تأثیر گرادیان اقلیمی بر تغییرات تنوع تاکسونومیکی و عملکردی گیاهی

رفیعی[1]، ف، اجتهادی[2]، ح، فرزام*[3]، م، زارع[4]، ح

[1]دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، [2]استاد، گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، *[3]استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول: mjankju@um.ac.ir [4]استادیار، هرباریوم باغ گیاه‌شناسی نوشهر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

کلمات کلیدی: پراکندگی عملکردی؛ تنوع تاکسونومیکی؛ بارندگی؛ گرادیان اقلیمی؛ ایران

چکیده: تغییرات اقلیمی هم راستا با انواع میکروزیستگاه‌ها نیروهای کنترلی شدیدی بر الگوهای تنوع زیستی در اکوسیستم‌های پرتنش اعمال می‌کنند. تاکنون مطالعات گسترده‌ای در خصوص نقش رخنمون‌های سنگی به عنوان یک میکروزیستگاه مناسب در جهت تعیین الگوهای تنوع زیستی انجام نشده است. لذا در این مطالعه الگوهای تنوع زیستی در رخنمون‌های سنگی و مراتع مجاور آن در یک گرادیان اقلیمی بارندگی سالانه (160 تا 910 میلی‌متر) از شاهرود تا گرگان بررسی شد. برای این منظور، 90 پلات 25 متر مربعی در 12 سایت زوجی (مرتع یا رخنمون) مستقر شدند و تنوع تاکسونومیکی با استفاده از شاخص‌های هیل (N0، N1 و N2) و تنوع عملکردی با استفاده از شاخص F dis مورد سنجش قرار گرفتند. نتایج نشان داد الگوهای تنوع تاکسونومیکی تحت دو شاخص N0 و N1 در راستای گرادیان بارش در رخنمون و مرتع دارای تغییرات مشابه هستند. در حالی که تنوع تاکسونومیکی تحت شاخص N2 در راستای گرادیان بارش یک افزایش معنادار در مرتع را هم راستا با تغییرات غیر معنادار برای رخنمون نشان داد. در مقابل یک کاهش و یک افزایش معنادار در تنوع عملکردی در راستای گرادیان بارش به ترتیب برای رخنمون و مرتع مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد رخنمون‌های سنگی مکانیسم‌های مشابه با مرتع را در تنظیم تنوع تاکسونومیکی در راستای گرادیان بارش اعمال کرده‌اند. در حالی که آن‌ها با کاهش معنادار در پراکندگی عملکردی، گونه‌های گیاهی با عملکرد مشابه را تحت حمایت خود قرار دادند که کمتر قادر هستند در شرایط پرتنش اکوسیستم‌های مرتعی حضور یابند.

The Effect of Climatic Gradient on Variations in Taxonomic and Functional Plant Diversity

Rafiee[1], F; Ejtehadi[2], H; Farzam[3]*, M; Zare[4], H

[1]Ph.D. Student in Plant Ecology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad [2]Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad [3]Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Coresponding Author: mjankju@um.ac.ir [4]Assistant Professor, Herbarium of Nowshahr Botanical Garden, Research Center of agriculture and natural Reseources of Mazandaran

Key words: Functional diversity; Taxonomic diversity; Precipitation; Climatic gradient; Iran

***Abstract*:** Climate change promote strong controlling forces simultaneous with microhabitat types on biodiversity patterns in stressful ecosystems. Extensive studies on the role of rock outcrops as a suitable microhabitat to determine biodiversity patterns have not been performed so far. Therefore, in this study, biodiversity patterns were investigated in rock outcrops and adjacent rangelands in a climatic gradient of annual precipitation (160 to 910 mm) from Shahroud to Gorgan. In this regard, 90 plots of 25 m^2 in 12 pairs of sites (rangeland or outcrop) and Taxonomic diversity was measured using Hill numbers (N0, N1 and N2) and functional diversity was measured using Fdis index. We found similar taxonomic patterns (under N0 and N1 indices) between outcrop and rangeland communities across precipitation gradient. While, taxonomic diversity under N2 index showed a significant increase in rangeland simultaneously with non-significant changes for the outcrop across precipitation gradient. Functional diversity represent opposite trends across precipitation in rangeland vs outcrop. Such trends exhibited a significant decrease and increase in functional diversity across precipitation gradient for outcrop and rangeland, respectively. These results indicated that impacts of rock outcrops on taxonomic diversity were similar to mechanisms shaping taxonomic diversity in rangelands. While, they supported plant species with similar performance that were less able to withstand the stressful condition of rangeland ecosystems, with a significant reduction in functional dispersion.

مقدمه

درک فرآیندهای شکل‌گیری الگوهای تنوع زیستی در اکوسیستم‌های مختلف یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای اکولوژیست‌های اجتماع محسوب می‌شود (Gaston 2009). مطالعات بسیاری به تأثیر مهم فاکتورهای اقلیمی از جمله بارش و دما در تشکیل جنبه‌های مختلف تنوع زیستی پرداخته‌اند. هر چند فاکتور بارندگی در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک بسیار پررنگ‌تر عمل نموده است (De Bello et al. 2006). در کنار فاکتورهای اقلیمی که معمولا در مقیاس‌های ناحیه‌ای بر تنوع زیستی مؤثر هستند؛ سایر فاکتورهای محیطی و زیستی نیز مهم می‌باشند که در مقیاس‌های محلی و خرد مهم‌ترین تأثیرات خود را اعمال می‌کنند (Pashirzad et al. 2019). هر چند مطالعات کمی موجود هستند که به تأثیر رخنمون‌های سنگی بر روی تنوع زیستی اشاره کرده‌اند اما اکثر آن‌ها تنوع تاکسونومیکی را مورد بررسی قرار داده‌اند. تنوع زیستی تنها تنوع و گوناگونی گونه‌های حضور یافته در یک اجتماع نیست بلکه یک ساختار و مفهوم چندگانه است که از طریق مجموعه وسیعی از ژن‌ها، گونه‌ها و صفات عملکردی در اکوسیستم محاسبه و تفسیر می‌گردند (Swenson 2014, Cadotte et al. 2013). در واقع، این امکان وجود دارد که تنوع تاکسونومیکی کمترین اطلاعات را در مورد تمامی ابعاد تنوع زیستی ارائه نماید. برای مثال، اجتماعات گیاهی مختلف می‌توانند تنوع تاکسونومیکی کاملا یکسان، اما سطوح بسیار متفاوتی از تنوع عملکردی را داشته باشند که در نتیجه تفاوت‌های بسیار در سطوح مختلف تنوع زیستی را ارائه خواهند کرد (Caddote and Davis 2016, Swenson 2014)؛ بنابراین، این یک ضرورت است که تأثیر فاکتورهای محیطی مختلف و رخنمون‌های سنگی بر روی جنبه‌های مختلف تنوع زیستی انجام گیرد تا به درک بهتری از فاکتورهای مؤثر در شکل‌گیری الگوهای تنوع زیستی رسید.

رخنمون‌های سنگی و صخره‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین میکروزیستگاه‌ها در اکوسیستم‌های پرتنش شناخته شده‌اند. این میکروزیستگاه با ویژگی‌هایی نظیر توپوگرافی غیر قابل دسترس برای انسان و دام، تغییرات محیطی کم و سطح پایین برهمکنش‌های زیستی می‌تواند پناهگاهی امن برای گونه‌های بومی، رلیک و اندمیک باشد (Davis 1951, Snogerup 1971, Cooper 1997). این زیستگاه‌ها با خاک‌های کم‌عمق، آب و مواد مغذی کم، دمای کم شبانه، تابش زیاد نور خورشید و باد شدید مشخص می‌شوند (Medina and Fernandes, 2007, Davis 1951, Baskin 1988). چنین ویژگی‌هایی از رخنمون‌ها سبب شده است تا تنوع زیستی متفاوتی را در ابعاد آلفا و بتا با اکوسیستم‌های اطراف نشان دهند (Nunes et al. 2020, Gomes and Alves 2010, Speziale and Ezcurra 2012). این گونه به نظر می‌رسد تفاوت‌های مشاهده شده در تنوع زیستی تحت رخنمون‌های سنگی نسبت به اکوسیستم‌های مجاور آن به طور غیر مستقیم تحت تأثیر عوامل محیطی باشد. هر چند مطالعات زیادی در اختیار نیست تا این مشاهدات را تأیید نماید. از این رو این مطالعه در صدد آن است تا تغییرات در الگوهای تنوع زیستی در رخنمون‌های سنگی را هم راستا با تغییر عوامل اقلیمی نظیر بارندگی نسبت به الگوهای تنوع زیستی در مراتع مجاور آن ارزیابی نماید.

روش و منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی آسیا و شمال ایران، در دو استان سمنان و گلستان در مسیر جاده شاهرود به توسکستان گرگان قرار دارد (شکل 1). این منطقه دارای بارندگی با میزان اختلاف نسبتا زیاد از 160 میلی‌متر در شاهرود تا 910 میلی‌متر در توسکستان است. هم‌چنین این منطقه دارای رخنمون‌های سنگی با سازند زمین شناسی یکسان است که در جهات شمالی واقع شده‌اند. نمونه‌برداری از پوشش گیاهی به‌صورت سیستماتیک- تصادفی در 6 سایت (شاهرود، مجن، آبشار مجن، چهارباغ، سرعلی‌آباد و توسکستان) انجام شد. در هر سایت 15 پلات 25 متر مربعی با توجه به نوع پوشش گیاهی (درختچه زار و بوته‌ای) مستقر گردید. در مجموع 90 پلات 25 متر مربعی در امتداد شیب بارندگی در سال‌های 2017-2018 مستقر شد. در هر پلات اطلاعات پوشش گیاهی و صفات عملکردی برای هر گونه گیاهی اندازه‌گیری شد. اعداد هیل (N0, N1, N2) برای اندازه‌گیری تنوع تاکسونومیکی انتخاب شدند (Chao et al.2014). محاسبه این اعداد بر مبنای تعداد گونه که کمتر تحت تأثیر شدت نمونه‌برداری قرار می‌گیرد انجام شد (Chao et al. 2014). محاسبه این اعداد از طریق بسته HillR در نرم‌افزار R انجام شد. بررسی تنوع عملکردی با توجه به صفات عملکردی انجام شد. صفات عملکردی باید بتواند شاخص‌های رقابت و رشد و سازگاری و استقرار و متغیرهای محیطی را توصیف کند. در نتیجه 10 صفت کیفی و کمی با توجه به هدف مطالعه بر اساس روش‌های اندازه‌گیری صفات (Pérez- Harguindeguy et al. 2013, Cornelissen et al. 2003) انتخاب شدند. صفات عملکردی ارتفاع گیاه (Plant height)، وزن بذر (Seed mass)، سطح برگ (Leaf area (LA))، سطح ویژه برگ (Specifc leaf area (SLA))، محتوای وزن خشک برگ (Leaf dry-matter content (LDMC))، شکل زیستی (Life form)، تاریخچه زندگی (Life span)، کلونالیتی (Clonality)، خارداری برگ (Spinences) و خوش‌خوراکی گیاه انتخاب شد. برای اندازه‌گیری این صفات ده فرد از هر گونه

گیاهی جمع‌آوری و جهت حفظ رطوبت داخل کیسه‌های نایلونی جمع‌آوری شد و به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه فاصله یقه تا بالاترین بخش فتوسنتز کننده گیاه و تحت شرایط اکولوژیکی مطلوب در فصل رشد مناسب اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از اسکنر دیجیتالی و نرم‌افزار سطح برگ (Leaf Area Measurement v1.3 sofware) اندازه‌گیری شد (Andrew Askew, University of Shefeld, UK). وزن تر برگ با استفاده از برگ تازه اشباع از رطوبت که تا زمان اندازه‌گیری در یخچال نگهداری می‌شد با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن خشک برگ نیز بعد از اندازه‌گیری سطح برگ به مدت 72 ساعت در آون 70 °C خشک شد، سپس وزن خشک آن گرفته شد. برای صفات کیفی نیز صفت شکل زیستی گیاه با استفاده از طبقه‌بندی رانکایر (1934) به 5 طبقه فانروفیت، کامفیت، همی‌کریپتوفیت، ژئوفیت و تروفیت کد دهی شدند. تاریخچه زندگی نیز به دو حالت یک‌ساله و چند ساله تقسیم شد. کلونالیتی نیز بر اساس داشتن اندام تولید مثل رویشی و جنسی به دو حالت کد دهی شد. خارداری نیز بر اساس وجود و عدم وجود خار تقسیم‌بندی شد. اندازه‌گیری تنوع عملکردی با استفاده از شاخص functional Dispersion(Fdis) در بسته (FD) (Mason et al. 2005) در نرم‌افزار R انجام شد. انتخاب این شاخص به دلیل تأثیرپذیری کم آن به غنای گونه‌ای و محاسبه تغییرات تنوع عملکردی در قالب انواع مختلف صفات است (Swenson 2014). در نهایت، تغییرات تنوع تاکسونومیکی و عملکردی در راستای گرادیان بارندگی در رخنمون و مرتع با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی و غیر خطی (LM) در بسته lme4 در نرم‌افزار R سنجش شد.

نتایج

نتایج نشان داد تنوع تاکسونومیکی دو شاخص N0 و N1 دارای تغییرات غیر خطی در راستای گرادیان بارش در رخنمون و مرتع بودند (شکل 1، جدول 1). هر چند تغییرات این شاخص‌ها در راستای گرادیان بارندگی به صورت معنادار نبود (جدول 1). در حالی که تنوع تاکسونومیکی تحت شاخص N2 در راستای گرادیان بارش یک افزایش معنادار در مرتع را هم راستا با تغییرات غیر معنادار برای رخنمون نشان داد (شکل 1). تنوع عملکردی تحت شاخص (Fdis) تغییرات معنادار غیر خطی (جدول 1) را در راستای گرادیان بارش رخنمون (R^2_{adj} = 0.1743, p-value: 0.04) و مرتع (R2: 0.719, p-value: 3.6e-08) نشان دادند (شکل2) هر چند روند تغییرات در الگوهای تنوع عملکردی بین رخنمون و مرتع به صورت کاملا متفاوت بود به طوری که یک کاهش و یک افزایش معنادار در تنوع عملکردی در راستای گرادیان بارش به ترتیب برای رخنمون و مرتع مشاهده شد (شکل2). الگوهای تنوع تاکسونومیکی در رخنمون و مرتع تغییرات مشابهی داشتند و با افزاش بارندگی کاهش یافتند. به طوری که تنوع تاکسونومیکی در اکوسیستم‌های خشک بیشتر و با افزایش بارندگی کاهش یافت. به‌طور کلی اکوسیستم مرتع دارای غنا و تنوع گونه‌ای بیشتری در مقایسه با رخنمون بود (شکل 2). الگوهای تنوع عملکردی بین رخنمون و مرتع به صورت متناقضی تغییر نموده است. در رخنمون‌های سنگی با افزایش بارندگی پراکندگی عملکردی نیز کاهش یافت، نتیجه‌ی عکس در چشم‌اندازهای مرتعی مشاهده شد. به‌طوری که کمترین پراکندگی عملکردی عرصه‌های مرتعی در سایت‌های خشک مشاهده شد و با افزایش بارندگی افزایش یافت. منطقه نیمه‌خشک مجن دارای بیشترین میانگین تنوع تاکسونومیکی هیل بود که میزان این تنوع در پلات‌های رخنمون بیشتر از مرتع دیده شد و بعد از مجن منطقه نیمه مرطوب آبشار مجن و خشک شاهرود دارای تنوع بیشتری بود و این سه منطقه در گرادیان خشک ما قرار داشتند و نسبت به منطقه سرد مدیترانه‌ای چهارباغ که دارای میانگین بارندگی بیشتر و منطقه سر علی‌آباد و منطقه بسیار مرطوب توسکستان که در گرادیان مرطوب قرار دارند تنوع کمتری نسبت به مناطق خشک داشتند و درنتیجه رخنمون تنوع کمتری در مقایسه با مرتع داشت.

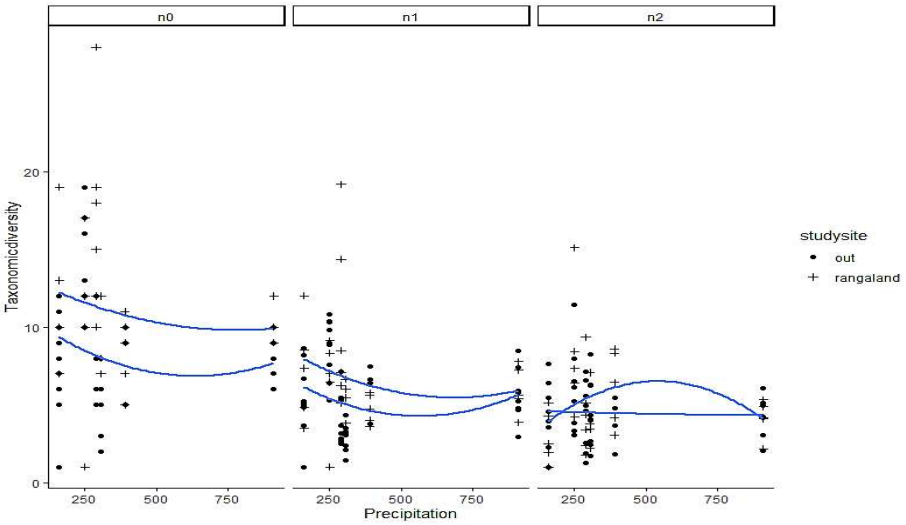

Figure. 1. Variation in taxonomic diversity in rocky outcrop and rangeland along climatic gradient

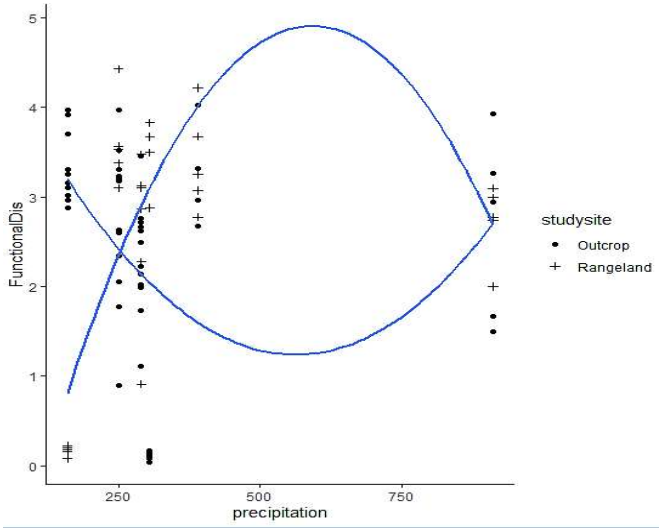

Figure. 2. Variation in functional diversity in rocky outcrop and rangeland along climatic gradient

Table 1. Results of linear and non-linear regression models on the effect of precipitation in rocky outcrop and rangeland on taxonomic and functional diversity along climatic gradient

lm	location	Hill index	AIC	R^2	P- value
Nonlinear	Rangeland	N1	160.9897	0.0558	0.2837
		N2	165.56	0.45	2.2e-16***
		N0	184.0063	0.03596	0.3611
	Outcrop	N1	186.5516	0.00615	0.8977
		N2	171.3923	0.001475	0.8817
		N0	221.4962	0.009818	0.5802
Linear	Rangeland	N1	159.3974	0.04243	0.2837
		N2	150.491	0.004126	0.7406
		N0	182.1559	0.03097	0.3611
	Outcrop	N1	184.7809	0.0001355	0.8977
		N2	169.4247	0.0006231	0.8817
		N0	223.4487	0.008579	0.5802
Nonlineaer	Rangeland	Fdis	155.7132	0.7191	3.6e-08***
	Outcrop	Fdis	222.1709	0.1743	0.04241*
Linear	Rangeland	Fdis	188.959	0.09041	0.1064
	Outcrop	Fdis	226.9484	0.003271	0.7404

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد بارندگی در رخنمون و مرتع بر تنوع تاکسونومیکی N0 و N1 تأثیر معناداری نداشت. در حالی که تنوع تاکسونومیکی تحت شاخص N2 در راستای گرادیان بارش یک افزایش معنادار در مرتع را هم راستا با تغییرات غیر معنادار برای رخنمون نشان داد. رخنمون‌ها دارای تنوع و غنای یکسانی در شرایط اقلیمی متفاوت هستند و نشان دهنده این است که شیب بارندگی در مناطق مختلف اقلیمی نتوانست بر تنوع تاکسونومیکی تأثیر بگذارد. در واقع شرایط تنش خشکی و کمبود منابع غذایی و حاصلخیزی کم خاک غنا و تنوع گونه‌ای را در رخنمون‌ها محدود کرده است. کاهش تنوع تاکسونومیکی در امتداد گرادیان بارندگی در رخنمون و مرتع مشاهده شد. (شکل 1). هر چند بعضی مطالعات نقش رخنمون‌ها را در افزایش تنوع تاکسونومیکی و تغییر ساختار جوامع گیاهی نشان داده‌اند (Speziale and Ezcurra 2012). ترکیب فلوریستیکی و تنوع گونه‌ای مشابه رخنمون‌ها در مناطق نیمه‌خشک برزیل نشان دهنده گروه‌های غالب در ساختار پوشش گیاهی رخنمون‌های سنگی هستند (Gomes and Alves 2009). تأثیر بارندگی فصلی بر رخنمون‌های سنگی نیز مشابه نتایج ما الگوهای غنای گونه‌ای مشابه در رخنمون‌های سنگی و تنوع بتای متفاوتی در آن‌ها نشان داد (Nunes et al. 2020). تغییرات معنادار غیر خطی در تنوع عملکردی در رخنمون و مرتع نشان دهنده عکس‌العمل گونه‌ها به عوامل محیطی و شرایط سخت رخنمون‌ها که به‌صورت همگرایی و واگرایی عملکردی مشاهده شد. افزایش غنا و تنوع عملکردی در رخنمون‌های برزیل نیز مشابه نتایج ما نقش رخنمون‌های سنگی در حفظ تنوع عملکردی اکوسیستم را بیان می‌کند (Neriet al. 2017). هر چند این تغییرات دارای روند متفاوتی در مرتع و رخنمون بودند. در رخنمون کاهش تنوع عملکردی می‌تواند به دلیل حضور گونه‌ها با تشابهات عملکردی زیاد باشد که به صورت همگرایی عملکردی قابل مشاهده بودند در حالی که در مرتع یک افزایش در حضور گونه‌ها با عملکردهای متفاوت به ویژه در میانه گرادیان بارندگی قابل مشاهده است. دلیل حضور گونه‌ها با تشابهات عملکردی زیاد در رخنمون‌ها می‌تواند به دلیل نقش میکروزیستگاهی رخنمون‌ها در تسهیل گروه‌های عملکردی با ویژگی‌های مشابه باشد که چنین واقعه‌ای تحت تأثیر غیر مستقیم فاکتورهای محیطی قابل وقوع است و دلیل حضور گونه‌ها با عملکردهای متفاوت در مرتع می‌تواند به دلیل نقش پررنگ رقابت یا برهمکنش تعادلی بین رقابت و تسهیل به ویژه در میانه گرادیان بارندگی باشد. رقابت بین گروه‌های عملکردی مشابه به دلیل برخورداری از نیچ‌های مشابه سبب می‌گردد تا گونه‌های گیاهی با دامنه عملکردی متفاوت در یک اجتماع حضور یابند. در نتیجه تنوع تاکسونومیکی در مقایسه با عملکردی مستقل از هم در امتداد گرادیان بارندگی تغییر کردند؛ بنابراین این مطالعه به اهمیت حفاظت از رخنمون‌های سنگی برای حفظ تنوع زیستی در اکوسیستم‌های ناشناخته به‌ویژه در مناطق اقلیمی متفاوت پرداخته است.

سپاسگزاری

از مسئولین آزمایشگاه اکولوژی گیاهی و تنوع زیستی دانشکده علوم و آزمایشگاه گیاه‌شناسی و مرتع دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد جهت کمک به اندازه‌گیری نمونه‌های گیاهی سپاسگزاریم.

منابع

Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 1988. Endemism in rock outcrop plant communities of unglaciated eastern United States: an evaluation of the roles of the edaphic, genetic and light factors. *J. Biogeogr*., 15: 829–840.

Cadotte, M.W. and Davies,P.R. 2016. Why phylogenies do not always predict ecological differences. *Ecol. Monogr*., 87(4): 535-551.

Cadotte, M.W. 2013. Experimental evidence that evolutionarily diverse assemblages result in higher productivity. PNAS. 110:22(8996–9000). Atwww.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1301685110/-/DCSupplemental.

Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. and Ellison, A.M. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr*., 84: 45–67. DOI: 10.1890/13-0133.1.

Cooper, A. 1997. Plant species coexistence in cliff habitats. *J. Biogeogr*., 24: 483–494.

Davis, P.H. 1951. Cliff vegetation in the eastern Mediterranean. *J. Ecol*., 39: 63– 93.

Cornelissen, J.H.C., Larovel, S., Garnier, E., Diaz, N., Buchman, N., Gurrich, E., Reich, P.B., Ter Steege, N., Morgan, H.D., Vander Heijden, M.G.A., Pausas, J.G. and Poorter, H. 2003. A hand book of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits world wide. *J. Bot*., 51: 335-380.

Davis, P.H. 1951. Cliff vegetation in the eastern Mediterranean. *J. Ecol*., 39: 63– 93

De Bello, F., Lepš, J. and Sebastià, M. T. 2006. Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. *Ecography*., 29(6), 801–810.

Gaston, K.J. 2009. Geographic range limits: Achieving synthesis. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 276, 1395–1406.

Gomes, P. and Alves, M. 2009. Floristic and vegetational aspects of an inselberg in the semi-arid region of Northeast Brazil. *J. Bot*. 66:1-18.

Mason, N.W, Mouillot, D. and Lee, WG. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*., 111:112–8.

Medina, B.M.O. and Fernandes, G.W. 2007. The potential of natural regeneration of rocky outcrop vegetation on rupestrian field soils in Serra do Cipó, Brazil. *J. Bot*., 30: 665–678.

Neri, A.V., Borges, G.R.A., Meira-Neto, J.A.A.M., Magnago, L.F.S., Trotter, I.M., Schaefer, C.E.G.R. and Porembski, S. 2016. Soil and altitude drives diversity and functioning of Brazilian Páramos (Campo de Altitude). *Plant Ecol*., 10(5): 771–779.

Nunes, J.A., Schaefer, C.E.G.R., Ferreira-Junior, W.G., Neri, A.V., Correa, G.R. and Enright, N.J. 2020. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 87(4): 2097–2110.

Pashirzad, M., Ejtehadi, H., Vaezi, J., Shefferson, R.P. 2019. Multiple processes at different spatial scales determine beta diversity patterns in a mountainous semi-arid rangeland of Khorassan-Kopet Dagh floristic province, NE Iran. *Plant Ecol*., 220, pages829–844.

Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S. and Garnier, E. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *J Bot*., 61:167–234.

Snogerup, S. 1971. Evolutionary and plant geographical aspects of chasmophytic communities. In: Davis, P.H. et al. (eds.), Plant life of South- West Asia. The Botanical Society of Edinburgh, Edinburgh, pp. 157–170.

Spezialea, K.L. and Ezcurra, C. 2012. The role of outcrops in the diversity of Patagonian vegetation: Relicts of glacial palaeofloras?. *Flora*., 207 , 141–149.

Swenson, G.N. 2014. Functional and Phylogenetic Ecology in R (Use R!), 2014th Edition, Kindle Edition.