ca. po که در تیپ‌های خیلی خشک حضور دارد، کمترین مقادیر شاخص‌های تنوع گونه‌ای را دارد. اگرچه در منطقهٔ غرب فردوس، تیپ‌های Ca. po و St. pe از نوع تپه‌های

1. Ochoterena
2. Sheikh-El

شنی تثبیت شده بودند، برخی از پژوهش‌ها بیان می‌کنند که ترکیب و تنوع گونه‌ای براساس نوع ثابت یا متحرک بودن تپه‌ها نیز تغییر می‌کند. برای نمونه ژنگ و همکاران (۲۰۲۲) معتقدند که تیپ تپه‌های شنی تثبیت‌شده و نیمه‌تثبیت‌شده نسبت به تپه‌های شنی متحرک بیشتر در معرض خشکسالی دائمی هستند که این مسئله، رشد، توسعه و مهاجرت گونه‌ها را محدود می‌کند و سرعت مهاجرت گونه‌ها را کاهش می‌دهد و از این طریق بر تنوع گونه‌ای تأثیرگذار است. علی (۲۰۱۶) معتقد است که تنوع گونه‌های گیاهی با مراحل تشکیل‌های تپه های ماسه‌ای مرتبط است. برای مثال، جوامع پیشگام دارای پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای کم هستند، تپه‌های شنی جوان دارای پوشش کم اما با تنوع متوسط و تپه‌های شنی قدیمی دارای پوشش گیاهی بیشتری هستند.

امروزه سیمای سرزمین تپه‌های شنی از خدماتی اکوسیستمی همچون معدن، تولید دام، سایت‌های حفاظت از تنوع زیستی و شرکت‌های درحال‌توسعه مانند گردشگری، زیست‌محیطی و فرهنگی پشتیبانی می‌کنند. فشارهای ناشی از این فعالیت‌ها و همچنین سیاست‌های نامناسب نگرانی‌هایی را در رابطه با مدیریت کلی و پایداری منابع در این مناطق آسیب‌پذیر ایجاد کرده است (جوری، ۲۰۲۲). ابراهیمی خوسفی و زارعی (۲۰۲۰) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که حساسیت منطقهٔ کم‌تراکم (مرتع‌فقیر) به خشکسالی بیشتر از پوشش‌های گیاهی متراکم (زمین‌های کشاورزی) است؛ زیرا مهم‌ترین منبع تأمین آب مراتع طبیعی، نزولات جوی است که به‌دلیل وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر کاهش یافته است. در پژوهش حاضر نیز اگرچه تیپ تپه‌های شنی از تراکم گیاهی بالاتری برخوردارند، تراکم بالا مربوط به گونه‌های یک‌ساله‌ای مثل *Carex halleriana* است که به خشکسالی حساس بوده و در سال ۱۴۰۱ که استان خراسان جنوبی و منطقهٔ مورد مطالعه در خشکسالی بی‌سابقه‌ای قرار داشت، به کل از مرتع حذف شده بودند (رستم‌پور، ۲۰۲۲).

در پژوهش حاضر، علاوه‌بر محاسبهٔ شاخص‌های تنوع آلفا، تنوع بتا نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که تنوع بتای منطقهٔ مورد مطالعه بسیار بالاست؛ این نشان از تغییرات شدید ترکیب گونه‌ای از ابتدای گرادیان تا انتهای گرادیان‌های مورد مطالعه دارد. مشابه با نتیجهٔ این پژوهش، پژوهشگرانی نشان دادند که با افزایش ارتفاع، تنوع بتا افزایش پیدا کرد (نانـدا[1] و همکاران، ۲۰۲۱)، و برعکس نتیجهٔ پژوهش حاضر، نتایج سباتینی[2] و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با افزایش ارتفاع، تنوع بتا کاهش پیدا می‌کند. ازآنجاکه بین تیپ هالوفیت (Se. ro) و ساموفیت (Ca. po) با پتروفیت (St. ba) بیشترین میزان تنوع بتا وجود دارد، به نظر می‌رسد که شوری و درصد شن خاک، بیشتر از عامل ارتفاع، در تنوع بتا مؤثر باشند.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی تنوع زیستی، مطالعهٔ توزیع وفور گونه‌ای است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمامی تیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ توزیع وفور گونه‌ای، با سری لوگ–نرمال مطابقت دارند. اولریچ[3] و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعهٔ خود در مورد پوشش گیاهی استپ مصر دریافتند که مدل لوگ–نرمال تمایل دارد در طیف وسیع‌تری از شرایط محیطی، ازجمله زیستگاه‌های شدیدتر مانند محیط‌های خشک، غالب شود. در پژوهش حاضر، تیپ Se. ro تنها تیپی بود که با سری هندسی مطابقت دارد. این مدل نشان‌دهندهٔ تیپ گیاهی نابالغ، وضعیت ضعیف و در معرض فشار است که نیازمند حفاظت و حمایت‌اند (اجتهادی و همکاران، ۲۰۱۲؛ اسلامی و همکاران، ۲۰۱۹)، درنهایت، پژوهش حاضر نشان داد که ویژگی‌های پوشش گیاهی و تنوع زیستی، عکس‌العمل‌های متفاوتی در طول گرادیان ارتفاعی نشان می‌دهند؛ بنابراین وضعیت ترسالی و خشکسالی در سال‌های پیش رو، وضعیت تنوع زیستی منطقه را طوری دیگر رقم خواهد زد و بررسی این مهم، نیازمند مطالعات درازمدت ارزیابی (اندازه‌گیری و پایش) پوشش گیاهی است؛ که این پژوهش، گام اولیه برای این منظور به شمار می‌رود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۲۱۹۴۸/د/۱۴۰۰ است که با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه بیرجند انجام شده است.

1. Nanda
2. Sabatini
3. Ulrich

منابع

1. Ali, M. (2016). *Plant life on the Desert sand dune Ecosystem. Vegetation Ecology of the Aeolian Deposits in some selected Coastal and Inland Areas in Egypt*. LAP Lambert Academic Publishing. 200 p.
2. Arzani, H., & Abedi, M. (2013). *Rangeland Assessment Survey and Monitoring*. University of Tehran Press.
3. Baghestani Maybodi, N., & Zare, M. T. (2009). Some Ecological Requirements and Exploitation of Seidlitzia rosmarinus in the Desert Region of Yazd Province. *Environmental Sciences*, 6(3), 31-42.
4. Dong, S., Lassoie, J.P., Wen, L., Zhu, L., Li, X., Li, J. & Li, Y. (2012). Degradation of rangeland ecosystems in the developing world: tragedy of breaking coupled human natural systems. *International Journal of Sustainable Society*, 4, 357-371.
5. Ebrahimi-Khousfi, Z., & Zarei, M. (2020). The relationship between meteorological drought and vegetation destruction using climate and satellite data in a semi-arid environment. *Rangelands Science Journal*, 10(2), 204-217.
6. Ejtehadi, H., Sepehri, A. & Akafi, H.R. (2012). Biodiversity measurement methods. Mashhad: Ferdowsi University Press.
7. El-Sheikh, A., Thomas, J., Arif, I. A., & El-Sheikh, H. M. (2021). Ecology of inland sand dunes "nafuds" as a hyper-arid habitat, Saudi Arabia: Floristic and plant associations diversity. *Saudi journal of biological sciences*, 28(3), 1503–1513.
8. Eslami, H., Motamedi, J., Nazarnejad, H., & SheidayeKarkaj, E. (2019). Investigating the relationship between range condition of plant types and species diversity. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(3), 613-628.
9. Fatehi, M. (2019). *Investigating the relationship between soil nutrients and halophyte and psammophyte plants in rangeland of west Ferdows, South Khorasan province*. MSc thesis, University of Birjand.
10. Huang, W., Wang, W., Cao, M., Fu, G., Xia, J., Wang, Z., & Li, J. (2021). Local climate and biodiversity affect the stability of China's grasslands in response to drought. *Science of the Total Environment* 10, 768, 145482.
11. Jafari, M. & Rostampour, M. (2019). Soil - Plant Relationships: Ecology, Statistics and analysis (Vol. 1). Tehran: University of Tehran Press.
12. Jafari, M., & Tavali, A. (2019). *Revitalization of dry and desert areas*. 5th Edition. Tehran University Press.
13. Jouri, M. H. (2022). Sand Dunes of the Northern Hemisphere Distribution, Formation, Migration and Management. *Journal of Rangeland Science*, 12(3), 1-3.
14. Khademi, T. (2019). Investigating the relationship *Artemisia aucheri, Eryngium billardieri,Stipa barbata*, *Stipa capensic* and *Zygophyllum atriplicoides (case study: rangeland of Ferdows, South Khorasan province)*. MSc thesis, University of Birjand.
15. Khalasi Ahvazi, L., & Zare Chahouki, M. A. (2016). Preparing the distribution of Seidlitzia rosmarinus in Semnan East rangeland using ANN model. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(2), 287-275.
16. Krebs, C. J. (2014). *Ecological Methodology*. 3rd edition. Boston: Addison-Wesley Educational Publishers, Inc.
17. Mesdaghi, M. (2014). *Quantitative ecology*. Mashhad Academic Jihad Publications.
18. Moghaddam, M. R. (2014). *Range and Range management*. Tehran University Press.
19. Nanda, S.A., Haq, Mu., & Singh, S.P. (2021). Species richness and β-diversity patterns of macrolichens along elevation gradients across the Himalayan Arc. *Sci Rep*, 11, 195-201.
20. Ochoterena, H., Flores-Olvera, H., Gómez-Hinostrosa, C., & Moore, MJ. (2020). Gypsum and plant species: a marvel of Cuatro Ciénegas and the Chihuahuan Desert. In: Mandujano MC, Pisanty I, Eguiarte LE, eds. Cuatro Ciénegas Basin: an endangered hyperdiverse oasis. Plant diversity and ecology in the Chihuahuan Desert: emphasis on the Cuatro Ciénegas Basin. Cham: Springer International Publishing, 129–165.
21. Qiao, C., Tonghui, H., Anning, ZH., Xiaosai, Q., Yanqiong, F., Xiangquan, M.CH., & Yushi, H. (2021). Effects of soil salinity characteristics on three habitats in inland salt marshes. *Journal of Plant Research*, 134, 1037–1046.
22. R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
23. Rabizadeh, F., & Nasrollahi, F. S. (2022). An Anatomical, Micro-Morphological, and Ecological Study of Acantholimon cymosum (Plumbaginaceae) Endemic to Iran. *Taxonomy and Biosystematics*, 14(51), 49-66.
24. Rostampour, M. (2022). *Rangeland Ecosystems Monitoring in different climatic regions of Iran, South Khorasan Province, Khosf Site*. Research Institute of Forests and Rangelands.
25. Rostampour, M., Jafari, M., Tavili, A., Azarnivand, H., Eslami, S.V. (2017). Investigation of Plant species composition and diversity along a soil salinity gradient in margin rangelands of Petregan Playa, Southern Khorasan. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(16), 11-24.
26. Sabatini, M., Jiménez-Alfaro, B., Burrascano, S., Lora, A. & Chytrý, M. (2018). Beta-diversity of

central European forests decreases along an elevational gradient due to the variation in local community assembly processes. *Ecography* 41, 1038–1048.
27. Salami, A., Sepehry, A., & Akbarlou, M. (2017). Assessing changes in plant species diversity along the salinity gradient (Case study: Incheh Borun rangelands). *Desert Ecosystem Engineering*, *5*(13), 13-24.
28. Sun, J., Wang, N., & Niu, Z. (2023). Effect of Soil Environment on Species Diversity of Desert Plant Communities. *Plants*, 12(19), 3465.
29. Token, S., Jiang, L., Zhang. L., & Lv, G. (2022). Effects of plant diversity on primary productivity and community stability along soil water and salinity gradients. *Global Ecology and Conservation*, 36, 2022, e02095.
30. Ulrich, W., Matthews, T.J., Biurrun, I., Campos, J.A., Czortek, P., Dembicz, I., Essl, F., Filibeck, G., & Galdo, G. (2022). Environmental drivers and spatial scaling of species abundance distributions in Palaearctic grassland vegetation. *Ecology*, 103(8), e3725.
31. Xu, M., Du, R., Li, X., Yang, X., Zhang, B., & Yu, X. (2021). The mid-domain effect of mountainous plants is determined by community life form and family flora on the Loess Plateau of China. *Scientific reports*, 11(1), 10974.
32. Zang, Z., Zeng, Y., Wang, D., Shi, F., Dong, Y., Liu, N., & Liang, Y. (2022). Species-Abundance Distribution Patterns of Plant Communities in the Gurbantünggüt Desert, China. *Sustainability*, 14(20): 12957.

A study of changes in vegetation along environmental gradients in desert areas (Case study: west rangelands of Ferdows)

Moslem Rostampour,[1*] Reza Yari,[2] Javad Chezgi [3]

Received: 16/12/2023 Accepted: 10/03/2024

Expanded abstract

Introduction: Considering the sensitive and fragile conditions of the ecosystems of arid and semi-arid regions, determining the contribution of factors affecting species diversity is of particular importance. In dry and desert areas, vegetation and species diversity are affected by topographical, edaphic and climatic characteristics The relationship between biodiversity and local environment is one common thread in biogeography and plant ecology. In arid regions, research in this area is very limited, species diversity patterns and species abundance distributions change in response to habitat heterogeneity in desert regions. One of the factors of heterogeneity in habitats of dry and desert areas is soil salinity. Soil salinity is one of the important environmental problems that causes problems for plants in different ways. This research examines the changes in species diversity with increasing altitude above sea level and changes in the soil properties in the west rangelands of Ferdows.

Material and Methods: For this purpose, sampling was done from the lowest point of the region, the edge of the playa, from where the first species of *Se. rosmarinus* were observed, and the sampling was continued up to the heights of the summer rangelands, which was *Stipa barbata* type. Vegetation characteristics such as vegetation cover percentage, density, α and β species diversity indices and species abundance distribution (SAD) in each representative area were determined. At the beginning, middle and end of each transect, soil sampling was done (0-30 cm depth). The combined sample of each transect was transferred to the soil science laboratory of the Faculty of Agriculture of Birjand University, and the physical and chemical characteristics of the soil include

1. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management and Research Group of Drought and Climate Change, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran; E-mail: rostampour@birjand.ac.ir
2. Assistant Professor, Khorasan-e-razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

DOI: 10.22052/deej.2024.253934.1033

EC, pH, N, K, Ca, Mg, Na, Cl, bicarbonates, organic matter, lime, gypsum, and soil texture and saturated moisture. It was determined using EC meter, pH meter, Kjeldahl, spectrophotometer, calcium meter, hydrometer and acetone and weight method. Also, the height above sea level of each transect was determined by GPS.The most important environmental factors affecting the distribution of plant types were identified by multiple regression analysis and PCA. Multiple regression was performed by backward elimination method. Before PCA analysis, centering and scaling were done on the matrix of environmental factors. Scree plot was used to determine the most important components. In order to determine the most important environmental factors with each of the PCA axes, Pearson's correlation coefficient was used. All statistical tests were performed by R software (R Core Team, 2021).

Results: The results of this research showed that with the increase in elevation, the percentage of vegetation, number of species and species diversity increased. The results show that with the increase in elevation, from the first type to the last type, about 95% of plant species have changed._Multiple regression results showed that altitude had the highest effect on the vegetation cover percentage (β= 0.53). Gypsum and magnesium cause the presence of *Se. rosmarinus*. The results show that the general regression equation does not have the necessary validity, because the VIF values of some environmental factors are very high. After removing the environmental factors with high VIF, among the studied variables, only saturated moisture, alkalinity, magnesium, organic matter, nitrogen, lime, gypsum, sand and height remained in the regression equation. The results show that there is a significant linear relationship between environmental factors and vegetation percentage with a determination coefficient of 0.79 ($p<0.001$ and F: 6.13). Among the environmental factors, height above sea level was the only factor whose regression coefficient became significant and remained in the equation, and it also has the highest influence coefficient (β=0.53). Therefore, the height above sea level has the greatest effect on the percentage of vegetation Elevation and soil moisture saturation are effective in the distribution of *Zy. atriplicoides* and *St. barbata* in the mountainous. Also, sand is effective in the distribution of *Ca. polygonoides* and *St. pennata.*

Discussions and Conclusion According to the results, the vegetation properties and biodiversity show different reactions to the dominant environmental gradients of the study area. Also, the beta diversity is very high, indicating the severe variations in species composition from the beginning of the environmental gradient to the end of the gradient. One of the most important aspects of innovative and applied research is the phytosociological study of the study area for the first time, as well as the study of biodiversity and species distribution patterns. Therefore, the results of this study can be applied to planning rangeland reclamation and combating desertification.

Keywords: Elevation, Soil Texture, Soil Salinity, Biodiversity, Arid Regions.