مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ۵۷-۴۴
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 44-57
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732759.html

اثر تسهیل گونه‌های پرستار بر تنوع علمکردی در شیب تغییرات اقلیمی و چرای حیوانات

زینب میرشکاری[۱]، اسماعیل اسدی بروجنی*[۲]، پژمان طهماسبی کهیانی[۳]، الهام قهساره اردستانی[۳]

چکیده

تعاملات گیاهی نقش کلیدی در ساختار جوامع گیاهی دارند، اما اثرات آنها با عواملی مانند چرای دام و اقلیم کمتر بررسی شده است. بیشتر تحقیقات به بررسی تنوع گونه‌ای پرداخته‌اند و تنوع عملکردی کمتر مطالعه شده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر گونه‌های پرستار بر تنوع عملکردی در شدت‌های چرای مختلف در چهار منطقه اقلیمی استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری (سنگ‌سفید: نیمه‌بیابانی، موته: استپی، تنگ‌صیاد و سبزکوه: نیمه‌استپی) انجام شد. در هر منطقه، هفت سایت با درجات متفاوت چرای شدید و سبک انتخاب و در هر سایت، سه ماکروپلات ۳۰ مترمربعی شامل چهار میکروپلات ۲ مترمربعی (سه پرستار و یک شاهد) بررسی شد. اطلاعات حضور و فراوانی گیاهی و ویژگی‌های عملکردی گیاهان (شاخص سطح برگ ویژه، محتوای ماده خشک برگ، طول برگ، سطح برگ، نیتروژن و فسفر برگ) اندازه‌گیری شد. تحلیل داده‌ها با نرم افزارهای R و SPSS و آزمون اندازه‌گیری مکرر و تحلیل مولفه‌های اصلی انجام شد. نقش رقابتی یا تسهیلگری پرستارها با شاخص زیستی محاسبه شد. نتایج نشان داد مکانیسم‌های تأثیر گونه‌های پرستار وابسته به شرایط اقلیمی است. در مناطق خشک مانند سنگ‌سفید، گونه‌های (*Anabasis aphylla* L.) و (*Artemisia sieberi* Besser) بیشتر رقابتی بودند، در حالی‌که در مناطق مرطوب مانند سبزکوه، گونه‌های گون (*Astragalus brachycalyx* Boiss. و *Astragalus susianus* Boiss.) با ایجاد میکروکلیما و بهبود خاک، تسهیل‌گری بیشتری نشان دادند. چرای شدید در مناطق خشک با کاهش تراکم پرستارها رقابت را کاهش داد اما در مناطق مرطوب گونه‌های مقاوم گون با ساختار خاردار و بالشتکی، هم از تخریب مصون ماندند و هم نقش تسهیلگری آنها تقویت شد. همچنین، پاسخ‌های سازگارانه گیاهان زیراشکوب شامل تغییر ویژگی‌های برگ (کاهش سطح برگ، طول برگ، سطح برگ ویژه و افزایش ماده خشک برگ) و جذب منابع (نیتروژن و فسفر) مشاهده شد. این مطالعه بر ضرورت حفظ گونه‌های پرستار در مدیریت پایدار مراتع تاکید می‌کند.

واژگان کلیدی:

تعاملات گیاهی، رقابت، شاخص زیستی، مدیریت مراتع، ویژگی‌های عملکردی.

مقاله پژوهشی

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
z.mirshekari3489@gmail.com

۲. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
asadi-es@sku.ac.ir
* نویسنده مسئول

۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
pejman.tahmasebi@sku.ac.ir
elham.ghehsareh@sku.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۵۱۱-۱۱۳۶
شماره صفحه پیاپی: ۱۰۱۸-۱۰۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۷
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸
زمان پذیرش: ۲۹ روز

استناددهی:
میرشکاری، ز.، اسدی‌بروجنی، ا.، طهماسبی کهیانی، پ.، و قهساره اردستانی، ا. (۱۴۰۴). اثر تسهیل گونه‌های پرستار بر تنوع علمکردی در شیب تغییرات اقلیمی و چرای حیوانات. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۱)۵، ۵۷-۴۴.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2025.732759

۱- مقدمه

گیاهان از مهم‌ترین اجزای زنده اکوسیستمی هستند که دارای ارتباطات و تعاملات متقابل هستند (نوربخش و همکاران، ۱۴۰۳)، به‌طوریکه ساختار جوامع گیاهی به شدت تحت تاثیر تعاملات بین گونه‌های گیاهی قرار دارد (Hacker and Bertness, 1999). همچنین این تعاملات از عوامل مهم پویایی جوامع گیاهی به‌شمار می‌روند (Brooker et al., 2008) و عمدتاً شامل تاثیرات منفی مانند رقابت برای کسب منابع و آللوپاتی و تاثیرات مثبت مانند تسهیل شرایط حضور سایر گیاهان هستند (Callaway, 2007). به‌طور کلی این تعاملات گیاهی می‌توانند باعث حضور یا عدم حضور گونه‌های خاص در جامعه شوند (Padila and Pugnaire, 2006). از طرفی، این تغییرات وابسته به عوامل خارجی از قبیل تنش‌های زیستی یا غیرزیستی هستند (Levitt, 1980). چرای دام، یک تنش زیستی (Milchunas and Noy-Meir, 2002) و تنش‌های غیرزیستی به شرایط محیطی اشاره دارد که در آنها کمبود آب، نور، مواد معدنی و یا دمای نامناسب می‌تواند بر فرآیند فتوسنتز تاثیر گذاشته و آن را محدود کند (حسن‌پور، ۱۳۸۹).

گیاهان چندساله به‌ویژه گونه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای، اغلب با کاهش تنش غیرزیستی برای گیاهان همسایه که تحمل کمتری به تنش دارند، به‌عنوان گونه‌های پرستار (یعنی تسهیل‌کننده) عمل می‌کنند (نوربخش و همکاران، ۱۴۰۳). برای مثال با محافظت از آنها در برابر دماهای شدید یا با افزایش دسترسی به آب یا مواد مغذی در مجاورت مستقیم خود (Gomez-Aparicio, 2008؛ Pugnaire et al., 2011) در کنار آن، گونه‌های پرستار می‌توانند با محافظت فیزیکی از سایر گونه‌های همسایه در برابر گیاهخواران، فشار مصرف‌کننده (چرا) را کاهش دهند (Hay, 1986).

تعاملات تسهیل‌کننده بین گیاهان، طبق فرضیه گرادیان تنش[1] با افزایش تنش غیرزیستی و زیستی افزایش می‌یابد (Bertness and Callaway., 1994؛ Callaway and Walker., 1997). با این حال مطالعات اخیر نشان داده‌اند که در محیط‌های با تنش بسیار شدید، تغییری از تسهیل به رقابت صورت خواهد گرفت که این امر توسط شرایط محیطی و پاسخ گونه‌های ذینفع به کاهش منابع انجام می‌شود (Michalet et al., 2014). درک این تعاملات پیچیده نیازمند مطالعه ویژگی‌های عملکردی گیاهان است. این ویژگی‌ها، شامل خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، فنولوژیکی هستند که استراتژی‌های اکولوژیکی گیاهان و نحوه پاسخ آنها به عوامل محیطی را نشان می‌دهد (Perez-Harguindeguy et al., 2013). برای مطالعه این خصوصیات، استفاده از رویکردهای قدیمی تنوع زیستی (اندازه‌گیری غنا، یکنواختی و تنوع گونه‌ای) که تنها بر اساس حضور و عدم حضور و یا فراوانی گونه‌ای محاسبه می‌شوند، اطلاعات مناسبی را فراهم نمی‌آورد. به همین دلیل در دهه‌های اخیر گروهی جدید از شاخص‌های تنوع زیستی با هدف بررسی همزمان فراوانی و خصوصیات عملکردی آنها به نام شاخص‌های تنوع عملکردی توسعه پیدا کرده است (امیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). تنوع عملکردی به عنوان یکی از ارکان اصلی تنوع‌زیستی، تفاوت‌های موجود در ویژگی‌های عملکردی بین گونه‌های یک جامعه را بیان می‌کند (Tilman, 2001). این مفهوم به بررسی تنوع و توزیع ویژگی‌های عملکردی موجودات زنده در یک جامعه اکولوژیکی می‌پردازد. از آنجایی که ویژگی‌های یک موجود زنده بر عملکرد یک اکوسیستم تأثیر می‌گذارد، تنوع عملکردی نیز به‌طور دقیق‌تر عملکرد اکوسیستم را منعکس می‌کند. این امر به محققین در درک الگوهای اکولوژیکی و فرآیندهای تشکیل جامعه کمک شایانی می‌نماید (Bishaya et al., 2024).

جوامع گیاهی مجاور گونه‌های پرستار معمولا تنوع عملکردی بالایی دارند، زیرا تفاوت‌های عملکردی بین گیاهان تسهیل شده، همزیستی آنها را از طریق تفکیک نیچ اکولوژیکی ممکن می‌سازد (Navarro-Cano et al., 2016؛ Danet et al., 2018). در زمینه تعاملات گیاهی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. نوربخش و همکاران (۱۴۰۳) با بررسی اثرات دو درختچه رملیک و کنار (*Ziziphus spina-christi* و *Ziziphus nummularia*) و شیب زمین بر تنوع گیاهان علفی زیراشکوب در غرب ایران نشان دادند بالاترین سطوح تنوع در زیر تاج دو درختچه و کلاس‌های شیب ملایم‌تر وجود دارد. داوودآبادی فراهانی (۱۳۹۶) با بررسی اثر گروه‌های عملکردی بوته بر ویژگی‌های عملکردی گیاهان در جنوب پارک ملی گلستان و ارزیابی گونه‌های *Rhamnus pallasi*، *Gypsophila aretioides*، *Juniperus exelsa*، *Onobrychis cornuta* و *Acer monspessulanum* نشان دادند که میانگین سطح برگ ویژه زیر بوته‌های تاج‌دار بیشتر از فضای باز بود و نتایج میانگین ماده خشک معکوس بود. بنابراین گیاهان چوبی به عنوان گونه پرستار برای سایر گونه‌های علفی و نهال‌های زیراشکوب عمل کرده و با تاثیر بر ویژگی‌های عملکردیشان از آن‌ها در برابر شرایط سخت محیطی حفاظت کرده و در نتیجه بر روی عملکرد رویشگاه اثر می‌گذارد. Danet et al. (۲۰۱۷) به بررسی تاثیر گونه‌های پرستار بر ویژگی‌های عملکردی جامعه گیاهی پرداختند. این گونه‌ها با محافظت گیاهان در برابر چرای دام، بقا و تنوع گونه‌ها را افزایش داده و بر ویژگی‌هایی مانند ماده خشک برگ و ارتفاع گیاه، تاثیر مثبت می‌گذارند. در تحقیقی دیگر، Verwijmerenet et al. (۲۰۱۹) در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک اسپانیا با تحلیل همزمان تاثیرات خشکسالی و چرای دام بر روابط اکولوژیک بین گیاهان پرستار (*Artemisia herba-alba*) و ذینفع (*Anthyllis cytisoides*) نشان دادند که اثر گیاه پرستار بر نهال‌ها در شرایط بدون چرا و پیش از خشکسالی خنثی، اما پس از خشکسالی منفی می‌شود. به‌عبارتی، در شدت چرای کم اثر مثبت و در چرای شدید همراه با خشکسالی اثرات کاملا منفی شد. Madrigal-Gonzalez et al. (۲۰۲۰) در منطقه شمالی صحرای نقب اسرائیل نشان دادند که گیاهان *Noaea mucronata*، *Carthamus tenuis* و *Thymelaea hirsuta* تنوع عملکردی را از نظر سطح برگ ویژه، حداکثر ارتفاع گیاه، وزن بذر و نسبت تولیدمثل در سطح میکروسایت افزایش می‌دهند. Rahmanian et al. (۲۰۲۱) با مطالعه تاثیر دو عامل خشکی و چرای

1. Stress Gradient Hypothesis **(SGH)**

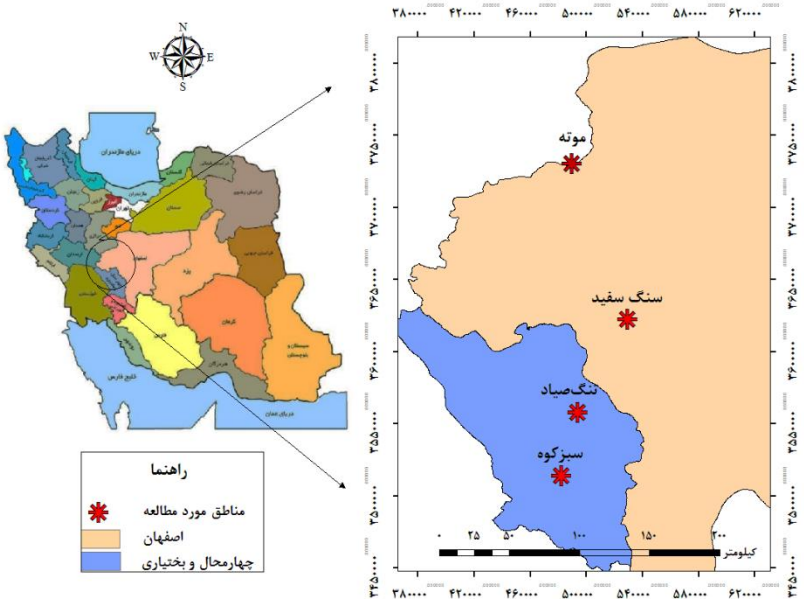
دام بر رابطه بین *Artemisia kopetdaghensis* و گیاهان زیراشکوب در شمال شرقی ایران دریافتند که در شرایط تنش شدید (خشکی و چرای بالا) گونه نقش تسهیل‌کنندگی قوی دارد، اما در تنش کم، روابط به رقابت تغییر می‌یابد.

تعاملات بین گیاهان مانند رقابت و تسهیل، نقش اساسی در ساختار و پویایی جوامع گیاهی ایفا می‌کنند (Callaway, 2007)، اما تحقیقات پیشین با رویکردی تقلیل‌گرایانه به بررسی گونه‌های منفرد یا محدوده‌های جغرافیایی خاص پرداخته‌اند. اثرات ترکیبی عوامل تنش‌زا نظیر چرای دام و تغییرات آب‌وهوایی به‌صورت نظام‌مند مطالعه نشده است. این یافته‌ها می‌توانند مبنای علمی برای گزینش و معرفی گونه‌های مناسب و سازگار در پروژه‌های احیای مراتع تخریب شده فراهم کنند. لذا، تبیین جامع اهمیت اکولوژیک این گیاهان و نقش حیاتی آن‌ها در حفظ تعادل تنوع‌زیستی، گامی ضروری برای جلوگیری از تخریب بیشتر این ذخایر طبیعی به‌شمار می‌رود. از طرفی، احیای مراتع تخریب‌یافته مستلزم به‌کارگیری راهکارهای علمی و مقرون‌به‌صرفه است تا موفقیت بلندمدت پروژه‌ها در شرایط محیطی نامساعد و متغیر افزایش یابد و عملکرد اکوسیستمی بهینه و پایدار گردد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر گونه‌های پرستار بر پایداری تنوع عملکردی در طیف تغییرات اقلیمی (از نیمه‌بیابانی تا نیمه‌استپی) و تحت سطوح مختلف فشار چرای دام طراحی و اجرا شد. زیرا که درک این مفهوم نه تنها به شناخت بهتر عملکرد جوامع زیستی کمک می‌کند، بلکه در مدیریت و حفظ اکوسیستم‌ها نیز نقش حیاتی ایفا می‌کند. برای نیل به این هدف، چهار منطقه مطالعاتی با ویژگی‌های اکولوژیکی متمایز در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مناطق مورد مطالعه

این پژوهش در چهار منطقه اقلیمی مختلف در دو استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری انجام شد (شکل ۱) که به‌صورت هدفمند براساس شیب تغییرات بارش و دما انتخاب شده‌اند و تحت نظام مدیریتی مشترک سازمان حفاظت محیط‌زیست و منابع طبیعی و آبخیزداری قرار دارند.



شکل (۱): موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری

منطقه نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید (اصفهان) مختصات ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی، دامنه ارتفاعی ۲۷۶۷– ۱۶۷۸ متر، بارندگی سالانه ۱۳۰ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد و گونه‌های تسهیل‌گر *Anabasis aphylla* L. و *Artemisia sieberi* Besser.

منطقه استپی موته (اصفهان) مختصات ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی، دامنه ارتفاعی ۳۰۰۰– ۱۸۰۰ متر، بارندگی سالانه (۳۰۰–۲۵۰) میلی‌متر، میانگین دمای ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد و گونه تسهیل‌گر *Artemisia sieberi* Besser.

منطقه نیمه‌استپی تنگ‌صیاد (چهارمحال و بختیاری) مختصات ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی، دامنه ارتفاعی ۳۱۳۷– ۲۱۶۹ متر، بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد و گونه تسهیل‌گر *Astragalus verus* Olivier.

منطقه نیمه‌استپی سبزکوه (چهارمحال و بختیاری) مختصات ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی، دامنه ارتفاعی ۳۹۰۰- ۱۹۰۰ متر، بارندگی سالانه (۸۰۰-۴۰۰) میلی‌متر، میانگین دمای ۷ درجه سانتی‌گراد و گونه تسهیل‌گر *Daphne mucronata* Royle. و *Astragalus brachycalyx* Boiss. و *Astragalus susianus* Boiss.

۲-۲- روش نمونه‌برداری از پوشش گیاهی

در هر منطقه اقلیمی، ۷ سایت همگن با دو سطح چرایی (سبک و شدید) انتخاب شد. تعیین این سطوح بر اساس گرادیان فاصله از کانون‌های تمرکز دام (آبشخور و اسکان) و مطابق با اصل Squires (۱۹۷۸) و مطالعات مشابه (جنگنجو، ۱۳۸۸) انجام شد. سایت‌های چرای شدید در مجاورت و سایت‌های چرای سبک در فواصل دورتر انتخاب گردیدند. این طبقه‌بندی نهایی با مشاهدات میدانی پوشش گیاهی و دانش بومی اعتبارسنجی شد. نمونه‌برداری در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۱، مقارن با اوج دوره رشد گیاهی انجام گرفت. در هر سایت، از ۳ ماکروپلات (۳۰×۳۰ مترمربعی) و در هر ماکروپلات از ۴ میکروپلات (۲×۲ مترمربعی) استفاده شد. به‌عبارتی، در هر سایت، ابتدا سه ماکروپلات ۳۰×۳۰ مترمربعی (Espinosa et al., 2013؛ Mihoc et al., 2016) با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر مستقر گردید. سپس درون هر ماکروپلات، چهار پلات ۲×۲ مترمربعی (Bossuyt et al., 2005؛ Zhang and Zhao, 2014) به‌صورت تصادفی پیاده‌سازی شد؛ به‌طوری‌که در سه پلات گونه پرستار حضور داشت و یک پلات به‌عنوان شاهد (بدون گونه پرستار) انتخاب شد. گونه پرستار براساس سه ویژگی کلیدی انتخاب شد: ۱- قابلیت ایجاد میکروکلیمای مطلوب، ۲- ساختار فیزیکی مناسب (گستردگی تاج پوشش و وجود خار) و ۳- سازگاری اکولوژیک با شرایط نامساعد (Callaway et al., 2000؛ Flores and Jurado., 2003؛ Cavieres and Badano., 2009). سپس درصد پوشش و ویژگی‌های عملکردی گیاهان در هر پلات اندازه‌گیری شد و داده‌های سه پلات دارای گونه تسهیل‌گر برای تحلیل نهایی میانگین‌گیری شدند.

۲-۳- اندازه‌گیری ویژگی‌های عملکردی گیاهی

برای اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع عملکردی، اطلاعات ویژگی‌های عملکردی گیاهی نیز لازم است (Pla et al., 2011؛ Esler and Rebelo, 2014). انتخاب گونه‌ها، تعداد تکرار و ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری از چالش‌های مهم در این زمینه است (امیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). در این تحقیق و براساس تحقیقات مرجع، گونه‌هایی که ۸۰ درصد ترکیب گیاهی را تشکیل می‌دادند برای اندازه‌گیری انتخاب شدند (Perez-Harguindeguy et al., 2013). این گونه‌ها شامل پایه‌های سالم و با رشد مناسب بودند (Cornelissen et al., 2003؛ Perez-Harguindeguy et al., 2013). براساس هدف مطالعه، شش ویژگی عملکردی شامل ارتفاع گیاه (Wang et al., 2020)، سطح برگ ویژه[1]، ماده خشک برگ[2]، طول برگ، سطح برگ، نیتروژن و فسفر برگ اندازه‌گیری شدند (Cornelissen et al., 2003؛ Perez-Harguindeguy et al., 2013). جهت اندازه‌گیری هر ویژگی، حداقل ۲۰ تکرار از ۱۰ پایه گیاهی در مناطق انتخاب شد (امیدی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). سطح برگ ویژه از تقسیم سطح برگ (میلی‌متر) بر وزن خشک (میلی‌گرم) و ماده خشک برگ، از تقسیم وزن خشک (میلی‌گرم) بر وزن تر (میلی‌گرم) به دست آمد (Hodgson et al., 1999). جهت اندازه‌گیری سطح برگ از نرم‌افزار "Measurement Area Leaf" نسخه ۱/۳ استفاده شد.

۲-٤- محاسبه شاخص‌های تنوع عملکردی

شاخص‌های تنوع عملکردی با معیارهای مبتنی بر مقادیر ویژگی و فراوانی گونه‌ها (یا هر معیار اهمیت گونه‌ها، مانند پوشش یا زیتوده) تعیین می‌شود (Chiu and Chao, 2014). در این تحقیق برای اندازه‌گیری تنوع عملکردی از دو گروه شاخص‌های مبتنی بر یک ویژگی[3] و مبتنی بر چند ویژگی[4] استفاده شد. در تحقیق حاضر، از بین شاخص مبتنی بر یک ویژگی، تنها شاخص میانگین وزنی[5] است (Garnier et al., 2004) و روش مبتنی بر چند ویژگی که مهمترین آن شاخص رائو، غنای عملکردی[6] (Villeger et al., 2008)، یکنواختی عملکردی[7] (Mouillot et al., 2005)، واگرایی عملکردی[8] (Mason et al., 2003) و پراکندگی عملکردی[9] (Villeger et al., 2008) هستند، استفاده شد (جدول ۱).

۲-۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها، شاخص‌های تنوع عملکردی با بسته آماری FD در نرم‌افزار R محاسبه شدند. جهت ارزیابی شدت روابط بین گونه‌ای و تعیین دامنه‌های تسهیل و رقابت بین گونه‌های پرستار و زیراشکوب، از شاخص روابط زیستی[10] (رابطه ۱) استفاده شد. دامنه تغییرات این شاخص از ۱+ (تسهیل کامل) تا ۱- (رقابت کامل) متغیر است و مقدار صفر بیانگر روابط زیستی خنثی می‌باشد (Michalet et al., 2014).

$$RII = \frac{\text{بیرون بوته } x - \text{داخل بوته } x}{\text{بیرون بوته } x + \text{داخل بوته } x}$$ رابطه (۱)

1. Specific Leaf Area (SLA)
2. Leaf Dry Matter Content (LDMC)
3. Single-trait-based index
4. Multi-trait-based index
5. Community Weighted Mean
6. Functional richness
7. Functional Evenness
8. Functional divergence
9. Functional Dispersion
10. Relative Interaction Index (RII)

که در آن، x میزان شاخص‌های تنوع عملکردی در دو پلات زوجی است. از آزمون t مستقل برای مقایسه روابط زیستی در دو شدت چرای سبک و شدید استفاده شد. در نهایت، از آزمون آماری Repetead measure در نرم‌افزار SPSS جهت بررسی تفاوت‌های مناطق اقلیمی و شدت‌های چرای مختلف و تاثیرات ترکیبی آنها بر شاخص‌ها، در مقایسه بین پلات‌های با گونه تسهیل‌گر و پلات‌های شاهد استفاده شد و مقایسه شاخص‌ها در پلات‌های زوجی با آزمون t جفتی صورت پذیرفت. همچنین برای تحلیل تغییرات در تنوع عملکردی و شناسایی الگوهای تغییرات در پلات‌های زوجی، تجزیه مولفه‌های اصلی[1]مورد استفاده قرار گرفت. پیش از آزمون تجزیه مولفه‌های اصلی ، ابتدا همه متغیرها بین دامنه تغییرات صفر تا یک استاندارد شدند. این آزمون در نرم افزار R و با استفاده از بسته‌های "factoextra" و "FactoMineR" انجام شد.

جدول (۱): شاخص‌های اندازه‌گیری تنوع عملکردی

شاخص‌ها	فرمول	توضیحات
میانگین وزنی جامعه	$CWM = \sum_{i=1}^{s} Wi\ Xi$	S: تعداد کل گونه‌ها Wi: فراوانی نسبی گونه i Xi: ارزش ویژگی گونه i
مربع آنتروپی یا رائو	$Rao = \sum_{i=1}^{S=1}\sum_{j>1}^{S} d_{ij} Wi\ Wj$	d_{ij}: فاصله بین گونه‌های i و j Wi: فراوانی نسبی گونه i Wj: فراوانی نسبی گونه j
غنای عملکردی (FRic)	نشاندهنده گسترش فضای ویژگی عملکردی توسط جامعه	تک ویژگی: محدوده مینیمم- ماکزیمم چند ویژگی: حجمی در فضای ویژگی‌ها
یکنواختی عملکردی	$FEve = \frac{\sum_{b=1}^{S=1} \min\left(PEW_b \frac{1}{s-1}\right) - \frac{1}{s-1}}{1 - \frac{1}{s-1}}$	PEW_b: یکنواختی وزنی جزئی
واگرایی عملکردی	$FEve = \frac{\sum_{b=1}^{S=1} a_j \left(z_j - \bar{d}\right)^2}{\bar{d}^2 + \sum_{b=1}^{S=1} a_j \left(z_j - \bar{d}\right)^2}$	$\bar{d}$: میانگین فاصله همه گونه‌ها از مرکز ثقل
پراکندگی عملکردی	$FDis = \frac{\sum_{i=1}^{s} a_j\ z_j}{\sum_{i=1}^{s} a_j}$	a_j: فراوانی نسبی گونه j z_j: فاصله گونه j تا مرکز وزنی c

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی اثرات تسهیل، شدت چرا و اقلیم بر شاخص‌های تنوع عملکردی

گونه‌های پرستار بر اکثر شاخص‌های تنوع علمکردی (جز یکنواختی عملکردی و واگرایی) اثر معنی‌داری داشتند. شدت چرا تنها بر غنای عملکردی، واگرایی عملکردی و طول برگ موثر بود. تاثیر قابل توجه اقلیم بر شاخص‌های غنای عملکردی، یکنواختی عملکردی، واگرایی و پراکندگی عملکردی، رائو، سطح برگ، ارتفاع گیاه و طول برگ مشاهده گردید. اثرات ترکیبی معنی‌دار شامل تاثیر تسهیل و چرا بر ارتفاع گیاه، تسهیل و اقلیم بر غنای عملکردی، ارتفاع گیاه و فسفر برگ، چرا و اقلیم بر طول برگ و اثر سه‌گانه آنها بر ارتفاع گیاه بود (جدول ۲).

جدول (۲): نتایج آزمون چندعاملی (Repetead measure) جهت بررسی تاثیر تسهیل، شدت چرا و اقلیم بر شاخص‌های تنوع عملکردی

	تسهیل			شدت چرا			اقلیم			تسهیل × شدت چرا			تسهیل × اقلیم			شدت چرا × اقلیم			تسهیل × شدت چرا × اقلیم		
شاخص‌ها	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig	df	F	Sig
غنای عملکردی	۱	۶۴/۱۶۶	۰/۰۰۰	۱	۴/۲۱۲	۰/۰۵۴	۳	۱۲/۷۶۷	۰/۰۰۰	۱	۰/۹۵۹	۰/۳۴۰	۳	۱۷/۶۵۳	۰/۰۰۰	۳	۱/۰۷۸	۰/۳۸۲	۳	۰/۹۷۸	۰/۴۲۴
یکنواختی عملکردی	۱	۲/۵۰۰	۰/۱۳۰	۱	۱/۸۲۰	۰/۱۹۳	۳	۴/۳۵۳	۰/۰۱۷	۱	۰/۰۷۸	۰/۷۸۲	۳	۱/۳۶۶	۰/۲۸۳	۳	۱/۶۵۸	۰/۲۱۰	۳	۱/۱۳۳	۰/۳۶۱
واگرایی عملکردی	۱	۱/۳۹۴	۰/۲۵۲	۱	۹/۲۲۱	۰/۰۰۷	۳	۲/۹۵۸	۰/۰۵۹	۱	۰/۰۸۸	۰/۷۷۰	۳	۰/۷۹۵	۰/۵۱۲	۳	۱/۹۰۳	۰/۱۶۳	۳	۰/۱۴۶	۰/۹۳۱
پراکندگی عملکردی	۱	۱۴/۴۲۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۹۲	۰/۷۶۵	۳	۲۶/۲۵۹	۰/۰۰۰	۱	۰/۳۷۸	۰/۵۴۶	۳	۲/۲۳۱	۰/۱۱۸	۳	۲/۲۵۹	۰/۱۱۵	۳	۱/۰۷۵	۰/۳۸۳
رائو	۱	۱۲/۶۰۶	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۱۶	۰/۸۹۹	۳	۲۸/۱۴۴	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۲	۰/۹۶۶	۳	۱/۶۷۴	۰/۲۰۶	۳	۱/۵۹۸	۰/۲۲۳	۳	۱/۳۵۶	۰/۲۸۶
سطح برگ	۱	۱۳/۸۹۹	۰/۰۰۱	۱	۱/۹۲۸	۰/۱۸۱	۳	۴/۵۴۴	۰/۰۱۵	۱	۰/۳۱۰	۰/۵۸۴	۳	۰/۴۹۳	۰/۶۹۲	۳	۰/۸۴۳	۰/۴۸۷	۳	۱/۱۲۶	۰/۳۶۴
ماده خشک برگ	۱	۶/۱۲۶	۰/۰۲۳	۱	۰/۹۲۷	۰/۳۴۸	۳	۰/۳۶۵	۰/۷۷۹	۱	۱/۲۷۲	۰/۲۷۳	۳	۱/۵۸۶	۰/۲۲۶	۳	۰/۸۴۸	۰/۴۸۵	۳	۰/۲۴۱	۰/۸۶۷
ارتفاع گیاه	۱	۱۴/۷۹۵	۰/۰۰۱	۱	۲/۶۱۳	۰/۱۲۲	۳	۴/۵۵۷	۰/۰۱۴	۱	۶/۱۴۶	۰/۰۲۳	۳	۲۲/۱۱۱	۰/۰۰۰	۳	۲/۶۶۰	۰/۰۷۸	۳	۳/۱۳۰	۰/۰۵۰
سطح برگ ویژه	۱	۲۰/۹۶۲	۰/۰۰۰	۱	۱/۸۸۴	۰/۱۸۶	۳	۲/۷۱۴	۰/۰۷۴	۱	۲/۱۸۶	۰/۱۵۶	۳	۲/۴۸۳	۰/۰۹۲	۳	۱/۹۱۴	۰/۱۶۲	۳	۲/۷۰۳	۰/۰۷۴
طول برگ	۱	۱۹/۱۵۴	۰/۰۰۰	۱	۸/۱۶۸	۰/۰۱۰	۳	۲۰/۴۸۴	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۷	۰/۹۳۵	۳	۰/۴۰۵	۰/۷۵۱	۳	۶/۳۸۹	۰/۰۰۴	۳	۲/۲۱۶	۰/۱۱۹
نیتروژن برگ	۱	۷/۱۶۲	۰/۰۱۵	۱	۰/۶۴۲	۰/۴۳۳	۳	۲/۵۳۰	۰/۰۸۸	۱	۰/۰۱۴	۰/۹۰۶	۳	۱/۸۰۷	۰/۱۸۰	۳	۱/۴۱۷	۰/۲۶۹	۳	۱/۰۲۷	۰/۴۰۳
فسفر برگ	۱	۲۸/۳۰۰	۰/۰۰۰	۱	۲/۳۶۱	۰/۱۴۱	۳	۱/۵۱۴	۰/۲۴۳	۱	۰/۲۵۴	۰/۶۲۰	۳	۴/۸۶۱	۰/۰۱۱	۳	۰/۲۹۷	۰/۸۲۷	۳	۱/۰۱۸	۰/۴۰۷

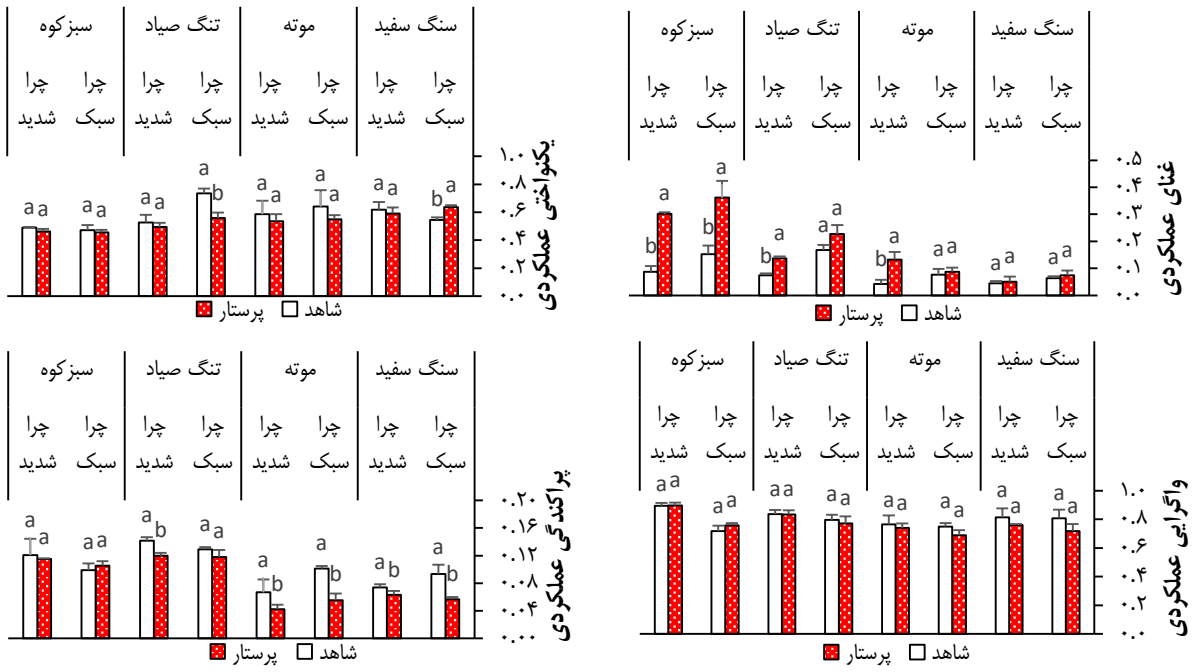
1. Principal Component Analysis (PCA)

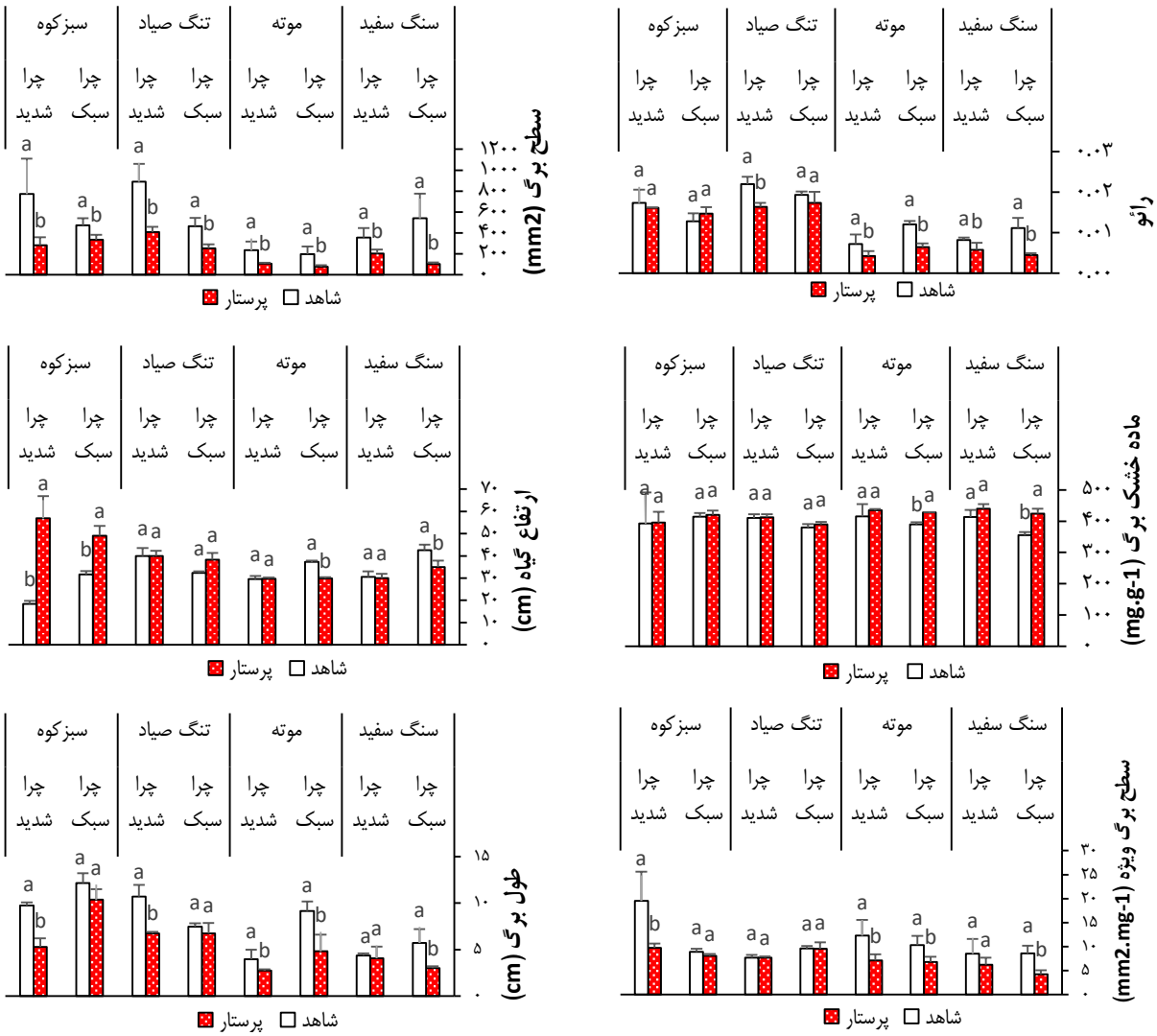
۳-۲- ارزیابی تغییرات تنوع عملکردی در پلات‌های زوجی تحت شرایط اقلیمی و چرایی مختلف

نتایج نشان داد حضور گونه پرستار غنای عملکردی را در تمام مناطق افزایش داد، اما میزان آن به اقلیم و شدت چرا بستگی دارد. بیشترین رشد در موته (۲۱۲ درصد در چرای شدید) و تنگ‌صیاد (۸۴ درصد در چرای شدید) مشاهده شد، در حالی‌که سبزکوه افزایش چشمگیر در چرای سبک (۱۳۸ درصد) و شدید (۲۴۵ درصد) داشت (شکل ۲). در مقابل، یکنواختی عملکردی در اکثر پلات‌های پرستار کاهش یافت، به‌ویژه در تنگ‌صیاد (کاهش ۲۴ درصد در چرای سبک). در سنگ‌سفید، چرای سبک منجر به افزایش معنی‌دار ۱۷ درصدی در این شاخص شد (شکل ۲). واگرایی عملکردی با حرکت به سمت اقلیم‌های مرطوب‌تر افزایش یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین زوج پلات‌ها نبود (شکل ۲). پراکندگی عملکردی و رائو در پلات‌های پرستار کاهش یافت به جز چرای سبک سبزکوه، اما کاهش در مناطق مختلف یکسان نبود. در شاخص پراکندگی عملکردی، پلات پرستار موجب کاهش ۳۹ و ۱۵ درصدی در چرای سبک و شدید سنگ‌سفید، کاهش ۴۵ و ۳۷ درصدی در چرای سبک و شدید موته و کاهش ۱۵ درصدی در چرای شدید تنگ‌صیاد شد. در رائو، پلات پرستار منجر به کاهش ۶۰ و ۲۹ درصدی در چرای سبک و شدید سنگ‌سفید، کاهش ۴۶ و ۴۱ درصدی در چرای سبک و شدید موته و کاهش ۲۵ درصدی در چرای شدید تنگ‌صیاد شد (شکل ۲). شاخص سطح برگ در تمام اقلیم‌ها و سطوح چرایی در پلات‌های پرستار کاهش معنی‌داری یافت. در مقابل ماده خشک برگ روند افزایشی داشت که در اقلیم‌های مختلف متفاوت بود. افزایش در سنگ‌سفید (۱۹ درصد) و موته (درصد۱۰) تحت چرای سبک معنی‌دار بود (شکل ۲). ارتفاع گیاه در اقلیم‌های خشک سنگ‌سفید ۱۸ درصد و موته ۲۰ درصد تحت چرای سبک کاهش معنی‌دار یافت و در اقلیم‌های مرطوب (تنگ‌صیاد و سبزکوه) افزایش قابل توجهی نشان داد (به‌ویژه در سبزکوه با ۵۵ و ۲۰۸ درصد افزایش در چرای سبک و شدید) (شکل ۲). سطح برگ ویژه، طول برگ، نیتروژن و فسفر برگ در تمام اقلیم‌ها کاهش یافت اما میزان کاهش متغیر بود. در سنگ‌سفید، چرای سبک باعث کاهش معنی‌دار ۵۱ درصدی سطح برگ ویژه و ۴۸ درصدی طول برگ شد. در موته چرای سبک و شدید به‌ترتیب کاهش معنی‌دار ۳۴ و ۴۲ درصدی در سطح برگ ویژه و ۴۷ و ۳۱ درصدی در طول برگ داشتند. در تنگ‌صیاد چرای شدید منجر به کاهش ۴۶ درصدی طول برگ شد. در سبزکوه تحت چرای شدید، کاهش معنی‌دار ۵۰ درصدی در سطح برگ ویژه و کاهش ۳۷ درصدی در طول برگ مشاهده شد. در سنگ‌سفید چرای سبک، کاهش معنی‌دار ۱۴ درصدی نیتروژن برگ و کاهش ۲۶ درصدی فسفر برگ و در موته چرای سبک و شدید به‌ترتیب کاهش ۳۰ و ۲۳ درصدی فسفر برگ را نشان دادند. در سبزکوه چرای شدید منجر به کاهش معنی‌دار ۱۶ درصدی در نیتروژن برگ گردید (شکل ۲).

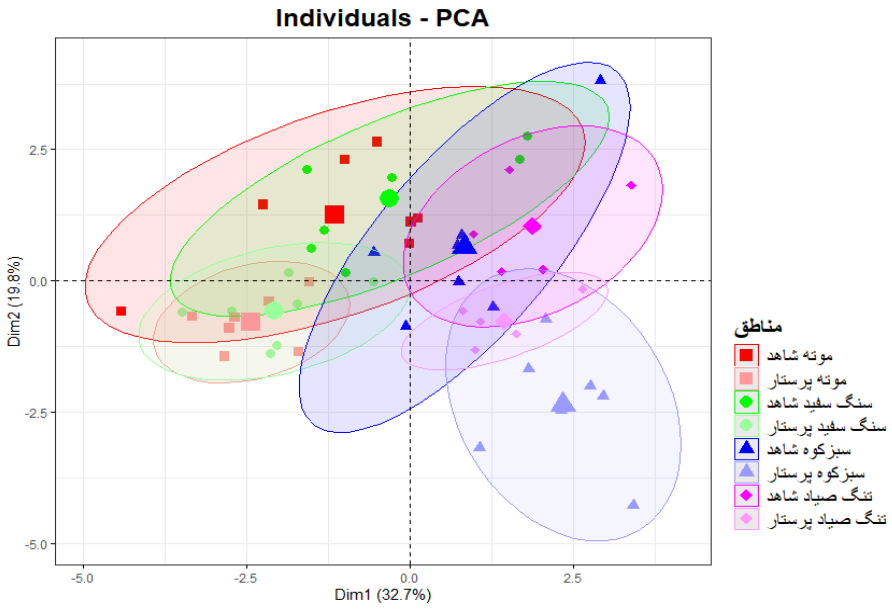
۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) شاخص‌های تنوع عملکردی در شرایط اقلیمی مختلف

بر اساس نتایج، دو محور اصلی اول و دوم در مجموع بیش از ۵۲ درصد تغییرات را توجیه نمودند که به ترتیب ۳۲/۷ و ۱۹/۸ درصد را نمایش می‌دهند (شکل ۳). با توجه به سهم قابل توجه این دو محور در تبیین تغییرات، در مراحل بعدی تحلیل‌ها از این دو محور استفاده گردید. تحلیل پراکنش نمونه‌ها در فضای تجزیه مولفه‌های اصلی نشان داد که همپوشانی بین شاهد و پرستار در مناطق سبزکوه و تنگ‌صیاد کمتر و میزان همپوشانی در مناطق موته و سنگ‌سفید بیشتر است. بیشترین میزان همپوشانی بین شاهد و پرستار سبزکوه با شاهد و پرستار در تنگ‌صیاد مشاهده شد. به‌طور مشابه، همپوشانی قابل توجهی بین شاهد موته با شاهد سنگ‌سفید و پرستار موته با پرستار سنگ‌سفید وجود داشت (شکل ۳).





شکل (۲): ارزیابی تغییرات تنوع عملکردی در پلات‌های زوجی تحت شرایط اقلیمی و چرایی مختلف



شکل (۳): پراکنش متغیرهای مختلف تنوع عملکردی و نمونه‌های مورد بررسی روی محور اول و دوم آنالیز تجزیه مولفه اصلی در اقلیم‌های مختلف

بررسی دقیق ماتریس همبستگی بین شاخص‌های تنوع عملکردی با محورهای اصلی نشان داد که محور اول بیشترین ارتباط را با شاخص‌های تنوع رائو، سطح برگ، محتوای نیتروژن برگ، ارتفاع گیاه و غنای عملکردی دارد، در حالی که محور دوم بیشترین همبستگی مثبت را با شاخص‌های سطح ویژه برگ و فسفر برگ و بیشترین همبستگی منفی را با غنای عملکردی و یکنواختی عملکردی نشان داد (جدول ۳).

جدول (۳): همبستگی شاخص‌های تنوع عملکردی با محور اول و دوم PCA

محور اول			محور دوم		
شاخص	Correlation r	*P*.value	شاخص	Correlation r	*P*.value
رائو	۰/۹۱۷	< ۰/۰۰۱	غنای عملکردی	−۰/۶۹۷	< ۰/۰۰۱
سطح برگ	۰/۹۱۱	< ۰/۰۰۱	یکنواختی عملکردی	−۰/۶۸۶	< ۰/۰۰۱
نیتروژن برگ	۰/۶۸۶	< ۰/۰۰۱	سطح برگ ویژه	۰/۶۰۱	< ۰/۰۰۱
ارتفاع گیاه	۰/۶۰۱	< ۰/۰۰۱	طول برگ	−۰/۵۳۵	< ۰/۰۰۱
غنای عملکردی	۰/۵۶۷	< ۰/۰۰۱	فسفر برگ	۰/۴۱۹	۰/۰۰۱
یکنواختی عملکردی	۰/۵۶۰	< ۰/۰۰۱	ماده خشک برگ	−۰/۴۰۴	۰/۰۰۲
ماده خشک برگ	۰/۵۳۷	< ۰/۰۰۱	ارتفاع گیاه	۰/۳۸۴	۰/۰۰۴
پراکندگی عملکردی	۰/۴۳۱	۰/۰۰۱	واگرایی عملکردی	۰/۳۶۳	۰/۰۰۷
طول برگ	−۰/۴۲۲	۰/۰۰۱			

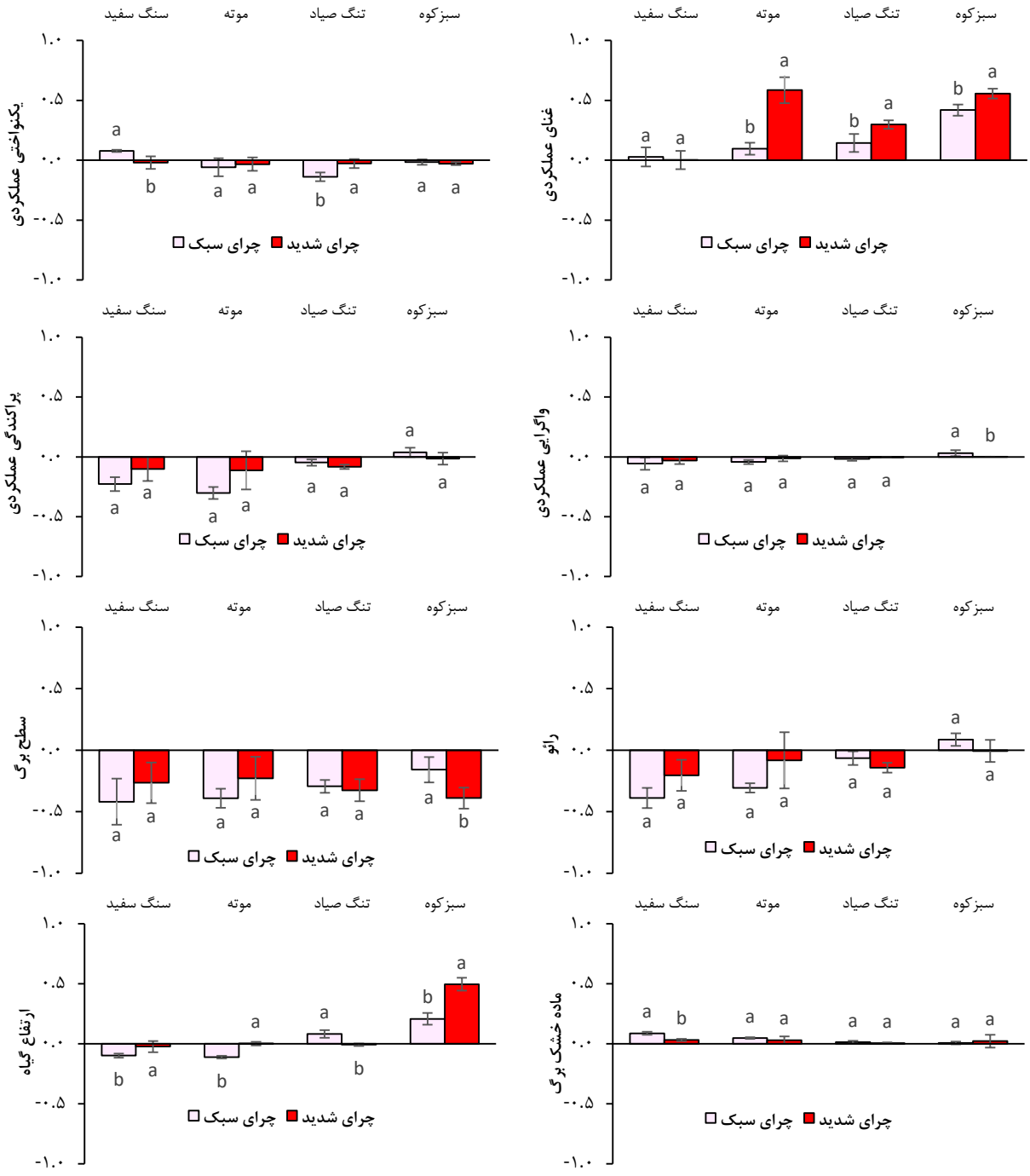
۳-٤- تحلیل تاثیر روابط زیستی بر تنوع عملکردی تحت شرایط اقلیمی و فشار چرای متفاوت

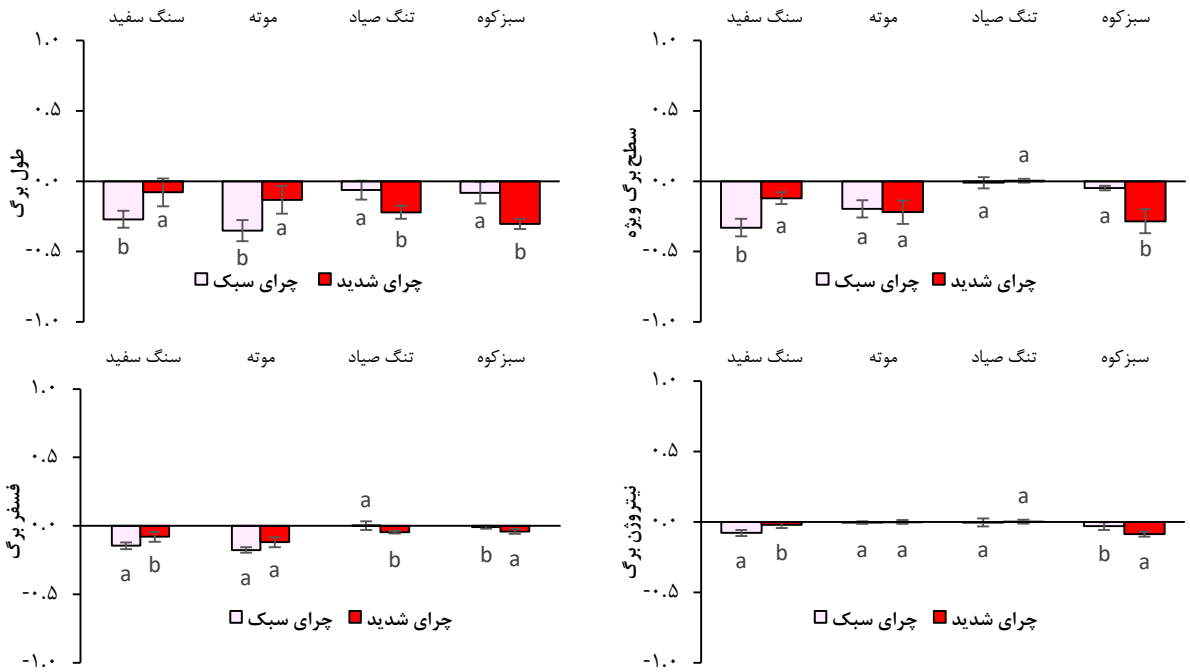
در شاخص غنای عملکردی، تمامی مناطق گرایش تسهیل‌گونه داشتند. در سنگ‌سفید با افزایش شدت چرا، تسهیل کاهش یافت. در موته، تنگ‌صیاد و سبزکوه، تسهیل به‌ترتیب ۵۱۰، ۱۰۷ و ۳۳ درصد با افزایش شدت چرا رشد معنی‌داری داشت (شکل ۴). در شاخص یکنواختی عملکردی در سنگ‌سفید با افزایش شدت چرا، تعامل از تسهیل به خنثی با ۱۲۶ درصد تغییر معنی‌دار همراه بود. در موته رقابت مشاهده شد که با افزایش شدت چرا کاهش یافت. در تنگ‌صیاد نیز با افزایش شدت چرا به‌طور معنی‌داری ۸۰ درصد از رقابت کاسته شد. در سبزکوه با افزایش شدت چرا تعاملات از خنثی به رقابت تغییر یافت (شکل ۴). در واگرایی عملکردی، تنها در سبزکوه تسهیل دیده شد که با افزایش شدت چرا، ۹۴ درصد کاهش معنی‌دار در تسهیل دیده شد (شکل ۴). در پراکندگی عملکردی و رائو، سنگ‌سفید و موته رقابت بیشتری داشتند و در تنگ‌صیاد رقابت کمتری بود. در سبزکوه، هر دو شاخص ابتدا تسهیل را نشان دادند که با افزایش شدت چرا خنثی شد (شکل ۴). تمامی اقلیم‌ها در سطوح مختلف چرایی در شاخص سطح برگ، تعامل رقابتی دارند که تنها در سبزکوه با افزایش شدت چرا، رقابت ۱۴۵ درصد افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۴). ماده خشک برگ در تمامی اقلیم‌ها تسهیل را نشان داد. در سنگ‌سفید و موته، تسهیل با افزایش شدت چرا کاهش یافت که در سنگ‌سفید این کاهش به‌صورت معنی‌دار ۶۳ درصد بود. در تنگ‌صیاد با افزایش شدت چرا، تسهیل جزئی به خنثی تغییر یافت. در حالی‌که در سبزکوه با افزایش شدت چرا، تعامل از خنثی به تسهیل متمایل شد (شکل ۴). تعاملات در شاخص ارتفاع گیاه در سنگ‌سفید و موته رقابتی بود، اما در تنگ‌صیاد و سبزکوه تسهیلی بود. در سنگ‌سفید، افزایش شدت چرا موجب کاهش معنی‌دار ۱۲۳ درصدی رقابت شد. در موته با افزایش شدت چرا، تعامل از رقابت به تسهیل جزئی و نزدیک به خنثی تغییر یافت (کاهش معنی‌دار ۱۰۲ درصدی). در تنگ‌صیاد، با افزایش شدت چرا، تعاملات از تسهیل به رقابت جزئی و نزدیک به خنثی تغییر یافت که این تغییر به صورت کاهش معنی‌دار ۱۰۹ درصدی است. در سبزکوه با افزایش شدت چرا، تسهیل ۱۳۹ درصد افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۴). در شاخص سطح برگ ویژه، سنگ‌سفید، موته و سبزکوه رقابت داشتند. در حالی که در تنگ‌صیاد، تعامل به‌صورت نزدیک به خنثی می‌باشد. در سنگ‌سفید با افزایش شدت چرا از رقابت به‌طور معنی‌دار ۶۳ درصد کاهش یافت. اما در موته و سبزکوه با افزایش شدت چرا به‌ویژه در سبزکوه بر رقابت به‌طور معنی‌دار ۴۸۷ درصد افزوده می‌شود. در تنگ‌صیاد، با افزایش شدت چرا تعاملات از رقابت جزئی به تسهیل جزئی و نزدیک به خنثی تغییر یافت (شکل ۴). تمامی اقلیم‌ها در شاخص طول برگ، رقابت را نشان دادند. در سنگ‌سفید و موته با افزایش شدت چرا رقابت کاهش یافت (به ترتیب ۷۱ و ۶۲ درصد). در تنگ‌صیاد و سبزکوه با افزایش شدت چرا بر رقابت به طور معنی‌دار ۲۴۹ و ۲۶۹ درصد افزوده شد (شکل ۴). بررسی نیتروژن برگ نشان داد در سنگ‌سفید و سبزکوه تعاملات به سمت رقابت متمایل شده که در سنگ‌سفید با افزایش شدت چرا به‌طور معنی‌دار ۷۲ از رقابت کاسته و در سبزکوه با افزایش شدت چرا به‌طور معنی‌دار ۱۸۸ درصد بر رقابت افزوده شد. در موته و تنگ‌صیاد در دو سطح چرایی، تعاملات نزدیک به خنثی بود (شکل ۴). در فسفر برگ در تمامی اقلیم‌ها، تعاملات به سمت رقابت متمایل شده. در سنگ‌سفید و موته با افزایش شدت چرا به‌ویژه در سنگ‌سفید به‌طور معنی‌دار ۴۵ درصد از رقابت کاسته شد. در تنگ‌صیاد با افزایش شدت چرا، تعامل از خنثی به رقابت تغییر معنی‌دار ۲۰۲۴ درصدی یافته و در سبزکوه با افزایش شدت چرا به‌طور معنی‌دار ۳۱۰ درصد بر رقابت افزوده شد (شکل ۴).

٤- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد تاثیر گونه‌های پرستار و شدت چرا بر شاخص‌های تنوع عملکردی، وابسته به شرایط محیطی (اقلیم، خاک و منابع) و ماهیت اکولوژیکی خود پرستارهاست. این گیاهان بر غنای عملکردی با افزایش ویژگی‌های عملکردی، پراکندگی عملکردی با تغییر توزیع ویژگی‌ها و شاخص رائو با تاثیر بر الگوهای توزیع گونه‌ها اثر معنی‌داری داشتند و با ایجاد سایه، حفظ رطوبت و جذب مواد مغذی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

گیاهان مجاور تاثیر گذاشتند. شدت چرا تنها بر غنای عملکردی از طریق حذف یا اضافه شدن گونه‌های منحصر به فرد، واگرایی عملکردی از طریق تغییر پراکندگی ویژگی‌ها و طول برگ از طریق انتخاب گونه‌هایی با برگ‌های کوچکتر و مقاوم‌تر اثر معنی‌دار داشت. تاثیر مناطق اقلیمی بر اکثر شاخص‌ها، بیانگر اهمیت تفاوت‌های محیطی در شکل‌گیری، حفظ و تغییرپذیری ویژگی‌های عملکردی جوامع گیاهی است. اثر ترکیبی تسهیل و شدت چرا به‌طور معنی‌داری بر ارتفاع گیاه موثر بود، پرستارها با بهبود شرایط محیطی و کاهش تنش‌های چرا، رشد عمودی گیاهان را افزایش دادند. همچنین، اثر ترکیبی معنی‌دار تسهیل و مناطق اقلیمی بر غنای عملکردی، ارتفاع گیاه و فسفر برگ نشان داد تاثیر گونه پرستار به شرایط منطقه‌ای وابسته است. این تعامل هم بر ساختار و عملکرد جوامع گیاهی تاثیر کلیدی دارد و هم می‌تواند کارایی گیاهان در استفاده از منابع را بهبود بخشد. اثر ترکیبی معنی‌دار شدت چرا و مناطق اقلیمی بر طول برگ نشان داد این ویژگی هم به شدت چرا و هم به عوامل منطقه‌ای (نوع خاک، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی) وابسته است. علاوه‌بر آن، اثر ترکیبی تسهیل، چرا و منطقه بر ارتفاع گیاه معنی‌داری بود، یعنی تاثیر گونه پرستار بسته به شدت چرا و شرایط منطقه‌ای متفاوت است.





شکل (٤): تحلیل تاثیر روابط زیستی بر تنوع عملکردی تحت شرایط اقلیمی و فشار چرای متفاوت

شاخص غنای عملکردی در تمام مناطق و سطوح چرایی به تسهیل گرایش دارد، اما شدت آن متفاوت است. در منطقه نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید، تسهیلگری ناچیز است زیرا کمبود شدید منابع پرستارها را به رقبای تهاجمی تبدیل کرده و از رشد گونه‌هایی با ویژگی‌های عملکردی متفاوت جلوگیری می‌کند. در مقابل، در مناطق استپی موته و نیمه‌استپی تنگ‌صیاد و سبزکوه پرستارها با بهبود شرایط محیطی، ایجاد ریزاقلیم‌های متنوع و جذب گونه‌هایی با عملکردهای گوناگون، تسهیل‌گری را افزایش می‌دهند. این افزایش در چرای شدید با «فرضیه گرادیان تنش» قابل تبیین است که نشان می‌دهد در محیط‌های پرتنش، پرستارها با ایجاد سازه‌های حفاظتی، اثرات چرای شدید را تعدیل می‌کنند (Flores and Jurado, 2003). گونه درمنه در چرای شدید با کاهش تراکم، تاج پوشش و ترشح مواد آللوپاتیک (طویلی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Escudero et al., 2000)، فضا و منابع را برای استقرار گونه‌هایی با ویژگی‌های عملکردی متفاوت آزاد می‌کند. این نتایج با یافته (نیکو و همکاران، ۱۳۹۵) درباره کاهش تاج پوشش درمنه در چرای شدید و مطالعه (مهاجر و همکاران، ۱۳۹۲) در مورد نقش تسهیلگری *Astragalus verus* در شرایط چرای شدید، همسو است. همچنین مطالعات (غلامی و همکاران، ۱۳۹۷) تایید کرده‌اند که *Astragalus brachycalyx* با ساختار چتری شکل و *Astragalus chrysostachys* با ویژگی خاردار خود (محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۸) به ویژه در شرایط چرای شدید، نقش حفاظتی برای گونه‌های زیراشکوب ایفا می‌کنند.

شاخص یکنواختی عملکردی در اکثر مناطق به‌جز سنگ‌سفید، گرایش به رقابت دارد. در سنگ‌سفید، پرستارها با ایجاد میکروکلیمای موقت (سایه و رطوبت) تسهیلگری ضعیفی دارند. در چرای سبک، با حفظ پوشش گیاهی خود، یکنواختی مثبت (اما ضعیف) ایجاد و در چرای شدید با تخریب میکروکلیما، رقابت را تشدید می‌کند. در موته، گونه پرستار هم نقش رقیب برای منابع و هم با ایجاد میکروکلیمای مناسب (سایه، رطوبت و دمای متعادل) شرایط رشد را برای گونه‌های خاص سازگار با این شرایط، فراهم می‌سازد. این انتخاب‌گری اکولوژیک باعث توزیع نامتوازن ویژگی‌های عملکردی در جامعه گیاهی شده و به کاهش شاخص یکنواختی عملکردی منجر می‌گردد. در تنگ‌صیاد با منابع نسبتا فراوان، تعادل به سمت رقابت شدیدتر تغییر می‌کند. فشار رقابتی برای فضا و نور افزایش یافته و تاثیر تعدیل‌کننده میکروکلیما کاهش می‌یابد. به همین دلیل، پرستارها به رقبای قوی تبدیل شده که کاهش قابل توجه یکنواختی عملکردی را در پی دارد. کاهش شدید رقابت در تنگ‌صیاد تحت چرای شدید، ناشی از نقش تعدیل‌کننده *Astragalus verus* است که با حفظ تثبیت نیتروژن و ایجاد میکروکلیمای پایدار، اثرات حذف گونه‌های غالب رقیب را جبران می‌کند. در سبزکوه با وفور منابعی چون رطوبت بالا، خاک غنی و نور کافی، نیاز به رقابت بین گونه‌ها به حداقل می‌رسد. گونه‌ها با تخصیص بهینه منابع از تداخل مستقیم اجتناب کرده و این سازگاری مکمل، کاهش یکنواختی عملکردی را در پی دارد.

مطالعه گرادیان اکولوژیکی از سنگ‌سفید تا سبزکوه نشان می‌دهد که با کاهش تنش‌های محیطی، الگوی واگرایی عملکردی تغییر می‌کند. در سنگ‌سفید با تنش‌های شدید (کمبود رطوبت، دمای بالا)، الگوی رقابتی غالب است، زیرا که گونه‌ها برای دستیابی به منابع محدود به شدت رقابت می‌کنند که منجر به غلبه گونه‌هایی با ویژگی‌های عملکردی مشابه و سازگار با شرایط سخت می‌شود. با حرکت به سمت مناطق با شرایط مطلوب‌تر (تنگ‌صیاد و سپس سبزکوه)، از رقابت کاسته و بر تسهیل افزوده می‌شود. در سبزکوه با منابع کافی (رطوبت بالا و نور مناسب) گونه‌های با ویژگی‌های عملکردی متنوع می‌توانند از طریق تخصصی‌شدن در بهره‌برداری از نیچ‌های اکولوژیک مختلف، بدون رقابت شدید در کنار هم به حیات ادامه دهند و این به افزایش تنوع و واگرایی در ویژگی‌های عملکردی منجر می‌شود.

در مناطق سنگ‌سفید و استپی موته با محدودیت منابع، شاخص‌های پراکندگی عملکردی و رائو الگوی رقابتی نسبتا شدیدی را نشان می‌دهند، چرا که بهبود شرایط توسط پرستارها برای جبران کمبود منابع کافی نیست. در منطقه تنگ‌صیاد، اگرچه الگوی رقابتی حفظ می‌شود، اما شدت آن به دلیل شرایط محیطی بهتر و نقش موثرتر پرستارها کاهش می‌یابد. در منطقه سبزکوه با منابع فراوان، الگوی تسهیل ضعیفی مشاهده می‌شود که در ان رقابت به نور و فضا تغییر کرده و پرستارها با ایجاد سایه و ریزاقلیم، امکان همزیستی گونه‌های حساس را فراهم می‌کنند.

الگوی سطح برگ در تمام مناطق رقابتی شدید و ماده خشک برگ به صورت تسهیل جزئی است. کاهش سطح برگ و افزایش ماده خشک برگ، یک پاسخ سازگارانه به پرستارهاست. این یافته‌ها با نتایج Danet et al. (۲۰۱۷) درباره تاثیر مثبت پرستارها بر محتوای ماده خشک برگ همخوانی دارد که با ایجاد میکروکلیمای مناسب، گیاهان را به تولید برگ‌های کوچکتر اما غنی‌تر برای بهینه‌سازی مصرف آب و بازده فتوسنتزی سوق می‌دهند. در شاخص سطح برگ، در مناطق خشک (سنگ‌سفید و موته)، چرای شدید با کاهش تراکم گیاهان غالب، منابع محدود (آب، نور و مواد مغذی) را آزاد و رقابت را کاهش می‌دهد. در مقابل، در مناطق مرطوب (تنگ‌صیاد و سبزکوه)، چرای شدید با تخریب ساختار پرستارها، نفوذ نور را افزایش داده و رقابت را تشدید می‌کند. این اثر در سبزکوه به دلیل وابستگی گیاهان زیراشکوب به سایه‌بان پرستارها، با کاهش سطح برگ همراه است. در ماده خشک برگ، چرای شدید در سنگ‌سفید و موته با کاهش تراکم پرستارها و تضعیف اثرات میکروکلیمایی، کاهش ماده خشک برگ را در پی دارد. در تنگ‌صیاد با تسهیل جزئی، تفاوتی بین سطوح چرایی وجود ندارد. در سبزکوه در چرای شدید با افزایش نیاز گیاهان زیراشکوب به سایه و محافظت، نقش پرستارها تقویت شده و به تولید برگ‌های با کیفیت‌تر می‌انجامد.

در مناطق نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید و استپی موته، پرستارها با تسلط بر منابع، رقابت شدیدی ایجاد می‌کنند که منجر به کاهش رشد ارتفاعی در گیاهان زیراشکوب می‌گردد. این یافته با نتایج Michalet et al. (۲۰۱۴) که نشان دادند در محیط‌های با تنش شدید، رابطه از تسهیل به رقابت تغییر می‌کند، هم‌راستا است. همچنین، چرای شدید با کاهش تراکم پرستارها، این رقابت را کاهش می‌دهد. در مناطق نیمه‌استپی تنگ‌صیاد و سبزکوه، پرستارها با ایجاد میکروکلیما، رشد ارتفاعی را افزایش می‌دهند. این نتایج با مطالعات Wang et al. (۲۰۲۰)، Madrigal Gonzalez et al. (۲۰۲۰) و Danet et al. (۲۰۱۷) درباره نقش پرستارها در تعدیل تنش‌های محیطی، همخوانی دارد. در تنگ‌صیاد، چرای شدید پرستارهای آسیب‌پذیر را حذف کرده و در نتیجه مکانیسم‌های تسهیلی تضعیف می‌شوند. این امر تعاملات را به سمت حالت خنثی سوق می‌دهد که نشانگر حساسیت بالای این اکوسیستم به چرای مفرط است. در سبزکوه، چرای شدید پرستارهای مقاوم (بالشتکی و خاردار) را تقویت کرده و تسهیلگری را تشدید می‌کند. این پدید با فرضیه گرادیان تنش قابل توضیح است. گونه‌های پرستار در مناطق نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید و استپی موته با سایه‌اندازی و آللوپاتی، موجب شکل‌گیری استراتژی‌های محافظه‌کارانه (کاهش سطح برگ ویژه) در گیاهان زیراشکوب شده‌اند. این پدیده نمونه‌ای از مهندسی اکوسیستم توسط گونه‌های کلیدی در محیط‌های پرتنش است. در سنگ‌سفید، چرای سبک با حفظ تراکم پرستارها، گیاهان زیراشکوب را به سمت استراتژی محافظه‌کارانه سوق می‌دهد. در موته، سازوکارهای متفاوت در هر دو شدت چرا منجر به کاهش سطح برگ ویژه می‌شود؛ در چرای سبک از طریق تعدیل محیط و در چرای شدید از طریق میکروزیستگاه‌های حفاظتی. در تنگ‌صیاد، سطح برگ ویژه نشان دهنده رقابت بسیار ضعیف (نزدیک به خنثی) است که علت آن تراکم ناکافی گونه پرستار و عدم توانایی *Astragalus verus* در ایجاد تغییرات معنی‌دار در جامعه گیاهی است. در منطقه نیمه‌استپی سبزکوه، تراکم بالای پرستارها و سایه‌اندازی شدید منجر به کاهش نور دریافتی به گیاهان زیراشکوب و تولید برگ‌های ضخیم با سطح برگ ویژه پایین شد. در چرای شدید، تخریب ساختار پرستارها موجب افزایش نفوذ نور به لایه زیرین و در نتیجه افزایش رقابت می‌شود.

در مناطق نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید و استپی موته، محدودیت منابع موجب رقابت فشرده بین پرستارها و گیاهان زیراشکوب می‌شود. این رقابت همراه آللوپاتی، رشد طولی برگ گیاهان زیراشکوب را محدود می‌کند. چرای شدید با کاهش تراکم پرستارها (*Anabasis aphylla* L.) و *Artemisia sieberi* Besser.) منابع را آزاد کرده و رقابت را کاهش می‌دهد که نتیجه افزایش نسبی طول برگ گیاهان زیراشکوب است. در تنگ‌صیاد، چندین مکانیسم (توزیع ناهمگن منابع، سایه‌اندازی ناکافی به دلیل کاهش تراکم گونه پرستار، تنوع گونه‌ای بالا و همپوشانی نیچ‌های اکولوژیک، پاسخ فیزیولوژیکی گیاهان به کاهش طول برگ برای بهینه‌سازی مصرف انرژی) سبب گرایش طول برگ به رقابت می‌شود. در سبزکوه، سایه شدید پرستارها نور دریافتی گیاهان زیراشکوب را محدود کرده و به تولید برگ‌های کوتاه‌تر با ساختار ضخیم و لیگنین بالا سوق می‌دهد که به جوامع گیاهی پایدار با کارایی مصرف آب بالا منجر می‌شود. چرای شدید در دو منطقه با تخریب ساختار پرستارها (کاهش تراکم و سایه‌اندازی) و خاک (فشردگی و کاهش رطوبت)، استراتژی کاهش طول برگ در گیاهان زیراشکوب تشدید می‌کند.

الگوی رقابتی در منطقه نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید نشان می‌دهد که گیاهان پرستار به‌ویژه (*Anabasis aphylla* L.)، با جذب بیشتر نیتروژن محدود خاک و تغییر ترکیبات شیمیایی خاک (ترشح مواد آللوپاتیک و تجمع نمک در پای بوته)، جذب نیتروژن توسط ریشه گیاهان دیگر را محدود می‌کنند. چرای شدید با اختلال در سیستم رقابتی، دسترسی زیراشکوب به نیتروژن را بهبود می‌بخشد. در موته، سیستم ریشه‌ای سطحی درمنه و شستشوی ترکیبات آللوپاتیک توسط باران‌های پراکنده، روابط بین گیاهی را در هر دو شدت چرا خنثی نگه می‌دارد. در منطقه نیمه‌استپی تنگ‌صیاد، *Astragalus verus* به دلیل عدم توانایی تغییر محسوس چرخه نیتروژن، رفتار ریشه‌ای غیررقابتی و شرایط خاک متعادل، نقش خنثی در دسترسی نیتروژن گیاهان زیراشکوب ایفا می‌کند. در سبزکوه، پرستارها با ریشه‌های گسترده، نیتروژن را رقابتی جذب کرده و دسترسی گیاهان زیراشکوب را کاهش می‌دهند. در

چرای شدید آنها برای جبران آسیب ناشی از چرا، به جای تسهیلگری، به ذخیره‌سازی منابع و انحصار نیتروژن از طریق سیستم ریشه‌ای تهاجمی می‌پردازند که کاهش بیشتر نیتروژن برگ در گیاهان زیراشکوب را در پی دارد. در مناطق نیمه‌بیابانی سنگ‌سفید و استپی موته، پرستارها با رقابت فیزیکی (جذب انحصاری منابع توسط ریشه‌های سطحی و عمقی) و شیمیایی (ترشح ترکیبات آللوپاتیک)، دسترسی گیاهان زیراشکوب به فسفر را محدود می‌کنند. چرای شدید با کاهش تراکم و فشار رقابتی پرستارها و افزایش بازچرخه فسفر از طریق فضولات دام، این دسترسی را بهبود می‌بخشد. در تنگ‌صیاد *Astragalus verus* فسفر را به‌طور رقابتی مصرف می‌کند و در چرای شدید تشدید می‌شود. در سبزکوه پرستارها با راهبردهای ریشه‌ای، فسفر را انحصاری می‌کنند. چرای شدید با فشردگی خاک و کاهش تخلخل، جذب آن را برای گیاهان زیراشکوب محدود می‌کند.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد گونه‌های پرستار به‌عنوان مهندسین اکوسیستم، با تغییر ساختار جوامع گیاهی، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد و پویایی مراتع دارند. این تاثیر از سه مسیر قابل تفسیر است: در مناطق نیمه‌استپی، با ایجاد شرایط محیطی مناسب، امکان همزیستی گونه‌های با استراتژی‌های متنوع را فراهم می‌کنند. این تنوع عملکردی افزایش‌یافته (با شاخص‌های غنای عملکردی، واگرایی عملکردی و شاخص رائو) منجر به استفاده کارآمدتر از منابع محیطی و تقویت فرآیندهای حیاتی مانند چرخه مواد مغذی، تولید اولیه خالص و تنوع و فعالیت جوامع میکروبی خاک می‌گردد (Navarro-Cano et al., 2014؛ Zak et al., 2003). این اثرات به شدت وابسته به شرایط محیطی است به‌طوری که در مناطق نیمه‌بیابانی حداقل و در مناطق نیمه‌استپی حداکثر است. بنابراین پرستارها با ایجاد پنجره‌های اکولوژیک برای استقرار گونه‌هایی با ویژگی‌های عملکردی متنوع، نه تنها ساختار جوامع گیاهی، بلکه عملکردهای کلیدی اکوسیستم را تشکیل می‌دهند. این یافته‌ها بر مدیریت هوشمند و اختصاصی مراتع، از جمله انتخاب گونه‌های پرستار مناسب و تنظیم شدت چرا تاکید می‌کند.

منابع

امیدی‌پور، ر.، ابراهیمی، ع.، طهماسبی، پ.، و فرامرزی، م. (۱۳۹۸). رابطه بین غنای عملکردی، یکنواختی و واگرایی با عملکرد اکوسیستم در مراتع استپی سرد مرجن، بروجن. مرتع، ۱۳(۳)، ۵۲۱-۵۰۴.

جنگجو، م. (۱۳۸۸). اصلاح و توسعه مرتع. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی، ۲۴۰ص.

حسن‌پور، ه. (۱۳۸۹). بررسی میزان وابستگی گونه‌های شاخص مرتعی به زیراشکوب بوته‌ها در امتداد گرادیان چرا، در منطقه بهارکیش قوچان. کارشناسی ارشد رشته زیست‌شناسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ۱۰۹ص.

داوودآبادی فراهانی، ز. (۱۳۹۶). بررسی اثر بستر و گروه‌های کارکردی بوته بر روابط زیستی گیاهی و شرایط خرد زیستگاهی (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان). کارشناسی ارشد مرتعداری دانشگاه تربیت مدرس، ۱۴۰ص.

طویلی، ع.، جنت‌رستمی، م.، و ابراهیمی درچه، خ. (۱۳۸۸). بررسی اثر بازدارندگی Artemisia sieberi بر ویژگی‌های جوانه زنی Salsola rigida. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۶(۳)، ۴۱۸-۴۰۹.

غلامی، پ.، شیرمردی، ح. ع.، و موسوی، س. ح. (۱۳۹۷). اثر حفاظتی گونه Astragalus brachycal Fisch بر بانک بذر خاک گیاهان زیراشکوب در مراتع نیمه استپی زاگرس. هفتمین کنفرانس ملی مرتع و مرتعداری ایران، اردیبهشت ۱۳۹۷، ۱۲ص.

محمدآبادی، ف.، فرزام، م.، و اجتهادی، ح. (۱۳۹۸). اثر تسهیل بوته‌های مرتعی گون و درمنه بر تنوع گونه‌ای گیاهی در امتداد گرادیان چرای دام. بوم‌شناسی کاربردی، ۸(۲)، ۲۹-۱۷.

مهاجر، ن.، جوری، م. ح.، مهدوی، م.، مهاجر، ن.، و باغستانی‌فر، م. (۱۳۹۲). بررسی نقش گونه‌های پرستار (حامی) بر حفظ تنوع گونه‌ای در سه تیمار مختلف چرایی (عرصه‌های چرایی شدید، متوسط، قرق) مطالعه موردی: مراتع ییلاقی سرعلی آباد گرگان. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۸(۳۰)، ۲۴-۱۵.

نوربخش، ن.، میرزائی، ج.، حسین‌زاده، ج.، و امیدی‌پور، ر. (۱۴۰۳). تأثیر تاج پوشش درختی کنار و رملیک بر تنوع و روابط زیستی پوشش‌علفی در مناطق نیمه‌خشک. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۴(۳)، ۷۳-۶۱.

نیکو، ش.، و رحیمی دهچراغی، م. (۱۳۹۵). اثر شدت‌های مختلف چرا بر خصوصیات کمی و کیفی اندام‌های هوایی درمنه دشتی (مطالعه موردی: مناطق قوشه و لوکه در استان سمنان). مرتع، ۱۰(۳)، ۲۹۱-۲۸۲.

Bertness, M.D., and Callaway, R. (1994). Positive interactions in communities. Trends in Ecology and Evolution, 9(5), 191-193.

Bishaya, P., Hazarika, V., and Sharma, N. (2024). Functional Diversity: Part 1: Introduction and Background. Resonance, 29(6), 825-838.

Bossuyt, B., De Fre, B., and Hoffmann, M. (2005). Abundance and flowering success patterns in a short-term grazed grassland: early evidence of facilitation. Journal of Ecology, 93(6), 1104-1114.

Brooker, R.W., Maestre, F.T., Callaway, R.M., Lortie, C.L., Cavieres, L.A., Kunstler, G., Liancourt, P., TielbOrger, K., Travis, J.M.J., Anthelme, F., Armas, C., Coll, L., Corcket, E., Delzon, S., Forey, E., Kikvidze, Z., Olofsson, J., Pugnaire, F., Quiroz, C.L., Saccone, P., Schiffers, K., Seifan, M., Touzard, B., and Michalet, R. (2008). Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. Journal of Ecology, 96(1), 18-34.

Callaway, R.M. (2007). Positive interactions and interdependence in plant communities (Vol. 415). Dordrecht: Springer.

Callaway, R.M., Kikvidze, Z., and Kikodze, D. (2000). Facilitation by unpalatable weeds may conserve plant diversity in overgrazed meadows in the Caucasus Mountains. Oikos, 89(2), 275-282.

Callaway, R.M., and Walker, L.R. (1997). Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. Ecology, 78(7), 1958-1965.

Cavieres, L. A., and Badano, E.I. (2009). Do facilitative interactions increase species richness at the entire community level? Journal of Ecology, 97(6), 1181-1191.

Chiu, C.H., and Chao, A. (2014). Distance-based functional diversity measures and their decomposition: a framework based on Hill numbers. PloS ONE, 9(7), e100014.

Cornelissen, J.H.C., Lavorel, S., Garnie, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D.E., Reich, P.B., Ter Steege, H., Morgan, H.D., VanDer Heijden, M.G.A., Pausas, J.G., and Poorter, H. (2003). A Handbook of Protocols for Standardised and Easy Measurement of Plant Functional Traits Worldwide. Australian Journal of Botany, 51(4), 335-380.

Danet, A., Kéfi, S., Meneses, R.I., and Anthelme, F. (2017). Nurse species and indirect facilitation through grazing drive plant community functional traits in tropical alpine peatlands. Ecology and Evolution, 7(24), 11265-11276.

Danet, A., Anthelme, F., Gross, N., and Kefi, S. (2018). Effects of indirect facilitation on functional diversity, dominance and niche differentiation in tropical alpine communities. Journal of Vegetation Science, 29(5), 835-845.

Esler, K., and Rebelo, A. (2014). Quantifying Functional Biodiversity. African Journal of Range and Forage Science. 31(3), 235-236.

Escudero, A., Albert, M.J., Pita, J.M., and Perez-Garcia, F. (2000). Inhibitory effects of Artemisia herba-alba on the germination of the gypsophyte Helianthemum squamatum. Plant Ecology, 148(1), 71-80.

Espinosa, C.I., Luzuriaga, A L., de la Cruz, M., and Escudero, A. (2014). Climate and grazing control nurse effects in an Ecuadorian dry shrubby community. Journal of Tropical Ecology, 30(1), 23-32.

Flores, J., and Jurado, E. (2003). Are nurse-protege interactions more common among plants from arid environments? Journal of Vegetation Science, 14(6), 911-916.

Garnier, E., Cortez, J., Billeos, G., Navas, M.L., Roumet, C., Debussche, M., Laurent, G., Blanchard, A., Aubry, D., Bellmann, A., Neill, C., and Toussaint, J.P. (2004). Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. Ecology, 85(9), 2630-2637.

Gomez-Aparicio, L. (2008). Spatial patterns of recruitment in Mediterranean plant species: linking the fate of seeds, seedlings and saplings in heterogeneous landscapes at different scales. Journal of Ecology. 96:1128–40.

Hacker, S.D., and Bertness, M.D. (1999). Experimental evidence for factors maintaining plant species diversity in a New England salt marsh. Ecology, 80(6), 2064-2073.

Hay, M.E. (1986). Associational plant defenses and the maintenance of species diversity: turning competitors into accomplices. The American Naturalist, 128(5), 617-641.

Hodgson, J.G., Wilson, P.J., Hunt, R., Grime, J.P., and Thompson, K. (1999). Allocating CSR plant functional types: a soft approach to a hard problem. Oikos, 85(2), 282-294.

Levitt, J. (1980). Response of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses. New Yourk: Academic press. 187-211.

Madrigal-Gonzalez, J., Cano-Barbacil, C., Kigel, J., Ferrandis, P., and Luzuriaga, A.L. (2020). Nurse plants promote taxonomic and functional diversity in an arid Mediterranean annual plant community. Journal of Vegetation Science, 31(4), 658-666.

Mason, N.W., McGillivray, H.K., Steel, J.B., and Wilson, J.B. (2003). An index of functional diversity. Journal of Vegetation Science, 14(4), 571-578.

Michalet, R. Chen, S., An, L., Wang, X., Wang, Y., Guo, P., Ding, C., and Xiao, S. (2014). Communities: are they groups of hidden interactions? Journal of Vegetation Science, 26(2), 207–218.

Mihoc, M.A.K., Gimenez-Benavides, L., Pescador, D.S., Sanchez, A.M., Cavieres, L.A., and Escudero, A. (2016). Soil under nurse plants is always better than outside: a survey on soil amelioration by a complete guild of nurse plants across a long environmental gradient. Journal of Plant and Soil, 408(1-2), 31–41.

Milchunas, D.G., and Noy-Meir, I. (2002). Grazing refuges, external avoidance of herbivory and plant diversity. Oikos, 99(1), 113-130.

Mouillot, D., Mason, W.N., Dumay, O., and Wilson, J.B. (2005). Functional regularity: a neglected aspect of functional diversity. Oecologia, 142(3), 353-359.

Navarro-Cano, J.A., Goberna, M., Valiente-Banuet, A., and Verdu, M. (2016). Same nurse but different time: temporal divergence in the facilitation of plant lineages with contrasted functional syndromes. Functional Ecology, 30(11), 1854-1861.

Navarro-Cano, J.A., Goberna, M., Valiente-Banuet, A., Montesinos-Navarro, A., Garcia, C., and Verdu, M. (2014). Plant phylodiversity enhances soil microbial productivity in facilitation-driven communities. Oecologia, 174(3), 909-920.

Padilla, F.M., and Pugnaire, F.I. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. Frontiers in Ecology and the Environment, 4(4), 196-202.

Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., and Gurvich, E.D. (2013). New Handbook for Standardised Measurement of Plant Functional Traits Worldwide. Australian Journal of Botany, 61(3), 167-234.

Pla, L., Fernando Casanoves, F., and Di Rienzo, J. (2011). Quantifying Functional Biodiversity. Springer Science and Business Media, 107p.

Pugnaire, F. I., Armas, C., and Maestre, F. T. (2011). Positive plant interactions in the Iberian Southeast: mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. Journal of Arid Environments, 75(12), 1310-1320.

Rahmanian, S., Ejtehadi, H., Farzam, M., Hejda, M., Memariani, F., and Pysek, P. (2021). The effects of aridity and grazing on the relation between the dominant shrub Artemisia kopetdaghensis and plants under its canopy. Ecology and Evolution, 11(20), 14115-14124.

Squires, V. (1981). Livestock management in the arid zone. Melbourne, Sydney and London: Inkata Press. 505p.

Tilman, D. (2001). Functional Diversity. Encyclopedia of Biodiversity, 3, 109-120.

Verwijmeren, M., Smit, C., Bautista, S., Wassen, M.J., and Rietkerk, M. (2019). Combined grazing and drought stress alter the outcome of nurse: beneficiary interactions in a semi-arid ecosystem. Ecosystems, 22(6), 1295-1307.

Villéger, S., Mason, N.W., and Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. Ecology, 89(8), 2290-2301.

Wang, X., Michalet, R., Meng, L., Zhou, X., Chen, S., Du, G., and Xiao, S. (2021). Direct and indirect facilitation affect community productivity through changes in functional diversity in an alpine system. Annals of Botany, 127(2), 241-249.

Zak, D.R., Holmes, W.E., White, D.C., Peacock, A.D., and Tilman, D. (2003). Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? Ecology, 84(8), 2042-2050.

Zhang, G., and Zhao, W. (2015). Species-specific traits determine shrub-annual interactions during a growing season. Journal of Arid Land, 7(3), 403-413.

Management of Natural Ecosystems
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 44-57
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732759.html

Facilitative effect of nurse species on functional diversity in the gradient of climate change and animal grazing

Zeinab Mirshekari[1], Esmaeil Asadi Boroujeni*[2], Pejman Tahmasebi Kahyani[3], Elham Ghehsareh Ardestani[3]

CC BY

Research Article

1. Ph.D. student in Rangeland Science and Engineering, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

z.mirshekari3489@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

asadi-es@sku.ac.ir
* Corresponding author

3. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

pejman.tahmasebi@sku.ac.ir

elham.ghehsareh@sku.ac.ir

Article Code: 2511-1136
Countinus Pagination: 1018-1031

Received: 20 November 2025
Accepted: 18 December 2025
Online: 19 December 2025
Review speed: 29 days

Citation:
Mirshekari, Z., Asadi Boroujeni, E., Tahmasebi Kahyani, P., and Ghehsareh Ardestani, E. (2025). Facilitative effect of nurse species on functional diversity in the gradient of climate change and animal grazing. Management of Natural Ecosystems, 5(1), 44-57.

Abstract

Plant-plant interactions play a key role in structuring plant communities, but their effects in relation to factors such as livestock grazing and climate have been less studied. Most studies have focused on species diversity, and functional diversity has been less studied. Therefore, the present study was conducted with the aim of investigating the effectsof nurse species on functional diversity under different grazing intensities across four climatic regions of Isfahan and Chaharmahal and Bakhtiari provinces (SangSefid: semi- desert, Mouteh: steppe, TangSayad and Sabzkouh: semi-steppe). In each region, seven sites different levels of light and heavy grazingwere selected and at each site, three 30 m² macroplots, each containing four 2 m² microplots (three nurse species and one control), were assessed. Information on Plant presence, abundance, and functional traits(specific leaf area (SLA), leaf dry matter content (LDMC), leaf length, leaf area, and leaf nitrogen and phosphorus content) were measured. Data were analyzed using R and SPSS, and repeated measures analysis and principal component analysis (PCA) were performed. The competitive or facilitative role of nurse species was calculated using the Relative Interaction Index (RII). The results showed that the mechanisms of influence of nurse species depend on climatic conditions. In arid regions like SangSefid, species such as (*Anabasis aphylla* L. and *Artemisia sieberi* Besser.) acted predominantly competitively, whereas in more humid regions like Sabzkouh, species of (*Astragalus brachycalyx* Boiss. and *Astragalus susianus* Boiss.) showed greater facilitation by creating a microclimate and improving soil conditions. Heavy grazing in dry regions reduced nurse density thereby decreasing competition, while in humid regions, resistant Astragalus species with thorny and cushion-like structures both remained protected from degradation and had their facilitative role enhanced. Additionally, understory plants exhibited adaptive responses, including altered leaf traits (reduced leaf area, leaf length, and specific leaf area, increased leaf dry matter content) and nutrient uptake (nitrogen and phosphorus). This study emphasizes the importance of conserving nurse species for sustainable rangeland management.

Key Words:

Plant-Plant interactions, Competition, Biological indicator, Rangeland management, Functional Traits.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.732759