

تأثیر ارتفاع از سطح دریا و خصوصیات خاک بر تنوع آلفا و بتای مراتع پلور مازندران

زینب جعفریان^{۱*}، رضا امیدپور^۲ و لیلیا زندی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳۰)

چکیده

تنوع زیستی یکی از مسائل مهم بوم‌شناختی است که پایه و اساس عملکرد اکوسیستم است. بنابراین حفظ تنوع زیستی برای رفاه انسان لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات تنوع آلفا و بتا و مؤلفه‌های تنوع بتا در طول گرادیان ارتفاع در ۵ طبقه ارتفاعی و همچنین تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تغییرات شاخص‌های مذکور بود. در هر طبقه ۲۰ نمونه خاک و در کل ۱۰۰ نمونه از منطقه برداشت شده و ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با شاخص‌های تنوع مورد بررسی قرار گرفت. تعداد گونه‌ها در ۱۰۰ پلات برداشت شد و شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در دو سطح پلات و ترانسکت در نرم‌افزار R محاسبه شد. بر اساس نتایج، کمترین میزان تنوع آلفای پلات ($1/03 \pm 12/47$) و ترانسکت ($1/06 \pm 24/15$) مربوط به کلاس ارتفاعی بیش از ۳۲۰۰ متر بود درحالی‌که کمترین مقدار تنوع بتای پلات ($0/78 \pm 11$) و ترانسکت ($0/44 \pm 18$) در کلاس ارتفاعی کمتر از ۲۶۰۰ متر مشاهده شد. در همه کلاس‌های ارتفاعی، بیش از ۹۰ درصد از تغییرات تنوع بتا به واسطه مؤلفه روگشت گونه‌ای اتفاق افتاده و مؤلفه الگوی آشیانه‌ای سهم بسیار ناچیزی از تنوع بتا را توجیه کرد. مدل کلی (همه عوامل محیطی) تنها ۱۱ درصد از تغییرات تنوع آلفا و ۳۰ درصد از تغییرات تنوع بتا را توجیه نمود. این نتیجه بیانگر پیچیدگی بالای محیط و جوامع گیاهی است و به روشنی نشان می‌دهد که با استفاده از برخی متغیرهای محیطی نمی‌توان کل تغییرات ترکیب گیاهان را آشکار کرد.

واژه‌های کلیدی: تنوع مکانی، حفاظت، روگشت گونه‌ای، الگوی آشیانه‌ای

۱. گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۲. فارغ التحصیل دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.jafaian@sanru.ac.ir

مقدمه

یکی از مسائل مهم بوم‌شناسی، تنوع‌زیستی است که پایه و اساس عملکرد اکوسیستم است، بنابراین حفظ تنوع‌زیستی برای رفاه انسان لازم و ضروری است (۶۶). برای حفاظت مؤثر از تنوع گونه‌ای در اکوسیستم‌های مرتعی، اندازه‌گیری و پایش مستمر تغییرات تنوع گونه‌ای ضروری است (۴۷). هرچند برای اندازه‌گیری تنوع‌زیستی شاخص‌های زیادی معرفی شده (۴۰)، ولی این شاخص‌ها عموماً توجهی به مقیاس مکانی ندارند. تنوع گونه‌ای در مقیاس مکانی برای اولین بار با استفاده از سه اصطلاح آلفا (α)، بتا (β) و گاما (γ) توسط ویتاگر (۶۹ و ۷۰) کمی شد. تنوع آلفا و گاما به‌عنوان تنوع درون رویشگاه مطرح بوده (۲۶) و دارای ویژگی‌های یکسان و مقیاس مکانی متفاوت هستند (تنوع آلفا شاخص مقیاس محلی و تنوع گاما شاخص منطقه‌ای). تنوع بتا که به‌عنوان تنوع بین رویشگاه (۳۴) شناخته می‌شود، به‌صورت "میزان ناهمگنی، اختلاف یا عدم شباهت در ترکیب گیاهی" تعریف می‌شود (۳۵ و ۶۱). با توجه به اینکه شاخص تنوع آلفا و گاما به‌نوعی معادل شاخص غنای گونه‌ای با مقیاس‌های مختلف هستند (۴۰)، شاخص تنوع بتا کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است، اما در بررسی تنوع اکوسیستم‌های مختلف با استفاده از شاخص‌های تنوع آلفا و بتا، علاوه بر نمایش تغییرات تنوع‌زیستی، تأثیرات تغییر در مقیاس مکانی را نیز می‌توان نمایان ساخت.

تنوع بتا یکی از مفاهیم مهم و اساسی در تنوع‌زیستی است که منعکس‌کننده تغییرات ترکیب گیاهی در طول جوامع محلی بوده و نقش مهمی در ارتباط تنوع آلفا و گاما با عوامل محیطی نیز دارد (۳۳ و ۶۵). بنابراین شاخص تنوع بتا می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید برای آشکارسازی سازوکار ایجادکننده تنوع به‌خصوص در طول گرادیان‌های محیطی و جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد (۸). الگوهای تغییرات تنوع بتا در مناطق مختلف و در مقیاس‌های گوناگون یکسان نیست. برای مثال، تنوع بتا با تغییر موقعیت از مناطق حاره‌ای به مناطق معتدله کاهش می‌یابد (۳۱ و ۶۲). همچنین نتایج تحقیقات نشان داده

که تنوع بتا با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند (۳۳). مطالعه تنوع بتا در طول گرادیان ارتفاعی طولانی (در یک دامنه وسیع) بسیار محدود است (۶۴). به‌علاوه، مطالعات محدودی در زمینه اینکه تنوع بتا چگونه با ارتفاع تغییر می‌کند وجود دارد و ایراد اساسی آنها عدم تکرار در نتایج آنهاست (۴۱). یکی دیگر از ایرادات تحقیقات بررسی گرادیان ارتفاع و تنوع بتا، کوتاه‌بودن گرادیان ارتفاع (۱۹) و کم‌بودن تعداد تکرار در هر طبقه ارتفاعی برای محاسبه تنوع بتا است (۳۳). در نتیجه، به‌رغم دهه‌ها تحقیق در مورد ارتباط تنوع بتا با ارتفاع در طول گرادیان و اهمیت مطالعه آن، الگوها و دلایل ارتباط تنوع بتا با ارتفاع در طول گرادیان ارتفاعی تا حدود زیادی ناشناخته مانده است.

تنوع بتا توسط دو مکانیسم روگشت مکانی (Spatial turnover) (یعنی دو پلات، تعداد گونه یکسانی دارند ولی متفاوت هستند) و الگوی آشیانه‌ای (Nestedness pattern) (یعنی حذف یا اضافه‌شدن یک گونه) ایجاد می‌شود (۳) این دو مکانیسم نتیجه دو فرایند متضاد، یعنی جایگزینی گونه و ازدست‌دادن گونه هستند. در نظر گرفتن این دو مؤلفه تنوع بتا، یعنی الگوی آشیانه‌ای و روگشت مکانی در تحقیقات تنوع‌زیستی بسیار مهم و اثرگذار بوده و انتظار می‌رود هرگونه تغییر جزئی یا کلی جمعیت، به تغییر الگوی تنوع بتا منجر شود. الگوی آشیانه‌ای بازتابی واقعی از روند کاهش گونه توسط هر عاملی است که جداسازی گونه از جمعیت را به‌طور هدفمند و منظم ایجاد نماید (۲۰). الگوی آشیانه‌ای گونه زمانی اتفاق می‌افتد که بیوم‌ها یا سایت‌های دارای کمترین تعداد گونه، دارای زیرمجموعه بیوم‌هایی غنی‌تر باشند (۳). بنابراین در بررسی تأثیر عوامل محیطی بر تنوع بتا، با تعیین مؤلفه‌های آن و بررسی تأثیرات محیطی بر این مؤلفه‌ها، می‌توان اطلاعات ارزشمندتری را فراهم آورد.

محققان مختلف عوامل بسیاری را به‌جهت تأثیرگذاری بر شاخص‌های تنوع آلفا و بتا برشمرده‌اند. ارتفاع از سطح دریا یکی از مهم‌ترین این عوامل است (۳۳) که با تأثیر بر میزان و نوع بارندگی، دما، تبخیر، تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی، و تشکیل و تکامل خاک، بر غنا و تراکم پوشش گیاهی تأثیر بسزایی

دوسویه (اثرگذار و اثرپذیر) بر تنوع در جوامع گیاهی دارند. بر اساس تحقیقات انجام شده، تنوع گیاهی با افزایش دسترسی به مواد مغذی خاک کاهش می‌یابد (۱۱). به عبارت دیگر، افزایش مواد مغذی خاک موجب افزایش تقابل گیاهان و غالب شدن تعداد کمی از آنها شده که در نهایت موجب کاهش تنوع می‌شود (۱۳). از طرف دیگر افزایش حاصلخیزی و قابلیت تولید به افزایش رقابت برای دستیابی به منابعی مانند نور منجر خواهد شد (۵۴). در این حالت گونه‌های گیاهی سریع‌الرشد موجب حذف سایر گونه‌های گیاهی می‌شوند که در نهایت تنوع را کاهش می‌دهند. در همین راستا مطالعات نشان می‌دهد که افزایش نیتروژن به خاک موجب کاهش غنای گونه‌ای می‌شود (۶۸)، درحالی‌که نتایج متضادی برای نسبت‌های پایین نیتروژن در علفزارهای معتدل اروپا گزارش شده است (۲ و ۲۵).

همچنین تأثیرپذیری شاخص‌های تنوع به‌ویژه تنوع آلفا و بتا از عناصر خاک مانند ماده آلی، فسفر و پتاسیم نیز گزارش شده است (۵۴ و ۵۵). میزان اسیدیته خاک (pH) نیز به‌عنوان یک عامل مهم اثرگذار بر تنوع معرفی شده که دسترسی گیاهان به مواد غذایی را محدود می‌کند (۱۵). اسیدیته خاک به دلیل تفاوت گیاهان از نظر نیازهای غذایی و همچنین آستانه تحمل‌های مختلف نسبت به اسیدیته و شوری موجب تغییر تنوع و ترکیب گیاهی می‌شود (۱۵). مشابه با این نظریه، پالپرینا و همکاران (۴۸) نشان دادند که ارتباط بین تنوع و اسیدیته خاک با افزایش مقدار خشکی از بین می‌رود.

با توجه به مطالب بیان شده، اطلاع دقیق از وضعیت موجود و تعداد گونه‌ها و نحوه پراکنش آنها در مقیاس‌های گوناگون ضروری است. بنابراین لزوم بررسی ارتباط شاخص‌های تنوع مکانی آلفا و بتا با متغیرهای محیطی مانند ارتفاع و توجه به تأثیر عوامل خاکی بر نوع این رابطه آشکار می‌شود. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر افزایش ارتفاع از سطح دریا بر شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در مراتع پلور استان مازندران و همچنین تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تغییرات شاخص‌های مذکور انجام شده است.

دارد (۲۷). ارتفاع از سطح دریا هنگامی که با محدودیت‌های اقلیمی همراه می‌شود به‌عنوان یک عامل محدودکننده در استقرار و رشد گیاهان محسوب می‌شود (۶۴). همچنین بسیاری از پژوهش‌ها ارتفاع از سطح دریا را به‌عنوان یک عامل مؤثر بر تنوع و غنای گیاهان معرفی کرده‌اند (۱۸). مطالعات دیگری نیز نشان داده‌اند که فاکتورهای محیطی غیرزنده مانند توپوگرافی، عامل مهمی در تغییرات تنوع گونه‌ای هستند (۲۸، ۴۳ و ۵۹). در کشور ایران نیز نتایج مطالعات امیدپور و همکاران (۲۰۱۷) در زمینه تأثیر چرای دام بر مؤلفه‌های گیاهی مراتع نیمه‌خشک ایلام نشان داد که تنوع بین سایت (بتا) دارای بیشترین سهم از تنوع کل بود که نشان‌دهنده تفاوت در ترکیب بین سایت‌هاست. همچنین اعمال قرق سبب افزایش تنوع گونه‌ای در سطح پلات (آلفا) و بتا (۱) شد، درحالی‌که این امر سبب کاهش تنوع گونه‌ای در مقیاس سایت (تنوع بین سایت یا بتا ۲) گردید. همچنین عرفان‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تغییرات مؤلفه‌های تنوع گونه‌ای در مقیاس‌های مختلف در ارتباط با چرا و شرایط محیطی متفاوت (خشک و نیمه‌خشک) در دو مقیاس محلی (پلات) و منطقه‌ای (دو منطقه قرق و چرا شده) با استفاده از تقسیم‌بندی افزایشی نشان دادند که تنوع بین سایت‌ها (بتا ۲) سهم بیشتری از تنوع کل (گاما) را به خود اختصاص داده است. به‌علاوه تنوع آلفا و بتا ۱ در مناطق چرا نشده برای تمام گونه‌های عمومی در هر دو اقلیم بیشتر بود. بنابراین آگاهی و درک سازوکارها و فرایندهای ایجادکننده ارتباط تنوع-ارتفاع در طول گرادیان ارتفاعی، نه تنها یکی از مهم‌ترین مسائل بوم‌شناسی و تکامل است (۳۸)، بلکه دارای اهمیت زیادی در حفاظت و مدیریت تنوع زیستی است (۲۹ و ۵۸). هرچند در بین محققان دنیا اشتیاق و توجه زیادی نسبت به موضوع ارتباط تنوع-ارتفاع وجود دارد، تحقیقات انجام شده در این زمینه بیشتر به بررسی الگوهای غنای گونه‌ای پرداخته‌اند (۴۱) و سایر شاخص‌های تنوع که دارای اطلاعات زیاد و مهمی هستند (مانند شاخص تنوع بتا) کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (۶۴).

مواد غذایی خاک، متغیرهای محیطی مهمی هستند که اثری

مواد و روش‌ها

شدند. در ادامه، ویژگی‌های فیزیکی مانند بافت خاک با روش هیدرومتری، درصد رطوبت و ظرفیت زراعی (۲۳)، و فاکتورهای شیمیایی خاک شامل کربن آلی کل به روش والکلی-بلک (۴۴)، نیتروژن کل به روش کجدال (۶)، اسیدیته (pH) با استفاده از pH متر، هدایت هیدرولیکی (EC) با استفاده از EC متر، فسفر قابل جذب با روش اولسن (۴۶)، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم مولار خنثی (۷)، و کلسیم قابل جذب با روش توصیف‌شده توسط سوارز (۲۳) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌های برداشت‌شده برای تهیه بانک داده و مدیریت بهتر وارد نرم‌افزار صفحه‌گسترده اکسل شد. برای تعیین مؤلفه‌های تنوع گونه‌ای آلفا و بتا از بسته آماری vegan (۴۵) در نرم‌افزار R ورژن ۳٫۶٫۳ استفاده شد (۵۲). ابتدا بر اساس داده‌های ورودی به نرم‌افزار، مؤلفه‌های تنوع گونه‌ای آلفا، بتا و گاما برای هر سطح بر اساس رابطه (۱) که توسط کریست و همکاران (۱۲) ارائه شده، محاسبه شد:

$$\gamma = \alpha_1 + \sum_{i=1}^m \beta_i \quad (1)$$

که در آن؛ γ کل گونه‌های گیاهی موجود در منطقه، m تعداد سطوح یا مقیاس‌های مکانی، α_1 میانگین تنوع در پلات، و β_i میانگین تنوع بین واحد در هر سطح (به‌عنوان مثال در سطح پلات برابر است با تنوع بین پلات‌ها) می‌باشد.

در تحقیق حاضر شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در دو مقیاس پلات و ترانسکت محاسبه شدند. در این مقیاس، شاخص‌های تنوع آلفا به‌صورت میانگین تنوع درون پلات (آلفای پلات) و میانگین تنوع درون ترانسکت (آلفای ترانسکت) تعریف شدند. تنوع بتا نیز به‌طور مشابه در دو مقیاس و به‌صورت میانگین اختلاف تنوع بین پلات (بتای پلات) و میانگین اختلاف تنوع بین ترانسکت (بتای ترانسکت) تعریف شد (۱۷). پس از محاسبه شاخص تنوع آلفا و بتا ابتدا نرمال‌بودن و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون نرمالیتی شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk test)

مراع پلور در استان مازندران در شیب‌های جنوبی کوه دماوند با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 52' 30''$ تا $35^{\circ} 57' 30''$ شمالی و $52^{\circ} 2' 30''$ تا $52^{\circ} 10' 30''$ شرقی قرار دارد. مساحت این منطقه تقریباً ۱۰۰۰۰ هکتار بوده که ارتفاعی بین ۲۱۰۰ تا ۳۶۰۰ متر را شامل می‌شود. گونه‌های گیاهی غالب منطقه عبارتند از *Onobrychis cornuta*, *Astragalus ochrodeucus*, *Astragalus microcephalus*, *Thymus kotschyanus*, *Ferula gummosa*, *Astragalus sieversianus*, *Poa bulbosa*, و *Perennial grasses* و *Agropyron* sp. از نظر زمین‌شناسی، منطقه پوشیده از جریان‌های گدازه‌ای آندزیتی است و اقلیم آن بر اساس روش دومارتن، نیمه‌خشک سرد است. بر اساس دوره آماری ۲۵ ساله، میانگین بارندگی سالانه نزدیک به ۶۵۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۲/۷۹ درجه سانتی‌گراد است (۲۴).

روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از پوشش در فصل رشد گیاهی (اردیبهشت تا خرداد سال ۱۳۹۸) در پنج طبقه ارتفاعی شامل کمتر از ۲۶۰۰ متر، ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰، ۲۸۰۰ تا ۳۰۰۰، ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰، و بیش از ۳۲۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. در هر طبقه ارتفاعی، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در طول ۴ ترانسکت ۱۰۰ متری (دو ترانسکت در جهت شیب و دو ترانسکت عمود بر جهت شیب) و در ۵ پلات یک مترمربعی (۲۴) در طول هر ترانسکت انجام شد (در مجموع ۲۰ پلات یک مترمربعی در هر طبقه و ۱۰۰ پلات در کل گردایان ارتفاعی). برای نمونه‌برداری از خاک در پلات‌ها از ۵ نقطه پلات شامل چهار گوشه و مرکز آن، نمونه خاک برداشت شده و با ترکیب آنها یک نمونه خاک ترکیبی برای هر پلات (از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) ایجاد شد. در مجموع، ۱۰۰ نمونه ترکیبی از کل منطقه برداشت شد. در محل هر پلات، فهرست گونه‌ها و تعداد آنها یادداشت شد (۲۴).

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاک‌شناسی، ابتدا نمونه‌ها هواخشک شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده

دو نمونه و مقدار ۰ نشان‌دهنده ترکیب کاملاً یکسان در دو نمونه است.

پس از بررسی نرمال‌بودن و همگن‌بودن داده‌های ویژگی‌های خاک، ارتباط شاخص‌های تنوع و ویژگی‌های خاک با استفاده از رگرسیون چندگانه (Multiple Regression) مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به اینکه افزایش تعداد متغیر مستقل در رگرسیون باعث افزایش تجمعی سطح ضریب تبیین و میزان خطای آزمون شد، در این تحقیق از روش پیشنهادی کوتنی و دیاز (۱۰) و گریگولیس و همکاران (۲۱) استفاده شد. در این روش ابتدا ارتباط تک‌تک متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته با استفاده از رگرسیون خطی بررسی شد. سپس متغیرهایی که دارای ارتباط معنی‌داری با شاخص‌های تنوع بودند، به مدل نهایی وارد شدند. برای انجام مدل نهایی، از رگرسیون چندگانه خطی (Multiple Linear Regression) استفاده شد (۶۳). بررسی هم‌خطی چندگانه بین متغیرها نیز بر اساس مقدار عامل تورم واریانس (VIF) انجام شد. تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار R صورت پذیرفت (۵۲).

نتایج

بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در دو مقیاس مورد بررسی (پلات و ترانسکت) با استفاده از آزمون تجزیه‌واریانس یک‌طرفه (One way ANOVA) انجام شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر شاخص تنوع آلفای پلات، آلفای ترانسکت، بتای پلات و بتای ترانسکت در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد وجود دارد (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین آلفای پلات در طبقات ارتفاعی نشان داد که با افزایش ارتفاع، شاخص تنوع آلفا در این مقیاس کم می‌شود. به عبارتی کمترین مقدار شاخص تنوع آلفا به کلاس ارتفاعی بیش از ۳۲۰۰ متر مربوط بود (۱۲/۴۷). بیشترین مقدار تنوع آلفا به سه طبقه ارتفاعی کمتر از ۲۶۰۰، ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰ و ۲۸۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مربوط بود (به ترتیب: ۱۵/۶۷، ۱۵/۷۵ و ۱۵/۵).

و آزمون لیون (Levene test) بررسی شد و سپس برای مقایسه آنها در طبقات مختلف از آزمون تجزیه‌واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد.

برای تعیین سهم مؤلفه‌های تنوع بتا (روگشت گونه‌ای و الگوی آشیانه‌ای) از تنوع بتای کل در هر طبقه ارتفاعی از بسته آماری betapart (۴) در نرم‌افزار R استفاده شد (۵۲). در این بسته آماری، مقدار این دو مؤلفه بر اساس روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شود (۵). به‌طور کلی تنوع بتا به معنی ناهمگنی در ترکیب گیاهی است که این ناهمگنی به دو دلیل می‌تواند ایجاد شود. دلیل اول، جایگزینی یک گونه توسط گونه‌ای دیگر است که تحت عنوان روگشت شناخته می‌شود که این فرایند، مستقل از غنای گونه‌ای است. به عبارتی، در ازای حذف یک گونه، یک گونه جدید در ترکیب گیاهی ظهور می‌کند (۴ و ۲۲). دلیل دوم، حذف شدن یا اضافه شدن یک گونه به ترکیب گیاهی است که به عنوان الگوی آشیانه‌ای شناخته می‌شود. در این فرایند، چون تفاوت دو جامعه یا واحد نمونه‌برداری محدود به گونه حذف شده یا اضافه شده است، بنابراین دو جامعه یا واحد نمونه‌برداری دارای قابلیت زیرمجموعه‌ای شدن نسبت به هم هستند که تحت عنوان الگوی آشیانه‌ای شناخته می‌شود (۴ و ۲۲).

$$\beta_{turnover} = \frac{\left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right|}{\left| \sum_c S_i - S_T \right| + \left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right|} \quad (2)$$

(۳)

$$\beta_{Nestness} = \frac{\left| \sum_{i < j} \max(b_{ij} & b_{ji}) \right| + \left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right|}{2 \left| \sum_c S_i - S_T \right| + \left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right| + \left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right|} \times \frac{\left| \sum_i S_i - S_T \right|}{\left| \sum_i S_i - S_T \right| + \left| \sum_{i < j} \min(b_{ij} & b_{ji}) \right|}$$

که در آن؛ Si تعداد گونه در سایت i، ST تعداد گونه در کل سایت‌ها، bij تعداد گونه که تنها در سایت i یافت می‌شود، و bji تعداد گونه که تنها در سایت j مشاهده می‌شود. بر اساس این شاخص، مقدار تنوع بتا بین صفر و یک متغیر خواهد بود، به‌صورتی که مقدار ۱ نشان‌دهنده وجود ترکیب کاملاً متفاوت در

جدول ۱. تجزیه‌وارینانس شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در دو مقیاس پلات و ترانسکت در طبقات ارتفاعی

شاخص	مقیاس	درجه آزادی	منبع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
آلفا	پلات	۴	بین گروه‌ها	۱۲۹/۲۳	۳۲/۳۱	۲/۴۷*
		۹۵	درون گروه‌ها	۱۱۹۴/۶۵	۱۴/۲۲	
	ترانسکت	۴	بین گروه‌ها	۲۷۲۷/۷	۶۸۱/۹۳	۴۲/۰۵**
		۱۵	درون گروه‌ها	۱۳۶۲/۲۵	۱۶/۲۲	
بتا	پلات	۴	بین گروه‌ها	۲۴۱۹/۶۵	۶۰۴/۹۱	۲۶/۷۶**
		۹۵	درون گروه‌ها	۱۸۹۸/۸۵	۲۲/۶۱	
	ترانسکت	۴	بین گروه‌ها	۴۷۶۶/۹۸	۱۱۹۱/۷۵	۷۳/۴۸**
		۱۵	درون گروه‌ها	۱۳۶۲/۲۵	۱۶/۲۲	

* و ** به ترتیب: معنی دار در سطح پنج و یک درصد

روگشت دارای روندی متفاوت نسبت به الگوی آشیانه‌ای بود، به گونه‌ای که بین مقادیر آن در طبقات ارتفاعی، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۲).

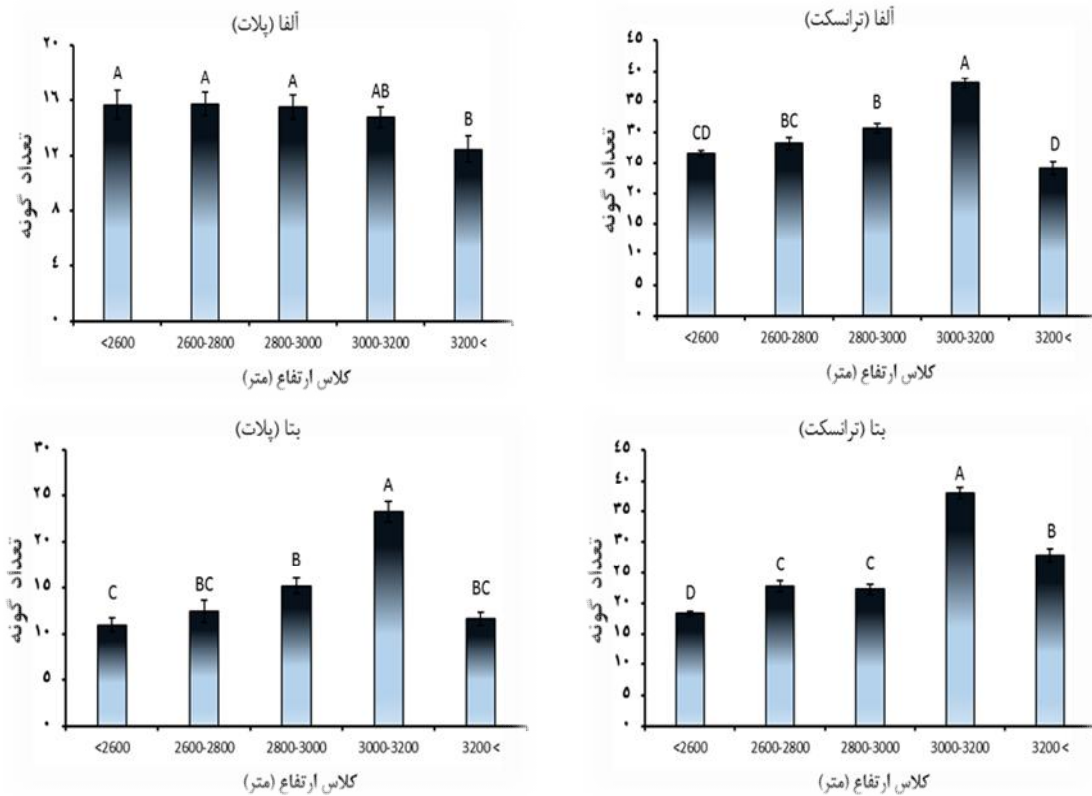
مقایسه میانگین مؤلفه روگشت تنوع بتا با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بیشترین مقدار مؤلفه روگشت به طبقه ارتفاعی ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر مربوط بود (۰/۶۴) و کمترین مقدار نیز به دو طبقه ارتفاعی کمتر از ۲۶۰۰ و ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰ متر تعلق داشت (به ترتیب برابر با ۰/۴۶ و ۰/۴۵) (شکل ۲). بررسی سهم دو مؤلفه روگشت و الگوی آشیانه‌ای از تنوع بتای کل نیز نشان داد که مؤلفه روگشت در تمام طبقات ارتفاعی نسبت به مؤلفه الگوی آشیانه‌ای، سهم بیشتری در ایجاد تنوع بتا داشت، به طوری که بیشترین سهم آن مربوط به طبقه ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر (۹۲/۳ درصد) و کمترین مقدار آن مربوط به طبقه ارتفاعی بیش از ۳۲۰۰ متر (۸۹/۱ درصد) بود.

برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های تنوع، عامل ارتفاع و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به ساخت ۷ مدل فرضی (Null Model) شامل سه مدل اصلی (عوامل ارتفاع، خصوصیات شیمیایی خاک، و خصوصیات فیزیکی خاک) و چهار مدل ترکیبی شد. بر اساس نتایج متغیرهای ارتفاع ($R=0.269$) و فسفر خاک ($R=0.249$)، به ترتیب مهم‌ترین متغیرها بودند که ارتباط مستقیمی با مقدار تنوع آلفا داشتند، درحالی که هیچ ارتباط معنی داری بین متغیرهای فیزیکی خاک و

که به صورت معنی داری بیشتر از طبقه ارتفاعی بالاتر از ۳۲۰۰ متر بود (شکل ۱). بررسی تغییرات تنوع آلفای ترانسکت در طبقات ارتفاعی نشان داد که با افزایش ارتفاع، تنوع آلفای ترانسکت دارای روند کوهانی شکل (humped-shape) بود، به صورتی که بیشترین تنوع آلفا به طبقه ارتفاعی ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر مربوط بود (۳۱/۱۷). این مقدار با میزان تنوع آلفای سایر طبقات ارتفاعی، اختلاف معنی داری داشت.

بررسی روند تغییرات شاخص تنوع بتا در هر دو مقیاس پلات و ترانسکت مشابه بود، به این صورت که در هر شاخص، بیشترین مقدار تنوع بتا به طبقه ارتفاعی ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر مربوط بود (بتای پلات و بتای ترانسکت به ترتیب برابر با ۲۳/۲۹ و ۳۷/۸۳) و این مقادیر به طور معنی داری بیشتر از سایر طبقات ارتفاعی بود. همچنین کمترین میزان شاخص تنوع بتا در هر دو مقیاس به طبقه ارتفاعی کمتر از ۲۶۰۰ متر مربوط بود (بتای پلات و بتای ترانسکت به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۸/۳۳) (شکل ۱).

برای تعیین سازوکار ایجادکننده تنوع بتا، کل تنوع بتا به دو مؤلفه روی گشت و الگوی آشیانه‌ای تقسیم شد. سپس نسبت آنها در طبقات ارتفاعی مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت در پنج طبقه ارتفاعی مقایسه شدند. نتایج تجزیه‌وارینانس نشان داد که بین مقادیر مؤلفه الگوی آشیانه‌ای در طبقات ارتفاعی مورد بررسی، اختلاف معنی داری وجود نداشت، در صورتی که مؤلفه

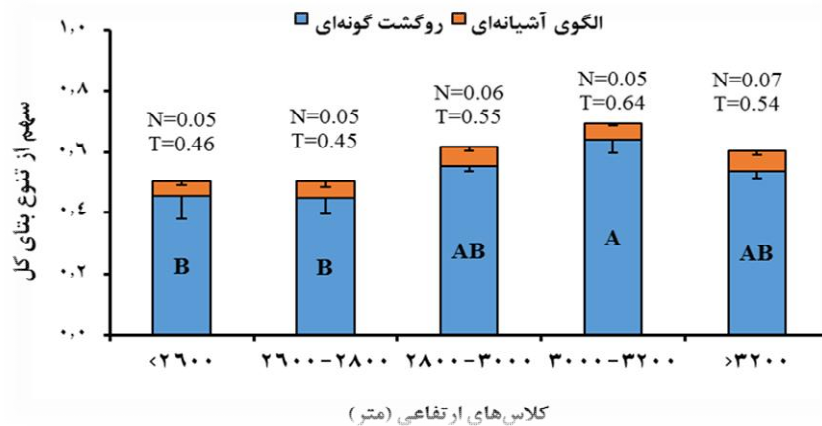


شکل ۱. مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع آلفا و بتا در دو مقیاس پلات و ترانسکت (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. نتایج آزمون تجزیه واریانس مؤلفه‌های تنوع بتا در طبقات ارتفاعی مورد بررسی

شاخص	مؤلفه	درجه آزادی	منبع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تنوع	روگشت	۴	بین گروه‌ها	۰/۱۲	۰/۰۳	۳/۴۳۵*
		۱۵	درون گروه‌ها	۰/۱۵۷	۰/۰۹۰	
بتا	الگوی آشیانه‌ای	۴	بین گروه‌ها	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۲۵۶ ^{ns}
		۱۵	درون گروه‌ها	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	

* معنی داری در سطح پنج درصد؛ ns فاقد اختلاف معنی دار



شکل ۲. مقایسه میانگین مؤلفه‌های تنوع بتا در طبقات ارتفاعی مورد بررسی. لازم به ذکر است به دلیل عدم اختلاف معنی دار در الگوی آشیانه‌ای، از ارائه حروف بر روی آن خودداری شده است. N بیانگر مؤلفه الگوی آشیانه‌ای و T نشان‌دهنده مؤلفه روگشت است. (رنگی در نسخه الکترونیکی)

تنوع بتا یک الگوی کوهانی‌شکل (Humped-shape) مشاهده شد، به طوری که کمترین مقدار آن در طبقات ارتفاعی بالاتر از ۳۲۰۰ متر و پایین‌تر از ۲۶۰۰ متر مشاهده شد. با افزایش ارتفاع، محدودیت در پراکنش بذر (Dispersal limitation) اتفاق می‌افتد و به نوعی موجب افزایش یکنواختی ترکیب گیاهی و کاهش تعداد گونه (تنوع آلفا) خواهد شد. از طرف دیگر، با افزایش ارتفاع، فیلترهای محیطی (Environmental filtering) مانند جهت شیب، موجب حذف و جایگزینی بسیاری از گونه‌های گیاهی خواهند شد. همچنین مناطق با ارتفاع کمتر، به دلیل دسترسی بیشتر دارای میزان تخریب بیشتری هستند (۹). هم‌راستا با نتایج این تحقیق، سباتینی و همکاران (۵۶) در بررسی ارتباط تنوع بتای جنگل‌های مرکزی اروپا با گرادیان ارتفاع نشان دادند کمترین میزان شاخص تنوع بتا مربوط به مناطقی با بیشترین ارتفاع بود. در بسیاری از تحقیقات، الگوی مشابهی برای جوامع درختی نیز گزارش شده است (۳۳، ۴۲ و ۶۴). در پژوهش دیگری امیری و همکاران (۲۰۱۹) اظهار کردند که بیشترین تنوع شانون در طبقات ارتفاعی ۱۶۰۰-۱۲۰۰ متر و بیشترین غنای گونه‌ای در طبقات ۲۰۵۰-۱۶۰۰ متر بود (به ترتیب به مقدار ۱/۷۲ و ۲۲).

در مقیاس ترانسکت، به‌طور مشابهی الگوی کوهانی‌شکل (Humped-shape) برای هر شاخص تنوع آلفا و بتا مشاهده شد که بیانگر حداکثر بودن تنوع در طبقات ارتفاعی میانی است. نامساعد بودن شرایط محیطی در ارتفاعات فوقانی از یک‌سو و تخریب بیشتر در ارتفاعات پایین به دلیل دسترسی بیشتر از سوی دیگر، موجب ایجاد شرایط بهینه رشد گیاهی در ارتفاعات میانی می‌شود (۹) به همین دلیل الگوی مذکور ایجاد خواهد شد. همچنین، گرم‌تر بودن و رشد سریع‌تر گیاهان ارتفاعات پایین و آمادگی سریع‌تر برای چرای دام در کنار دسترسی بیشتر برای انسان، موجب افزایش تغییرات در این طبقه ارتفاعی خواهد شد (۵۶).

نتایج این تحقیق نشان داد که در همه طبقات ارتفاعی، بیش از ۹۰ درصد از تغییرات تنوع بتا به‌واسطه سازوکار روگشت گونه‌ای (جایگزینی گونه‌ها) اتفاق افتاده و مؤلفه الگوی آشیانه‌ای سهم بسیار ناچیزی از تنوع بتا را توجیه کرد. همچنین

تنوع آلفا مشاهده نشد (جدول ۳). همچنین بهترین مدل فرضی شامل ترکیبی از ارتفاع و فسفر بود که توانست حدود ۳۳ درصد از تغییرات تنوع آلفا را تبیین کند.

مشابه با تنوع آلفا، ارتفاع از سطح دریا ($R=0.27$) مهم‌ترین متغیر محیطی پیش‌بینی‌کننده تنوع بتا بود. از بین متغیرهای شیمیایی واردشده به مدل فرضی تنها فسفر، ماده آلی و بی‌کربنات کلسیم در مدل نهایی باقی مانده و حدود ۵۱ درصد از تغییرات تنوع بتا را توجیه نمودند (جدول ۴). همچنین از بین متغیرهای فیزیکی واردشده به مدل فرضی، تنها درصد رطوبت خاک در مدل نهایی باقی مانده و حدود ۲۷ درصد از تغییرات تنوع بتا را توجیه نمود. در نهایت، بهترین مدل ترکیبی، مدلی متشکل از متغیرهای ارتفاع، فسفر، ماده آلی و بی‌کربنات کلسیم بود که حدود ۵۵ درصد از تغییرات تنوع بتا را توجیه کرد (جدول ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد تغییرات ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر تعداد گونه گیاهی (تنوع آلفا) و ناهمگنی ترکیب گیاهی (تنوع بتا) دارد. هم‌راستا با این نتیجه، بسیاری از محققان، تأثیرگذاری ارتفاع بر تنوع گیاهی را گزارش کرده‌اند (۵۳ و ۵۸). برای مثال، وجود ارتباط معنی‌دار بین تنوع بتای جوامع قارچ با گرادیان ارتفاعی توسط وانگ و همکاران (۶۷) گزارش شده است. تغییرات ارتفاع باعث ایجاد تغییرات در میزان و نوع بارندگی، دما، تبخیر، تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی، و تشکیل و تکامل خاک شده (۲۷) و این تغییرات محیطی به ایجاد تغییراتی در تعداد و ترکیب گیاهان در هر منطقه منجر می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق، کمترین میزان شاخص تنوع آلفا در طبقه ارتفاعی بالاتر از ۳۲۰۰ متر مشاهده شد. این نتیجه می‌تواند ناشی از سخت‌تر شدن شرایط محیطی و استقرار گیاهان در ارتفاعات فوقانی مناطق کوهستانی باشد، زیرا در این مناطق علاوه بر محدودیت عمق خاک، دمای هوا کاهش پیدا کرده و مقدار بیرون‌زدگی سنگی نیز افزایش می‌یابد (۳۳). در شاخص

جدول ۳. بررسی ارتباط تنوع آلفا با عامل ارتفاع و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. E بیانگر ارتفاع و P نشان‌دهنده فسفر است.

P	R ²	R	رابطه	متغیرهای ورودی به مدل	مدل فرضی
۰/۰۱۱	۰/۰۷۳	۰/۲۶۹	$Y = ۰/۰۰۴ (E) + ۳/۳۸۸$	E	عامل ارتفاع
۰/۰۱۹	۰/۰۶۲	۰/۲۴۹	$Y = ۰/۱۱۵ (P) + ۹/۸۱$	P	ویژگی شیمیایی خاک
--	--	--	--	--	ویژگی فیزیکی خاک
۰/۰۱۹	۰/۰۶۲	۰/۲۴۹	$Y = ۰/۱۱۵ (P) + ۹/۸۱$	P	ویژگی شیمیایی و فیزیکی خاک
۰/۰۰۶	۰/۱۱۵	۰/۳۳۹	$Y = ۰/۰۰۳ (E) + ۰/۰۹۶ (P) + ۰/۸۲۵$	P, E	عامل ارتفاع + ویژگی شیمیایی خاک
۰/۰۱۱	۰/۰۷۳	۰/۲۶۹	$Y = ۰/۰۰۴ (E) + ۳/۳۸۸$	E	عامل ارتفاع + ویژگی فیزیکی خاک
۰/۰۰۶	۰/۱۱۵	۰/۳۳۹	$Y = ۰/۰۰۳ (E) + ۰/۰۹۶ (P) + ۰/۸۲۵$	P, E	مدل کلی: عامل ارتفاع + ویژگی شیمیایی + ویژگی فیزیکی

جدول ۴. بررسی ارتباط تنوع بتا با عامل ارتفاع و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. E ارتفاع، pH اسیدیته، CaCO₃ کربنات کلسیم، P فسفر، N نیتروژن، OM ماده آلی، SM رطوبت خاک، Silt درصد سیلت و FC ظرفیت زراعی است.

P	R ²	R	رابطه	متغیرهای ورودی به مدل	مدل فرضی
۰/۰۱۱	۰/۰۷۴	۰/۲۷	$Y = -۰.۰۰۰۷ (E) + ۳۶/۶۹$	E	عامل ارتفاع
۰/۰۰۰	۰/۲۶۳	۰/۵۱۳	$Y = -۰/۱۸ (P) + ۱/۴۲ - (OM) + ۲/۱۳(CaCO_3) + ۲۴/۷$	pH, CaCO ₃ , P, N, OM	ویژگی شیمیایی خاک
۰/۰۱	۰/۰۷۴	۰/۲۷۳	$Y = -۱/۵۳ (SM) + ۲۳/۶۴$	SM, Silt, FC	ویژگی فیزیکی خاک
۰/۰۰۰	۰/۲۶۳	۰/۵۱۳	$Y = -۰/۱۸ (P) + -۱/۴۲ (OM) + ۲/۱۳(CaCO_3) + ۲۴/۷$	pH, CaCO ₃ , P, N, OM, SM, Silt, FC	ویژگی شیمیایی و فیزیکی خاک
۰/۰۰۰	۰/۳۰۵	۰/۵۵۳	$Y = -۰/۱۳ (P) + -۱/۵ (OM) + ۲/۲۳(CaCO_3) - ۰/۰۰۵ (E) + ۳۸/۰۹$	E, pH, CaCO ₃ , P, N, OM	عامل ارتفاع + ویژگی شیمیایی خاک
۰/۰۰۰	۰/۱۸۶	۰/۴۳۲	$Y = -۰/۰۷ (SM) + -۰/۰۱ (E) - ۰/۲(Silt) + ۵۳/۴$	E, SM, Silt, FC	عامل ارتفاع + ویژگی فیزیکی خاک
۰/۰۰۰	۰/۳۰۵	۰/۵۵۳	$Y = -۰/۱۳ (P) + -۱/۵ (OM) + ۲/۲۳(CaCO_3) - ۰/۰۰۵(E) + ۳۸/۰۹$	E, pH, CaCO ₃ , P, N, OM, SM, Silt, FC	مدل کلی: عامل ارتفاع + ویژگی شیمیایی + ویژگی فیزیکی

حیدری و همکاران (۲۲) در بررسی پوشش روزمینی و بانک بذر خاک تحت تأثیر آتش، و پیرزی و همکاران (۵۰) در جوامع گیاهی با الگوی پراکنش مختلف، بر بیشتر بودن سهم مؤلفه روگشت نسبت به الگوی آشیانه‌ای تأکید کرده‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که جوامع گیاهی در طبقات مختلف، زیرمجموعه یکدیگر نیستند و دارای ترکیب‌های گیاهی متفاوتی

تغییرات روگشت گونه‌ای به ارتفاع وابسته بود به طوری که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر آن در طبقات مختلف ارتفاع وجود داشت. مشابه با تحقیق حاضر، بسیاری از محققان دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش نموده‌اند. برای مثال، کوبا و همکاران (۳۲) در جوامع جنگلی، بسکیلیا و همکاران (۴) در جوامع ماکروفیت آبی، لورنزن و همکاران (۳۹) در جوامع پرندگان،

حضور تعداد بیشتری گونه فراهم خواهد شد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در بسیاری از موارد، بهبود ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی خاک موجب بهبود تنوع در جوامع گیاهی خواهد شد. تنوع بتا عبارت است از میزان ناهمگنی در ترکیب گیاهی و به همین دلیل می‌توان متصور شد که هر عاملی که بر ترکیب گیاهی تأثیرگذار باشد، شاید با تعداد گونه (آلفا) ارتباط مستقیم و معنی‌داری نداشته باشد، اما با تغییرات ترکیب گیاهی مرتبط است. به همین دلیل در بررسی ارتباط ویژگی‌های خاک با تنوع بتا، تعداد بیشتری متغیر به مدل وارد شده و سهم بیشتری از تغییرات تنوع بتا را توجیه کردند.

نتایج نشان داد که برخی عوامل ارتفاعی و خاکی مانند ارتفاع، اسیدیته، فسفر، ماده آلی، نیتروژن و همچنین میزان رطوبت از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع بتا بودند. همچنین نتایج نشان داد که تنوع بتا وابستگی بیشتری به تغییرات ویژگی‌های شیمیایی در مقایسه با خصوصیات فیزیکی خاک داشت. تأثیر بیشتر خصوصیات شیمیایی خاک بر شاخص تنوع بتا توسط کلیمک و همکاران (۳۰) و دینگان و همکاران (۱۵) گزارش شده است.

ارتفاع از سطح دریا از عوامل اصلی محیطی تأثیرگذار بر هر دو شاخص تنوع آلفا و بتا بود. ارتفاع به‌واسطه ایجاد تغییرات مستقیم و غیرمستقیم در سایر عوامل مانند خاک، تأثیر زیادی بر تغییرات تنوع گیاهی دارد (۳۳). در نهایت ترکیب تمام عوامل محیطی (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌همراه ارتفاع) تنها ۳۳ درصد از کل تغییرات تنوع آلفا و ۵۵ درصد از کل تغییرات تنوع بتا را توجیه کرد. این نتیجه، بیانگر پیچیدگی زیاد محیط و جوامع گیاهی است و به‌روشنی نشان می‌دهد که تنها با استفاده از برخی متغیرهای محیطی نمی‌توان کل تغییرات ترکیب گیاهان را آشکار نمود. در این راستا با توجه به اهمیت این مطالعه به‌عنوان ابزاری قوی برای حفظ تنوع زیستی، سایر متغیرها مانند بارش، دما و خصوصیات محیطی مانند نوع سنگ بستر، سایر عوامل خاک، تأثیرات متقابل گیاهان، زنجیره‌های بین جوامع و اکوسیستم‌ها و همچنین تخریب‌ها و فعالیت‌های انسانی از عوامل تأثیرگذار بر تنوع گیاهی است که باید در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

هستند. به‌عبارت دیگر، در طول گرادیان‌های محیطی مانند ارتفاع به‌دلیل تغییرات شرایط محیطی و تغییر آشیان‌های اکولوژیک، بیشتر گونه‌های گیاهی (به‌ویژه گیاهان مرتعی) به‌وسیله سایر گیاهان مقاوم‌تر جایگزین خواهند شد (۵۱). این امر به جایگزینی پیوسته گیاهان به‌جای یکدیگر منجر خواهد شد و موجب می‌شود که تنوع بتا بیشتر توسط این مکانیسم به‌وجود بیاید. به‌عبارت دیگر، گونه‌های علفی آشیان اکولوژیک محدودی در مقایسه با گیاهان چوبی از قبیل درختان دارند (۴۹). از طرف دیگر، ترکیب گیاهی علفی وابستگی بسیار بیشتری به فیلترهای محیطی دارد (۳۶). به همین دلیل، ترکیب گیاهی جوامع علفی وابستگی بیشتری به مواد مغذی خاک دارد (۱۴) و به‌واسطه تغییرات آن حتی در مقیاس‌های کوچک و بزرگ، ترکیب گیاهی جوامع علفی بسیار متنوع و متغیر خواهد بود. به همین دلیل، روگست گونه‌ای در بیشتر تحقیقات به‌ویژه در تحقیقات گیاهان علفی، عامل اصلی ایجاد تنوع بتا است.

تحقیقات نشان می‌دهد که خاک و ارتفاع از عوامل اصلی تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای و تنوع گیاهی هستند (۳۷ و ۵۷). این وابستگی بیشتر ناشی از آشیان اکولوژیک محدود این گیاهان در مقایسه با گیاهان چوبی از قبیل درختان است (۴۸). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که خصوصیات شیمیایی خاک (مانند اسیدیته، فسفر، ماده آلی، و نیتروژن)، ویژگی‌های فیزیکی خاک (مانند درصد رطوبت و سیلت) و متغیر ارتفاع با میزان تنوع آلفا ارتباط داشتند. تأثیرگذاری عوامل خاک (مانند فسفر) بر تنوع گونه‌ای به‌وفور توسط محققان دیگر گزارش شده است. برای مثال، تأثیر مثبت تغییرات فسفر خاک بر تنوع گونه‌های درختی توسط سو و همکاران (۷۱) گزارش شده است. همچنین تأثیر معنی‌دار میزان اسیدیته خاک بر شاخص‌های تنوع آلفا و بتای گیاهان توسط دینگان و همکاران (۱۵) گزارش شده است (۶۰). فسفر از عوامل اصلی مؤثر در حاصلخیزی خاک بوده و نقشی کلیدی در گیاهان به‌خصوص در کلروفیل و رنگیزه‌های گیاهی دارد (۱۶ و ۲۶). با افزایش میزان فسفر در خاک، میزان حاصلخیزی افزایش یافته و گستره آشیان اکولوژیک برای

منابع مورد استفاده

1. Anderson, M. J., T. O. Crist, J. M. Chase, M. Vellend, B. D. Inouye, A. L. Freestone, N. J. Sanders, H. V. Cornell, L. S. Comita, K. F. Davies, S. P. Harrison, N. J. B. Kraft, J. C. Stegen and N. G. Swenson. 2011. Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters* 14: 19-28.
2. Amiri, S., R. Erfanzadeh, Y. Esmaeilpour and R. Omidipour. 2017. Application of additive partitioning to study the effect of aspect and elevation on alpha, beta and gamma diversities of plant species (case study: protected area of Geno, Hormozgan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research* 23(3): 645-660. (In Farsi)
3. Baselga, A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19: 134-143.
4. Baselga, A. and C. D. L. Orme. 2012. Betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and evolution* 3(5): 808-812.
5. Boschilia, S. M., E. F. deOliveira and A. Schwarzbold. 2016. Partitioning beta diversity of aquatic macrophyte assemblages in a large subtropical reservoir: prevalence of turnover or nestedness? *Aquatic sciences* 78(3): 615-625.
6. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods* 5: 1085-1121.
7. Chapman, H. D. and P. E. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. Priced Publication 4034, Division of Agriculture Sciences, University of California, Berkeley.
8. Chase, J. M. and J. A. Myers. 2011. Disentangling the importance of ecological niches from stochastic processes across scales. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences* 366: 2351-2363.
9. Chase, J. M. 2010. Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. *Science* 328(5984): 1388-1391.
10. Conti, G. and S. Díaz. 2013. Plant functional diversity and carbon storage- an empirical test in semi-arid forest ecosystems. *Journal of Ecology* 101(1): 18-28.
11. Cornwell, W. K. and P. J. Grubb. 2003 Regional and local patterns in plant species richness with respect to resource availability. *Oikos* 100: 417-428.
12. Crist, T. O., J. A. Veech, J. C. Gering and K. S. Summerville. 2003. Partitioning species diversity across landscape and regions: a hierarchical analysis of α , β and γ diversity. *The American Naturalist* 162: 734-743.
13. Critchley, C. N. R., B. J. Chambers, J. A. Fowbert, A. Bhogal, S. C. Rose and R. A. Sanderson. 2002 Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English environmentally sensitive areas. *Grass and Forage Science* 57: 82-92.
14. Decocq, G. 2002. Patterns of plant species and community diversity at different organization levels in a forested riparian landscape. *Journal of Vegetation Science* 13: 91-106.
15. Dingaan, M. N. V., M. Tsubo, S. Walker and T. Newby. 2017. Soil chemical properties and plant species diversity along a rainfall gradient in semi-arid grassland of South Africa. *Plant Ecology and Evolution* 150(1): 35-44.
16. Elkoca, E., F. Kantar and F. Sahin. 2007. Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria on the nodulation, plant growth, and yield of chickpea. *Journal of Plant Nutrition* 31(1): 157-171.
17. Erfanzadeh, R., R. Omidipour and M. Faramarzi. 2015. Variation of plant diversity components in different scales in relation to grazing and climatic conditions. *Plant Ecology and Diversity* 8(4): 537-545.
18. Fisher, M. A. and P. Z. Fuel. 2004. Changes in forest vegetation and Arbuscular mycorrhizae along a steep elevation gradient in Arizona. *Forest Ecology and Management* 200: 293-311.
19. Fosaa, A. 2004. Biodiversity patterns of vascular plant species in mountain vegetation in the Faroe Islands. *Diversity and Distribution* 10: 217-223.
20. Gaston, K. J. and T. M. Blackburn. 2000. Pattern and process in macroecology. Blackwell Science, Oxford.
21. Grigulis, K., S. Lavorel, U. Krainer, N. Legay, B. Baxendale, M. Dumont, E. Kastl, C. Arnoldi, R. D. Bardgett and F. Poly. 2013. Relative contributions of plant traits and soil microbial properties to mountain grassland ecosystem services. *Journal of Ecology* 101(1): 47-57.
22. Heydari, M., R. Omidipour, M. Abedi and C. Baskin. 2017. Effects of fire disturbance on alpha and beta diversity and on beta diversity components of soil seed banks and aboveground vegetation. *Plant Ecology and Evolution* 150(3): 247-256.
23. Jafari Haghghi, M. 2004. Methods of soil analysis sampling and important physical and chemical analysis. Press of Neda of Zoha, Sari. 236 p. (In Farsi)
24. Jafarian, Z. and M. Kargar. 2017. Comparison of Random Forest (RF) and Boosting Regression Tree (BRT) for prediction of dominant plant species presence in Polour rangelands, Mazandaran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 6(1): 41-54. (In Farsi)
25. Janssens, F., A. Peeters, J. R. B. Tallowin, J. P. Bakker, R. M. Bekker, F. Fillat and M. J. M. Oomes. 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202: 69-78.

26. Jiang, H. M., J. C. Yang and J. F. Zhang. 2007. Effects of external phosphorus on the cell ultrastructure and the chlorophyll content of maize under cadmium and zinc stress. *Environmental Pollution* 147(3): 750-756.
27. Jurasinski, G., V. Retzer and C. Beierkuhnlein. 2009. Inventory, differentiation, and proportional diversity: a consistent terminology for quantifying species diversity. *Oecologia* 159: 15-26.
28. Kamrani, A., A. Jalili, A. Naghinezhad, F. Attar and S. Shaws. 2010. Relationships between environmental variables and vegetation across mountain wetland sites, north of Iran. *Biologia* 66(1): 76-87.
29. Kerr, J. T., H. M. Kharouba and D. J. Currie. 2007. The macro ecological contribution to global change solutions. *Science* 316: 1581-1584.
30. Klimek, S., L. Marini, M. Hofmann and J. Isselstein. 2008. Additive partitioning of plant diversity with respect to grassland management regime, fertilisation and abiotic factors. *Basic and Applied Ecology* 9(6): 626-634.
31. Koleff, P., J. J. Lennon and K. J. Gaston. 2003. Are there latitudinal gradients in species turnover? *Global Ecology and Biogeography* 12: 483-498.
32. Kouba, Y., F. Martínez-García, A. de Frutos and C. L. Alados. 2014. Plant β -diversity in human-altered forest ecosystems: the importance of the structural, spatial, and topographical characteristics of stands in patterning plant species assemblages. *European Journal of Forest Research* 133(6): 1057-1072.
33. Kraft, N. J., L. S. Comita, J. M. Chase, N. J. Sanders, N. G. Swenson, T. O. Crist, J. C. Stegen, M. Vellend, B. Boyle, M. J. Anderson and H. V. Cornell. 2011. Disentangling the drivers of β diversity along latitudinal and elevation gradients. *Science* 333(6050): 1755-1758.
34. Legendre, P. 2014. Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1324-1334.
35. Leprieur, F., C. Albouy, D. J. Bortoli, P. F. Cowman, D. R. Bellwood and D. Mouillot. 2012. Quantifying phylogenetic beta diversity: distinguishing between 'true' turnover of lineages and phylogenetic diversity gradients. *Plos One* 7(8): 1-12.
36. Lite, S. J., K. J. Bagstad and J. C. Stromberg. 2005. Riparian plant species richness along lateral and longitudinal gradients of water stress and flood disturbance, San Pedro River, Arizona, USA. *Journal of Arid Environments* 63(4): 785-813.
37. Liu, Y., H. J. De Boeck, Z. Li and I. Nijs. 2019. Unimodal relationship between three-dimensional soil heterogeneity and plant species diversity in experimental mesocosms. *Plant and Soil* 436(1): 1-15.
38. Lomolino, M. A. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10(1): 3-13.
39. Lorenzón, R. E., A. H. Beltzer, P. M. Peltzer, A. L. Ronchi-Virgolini, M. Tittarelli and P. Olguin. 2016. Local conditions vs. regional context: variation in composition of bird communities along the Middle Paraná River, an extensive river-floodplain system of South America. *Community Ecology* 17(1): 40-47.
40. Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
41. McCain, C. M. 2009. Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography* 18: 346-360.
42. Mori, A. S., T. Shiono, D. Koide, R. Kitagawa, A. T. Ota and E. Mizumachi. 2013. Community assembly processes shape an altitudinal gradient of forest biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 22(7): 878-888.
43. Naghinezhad, A., A. Jalili, F. Attar, A. Ghahreman, D. Bryan and G. John. 2009. Floristic characteristics of the wetland sites on dry southern slopes of the Alborz Mts., N. Iran: the role of altitude in floristic composition, flora-morphology, distribution. *Functional Ecology of Plants* 204(4): 254-269. (In Farsi)
44. Noretto, M. D., E. G. Jobbagy and J. M. Paruelo. 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *Arid Environments* 67(1): 142-156.
45. Oksanen, J., F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn and M. H. H. Stevens. 2016. Vegan: community ecology package, R package version 2.4-3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
46. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and C. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate, No. 939. U. S. *Department of Agriculture*.
47. Omidipour, R., R. Erfanzadeh and M. Faramarzi. 2017. Investigating the effect of livestock grazing on the components of plant diversity of semi-arid pastures. *Rangeland and Watershed Management* 70(3): 723-734. (In Farsi)
48. Palpurina, S., V. Wagner, H. Von Wehrden, M. Hájek, M. Horsák, A. Brinkert, N. Hölzel, K. Wesche, J. Kamp, P. Hájková, J. Danihelka, P. Lustyk, K. Merunková, Z. Preislerová, M. Kočí, S. Kubešová, M. Cherosov, N. Ermakov, D. German, P. Gogoleva, N. Lashchinsky, V. Martynenko and M. Chytrý. 2017. The relationship between plant species richness and soil pH vanishes with increasing aridity across Eurasian dry grasslands. *Global Ecology and Biogeography* 26(4): 425-434.
49. Petersen, S. M. and P. B. Drewa. 2009. Are vegetation-environment relationships different between herbaceous and woody groundcover plants in barrens with shallow soils? *Ecoscience* 16(2): 197-208.
50. Piroozi, N., A. Kohandel, M. Jafari, A. Tavili and G. M. Farizhendi. 2018. Plant alpha and beta diversity in relation

- to spatial distribution patterns in different plant community types. *Pakistan Journal of Botany* 50(6): 2317-2323.
51. Qian, H. and R. E. Ricklefs. 2007. A latitudinal gradient in large-scale beta diversity for vascular plants in North America. *Ecology Letters* 10(8):737-744.
 52. R Core Team. 2020. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
 53. Rahbek, C. 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters* 8: 224-239.
 54. Roem, W. J. and F. Berendse. 2000. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation* 92: 151-161.
 55. Rutherford, M. C., L. W. Powrie and L. B. Husted. 2012. Plant diversity consequences of herbivore-driven biome switch from Grassland to Nama-Karoo shrub steppe in South Africa. *Applied Vegetation Science* 15: 14-25.
 56. Sabatini, F. M., B. Jiménez-Alfaro, S. Burrascano, A. Lora and M. Chytrý. 2018. Beta-diversity of central European forests decreases along an elevational gradient due to the variation in local community assembly processes. *Ecography* 41(6): 1038-1048. DOI: 10.1111/ecog.02809.
 57. Sahu, S. C., A. K. Pani, M. R. Mohanta and J. Kumar. 2019. Tree species diversity, distribution and soil nutrient status along altitudinal gradients in Saptasajya hill range, Eastern Ghats, India. *Taiwania* 64(1): 28-38.
 58. Sanders, N. J. and C. Rahbek. 2012. The patterns and causes of elevational diversity gradients. *Ecography* 35: 1-3.
 59. Sang, W. 2009. Plant diversity patterns and their relationships with soil and climatic factors along an altitudinal gradient in the middle Tianshan mountain area, Xinjiang China. *Ecological Research* 24(2): 303-314.
 60. Sebastiá, M. T. 2004. Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales. *Basic and Applied Ecology* 5(4): 331-346.
 61. Sfenthourakis, S. and M. Panitsa. 2012. From plots to islands: species diversity at different scales. *Journal of Biogeography* 39: 750-759.
 62. Stevens, R. D. and M. R. Willig. 2002. Geographical ecology at the community level: perspectives on the diversity of New World bats. *Ecology* 83: 545-560.
 63. Tahmasebi, P., M. Moradi and R. Omidipour. 2017. Plant functional identity as the predictor of carbon storage in semi-arid ecosystems. *Plant Ecology and Diversity* 10(2-3): 139-151.
 64. Tello, J. S., J. A. Myers, M. J. Macia, A. F. Fuentes, L. Cayola, G. Arellano, M. I. Loza, V. Terrez, M. Cornejo, T. B. Miranda and P. M. Jorgensen. 2015. Elevation gradients in β -diversity reflect variation in the strength of local community assembly mechanisms across spatial scales. *Plos One* 10(3): e0121458.
 65. Tuomisto, H. A. 2010. Diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry, Part 1: Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. *Ecography* 33: 2-22.
 66. Turner, W. R., K. Brandon, T. M. Brooks, C. Gascon, H. K. Gibbs, K. S. Lawrence and E. R. Selig. 2012. Global biodiversity conservation and the alleviation of poverty. *BioScience* 62(1): 85-92.
 67. Wang, J. T., Y. M. Zheng, H. W. Hu, L. M. Zhang, J. Li and J. Z. He. 2015. Soil pH determines the alpha diversity but not beta diversity of soil fungal community along altitude in a typical Tibetan forest ecosystem. *Journal of Soils and Sediments* 15(5): 1224-1232.
 68. Wedin, D. A. and D. Tilman. 1996. Influence of nitrogen loading and species composition on the carbon balance of grasslands. *Science* 274: 1720-1723.
 69. Whittaker, R. H. 1960. Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monograph* 30: 279-338.
 70. Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.
 71. Xu, W., X. Ci, C. Song, T. He, W. Zhang, Q. Li and J. Li. 2016. Soil phosphorus heterogeneity promotes tree species diversity and phylogenetic clustering in a tropical seasonal rainforest. *Ecology and Evolution* 6(24): 8719-8726.

Effects of Altitude and Soil Properties on Alpha and Beta Diversity in Plour Rangelands of Mazandaran

Z. Jafarian^{1*}, R. Omidipoor² and M. A. L. Zandi³

(Received: November 17-2020; Accepted: June 20-2021)

Abstract

Biodiversity is one of the important aspects of natural systems which supports ecosystem functions. Therefore, the preservation of biodiversity is necessary for human well-being. The current study aimed to investigate changes of alpha and beta diversity and its components along the elevation gradient of five classes and to evaluate the effects of physical and chemical characteristics of soil on these diversity indices. In each elevation class, 20 soil samples and a total of 100 samples were taken and the relationship between physical and chemical characteristics of soil with diversity indices was examined. The number of species was recorded at 100 plots and the alpha and beta diversity indices were calculated at two spatial scales (i.e., plot and transect) using R software. Based on the results, the lowest amount of alpha diversity across plots (12.47 ± 1.03) and transects (24.15 ± 1.06) were observed at the elevation class of > 3200 m, while, the lowest amount of beta diversity in plots (11 ± 0.78) and transects (18 ± 0.44) were observed in class of < 2600 m. In all altitude classes, more than 90% of the variation in beta diversity was explained by the species turnover component and the nested pattern component was responsible for a very small part of beta diversity. Environmental factors were explained only 11% of the changes in alpha diversity and 30% of the beta diversity. This result indicates the high complexity of the environment and plant communities and clearly shows that using a few environmental variables cannot reveal all the changes in plant composition.

Keywords: Spatial diversity, Conservation, Species turnover, Nested pattern

1. Professor in Sari agricultural sciences and natural resources university
2. PhD graduate in Rangeland science, faculty of natural resources and earth Sciences, Shahrekord university
3. PhD student in Rangeland science at Sari agricultural sciences and natural resources university
*: Corresponding Author, Email: z.jafarian@sanru.ac.ir