پارک ملی لار، اردیبهشت ۱۴۰۰، عکاس: فرهاد ورزکاری مقدم

معرفی شاخص‌های تنوع‌زیستی گیاهی و محاسبهٔ آن‌ها با نرم‌افزار PAST

حنانه سادات سادات موسوی[1*]، فرنوش عطار صحراگرد[1]

۱- دانشجوی دکتری، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: h.sadatmousavi@ut.ac.ir

چکیده

تنوع‌زیستی ترکیبی از تمام گوناگونی‌های زیستی، از جمله تنوع وراثتی درون‌گونه‌ای، تنوع بین گونه‌ها، اجتماعات و مجموعه بوم‌سازگان‌های یک منطقه است و در سطحی گسترده در مطالعات پوشش گیاهی و ارزیابی محیط‌زیستی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در تعیین وضعیت بوم‌سازگان و از لحاظ تعیین وضعیت و بررسی نقش مدیریت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از طریق مطالعه و اندازه‌گیری تنوع گیاهی، می‌توان پویایی جامعه گیاهی و توزیع گونه‌ها در محیط را بررسی کرد و با تأکید بر پویایی بوم‌سازگان، توصیه‌های مدیریتی مناسب ارائه نمود. اندازه‌گیری تنوع که یکی از مهم‌ترین مفاهیم در بوم‌شناسی است می‌تواند به روش‌های مختلفی نظیر استفاده از شاخص‌های عددی و پارامتری انجام شود. شاخص‌هی عددی با ارائه یک عدد به‌عنوان نتیجه، تنوع را در یک واحد نمونه‌برداری یا یک جامعه نشان می‌دهد. شاخص‌های پارامتری یا غیرعددی برخلاف شاخص‌های عددی منجر به از دست رفتن اطلاعاتی از گونه‌ها می‌شوند، هرچند که این شاخص‌ها از تمامی اطلاعات استفاده کرده و یک بعد جدید را به روش‌های بوم‌شناختی تنوع افزوده است. مقاله حاضر با هدف معرفی شاخص‌های تنوع گیاهی و طریقه‌ی محاسبه‌ی آن‌ها با نرم‌افزار Past پس از مطالعات کتابخانه‌ای و وب، نگاشته شده‌است. نرم‌افزار Past در بسیاری از زمینه‌های علوم زیستی، علوم زمین، مهندسی و اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرد که با استفاده از آن می‌توان شاخص‌های تنوع را به صورت دقیق محاسبه نمود.

کلیدواژه‌ها: تنوع گیاهی، سیمپسون، شانون–وینر، مارگالف، منهینیک

مقدمه

حفاظت از تنوع‌زیستی در حفظ حیات انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بوم‌شناسان تلاش می‌کنند تا دانش خود را در مورد چگونگی، چرایی و چندی تنوع زیستی گسترش دهند و این دانش را در اختیار علاقه‌مندان و پژوهشگران قرار دهند (Lawn, 2011; WHO, 2025). تنوع به محدوده تغییرات یا تفاوت‌های میان گروه‌ها اشاره دارد و برای مشخص کردن پیچیدگی یا میزان گوناگونی موجودات یک جامعه استفاده می‌شود. این مفهوم اولین بار توسط روزن[1] در سال ۱۹۸۵ میلادی معرفی شد (Wilson, 1988; Hooper et al., 2012; Xu et al., 2020)، اما اغلب به اشتباه به معنای تعداد گونه در یک مکان طبیعی به کار می‌رود (داستانگو، ۱۳۸۳).

تنوع‌زیستی در واقع ترکیبی از تمام گوناگونی‌های زیستی است، از جمله تنوع وراثتی درون‌گونه‌ای، تنوع بین گونه‌ها، اجتماعات و مجموعه بوم‌سازگان‌های یک منطقه (Hawksworth, 1995; Kaennel, 1998; Heydari et al., 2020). حفظ تنوع گیاهی یکی از اهداف مدیریت بوم‌سازگان است (Yuguang et al., 2001; Li et al., 2024) و در مطالعات پوشش گیاهی و ارزیابی محیط‌زیستی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Goodman, 1975; Li et al., 2024). از طریق مطالعه تنوع گیاهی، می‌توان پویایی جامعه گیاهی را بررسی کرد و با اندازه‌گیری تنوع، توزیع گونه‌ها را در محیط بررسی نمود (van der Maarel, 1988; Vogt et al., 2013; Li et al., 2024).

▪ سطوح تنوع‌زیستی

تنوع‌زیستی به‌عنوان گنجینه‌ای از زیست در کره زمین شناخته می‌شود که شامل اشکال متنوع زندگی و فرم‌های رویشی است. محققان بر این باورند که تنوع زیستی یک مفهوم سلسله‌مراتبی است که باید در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گیرد. عموماً، این مفهوم شامل سه سطح اصلی ژنتیکی، گونه‌ای و بوم‌سازگان است (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Heydari et al., 2020).

تنوع ژنتیکی

تنوع ژنتیکی یا تنوع درون تاکسونی، که توسط van der Maarel و همکاران در سال ۲۰۰۵ مورد بحث قرار گرفته است، در پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتب نظام تنوع‌زیستی قرار دارد. این مفهوم به تنوع ژن‌های موجود در یک گونه یا تعداد آلل‌های ژنی در یک جمعیت اشاره دارد. تنوع ژنتیکی و تغییرپذیری ژنتیکی در میان افراد یک گونه مشابه، با تاریخچه و ساختار آن گونه و توانایی سازش‌پذیری آن مرتبط است. کاهش تنوع ژنتیکی می‌تواند خطر انقراض گونه‌ها را افزایش دهد. برای تعیین اولویت حفاظتی گونه‌ها، به‌ویژه گونه‌های زراعی و معادل‌های وحشی هم‌خانواده با آن‌ها، بررسی تنوع و تفاوت ژنتیکی افراد درون یک گونه از اهمیت زیادی برخوردار است و باید مورد توجه خاص قرار گیرد (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Gliessman, 2022; Choudhary et al., 2017).

تنوع گونه‌ای

تنوع گونه‌ای یا تنوع تاکسونی[2] (van der Maarel et al., 2005)، سطح میانه نظام سلسله‌مراتبی تنوع‌زیستی است و بررسی تنوع گونه‌ها اعم از گیاهی یا جانوری در نواحی خاص می‌پردازد و به تفاوت‌های میان گروه‌های تاکسونومیکی و در بین نواحی جغرافیایی اشاره دارد (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Weigand et al., 2019).

تنوع بوم‌سازگان

تنوع بوم‌سازگان به‌عنوان بالاترین سطح سلسله‌مراتب تنوع‌زیستی شناخته می‌شود و شامل ترکیب، ساختار و

1. Rosen

2. Taxon diversity

عملکرد اکوسیستم‌ها است. این تنوع به برهمکنش‌های بین گونه‌ای و درون‌گونه‌ای اشاره دارد که در تمایز اکوسیستم‌ها از یکدیگر نقش دارد. مسیر جریان انرژی نیز یکی از عوامل مهم در تفکیک بوم‌سازگان‌ها است. به‌عنوان مثال، صخره‌های مرجانی به دلیل چرخه‌های غذایی پایه و تولید اولیه بالایی که دارند، با جوامع موجود در اعماق دریاها و آب‌های گرم که از شیمیوسنتز استفاده می‌کنند و تولید اولیه کمتری دارند، متفاوت هستند. این تفاوت‌ها در تولید اولیه به دلیل تفاوت در فرآیندهای فتوسنتز و شیمیوسنتز است که در این اکوسیستم‌ها رخ می‌دهد (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Maier et al., 2023).

▪ انواع تنوع

Whittaker (۱۹۷۲) سه اصطلاح را برای اندازه‌گیری تنوع زیستی در مقیاس مکانی بیان کرد؛ بنابراین در یک تقسیم‌بندی کلی، می‌توان تنوع را در مقیاس‌های متفاوت زیر بررسی نمود (Magurran, 1996; Southwood, 1978; Waite, 2000; Martínez-Roldán et al., 2024).

تنوع آلفا (α)[1]

تنوع آلفا به تنوع درون زیستگاهی اشاره دارد و شامل تنوع گونه‌های موجود در یک اجتماع، زیستگاه یا بوم‌سازگان خاص است. این نوع تنوع براساس ترکیبی از تعداد گونه‌ها و فراوانی نسبی آن‌ها تعریف می‌شود (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Martínez-Roldán et al., 2024).

تنوع بتا (β) [2]

تنوع بتا به تغییرات ترکیب گونه‌ای و تنوع بین زیستگاه‌ها اشاره دارد و نشان‌دهنده تفاوت در تنوع گونه‌ای بین جوامع مختلف یا در طول شیب‌های محیطی است. این مفهوم مشابه با تنوع بین زیستگاهی که توسط MacArthur (۱۹۶۵) معرفی شده است، می‌باشد. از طریق تنوع بتا می‌توان به بررسی سرعت تغییرات در تعداد و یکنواختی گونه‌ها بین جوامع مختلف یا در طول شیب‌های محیطی پرداخت (Wilson & Mohler, 1983). این موضوع در تحقیقات اخیر نیز مورد تأکید قرار گرفته است (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Martínez-Roldán et al., 2024).

تنوع گاما (γ) [3]

تنوع گاما یا تنوع منطقه‌ای، به تنوع زیستی در یک واحد بزرگ جغرافیایی یا سیمای سرزمین اشاره دارد. این مفهوم غنای گونه‌ای در یک محدوده جغرافیایی را در بر می‌گیرد که خود از دو جزء اصلی تشکیل شده است: تنوع آلفا و تنوع بتا. به‌طور کلی، تنوع گاما به تنوع کلی یک مجموعه از مناطق با تنوع آلفا یا تنوع کلی بوم‌سازگان‌های مختلف در یک منطقه اشاره دارد (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Martínez-Roldán et al., 2024). Hunter (۲۰۰۲) تنوع گاما را تنوع گونه‌ای در مقیاس جغرافیایی توصیف کرده‌است.

▪ تنوع گونه‌ای و اجزای آن

تنوع گونه‌ای یکی از جنبه‌های مهم یک جامعه زیستی است و به عنوان یکی از سطوح تنوع زیستی شناخته می‌شود. اگرچه تنوع زیستی مفهوم گسترده‌تری دارد، اما تنوع گونه‌ای بخش عمده‌ای از مطالعات تنوع‌زیستی را در بر می‌گیرد. این مفهوم به‌طور کلی از دو جزء تشکیل شده است (Ludwig & Reynolds, 1988; Krebs, 1999; Magurran, 1996; Heydari et al., 2020).

۱- غنای گونه‌ای[4]

واژه غنای گونه‌ای برای اولین بار توسط McIntosh در سال ۱۹۶۷ میلادی به‌کار برده شد. این مفهوم به‌عنوان

[1]. Alpha diversity
[2]. Beta diversity = Differentiation diversity
[3]. Gamma diversity
[4]. Species richness

قدیمی‌ترین و ساده‌ترین روش برای اندازه‌گیری تنوع‌زیستی شناخته می‌شود و به تعداد گونه‌ها در یک جامعه یا واحد سطح اشاره دارد. غنای گونه‌ای تأثیر مستقیمی بر تنوع دارد، به این معنی که جامعه‌ای با تعداد بیشتر گونه‌ها، تنوع‌زیستی بیش‌تری نیز خواهد داشت. در واقع، غنای گونه‌ای یکی از معیارهای اصلی برای ارزیابی تنوع منطقه‌ای است و پایه‌ای برای بسیاری از مدل‌های بوم‌شناختی و استراتژی‌های حفاظت از محیط‌زیست به‌شمار می‌آید. حفظ حداکثر غنای گونه‌ای از اهداف اصلی حفاظت از محیط‌زیست است (Rangel et al., 2018). Boulinier و همکاران (۱۹۹۸) بر اهمیت غنای گونه‌ای تأکید می‌کنند و آن را به‌عنوان یک موضوع اساسی در مطالعات میدانی بوم‌شناسی جوامع و مدیریت تنوع زیستی معرفی می‌کنند.

۲- یکنواختی[1]

اولین‌بار این واژه را Lloyd و Ghelardi (۱۹۶۴) پیشنهاد کردند. یکنواختی چگونگی توزیع فراوانی افراد[2] را در بین گونه‌ها نمایش می‌دهد. به‌عبارت دیگر، یکنواختی بیانگر میزان تعادل در فراوانی گونه‌ها است.

اصطلاح هتروژنیتی[3] اولین‌بار توسط Good (۱۹۵۳) برای این مفهوم به کار رفت و برای بیش‌تر بوم‌شناسان، این مفهوم مترادف تنوع است (Hurlbert, 1971; Krebs, 1999). به جوامعی هتروژن می‌گویند که تعداد افراد در بین گونه‌های آن جامعه به‌صورت یکنواخت توزیع شده باشند (Ben-Hur & Kadmon, 2020).

▪ روش‌های اندازه‌گیری تنوع

اندازه‌گیری تنوع، که یکی از مفاهیم اساسی در بوم‌شناسی به‌شمار می‌رود، می‌تواند از طریق روش‌های گوناگون انجام شود. دو دسته اصلی از روش‌های اندازه‌گیری تنوع که در منابع مختلف مورد بحث قرار گرفته‌اند، شامل استفاده از شاخص‌های عددی و شاخص‌های پارامتری یا غیرعددی هستند.

• شاخص‌های عددی تنوع

این گروه از شاخص‌ها با ارائه یک عدد به‌عنوان نتیجه، تنوع را در یک واحد نمونه‌برداری یا یک جامعه نشان می‌دهد. این شاخص‌ها بر اساس اینکه فقط از مؤلفه (فاکتور) غنای گونه‌ای، یا تنها از مؤلفه یکنواختی و یا از هر دو مؤلفه غنا و یکنواختی استفاده نمایند، به ترتیب به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Yan et al., 2023):

I. شاخص‌های غنای گونه‌ای

II. شاخص‌های یکنواختی

III. شاخص‌های هتروژنیتی[4]

شاخص‌های غنای گونه‌ای

این شاخص‌ها را براساس تعداد کل گونه‌ها و افراد موجود در نمونه نتیجه‌گیری می‌کنند. این روش ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش اندازه‌گیری تنوع است. در غیر این صورت، باید بین غنای گونه‌ای عددی که به‌صورت تعداد گونه در تعداد ویژه‌ای از افراد یا زی‌توده[5] تعریف می‌شود (Kempton, 1979) و تراکم گونه‌ای[6] که تعداد گونه در یک سطح ویژه است (Hurlbert, 1971)، تفاوت قائل شد. تراکم گونه‌ای (به‌عنوان‌مثال تعداد گونه‌ها در مترمربع) عمومی‌ترین راه اندازه‌گیری غنای گونه‌ای و مورد تأیید گیاه‌شناسان است. از جمله شاخص‌هایی که بر اساس تعداد کل گونه‌ها (S) و تعداد کل افراد در مورد تمام گونه‌ها (N)

[1]. Evenness=Equitability
[2]. Individuals
[3]. Heterogenity
[4]. Heterogeneity
[5]. Biomass
[6]. Species density

که به‌اندازه واحد نمونه‌برداری وابسته است، معرفی شده‌اند می‌توان به شاخص تنوع مارگالف[1] (رابطه ۱) (Clifford & Stephenson, 1975) و شاخص منهینیک[2] (رابطه ۲) (Whittaker, 1977) اشاره نمود (Magurran, 1996; Mulya et al., 2021).

رابطه (۱) $$D_{Mg} = \frac{S-1}{ln_N}$$

رابطه (۲) $$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

که در این روابط، S: تعداد کل گونه‌ها، N: حجم یا اندازه نمونه یا تعداد کل افراد در نمونه و ln_N: لگاریتم طبیعی N است. به هنگام استفاده از این شاخص‌ها باید اقدام به جمع‌آوری تمام گونه‌ها در حجم نمونه با اندازه یکسان کرد (در اینجا منظور از حجم یا اندازه نمونه، تعداد کل افراد در نمونه است).

شاخص‌های هتروژنیتی

تعدادی از شاخص‌ها بر اساس فراوانی نسبی گونه‌ها عمل می‌کنند. این دسته از شاخص‌ها به نام شاخص‌های هتروژنیتی معرفی شده‌اند؛ چرا که اندازه‌گیری یکنواختی و غنای گونه‌ای را با هم در برمی‌گیرند. Southwood (۱۹۷۸) نیز آن‌ها را شاخص‌های ناپارامتری[3] معرفی کرد. این شاخص‌ها به دو گروه شاخص‌های مبتنی بر تئوری اطلاعات[4] و شاخص‌های مبتنی بر غالبیت[5] تقسیم می‌شوند (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Edmonds et al., 2024).

- شاخص‌های مبتنی بر تئوری اطلاعات

تئوری اطلاعات بیان میزان عدم اطمینان موجود در پیش‌بینی صحیح داده‌ها با آگاهی از بخشی از اطلاعات در مورد آن داده‌هاست. Margalef (۱۹۵۸) بیان داشت که هدف اصلی تئوری اطلاعات، ارزیابی میزان نظم یا بی‌نظمی موجود در یک سیستم است.

a) شاخص تنوع شانون – واینر[6]

این شاخص به طور جداگانه توسط Shannon و Winner و مبتنی بر تئوری اطلاعات (Shannon, 1948) مطرح شد و به‌عنوان شاخص تنوع شانون شناخته شد. این شاخص وضعیت سلامتی جوامع را نشان می‌دهد؛ چرا که مقدار این شاخص بین صفر تا حدود ۴/۵ متغیر است. اگر یک گونه در نمونه حضور داشته باشد و یا جامعه تحت استرس و یا تخریب باشد، این شاخص برابر صفر خواهد بود و تنها زمانی مقدار آن ماکزیمم است که همه گونه‌ها (S)، تعداد افراد یکسانی داشته باشند و یا جامعه دور از آلودگی و استرس باشد. در واقع هرچه شاخص شانون کمتر باشد، گویای شرایط سخت جامعه است. در این شاخص فرض شده‌است که افراد از یک جامعه بی‌نهایت بزرگ و به‌صورت تصادفی نمونه‌گیری شده‌اند. این شاخص بر پایه نظریه عدم اطمینان بنا شده است و نشان‌دهنده تخمینی از میانگین درجه عدم اطمینان، در پیشگویی تعلق یک فرد است که به طور تصادفی از مجموعه‌ای با S گونه و N فرد انتخاب شده باشد و از فرمول زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۳) (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Konopiński, 2020):

رابطه (۳)
$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \ln P_i = -\sum_{i=1}^{S} (P_i)(log_2\ P_i)$$

دراین رابطه، H': محتوای اطلاعات نمونه که سنجشی از عدم اطمینان است و هرچه مقدار این شاخص بزرگ‌تر باشد، عدم اطمینان بیش‌تر است. P_i: سهم افراد در گونه iام نسبت به کل نمونه که به‌صورت $P_i = \frac{n_i}{N}$ تعریف می‌شود و S: تعداد گونه‌ها است.

[1]. Margalef's diversity index
[2]. Menhinick' s diversity index
[3]. Non-parametric
[4]. Information theory Indices
[5]. Dominance measures
[6]. Shannon-Weaver Index

b) شاخص بریلوئین[1]

این شاخص زمانی به‌کار می‌رود که تضمینی برای تصادفی بودن واحدهای نمونه‌برداری در جامعه مورد اندازه‌گیری وجود نداشته باشد (رابطه ۴) (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Le et al., 2024).

رابطه (۴)

$$\widehat{H} = H_B = \frac{1}{N}\log\left(\frac{N!}{n_1!\, n_2!\, n_3!\, \ldots}\right) = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$$

که در آن، H_B =$\widehat{H}$: شاخص بریلوئین، N: تعداد کل افراد و n_i: تعداد افراد متعلق به گونه iام است (n_1: تعداد افراد متعلق به گونه اول، n_2: متعلق به گونه دوم و نظیر آن).

این شاخص همانند شاخص شانون به گونه‌های نادر حساس بوده و در محاسبه آن از هر پایه لگاریتمی می‌توان استفاده کرد و واحدها نیز بر حسب پایه لگاریتم تغییر خواهد کرد. مقدار عددی آن به‌ندرت از ۴/۵ تجاوز می‌کند.

➢ شاخص‌های مبتنی بر معیارهای غالبیت

گروه بعدی از شاخص‌های هتروژنیتی، معیارهای غالبیت هستند. این شاخص‌ها به‌جای تمرکز بر غنای گونه‌ای، بر محاسبه فراوانی گونه‌های غالب متمرکز هستند. از معروف‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص سیمپسون، شاخص مک‌اینتاش و شاخص برگر-پارکر اشاره کرد (Yeom & Kim, 2011).

a) شاخص تنوع سیمپسون

شاخص تنوع سیمپسون یکی از شناخته‌شده‌ترین شاخص‌های هتروژنیتی و اولین شاخص ناپارامتری تنوع است. این شاخص گاهی اوقات به نام شاخص یول نیز شناخته می‌شود. شاخص سیمپسون به‌شدت بر گونه‌های غالب در نمونه متمرکز است (Sharashy, 2022). Simpson در سال ۱۹۴۹ اظهار داشت که تنوع با احتمال معکوس مرتبط است که دو فرد به‌طور تصادفی انتخاب شده به یک گونه تعلق دارند. برای یک جامعه نامحدود، این شاخص از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود (Simpson, 1949) (رابطه ۵):

رابطه (۵)

$$D = \sum_{i=1}^{s} P_i^2 \qquad P_i = \frac{n_i}{N}$$

که در آن، D: شاخص سیمپسون، P_i: نسبت افراد در گونه iام یا نسبت گونه i در جامعه، n_i: تعداد افراد در گونه iام و N: تعداد کل افراد است.

برای تبدیل این احتمال به شاخص تنوع سیمپسون که بیانگر احتمال جمع‌آوری دو فرد به‌صورت تصادفی است که متعلق به گونه‌های متفاوت باشند، باید معادله بالا یا فرمول اولیه سیمپسون را از عدد یک کم کرد؛ بنابراین خواهیم داشت (رابطه ۶) (Sharashy, 2022):

رابطه (۶)

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^{s} P_i^2 \qquad P_i = \frac{n_i}{N}$$

که در آن، 1-D: شاخص تنوع سیمپسون و P_i: نسبت افراد گونه iام در جامعه است. در این شاخص فرض بر آن است که کلیه گونه‌های موجود در جامعه، در نمونه‌های جمع‌آوری شده حضور دارند و نمونه‌های جمع‌آوری شده، نماینده خوبی برای جامعه موردنظر محسوب می‌شوند.

b) شاخص تنوع مک‌اینتاش[2]

McIntosh (۱۹۶۷) پیشنهاد کرد که یک جامعه می‌تواند به‌عنوان نقطه‌ای در یک فضای چندبعدی در نظر گرفته شود و فاصله اقلیدسی مجموعه از مبدأ می‌تواند به‌عنوان یک اندازه‌گیری از تنوع استفاده شود. این فاصله به صورت

[1]. Brillouin index

[2]. McIntosh's index of diversity

U شناخته شده و از طریق معادله زیر محاسبه می‌گردد (رابطه ۷):

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^{s} n_i^2}$$ رابطه (۷)

در این رابطه، U: شکل عمومی شاخص مک‌اینتاش، S: تعداد گونه و n: تعداد افراد گونه iام است.

این شاخص به‌تنهایی یک شاخص غالبیت نیست ولی می‌توان با استفاده از فراوانی کل (N) یک شاخص تنوع یا غالبیت به شکل زیر تعریف کرد (رابطه ۸) (Rodriguez et al., 2022):

$$D = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}}$$ رابطه (۸)

c) شاخص تنوع برگر – پارکر[1]

این شاخص درک ساده‌ای از غالبیت را فراهم نموده‌است و به‌سهولت محاسبه می‌شود. شاخص برگر – پارکر مبتنی بر فراوانی نسبی غالب‌ترین گونه‌ها بوده و به شکل زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۹) (Sudhakaran & Shifana, 2023):

$$d = N_{max}/N$$ رابطه (۹)

در این رابطه، N_{max}: تعداد افراد غالب‌ترین گونه در نمونه و N: تعداد کل افراد نمونه است.

در مورد شاخص برگر – پارکر، همانند شاخص سیمپسون، حالت عکس آن پذیرفته شده است (1/d) چرا که افزایش در مقدار این شاخص بیانگر افزایش تنوع و کاهش در غالبیت است. این شاخص مستقل از تعداد کل گونه‌ها (S) بوده؛ ولی تحت‌تأثیر اندازه نمونه قرار می‌گیرد (اجتهادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Sudhakaran & Shifana, 2023).

[1]. Berger-Parker diversity index

➢ شاخص یکنواختی

معمول‌ترین روش برای تعیین یکنواختی این است که نسبت شاخص هتروژنیتی را بر مقدار ماکزیمم خودش به دست آوریم (رابطه ۱۰) (BenHur & Kadmon, 2020):

$$E = D/D_{max}$$ رابطه (۱۰)

که در آن، D: شاخص مشاهده شده از تنوع گونه‌ای و D_{max}: بیش‌ترین مقداری که D می‌تواند داشته باشد (با S گونه و N فرد) است.

▪ معرفی نرم‌افزار Past

این برنامه در ابتدا به‌عنوان یک بسته نرم‌افزاری PALSTAT برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های دیرینه‌شناسی طراحی شد. از طریق توسعه مداوم برای بیش از ۱۵ سال، PAST به یک بسته آماری جامع تبدیل شده است که نه‌تنها توسط دیرینه‌شناسان، بلکه در بسیاری از زمینه‌های علوم زیستی، علوم زمین، مهندسی و اقتصاد مورداستفاده قرار می‌گیرد (Hammer et al., 2016).

صفحه شطرنجی و منوی ویرایش نرم‌افزار

PAST یک صفحه گسترده؛ مانند رابط کاربری دارد. داده‌ها به‌صورت آرایه‌ای از سلول‌ها وارد می‌شوند که در ردیف‌ها (افقی) و ستون‌ها (عمودی) سازماندهی شده‌اند.

واردکردن داده‌ها

برای واردکردن داده‌ها در یک سلول، با نشانگر ماوس روی سلول کلیک و داده‌ها را تایپ کنید. همچنین سلول‌ها را می‌توان با استفاده از کلیدهای جهت‌دار پیمایش کرد. هر متنی را می‌توان در سلول‌ها وارد کرد، اما اکثر توابع انتظار اعداد دارند. هر دو کاما (,) و اعشار (.) به‌عنوان جداکننده اعشار پذیرفته می‌شوند. داده‌های حضور/ عدم‌حضور به ترتیب ۱ یا ۰ کدگذاری می‌شوند. هر عدد مثبت دیگری به‌عنوان حضور تعبیر خواهد شد. قرارداد PAST این است

که آیتم‌ها، سطرها و متغیرها، ستون‌ها را اشغال می‌کنند؛ بنابراین، سه فرد ممکن است ردیف‌های ۱، ۲ و ۳ را در ستون‌های A و B اشغال کنند. برای تجزیه‌وتحلیل، نمونه‌ها (سایت‌ها) باید در ردیف‌ها وارد شوند، درحالی‌که گونه‌ها در ستون‌ها هستند. همچنین ردیف‌ها و ستون‌ها به‌راحتی با استفاده از عملیات Transpose قابل‌تعویض هستند.

انتخاب ناحیه‌های مختلف در نرم‌افزار

اکثر عملیات در PAST فقط در ناحیه‌ای از آرایه‌ای که شما انتخاب کرده‌اید (علامت‌گذاری شده) انجام می‌شود. اگر بخواهید تابعی را اجرا کنید که انتظار داده دارد و هیچ ناحیه‌ای انتخاب نشده است، یک پیام خطا دریافت خواهید کرد.

- ✓ یک ردیف با کلیک روی برچسب ردیف (اولین ستون از سمت چپ) انتخاب می‌شود.
- ✓ یک ستون با کلیک روی برچسب ستون (ردیف بالا) انتخاب می‌شود.
- ✓ سطرهای متعدد با انتخاب اولین برچسب سطر، سپس با کلیک‌کردن روی برچسب‌های سطر اضافی (با کلیک‌کردن با دکمهٔShift و دکمهٔ پایین) انتخاب می‌شوند.
- ✓ چندین ستون به‌طور مشابه با کلیک و نگه‌داشتن دکمه Shift روی برچسب‌های ستون اضافی مشخص می‌شوند.
- ✓ همچنین می‌توانید ردیف‌ها یا ستون‌های جدا شده را با کلیک‌کردن و نگه‌داشتن دکمه ctrl انتخاب کنید.
- ✓ کل آرایه‌ها را می‌توان با کلیک روی گوشه سمت چپ بالای آرایه (سلول خاکستری خالی) یا با انتخاب "Select all" در منوی ویرایش/ Edit انتخاب کرد.
- ✓ مناطق کوچک‌تر در آرایه را می‌توان با کلیک‌کردن و نگه‌داشتن دکمه Shift انتخاب کرد.

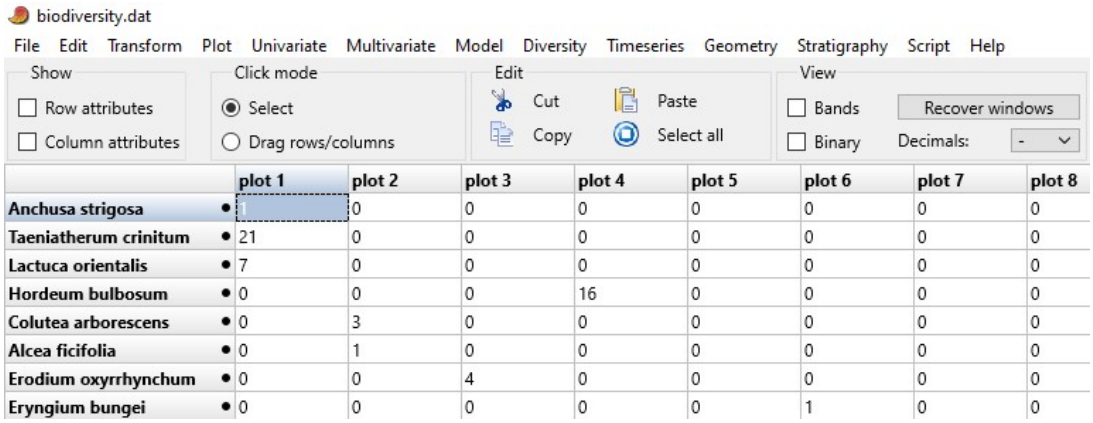
منطقه حفاظت‌شده البرز جنوبی، استان البرز، تابستان ۱۴۰۰، عکاس: فرنوش عطار صحراگرد

واردکردن داده‌ها از اکسل

راه‌های مختلفی برای دریافت داده‌ها از اکسل به PAST وجود دارد.

- ✓ از اکسل کپی کنید و در PAST قرار دهید. مطمئن شوید که روی سلول بالا سمت چپ کلیک کنید (انتخاب کنید).
- ✓ فایل اکسل را در PAST باز کنید.

به‌عنوان متن جدا شده با دکمهٔ Tab در اکسل ذخیره کنید. فایل متنی به‌دست‌آمده را می‌توان در PAST باز کرد.



	plot 1	plot 2	plot 3	plot 4	plot 5	plot 6	plot 7	plot 8
Anchusa strigosa	1	0	0	0	0	0	0	0
Taeniatherum crinitum	21	0	0	0	0	0	0	0
Lactuca orientalis	7	0	0	0	0	0	0	0
Hordeum bulbosum	0	0	0	16	0	0	0	0
Colutea arborescens	0	3	0	0	0	0	0	0
Alcea ficifolia	0	1	0	0	0	0	0	0
Erodium oxyrrhynchum	0	0	4	0	0	0	0	0
Eryngium bungei	0	0	0	0	0	1	0	0

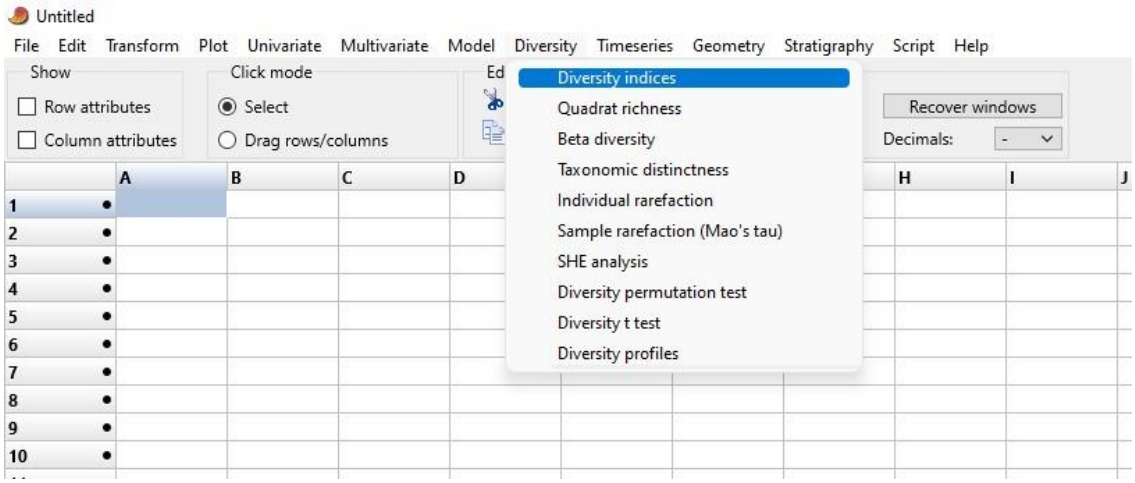
شکل ۱- واردسازی داده‌ها در نرم‌افزار Past

- **منوی تنوع (Diversity)**

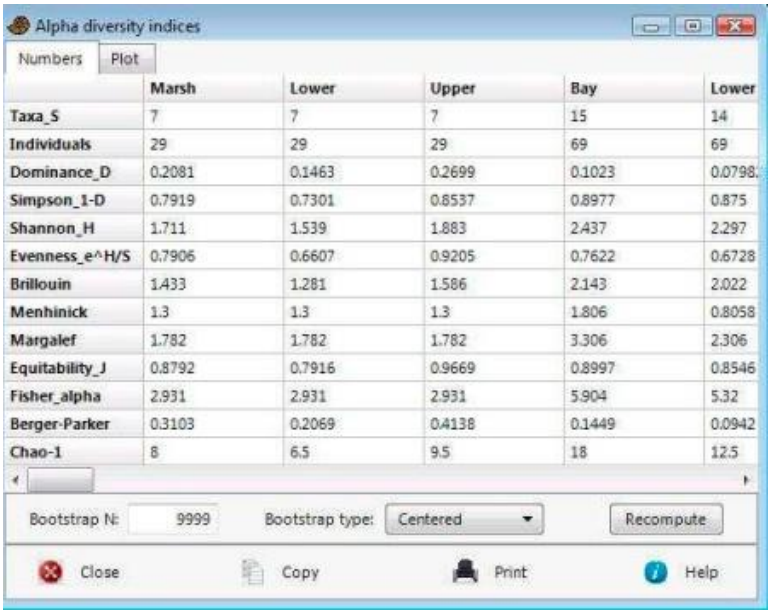
شاخص‌های تنوع (Diversity indices)

این آمار برای داده‌های ارتباطی اعمال می‌شود، جایی که تعداد افراد در ردیف‌ها (گونه‌ها) و احتمالاً چندین ستون (نمونه‌ها) جدول‌بندی شده‌اند.

Close-up Photo of Empty Sea Urchins, 2020, Photographer: Cassidy Marshall



شکل ۲- نمایش منوی تنوع و شاخص‌های تنوع در نرم‌افزار Past



	Marsh	Lower	Upper	Bay	Lower
Taxa_S	7	7	7	15	14
Individuals	29	29	29	69	69
Dominance_D	0.2081	0.1463	0.2699	0.1023	0.0798
Simpson_1-D	0.7919	0.7301	0.8537	0.8977	0.875
Shannon_H	1.711	1.539	1.883	2.437	2.297
Evenness_e^H/S	0.7906	0.6607	0.9205	0.7622	0.6728
Brillouin	1.433	1.281	1.586	2.143	2.022
Menhinick	1.3	1.3	1.3	1.806	0.8058
Margalef	1.782	1.782	1.782	3.306	2.306
Equitability_J	0.8792	0.7916	0.9669	0.8997	0.8546
Fisher_alpha	2.931	2.931	2.931	5.904	5.32
Berger-Parker	0.3103	0.2069	0.4138	0.1449	0.0942
Chao-1	8	6.5	9.5	18	12.5

شکل ۳- نمایش خروجی منوی شاخص‌های تنوع در نرم‌افزار Past

آمار موجود برای هر نمونه به شرح زیر است (Hammer et al., 2016):

- ✓ تعداد گونه‌ها (S)
- ✓ تعداد کل افراد (n)
- ✓ Dominance: ۱ منهای شاخص سیمپسون که از ۰ تا ۱ متغیر است.
- ✓ Simpson: یکنواختی جامعه را از ۰ تا ۱ اندازه‌گیری می‌کند.
- ✓ Shannon: شاخص شانون یا آنتروپی یک شاخص تنوع، با درنظرگرفتن تعداد افراد و همچنین تعداد گونه‌ها از ۰ برای جوامعی که فقط یک تاکسون دارند تا مقادیر بالا برای جوامعی که تاکسون‌های زیادی دارند و هر کدام افراد کمی دارند، متغیر است.
- ✓ به شاخص‌های بریلوئین، منهینیک، یکنواختی، برگر – پارکر و مارگالف قبلاً اشاره شده است.
- ✓ Equitability: تقسیم تنوع شانون بر لگاریتم تعداد گونه‌ها. این شاخص تقسیم افراد در میان گونه‌های حاضر را اندازه‌گیری می‌کند.
- ✓ Fisher's alpha: یک شاخص تنوع است که به طور ضمنی با فرمول S=a*ln (1+n / a) تعریف می‌شود که در آن S تعداد گونه‌ها، n تعداد افراد و a فیشر آلفا است.
- ✓ Chao1: برآوردی از غنای کل گونه است.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع‌زیستی یکی از مهم‌ترین مفاهیم در بوم‌شناسی بوده و در زمینه‌های مختلفی از جمله مدیریت تنوع‌زیستی کاربرد دارد. به‌طوری‌که با ارزیابی تغییرات شاخص‌های تنوع در یک منطقه در طول زمان، امکان ارزیابی مدیریت اعمال شده وجود دارد. روش‌های مختلف اندازه‌گیری تنوع و گوناگونی شاخص‌ها سبب شده است تا بررسی توزیع گونه‌های مختلف گیاهی و پویایی جامعه گیاهی تسهیل گردد و با تأکید بر پویایی بوم‌سازگان، توصیه‌های مدیریتی مناسب ارائه شود. در این راستا یکی از آسان‌ترین راه‌ها جهت محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های تنوع‌زیستی استفاده از نرم‌افزارهای آماری نظیر نرم‌افزار PAST است که سبب تسهیل محاسبه تنوع، جلوگیری از ایجاد خطا در محاسبات و صرفه‌جویی در زمان می‌شود.

منابع

اجتهـادی ح.، سـپهری ع. و عکـافی ح.ر. (۱۳۹۲). روش‌هـای اندازه‌گیری تنوع زیستی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۲۶ ص.

داستانگو، د. (۱۳۸۳). مقایسه روش‌هـای بـرآورد شـاخص‌هـای تنوع زیستی درختان جنگلی (طرح جنگلداری نکـا – ظـالمرود). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشگاه علوم کشـاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۹۰ ص.

BenHur, E., & Kadmon, R. (2020). Heterogeneity–diversity relationships in sessile organisms: a unified framework. Ecology letters, 23(1), 193-207.

Boulinier, T., Nichols, J. D., Sauer, J. R., Hines, J. E., & Pollock, K. H. (1998). Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. Ecology, 79(3), 1018-1028.

Choudhary, M., Singh, V., Muthusamy, V., & Wani, S. H. (2017). Harnessing crop wild relatives for crop improvement. 73-85.

Clifford, H. T. & Stephenson W. (1975). An introduction to numerical classification. Academic Press, London.

Edmonds, M. V., Bufford, J. L., & Godsoe, W. (2024). A mismatch between community assembly and abundance-based diversity indices. Ecography, 2024(4), e06987.

Gliessman, S. (2022). Preserving the wildness of crop wild relatives. Agroecology and Sustainable Food Systems, 46(1), 1-2.

Good, I. J. (1953). The population frequencies of species and the estimation of population parameters. Biometrika, 40(3-4), 237-264.

Goodman, D. (1975). The theory of diversity-stability relationships in ecology. The Quarterly Review of Biology, 50(3), 237-266.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2016). Paleontological Statistics. Version 3.12. Natural History Museum, University of Oslo, Oslo.

Hawksworth, D. L. (Ed.). (1995). Biodiversity: measurement and estimation (Vol. 345). Springer Science & Business Media.

Heydari, M., Omidipour, R., & Greenlee, J. (2020). Biodiversity, a review of the concept, measurement, opportunities, and challenges. Journal of Wildlife and Biodiversity, 4(4), 26–39.

Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E., Hungate, B. A., Matulich, K. L., ... & O'Connor, M. I. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. Nature, 486(7401), 105-108.

Hunter, M. (2002). Fundamentals of conservation biology. Black-well Science.

Hurlbert, S. H. (1971). The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology, 52(4), 577-586.

Kaennel, M. (1998, November). Biodiversity: A Diversity in Definition: Terminological utopia and scientific reality. In Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning: Proceedings of the Conference on Assessment of Biodiversity for Improved Planning, 7–11 October 1996, Held in Monte Verità, Switzerland (pp. 71-81). Dordrecht: Springer Netherlands.

Kempton, R. A. (1979). The structure of species abundance and measurement of diversity. Biometrics, 307-321.

Konopiński, M. K. (2020). Shannon diversity index: a call to replace the original Shannon's formula with unbiased estimator in the population genetics studies. PeerJ, 8, e9391.

Krebs, C. J. (1999). Ecological Methodology, 2nd edn. NY.

Lawn, P. (2011). Biodiversity and the Human Factor. The Importance of Biological Interactions in the Study of Biodiversity, 339.

Le, T., Li, J., Wei, H., & Li, Y. (2024). Speed of sound measurement and mapping in transparent materials by impulsive stimulated Brillouin microscopy. Journal of Physics: Photonics, 6(3), 035004.

Li, Y., Schuldt, A., Ebeling, A., Eisenhauer, N., Huang, Y., Albert, G., ... & Liu, X. (2024). Plant

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell system technical journal, 27(3), 379-423.

Sharashy, O. (2022). Application of Shannon and Simpson Diversity Index to Study Plant biodiversity on Coastal Rocky Ridges Habitats with Reference to Census Data in the Ras El-Hekma and Omayed Area on the Western Coastal Region of Egypt. Journal of Pure & Applied Sciences, 21(1), 41-45.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. nature, 163(4148), 688-688.

Southwood, T. R. E. (1978). Ecological methods. Chapman and Hall, London.

Sudhakaran, B. V., & Shifana, B. (2023). The Impact of the 2018 Kerala Floods on Butterfly Diversity and Abundance in the Kollam District of India. UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY, 44(4), 9-18.

van der Maarel, E. D. D. Y. (1988). Species diversity in plant communities in relation to structure and dynamics. Diversity and pattern in plant communities, 1-14.

Van der Maarel, E., Franklin, J., & Wiley, J. (Eds.). (2005). Vegetation ecology. Blackwell Pub.

Vogt, K., Gordon, J., Wargo, J., Vogt, D., Asbjornsen, H., Palmiotto, P. A., ... & Witten, E. (2013). Ecosystems: balancing science with management. Springer Science & Business Media.

Waite, S. (2000). Statistical ecology in practice: a guide to analysing environmental and ecological field data. (No Title).

Weigand, H., Beermann, A. J., Čiampor, F., Costa, F. O., Csabai, Z., Duarte, S., ... & Ekrem, T. (2019). DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. Science of the Total Environment, 678, 499-524.

Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. Taxon, 21(2-3), 213-251.

diversity enhances ecosystem multifunctionality via multitrophic diversity. Nature Ecology & Evolution, 8(11), 2037-2047.

Lloyd, M., & Ghelardi, R. J. (1964). A table for calculating theequitability'component of species diversity. The Journal of Animal Ecology, 217-225.

Ludwig, J. A., & Reynolds, J. F. (1988). Statistical ecology: a primer in methods and computing (Vol. 1). John Wiley & Sons.

MacArthur, R. H. (1965). Patterns of species diversity. Biological reviews, 40(4), 510-533.

Magurran, A. E. (1996). Ecological diversity and its measurement. Princeton university press.

Maier, S. R., Brooke, S., De Clippele, L. H., de Froe, E., van der Kaaden, A. S., Kutti, T., ... & van Oevelen, D. (2023). On the paradox of thriving cold-water coral reefs in the food-limited deep sea. Biological Reviews, 98(5), 1768-1795.

Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. General Systematics 3, 36-71.

Martínez-Roldán, H., Pérez-Crespo, M. J., & Lara, C. (2024). Unraveling habitat-driven shifts in alpha, beta, and gamma diversity of hummingbirds and their floral resource. PeerJ, 12, e17713.

McIntosh, R. P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. Ecology, 48(3), 392-404.

Mulya, H., Santosa, Y., & Hilwan, I. (2021). Comparison of four species diversity indices in mangrove community. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 22(9).

Rangel, T. F., Edwards, N. R., Holden, P. B., Diniz-Filho, J. A. F., Gosling, W. D., Coelho, M. T. P., ... & Colwell, R. K. (2018). Modeling the ecology and evolution of biodiversity: Biogeographical cradles, museums, and graves. Science, 361(6399), eaar5452.

Rodriguez, J., Dukes, A., & Keith, J. A. (2022, January). A Diversity Index to assess college engineering team performance. In 2022 ASEE-North Central Section Conference.

Yan, H., Li, F., & Liu, G. (2023). Diminishing influence of negative relationship between species richness and evenness on the modeling of grassland α-diversity metrics. Frontiers in Ecology and Evolution, 11, 1108739.

Yeom, D. J., & Kim, J. H. (2011). Comparative evaluation of species diversity indices in the natural deciduous forest of Mt. Jeombong. Forest Science and Technology, 7(2), 68-74.

Yuguang, B., Abouguendia, Z., & Redmann, R. E. (2001). Relationship between plant species diversity and grassland condition. Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives, 54(2), 177-183.

Whittaker, R. H. (1977). Evolution of species diversity in land communities. Evolutionary biology, 10, 1-67.

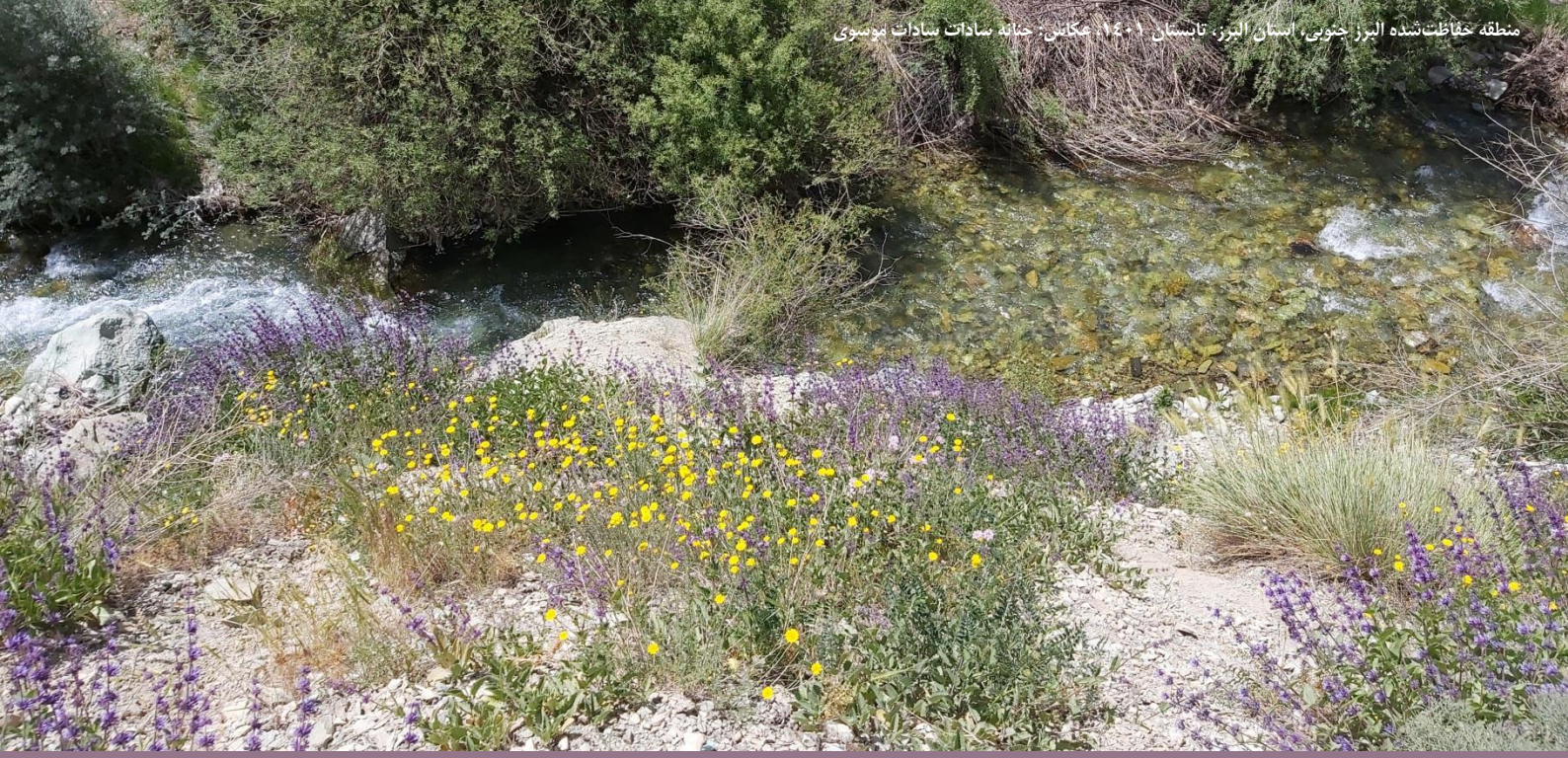
WHO. (2025). Biodiversity. Available at: [https://www.ipcc.ch/]. Accessed: 10.01.2025.

Wilson, E. O. (1988). The current state of biological diversity. Biodiversity, 521(1), 3-18.

Wilson, M. V., & Mohler, C. L. (1983). Measuring compositional change along gradients. Vegetatio, 54, 129-141.

Xu, S., Böttcher, L., & Chou, T. (2020). Diversity in biology: definitions, quantification and models. Physical Biology, 17(3), 031001.

ماسال، استان گیلان، بهار ۱۴۰۰، عکاس: علیرضا ظهور پرواز



منطقه حفاظت‌شده البرز جنوبی، استان البرز، تابستان ۱۴۰۱. عکاس: حنانه سادات سادات موسوی

Introduction of Plant Biodiversity Indicators and Calculating Them with PAST software

Hannaneh Sadat Sadat Mousavi[1*], Farnoush Attar Sahragard[1]
1- Ph.D. student, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
*Corresponding Author's E-mail: h.sadatmousavi@ut.ac.ir

Abstract

Biodiversity is a combination of all biological diversity, including intra-species genetic diversity, diversity between species, communities and the set of ecosystems in a region and on a wide level in vegetation studies and environmental assessment as one of the important indicators in determining the status of ecosystems and in terms of Determining the situation and reviewing the role of management can be used. Through the study and measurement of plant diversity, it is possible to examine the dynamics of the plant community and the distribution of species in the environment, and by emphasizing the dynamics of ecosystems, appropriate management recommendations can be provided. Measuring diversity, which is one of the most important concepts in ecology, can be done in various ways, such as using numerical and parametric indicators. Numerical indicators show variation in a sampling unit or a population by providing a number as a result. Unlike numerical indices, parametric or non-numerical indices result in loss of information about species, although these indices use all the information and add a new dimension to diversity ecological methods.The present article was written with the porpuse of introducing plant diversity indicators and their calculation method with Past software after library and web studies. Past software is used in many fields of biological sciences, earth sciences, engineering, and economics, which can be used to accurately calculate diversity indices.

Keywords: Margalef, Menhinick, Plant diversity, Shannon-Weiner, Simpson