



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گزن

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره چهارم، ۱۳۹۸

۴۷-۶۴

<http://jwfst.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwfst.2020.16957.1824

## مقایسه کمی شاخص‌های تنوع زیستی و متغیرهای محیطی مؤثر بر آن در جنگل‌های راش و ممرز (مطالعه موردی: بخش گرازین جنگل خیرود)

\* محمود بیات<sup>۱</sup>، سحر حیدری مستعلی<sup>۲</sup> و ارسلان شکرچیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران،

<sup>۳</sup> استادیار پژوهش مرکز تحقیقات استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

### چکیده

**سابقه و هدف:** از گونه‌های مهم جنگل‌های هیرکانی راش و گونه همراه آن یعنی ممرز می‌باشد. با توجه به اهمیت اقتصادی و اکولوژیک این گونه‌ها، ضروری است به منظور مدیریت و حفاظت صحیح از این جنگل‌ها اطلاعات کافی در رابطه با ساختار و سطح تنوع درختی تیپ راش و ممرز و گونه‌های همراه آن‌ها جمع‌آوری و در اختیار مدیران جنگل قرار گیرد که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است. هم‌چنین در این مطالعه، برای نخستین بار در منطقه مورد بررسی، تحلیل همبستگی و تحلیل رگرسیون بین شاخص‌های تنوع زیستی و متغیرهای مستقل محیطی انجام شد که از گام‌های اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل است.

**مواد و روش‌ها:** به این منظور شاخص‌های تنوع زیستی (شاخص شانون- وینر و سیمپسون) در رویشگاه راش و در سطح قطعات نمونه ثابت ده آری به صورت جداگانه اندازه‌گیری و مقایسه شد. هم‌چنین، همبستگی و تحلیل رگرسیون این شاخص‌ها با ۱۶ فاکتور اکوفیزیوگرافیکی که نماینده شرایط زیست‌محیطی منطقه می‌باشند شامل نوردی فصلی، میانگین درجه حرارت هوا، ارتفاع بالا از نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده، شاخص خیسی توپوگرافی، رطوبت نسبی، سرعت باد و سطوح انعکاسی و تشعشی به‌دست آمد که در بین آنها تنها چهار فاکتور دارای همبستگی معنی‌دار با شاخص‌های تنوع زیستی بود که شامل دمای هوای نزدیک سطح زمین، شاخص خیسی توپوگرافی، سرعت باد و مجموع انرژی تابشی خورشیدی در هر رویشگاه می‌باشد. هم‌چنین آزمون t جهت بررسی معنی‌داری اختلاف شاخص‌های تنوع زیستی بین دو رویشگاه انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد در رویشگاه ممرز هر دو شاخص تنوع زیستی بالاتر از رویشگاه راش بوده است. با بررسی ضریب همبستگی متغیرهای محیطی ذکر شده با شاخص تنوع شانون در هر رویشگاه مشخص شد که ضرایب همبستگی متغیرها با شاخص تنوع در رویشگاه ممرز بالاتر از راش بود، به‌جز ضریب همبستگی مربوط به متغیر مجموع انرژی تابشی که در رویشگاه راش بالاتر و دارای شیب منفی بود که نشان‌دهنده سرشت سایه دوستی گونه راش در مقایسه با ممرز می‌باشد. هم‌چنین نتیجه آزمون t تست نشان داد که در مورد شاخص تنوع شانون بین دو رویشگاه اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

\* مسئول مکاتبه: mbayat@rifr-ac.ir

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی، شاخص‌های تنوع زیستی دارای توانایی زیادی در تشریح وضعیت جنگل داشته و از مزایای این شاخص‌ها صحت بالا، ارزان بودن و انعطاف‌پذیری دانست. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده بالاتر بودن شاخص‌های تنوع زیستی در رویشگاه ممرز نسبت به راش بود که می‌تواند به دلایل مختلفی باشد. در حقیقت، تعیین شاخص‌های تنوع زیستی در جوامع جنگلی در گام اول و سپس، بررسی و تعیین عوامل محیطی اثرگذار بر تنوع زیستی گونه‌های درختی، هم‌چنین مقایسه جوامع و رویشگاه‌های جنگلی مهم، از منظر این عوامل، به‌منظور اعمال مدیریت مناسب جنگل، مهم و ضروری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع زیستی، حفاظت، راش، سیمپسون، شانون-وینر، ممرز

### مقدمه

است. تنوع زیستی بالا همانند سپری بوم‌سازگان را در مقابل اختلال‌های عمده طبیعی حفظ می‌کند، بنابراین مطالعه تنوع زیستی و عوامل مؤثر بر آن در رویشگاه‌های جنگلی و جنگلداری آینده وظیفه‌ای مهم و حیاتی است (۹). ساختار مکانی جنگل از دارای جنبه‌های متفاوتی شامل تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و همچنین تنوع ابعاد درختان است. تنوع موقعیت مکانی درختان به الگوی پراکنش آن‌ها مربوط بوده که شامل پراکنش کپه‌ای، منظم، تصادفی و یا حالت بینابینی می‌باشد. تنوع گونه‌ای بررسی موقعیت مکانی گونه‌های مختلف در ارتباط با همسایه‌های مجاور است و تنوع ابعاد درختان که شامل آرایش مکانی شاخص‌هایی مانند قطر برابرسینه و ارتفاع است (۳۰). جنگل‌های هیرکانی با تنوع خاص ژنتیکی خود بسیار غنی بوده و با داشتن شرایط محیطی متفاوت، جوامع جنگلی متنوعی را در خود جای داده است. (۳۳) گونه جنگلی راش از جمله گونه‌های صنعتی ارزشمند جنگل‌های شمال ایران است که غالباً در ارتفاعات میان‌بند و بالابند جنگل‌های شمال به شکل خالص و آمیخته مشاهده می‌شود. در مقایسه با گونه راش، ممرز به‌ندرت به‌صورت خالص مشاهده شده و معمولاً در این نواحی با راش به‌صورت آمیخته همراه است (۲۶). با توجه به اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی راش و هم‌چنین فراوانی توده‌های آمیخته راش-ممرز، ضروری است به‌منظور مدیریت صحیح این

افزایش پیچیدگی ساختاری در جنگل باعث افزایش پیچیدگی اکولوژیکی می‌شود بنابراین می‌تواند پایه‌ای برای حفاظت از تنوع زیستی بالا در این اکوسیستم‌ها باشد (۲۷) که تنوع زیستی بالا هم به‌عنوان عاملی برای حفاظت اکوسیستم‌ها در برابر اختلالات طبیعی و هم سبب افزایش حاصلخیزی آن‌هاست (۳). تنوع زیستی در واقع، ترکیبی از تنوع گونه‌های درختی مختلف، اندازه‌های قطر و ارتفاع و پراکنش مکانی آن‌هاست (۱). یکی از اهداف مهم جنگلداری نوین، حفظ ساختار و تنوع زیستی اکوسیستم‌هاست. به این منظور برای مدیریت جنگل، به ابزارهایی نیاز است که بتوان با صرف کم‌ترین هزینه و زمان به بررسی وضعیت فعلی و هم‌چنین تغییرات ایجاد شده بر اثر فعالیت‌های مدیریتی و تکامل طبیعی جنگل پرداخت. شاخص‌ها و تابع‌های به‌کار رفته در این پژوهش دارای مزایایی هستند که کاربرد آن‌ها را نسبت به اندازه‌گیری‌های مستقیم تنوع زیستی ارجحیت می‌بخشد. هم‌چنین از مزایای این شاخص‌ها و توابع می‌توان به صحت بالا، ارزان بودن و انعطاف‌پذیری بالا اشاره کرد (۲). اولین قدم برای حفاظت تنوع زیستی، تعیین و برآورد آن در عرصه منابع طبیعی است. تعیین تنوع گونه‌های چوبی در طرح‌های جنگلداری به‌منظور برنامه‌ریزی، مدیریت بهینه و توسعه پایدار در حال و آینده دارای اهمیت

در اشکوب‌های مختلف بخش پاتم جنگل خیرود مورد مطالعه قرار دادند (۲۱). عرفانی و همکاران (۲۰۱۸) مقدار تنوع بتا را در گرادیان آشفستگی و عوامل محیطی جنگل خیرود کنار نوشهر مورد بررسی قرار دادند (۱۰). بهمنی و همکاران (۲۰۱۴) نیز شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های درختی در جنگل دارابکلا را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که بالاترین مقادیر تنوع گونه‌ای، غنای گونه‌ای و یکنواختی در جهت‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب مربوط به شاخص‌های شانون وینر، شاخص مارگالف و شاخص هیل می‌باشد (۵). آوبرت و همکاران (۲۰۰۳) تنوع جوامع درختی را در جنگل‌های معتدل مدیریت‌شده در Normandy فرانسه بررسی کردند و در این مطالعه از شاخص‌های تنوع زیستی شانون وینر و یکنواختی گونه‌ای استفاده کردند (۴). رت کلیف و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای بر روی راش و ممرزهای پارک ملی Hainich در آلمان، نتیجه گرفتند که رشد تک‌درختان راش و ممرز نسبت به تنوع و ترکیب همسایگی آن‌ها حساس بود، درحالی‌که درختان زبان‌گنجشک فقط به تراکم همسایگی حساس بودند. اثرات مکمل همسایگی ناشی از اختلاف در قدرت رقابتی گونه‌ها است. آن‌ها همچنین بیان داشتند که مخلوطی از ترکیب راش در مقیاس کوچک همراه با لکه‌هایی از گونه‌های مختلف باعث رشد درخت در جنگل راش اروپا می‌شود (۲۸). هم‌چنین هووی و گادو (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای که بر روی ساختار جوامع راش و زبان‌گنجشک آلمان انجام دادند نتیجه گرفتند که راش تمایل کمی به آمیختگی با سایر گونه‌ها دارد، درحالی‌که زبان‌گنجشک تمایل زیادی برای آمیختگی با سایر گونه‌ها نشان می‌دهد (۱۲). پتریتان و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای که بر روی ساختار و تنوع جوامع بلوط و راش اروپایی انجام دادند، نتیجه گرفتند که در جوامعی با غالبیت بلوط سطح بالاتری از تنوع

جنگل‌ها اطلاعات کافی در رابطه با ساختار و سطح تنوع درختی تیپ راش و ممرز و گونه‌های همراه آن‌ها جمع‌آوری و در اختیار مدیران جنگل قرار گیرد (۱۱) که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است. هم‌چنین از آنجا که تاکنون مطالعه جامعی که به‌طور کامل عوامل مؤثر بر تنوع زیستی را در رویشگاه این دو گونه بررسی کرده باشد انجام نشده بنابراین این امر، ضرورت این پژوهش را بیش از پیش آشکار می‌نماید. از جمله پژوهش‌هایی که در زمینه بررسی تنوع زیستی در رویشگاه‌های جنگلی انجام شده، به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: قمی اوپلی و همکاران (۲۰۰۸) تنوع زیستی گونه‌های چوبی و زادآوری در دو جامعه گیاهی مدیریت‌شده در منطقه خیرودکنار نوشهر بررسی کرده و نتیجه گرفتند که جامعه راشستان دارای تنوع و غنای بیشتری نسبت به جامعه راش-ممرزستان است (۱۳). شیخ حسن‌فرد و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای تنوع گونه‌ای در دو تیپ ممرز، راش همراه با بلوط و راش ممرز در بخش-گرازبن را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مقدار شاخص‌های تنوع گونه‌ای شانون و سیمپسون در تیپ ممرز-راش همراه با بلوط در مقایسه با تیپ راش-ممرز بالاتر می‌باشد که نشان‌دهنده تنوع گونه‌ای بالاتر نسبت به تیپ راش-ممرز است (۳۱). پوربابایی (۲۰۰۸) به بررسی تنوع گونه‌های چوبی جنگل‌های شمال پرداخت و نتیجه گرفت که رویشگاه‌های داغداغان و سرخدار بیش‌ترین و رویشگاه‌های راش و شمشاد کم‌ترین تنوع زیستی را دارا می‌باشند و تنوع از غرب به شرق گیلان کم می‌شود (۲۴). اجتهادی و همکاران (۲۰۱۵) تنوع گونه‌های درختی را در ارتفاعات و شیب‌های مختلف منطقه شیرین رود مازندران بررسی کردند که تیپ غالب درختی این ناحیه راش-ممرز-افرا بود (۸). نوری و همکاران (۲۰۱۰) تنوع گونه‌های درختی را

**داده‌های اقلیمی:** از داده‌های اقلیمی سه ایستگاه هواشناسی نزدیک به شهر نوشهر، شامل بابلسر، رامسر و سیاه‌بیشه به همراه داده‌های اقلیمی شهر نوشهر به نحوی استفاده شده است که تغییرات ارتفاع از سطح دریا مدنظر قرار گیرد. به‌عنوان مثال ارتفاع از سطح دریا سیاه‌بیشه ۱۸۵۵/۴ متر می‌باشد که به‌عنوان ناحیه کوهستانی در نظر گرفته شده است و در نهایت از درون‌یابی داده‌های اقلیمی این ۴ ایستگاه هواشناسی وضعیت اقلیمی جنگل خیرود به‌طور دقیق مشخص شده است.

**نحوه اندازه‌گیری در قطعه‌نمونه:** در سال ۱۳۸۲ با استفاده از یک شبکه آماربرداری  $۲۰۰ \times ۱۵۰$  در مجموع ۲۵۸ قطعه‌نمونه دائم ۱۰ آری پس از مشخص شدن مرکز قطعه‌نمونه به‌منظور پایش بلندمدت مشخصه‌های جنگل مانند حجم، رویش، تنوع زیستی و غیره آماربرداری شدند. این قطعات در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ نیز دوباره بازیابی و آماربرداری شده‌اند. در داخل قطعه‌نمونه، قطر برابر سینه تمام درختان زنده که در ارتفاع برابر سینه، قطری بزرگ‌تر از  $۷/۵$  سانتی‌متر داشتند به کمک خط‌کش دو بازو اندازه‌گیری و مقادیر آن‌ها در طبقات یک سانتی‌متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد. محل اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان توسط رنگ قرمز مشخص و زاویه هر یک از درختان از طبقه قطری ۵ سانتی‌متری به بالا نسبت به مرکز قطعه‌نمونه برداشت گردید. فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به مرکز قطعه‌نمونه با دستگاه ورتکس ثبت و یادداشت شد. به‌منظور بررسی زادآوری، در مرکز هر قطعه‌نمونه، قطعه‌نمونه کوچک‌تر با شعاع  $۱/۵$  متر تعیین و نسبت به برداشت اطلاعات آن‌ها اقدام گردید.

**تعریف و روش محاسبه و برآورد متغیرهای مورد بررسی:** در آنالیز تنوع زیستی و مکانی گونه‌های درختی ابتدا تعریف هر یک از متغیرهای مورد

گونه‌های درختی را نسبت به جوامعی که در آن‌ها راش غالب است، دارند. جایی که راش گونه غالب بود، درصد بالایی از بلوط در گروه‌های خالص وجود داشت، درحالی‌که در جایی که بلوط غالب بود، اکثر بلوط‌ها یا توسط راش و یا توسط گونه‌های دیگر که تحمل سایه دارند، احاطه شده بودند (۲۳).

با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت تعیین غنای گونه‌ای درختی در جنگل‌های شمال کشور، هدف از این مطالعه تعیین شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های چوبی جنگل‌های شمال ایران از یک دوره آماربرداری در قطعات نمونه ثابت و ارتباط آن با متغیرهای مختلف رویشگاهی که شامل نوردهی فصلی، میانگین درجه حرارت هوا، ارتفاع بالا از نزدیک‌ترین نقطه زهکشی‌شده، شاخص خیسی توپوگرافی، رطوبت نسبی، سرعت باد و سطوح انعکاسی و تشعشی می‌باشند، به‌طور جداگانه در دو رویشگاه راش و ممرز مورد آزمون قرار گرفت، می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** بخش گرازین به وسعت  $۹۳۴/۲۴$  هکتار، سومین بخش از مجموعه جنگل‌های تحت مدیریت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران می‌باشد که در ۷ کیلومتری شرق نوشهر قرار دارد. این بخش در ارتفاع بین  $۸۴۰-۱۳۵۰$  متر قرار دارد و از لحاظ زمین‌شناسی سنگ مادر آن، آهکی و طبق نقشه وزارت نفت متعلق به دوران ژوراسیک علیا بوده که در بعضی نقاط از طبقات سخت شکافدار و طبقات نرم به‌طور متناوب روی هم قرار گرفته‌اند. خاک این بخش در تقسیم‌بندی کلی جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است. بر اساس اقلیم‌نگار آمبرژه اقلیم منطقه مورد بررسی مرطوب سرد و در سیستم اقلیمی دومارتون با داشتن ضریب خشکی معادل  $۸۲/۶$  دارای اقلیم مرطوب نوع ب سرد می‌باشد (۶).

متفاوت به درجه حرارت اتمسفر و گرمای فصلی جمع شده مرتبط می‌دهند. به این دلیل پراکنش گیاهی می‌تواند رابطه منطقی و مناسبی با شاخص ورودی حرارت سالیانه داشته باشد. در این مطالعه از میانگین درجه حرارت در فصل رویش به‌عنوان شاخصی از حرارت ورودی در فصل رویش در بلندمدت استفاده گردید. تغییرات عمودی در درجه حرارت بر پایه این نظریه است که درجه حرارت محیط هر یک کیلومتر ۶/۵ درجه تغییر می‌کند و درجه حرارت اولیه سطح زمین در نوشهر ۲۱/۲ است (۸).

**رطوبت نسبی:** متغیرهای فیزیولوژیکی با تبخیر، تعرق و رویش گیاه در ارتباط هستند. محاسبه رطوبت نسبی بر اساس نرخ تغییر درجه حرارت با تغییر ارتفاع و ثبات رطوبت نسبی در ۱۰۰، در یک هوای اشباع انجام می‌شود. رطوبت نسبی در یک هوای اشباع شده کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن این واقعیت که فقط تعداد محدودی از ایستگاه‌های اقلیمی رطوبت نسبی را ثبت کردند که اغلب در ارتفاعات پایین بوده است، نقشه‌های رطوبت نسبی بر اساس اصول مشهور هواشناسی مرتبط با جابه‌جایی‌های هوای مرطوب وابسته به کوه، توسعه و ارائه شدند (۷). محاسبات بلند مدت رطوبت نسبی بر پایه مدل رقومی زمین انجام خواهد شد که در یک رفتار مشابه در ارتباط با تغییرات مکانی رطوبت نسبی در اثر تغییرات توپوگرافی، جهت و بادهای رایج و درجه حرارت فصل رویش در ارتفاعات پایین صورت می‌پذیرد.

**باد:** یکی از متغیرهای مهم محیطی است که میزان اهمیت آن در تأثیر بر تولیدات گیاهی و پتانسیل حضور گیاهان، برابر با سایر عوامل است. سرعت باد می‌تواند عواقب مثبت و منفی بر روی رویش هم از نقطه نظر فیزیولوژیکی و هم از نظر آشتگی‌های مکانیکی داشته باشد. باد معمولاً در مطالعات غنای گونه‌ای به‌علت سختی تخمین و برآورد سرعت و جهت مکانی آن مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. در این مطالعه با استفاده از مدل

بررسی، ارائه و در نهایت نحوه محاسبه و برآورد آورده شده است: ترکیب متغیر ارتفاع از نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده زمین و متغیر شاخص خیسی توپوگرافی به‌عنوان نماینده‌ای از مقدار آب خاک معرفی شدند. پراکنش آب در دسترس خاک، به‌عنوان تابعی از ارتفاع نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده و شاخص خیسی توپوگرافی انتخاب شده است. ترکیب دو متغیر به‌عنوان معرف مقدار آب در خاک منطقی و معقول بوده؛ چرا که حجم آب خاک با زهکشی (به‌خصوص در مجاورت مناطق با زهکشی مناسب) ارتباط زیادی دارد؛ هم‌چنان که شاخص خیسی توپوگرافی ارتباط نزدیکی با خصوصیات جریان آب در خاک دارد. در مجموع برای تشریح و توضیح جریان آب سطحی مرتبط با فرایندها و طرح‌های سیمای سرزمین، شاخص ارتفاع نزدیک‌ترین نقطه زهکشی شده و شاخص خیسی توپوگرافی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (۱۹).

### مجموع تشعشعات خورشیدی در طول فصل

**رویش:** میزان تشعشعات خورشیدی در دسترس (مستقیم و پخش) پراکنش و رویش گیاهان و درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر می‌دهد (۲۲). تشعشعات خورشیدی این پتانسیل را دارند که رویش و پراکنش درختان را برای گونه‌های مختلف تغییر دهند. تشعشعات خورشیدی ورودی، تابعی از محاسبات مدل رقومی زمین، شیب، جهت، فاکتور دید، زاویه افق، فاکتورهای تشکیل زمین، هندسه خورشید-زمین، زاویه نوردهی و محاسبات جریان نور در بالای اتمسفر است. روش استخراج میزان تشعشعات از محاسبات مدل لندست در محیط ArcGIS که دارای قابلیت مشابه در تولید چنین سطوحی است، گرفته شده است.

**درجه حرارت هوا:** متغیرهای فیزیولوژیکی مرتبط با فتوسنتز گیاهی و رویش در گونه‌های گیاهی جواب

که در آن،  $As$  مساحت ویژه مشارکت داده شده و  $\tan(\beta)$  شیب در امتداد جهت جریان است.

از میان این متغیرهای محیطی تنها چهار متغیر دارای همبستگی معنی دار با شاخص‌های تنوع زیستی بود که شامل دمای هوای نزدیک سطح زمین، شاخص خیزی توپوگرافی، سرعت باد و مجموع انرژی تابشی خورشیدی در هر رویشگاه می باشد.

جهت بررسی همبستگی شاخص‌های تنوع زیستی و متغیرهای محیطی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد؛ چرا که با توجه به نرمال بودن داده‌ها (که با آزمون آماری بررسی شد)، در این مورد از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می شود. جدول زیر متغیرهای دارای همبستگی معنی دار با شاخص‌های تنوع زیستی را نشان می دهد:

رقومی زمین منطقه مورد مطالعه، از شبیه‌سازهای محاسباتی کامپیوتری پویایی جریان برای مدل کردن جریان باد در سطح پیچیده زمین استفاده شده است. این متغیر بر اساس معادله‌های سه بعدی نویر-استوکس (3D Navier-Stokes equations) مدل خواهد شد. بر پایه یکی شدن اثرات آشفتگی جوی و فرآیندهای حرارتی، محاسبات مدل بر اساس مرز متناسب شده سیستم مختصاتی خواهد بود (۸).

**شاخص خیزی توپوگرافیک:** توپوگرافی، آب خاک و بارندگی را دوباره پخش و پراکنده کرده و در نتیجه سطوحی از شاخص خیزی توپوگرافی می تواند به تنهایی از مدل رقومی زمین توسعه یابد. روش‌های محاسبه شاخص خیزی توپوگرافی متغیر می باشند. این جا از روش جریان ماده (رابطه ۱) استفاده شد.

$$TWI = \ln (As/\tan(\beta)) \quad (1)$$

جدول ۱- متغیرهای محیطی مورد بررسی در آنالیز تنوع زیستی.

Table 1. Environmental variables studied in biodiversity analysis.

واحد Unit	متغیر Variable	ردیف Row
فاقد واحد (No units)	شاخص خیزی توپوگرافی Wet-topographic index	1
مگا ژول بر مترمربع (MJ/m <sup>2</sup> )	مجموع تشعشعات خورشیدی در طول فصل رویش Total solar radiation during the growing season	2
درجه سانتی گراد (°C)	درجه حرارت هوا به سانتی گراد Air temperature to Celsius	3
متر بر ثانیه و جهت نسبت به شمال واقعی (m/s) and direction relative to real north	سرعت باد (متر بر ثانیه) و جهت (نسبت به شمال واقعی) Wind speed (m/s) and direction (relative to real north)	4

جوامع مورد مطالعه ارائه می دهد (۴). این شاخص طبق معادله جدول ۲ محاسبه می شود که در آن،  $E_H$  شاخص شانون وینر،  $P_i$  فراوانی گونه  $i$  و  $S$  تعداد گونه‌ها است.

**شاخص یکنواختی سیمپسون:** کاربرد معیار یکنواختی سیمپسون دارای مزایایی است که در میان معیارهای یکنواختی، توصیه‌هایی صحیح را ارائه می نماید (۴).

محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی: تحلیل داده‌ها به کمک نرم افزار Excel انجام و شاخص‌های تنوع گونه‌ای شانون وینر و یکنواختی سیمپسون محاسبه شد (جدول ۲).

**شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر:** تابع شانون وینر، یکی از متداولترین شاخص‌های محاسبه تنوع زیستی است که اطلاعاتی درباره موقعیت ساختاری

این شاخص نیز طبق معادله جدول ۲ محاسبه شده که در آن،  $E_D$  شاخص شانون وینر،  $P_i$  فراوانی گونه  $i$  و  $S$  تعداد گونه‌ها است. میانگین شاخص‌های مختلف، محاسبه و نتایج به صورت نمودار انعکاس یافت.

جدول ۲- شاخص‌های تنوع زیستی (۱۸).

Table 2. Biodiversity indices (18).

فرمول Formula	نام شاخص Index name	شاخص Index
$E_H = \frac{H}{H_{max}} = \frac{-\sum P_i \ln(P_i)}{\ln(S)}$	شانون- وینر Shannon-Wiener	تنوع گونه‌ای Species diversity
$E_D = \frac{1}{\sum (P_i)^2 \times s}$	سیمپسون Simpson	یکنواختی گونه‌ای Species evenness

محاسبه و نتایج آن به شکل نمودار ارائه شد. در جدول ۳ نیاز رویشگاهی و شرایط زندگی گونه‌های غالب آورده شده است.

این شاخص‌ها در قطعات نمونه‌ای که گونه راش و ممرز غالب بودند به صورت جداگانه محاسبه و بین این دو گونه مقایسه شد. همچنین همبستگی شاخص‌های تنوع زیستی با عوامل محیطی گفته شده

جدول ۳- خصوصیات و شرایط زندگی گونه‌های درختی اصلی که ۹۷ درصد از قطعات نمونه را شامل می‌شود. بر اساس آخرین مطالعات انجام شده (۷ و ۲۹).

Table 3. Characteristics and living conditions of the main tree species, which comprise 97% in sample plots. According to the latest studies (7, 29).

توضیح Explanation	نیاز نوری Light need	ارتفاع از سطح دریا Altitude	گونه Species
گردافشانی به وسیله باد، سرمای دیررس، برف سنگین و نور مستقیم و شدید باعث آسیب‌رسانی به راش می‌شود. Pollination by the wind, late cold, heavy snow and direct and intense light can damage the beech.	نیاز به زهکشی خوب و دسترسی مرتب به آب، درختان بالغ می‌توانند به خشکی دوره‌ای تا حدودی مقاوم باشند. در صورتی که نهال‌ها بسیار حساس به خشکی هستند Requiring good drainage and regular access to water, mature trees can be somewhat resistant to periodic drought. If the seedlings are very sensitive to drought	از قسمت‌های از جنگل‌های خزان‌کننده کوهستانی از ارتفاع ۲۰۰۰-۷۰۰ متر می‌تواند پراکنش داشته باشد. تراکم بیش‌تر از ۱۱۰۰ تا ۲۰۰۰ و شرایط بهینه ۱۵۰۰ تا ۹۰۰ متر It can be scattered from parts of the deciduous mountain forests at an altitude of 700-2000 meters. Density greater than 1100 to 2000 and optimum conditions 1500 to 900 m	راش <i>Fagus spp.</i>
بذرها با باد پراکنده می‌شوند. Seeds are scattered by the wind	به صورت دوره‌ای مرطوب، خاک با زهکشی خوب، مقاوم به خشکی Periodically moist, well drained, drought resistant soil	در جنگل‌های کوهستانی خزان‌کننده، در یک رنج ارتفاعی گسترده از ۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متر یافت می‌شود. In deciduous mountain forests, it is found in a wide altitude range from 700 to 1,800 meters	ممرز <i>Carpinus spp.</i>

لازم به ذکر است که آزمون  $t$  تست جهت بررسی معنی‌داری اختلاف شاخص‌های تنوع زیستی بین دو رویشگاه راش و ممرز انجام شد که نتایج آن در جدول نشان داده شده است.

۳۰ درصد پایه‌های درختی را در قطعه نمونه به خود اختصاص داده است (۸)، نسبت به گونه ممرز از مقدار کم‌تری برخوردار است. در این شکل سطح قطعات نمونه متناسب با تنوع زیستی و غنای گونه‌ای محاسبه شده است به طوری که قطعات نمونه با سطح بزرگ‌تر نماینده قطعات نمونه با تنوع زیستی بیش‌تر می‌باشند. به طور کلی، راش و ممرز در قسمت‌های مختلف این سیمای سرزمین جنگلی غالب هستند. راش بیش‌تر در مناطق مسطح‌تر، ارتفاع بالاتر، در مناطق مرطوب و خنک‌تر سیمای سرزمین (مقدار مدیان شیب، ارتفاع، ارتفاع نزدیک‌تری نقطه زهکشی شده به ترتیب برابر با ۷/۹ درجه، ۱۲۳۶ متر از سطح دریای آزاد، ۹/۹ متر) جایی که ممرز در قطعات نمونه‌ای که در شیب‌های بالاتر، ارتفاع میانی و به صورت بالقوه در جاهای گرم‌تر و خشک‌تر از این سیمای سرزمین جنگلی قرار دارند چیره است.

در شکل ۲ و جدول ۳ خصوصیات و شرایط زندگی گونه‌های درختی قطعات نمونه در منطقه مورد مطالعه را نمایش داده است.

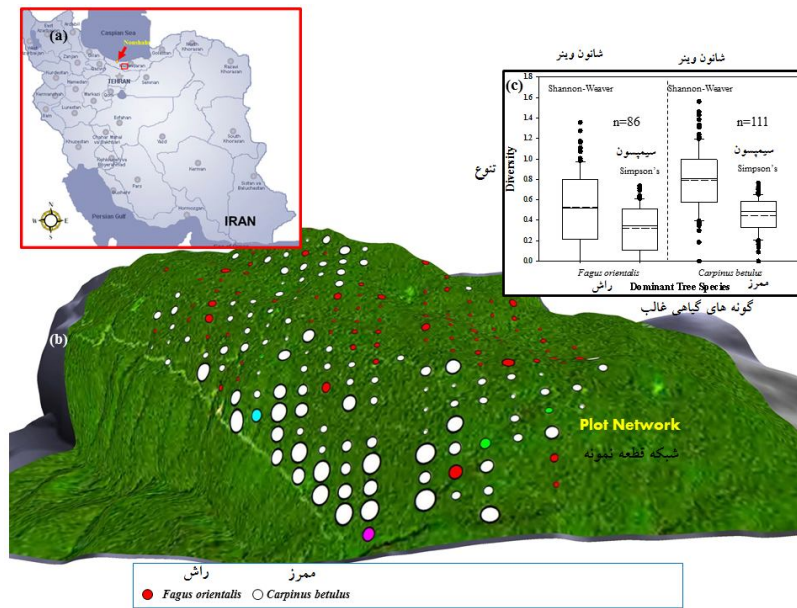
در جدول ۴ میانگین شاخص‌های تنوع زیستی بررسی شده برای دو گونه اصلی بخش گرازبن جنگل خیرود شامل راش و ممرز با هم مقایسه شده است؛ همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان هر دو این شاخص‌ها در رویشگاه ممرز بالاتر می‌باشد. شکل ۳ این نتیجه را به شکل نمودار، بهتر نشان می‌دهد.

**انجام تحلیل رگرسیون:** به منظور تعیین رابطه شاخص‌های تنوع زیستی با متغیرهای محیطی ذکر شده، تحلیل رگرسیون خطی توأم با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 انجام شد که در هر کدام از رویشگاه‌های راش و ممرز و برای هر کدام از شاخص‌های تنوع زیستی، این تحلیل به صورت جداگانه انجام گرفت که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

### نتایج و بحث

در این پژوهش از شاخص تنوع گونه‌ای شانون و یکنواختی سیمپسون استفاده شد که نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد این شاخص‌ها از پرکاربردترین شاخص‌های بررسی تنوع زیستی در جنگل می‌باشد (۲۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شاخص‌های تنوع بررسی شده (شاخص تنوع شانون و سیمپسون) در رویشگاه ممرز بالاتر از راش می‌باشد. عامل پایین بودن شاخص یکنواختی گونه‌ای یا به عبارت دیگر تفاوت در فراوانی نسبی گونه‌ای در رویشگاه راش را می‌توان رقابت بالای بین گونه‌ای در آن دانست. در شکل ۱ شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون برای دو گونه راش و ممرز که گونه‌های اصلی جنگل‌های شمال ایران هستند در سطح قطعات نمونه ده آری محاسبه شده است، همان‌طور که در شکل مشخص است گونه راش نسبت به ممرز دارای ارزش‌های تنوع زیستی کم‌تری می‌باشد، در واقع در قطعات نمونه‌ای که گونه راش غالب می‌باشد؛ یعنی راش بیش از



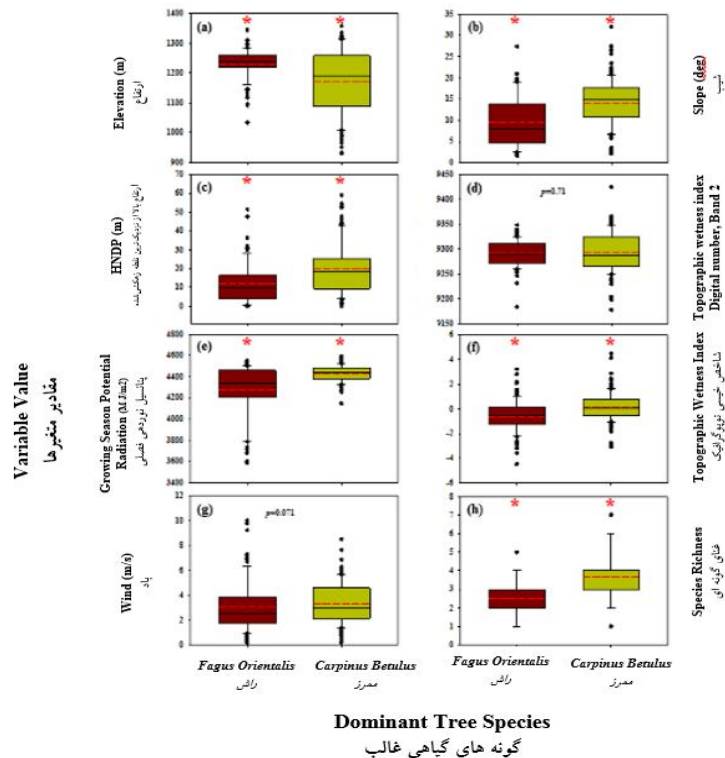


شکل ۱- شاخص های تنوع گونه ای شانون و سیمپسون برای دو گونه راش و ممرز.

(a) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، (b) شبکه آماربرداری و قطعات نمونه و (c) شاخص های شانون-وینر و سیمپسون برای دو گونه راش و ممرز.

Figure 1. Shannon and Simpson species diversity indices for beech and hornbeam.

a) Location of study area in the country, b) Census network and sample plots and c) Shannon-Wiener and Simpson indices for beech and hornbeam.



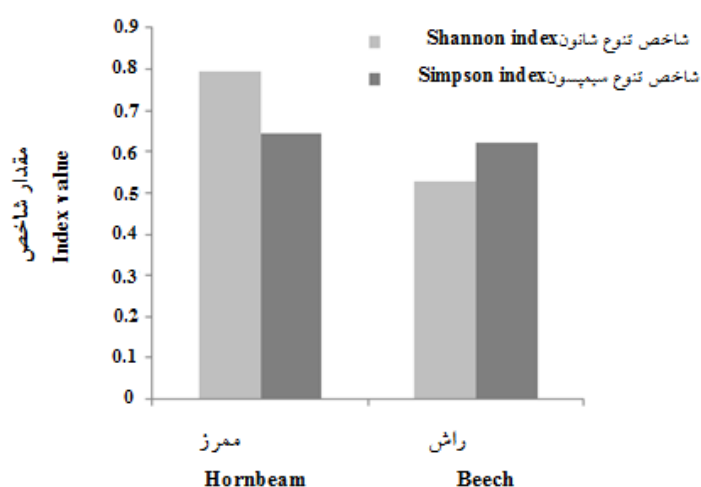
شکل ۲- متوسط ها و میانگین های ارزش های محیطی و رویشگاهی نمونه برداری شده در قطعات نمونه برای راش و ممرز که در قطعات نمونه چیره هستند.

Figure 2. Mediums and averages of sampled environmental and vegetative values in sample plots for beech and hornbeam that are dominant in sample plots.

جدول ۴- میزان شاخص‌های تنوع زیستی در رویشگاه راش.

Table 4. Measure of biodiversity indices in habitat of beech.

ممرز Hornbeam	راش Beech	نام شاخص Index name
0.7934	0.5268	شانون Shannon
0.6456	0.6225	سیمپسون Simpson

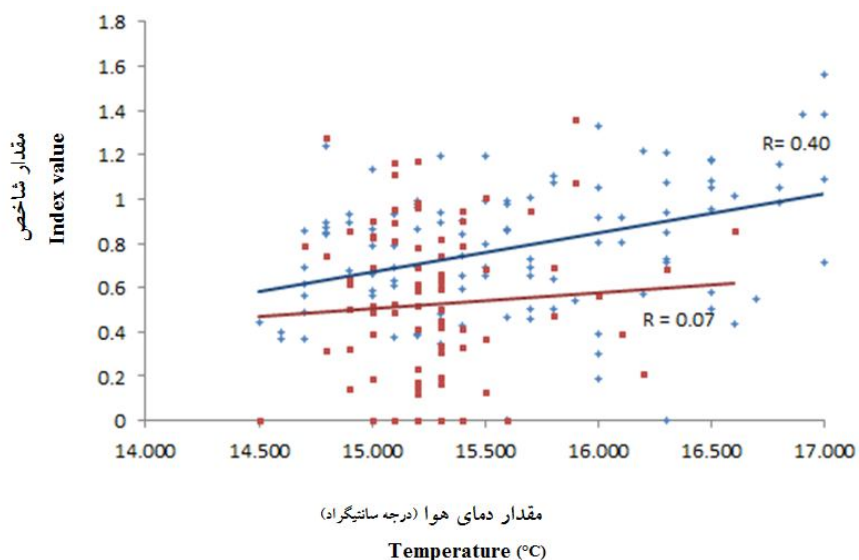


شکل ۳- مقایسه شاخص‌های تنوع شانون- وینر و سیمپسون برای دو گونه راش و ممرز.

Figure 3. Comparison of Shannon-Wiener and Simpson indices for two species of beech and hornbeam.

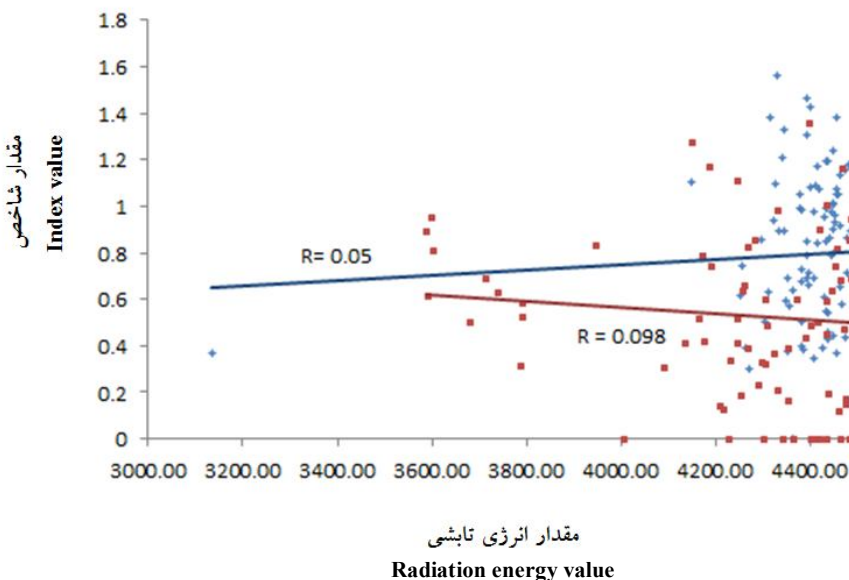
شاخص تنوع گونه‌ای با عامل مجموع تابش خورشیدی در رویشگاه راش، دارای شیب منفی است؛ به این معنی که هرچه میزان مجموع تابش‌های خورشیدی بیشتر شده شاخص تنوع شانون در رویشگاه راش کاهش یافته است در صورتی که در همان نمودار خط مربوط به رویشگاه ممرز همبستگی مثبت را نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۴ تا ۷ همبستگی عوامل محیطی با شاخص تنوع شانون وینر در دو رویشگاه راش و ممرز بررسی شده است. همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، میزان ضریب همبستگی برای تمامی متغیرهای محیطی به جز مجموع انرژی تابشی خورشید، در رویشگاه ممرز بالاتر از راش می‌باشد. در این شکل ۵ مشاهده می‌شود که خط همبستگی



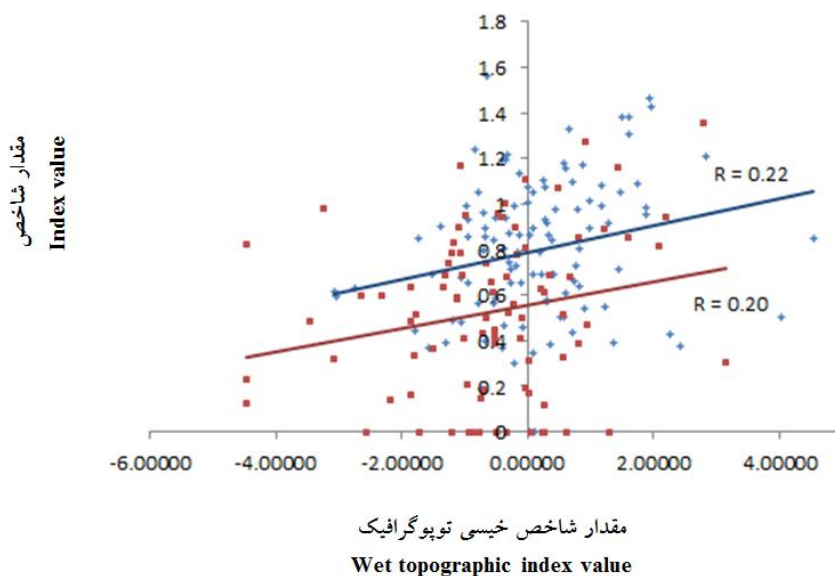
شکل ۴- همبستگی متغیر دمای هوای نزدیک به سطح زمین (درجه سانتیگراد) با شاخص تنوع شانون- وینر (خط قرمز رویشگاه راش و خط آبی رویشگاه ممرز).

Figure 4. Correlation between the temperature near the ground with the Shannon-Wiener diversity index (red line for beech and blue line for hornbeam site).



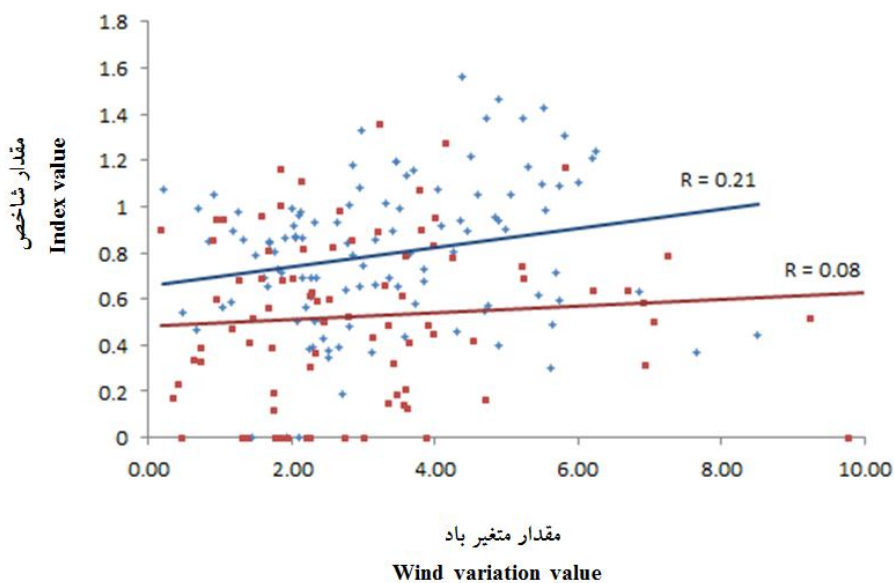
شکل ۵- همبستگی متغیر مجموع انرژی تابشی خورشید با شاخص تنوع شانون- وینر (خط قرمز رویشگاه راش و خط آبی رویشگاه ممرز).

Figure 5. Correlation of total variable radiation energy of the sun with Shannon-Wiener diversity index (red line for beech and blue line for hornbeam site).



شکل ۶- همبستگی متغیر شاخص خیسی توپوگرافیک با شاخص تنوع شانون- وینر (خط قرمز رویشگاه راش و خط آبی رویشگاه ممرز).

Figure 6. Correlation between wet topographic index with Shannon-Wiener diversity index (red line for beech and blue line for hornbeam site).



شکل ۷- همبستگی متغیر باد با شاخص تنوع شانون- وینر (خط قرمز رویشگاه راش و خط آبی رویشگاه ممرز).

Figure 7. Correlation between wind variation with Shannon-Wiener diversity index (red line for beech and blue line for hornbeam site).

جدول ۵- نتایج آزمون t بین دو رویشگاه.

Table 5. Results of t-test between two sites.

آزمون لیون		Levene's Test									
		F	Sig	t	درجه آزادی df	Sig. (2-tailed)	اختلاف میانگین Mean difference	اختلاف انحراف معیار Std. error difference	۹۵٪ فاصله اطمینان اختلاف 95% Confidence interval of the difference	پایین تر lower	بالا تر Upper
شاخص شانون Shannon index	واریانس برابر فرض شد Equal variance assumed	1.673	0.197	5.581	194	0.000	0.26793	0.04801	0.17324	0.36262	
	واریانس برابر فرض نشده Equal variance not assumed			5.510	172.817	0.000	0.26793	0.04863	0.17194	0.36391	
شاخص سیمپسون Simpson index	واریانس برابر فرض شده Equal variance assumed	4.365	0.038	0.810	178	0.419	0.02369	0.02926	0.03405	0.08142	
	واریانس برابر فرض نشده Equal variance not assumed			0.776	131.484	0.439	0.02369	0.03051	0.03666	0.08404	

است، در نتیجه شاخص شانون بین دو گونه راش و ممرز دارای اختلاف معنی دار می باشد؛ اما همان گونه که دیده می شود، این فرضیات در مورد شاخص سیمپسون برقرار نبوده و در نتیجه بین دو گونه از نظر این شاخص اختلاف معنی دار وجود ندارد.

همان گونه که در جدول بالا دیده می شود با توجه به مقدار sig آزمون لیون که ۰/۱۹۷ و بزرگ تر از ۰/۰۵ است پس واریانس با هم برابر بوده و باید از بخش Equal variances assumed مقدار sig آزمون را بررسی کرد که ۰/۰۰۰ بوده و کم تر از ۰/۰۱

جدول ۶- مدل رگرسیونی شاخص های تنوع زیستی با متغیرهای محیطی.

Table 6. Regression model of biodiversity indices with environmental variables.

مدل Model	شاخص Index	رویشگاه Site
Shannon index= 0.39AirTemp+0.0001Asol+0.015TWI+0.035wind-2.514	شانون Shannon	ممرز Hornbeam
Simpson index= 0.086AirTemp+0.0001Asol+0.052TWI+0.023wind-0.300	سیمپسون Simpson	راش Beech
Shannon index = 0.049AirTemp+0.0001Asol-0.018TWI-0.014Wind-0.560	شانون Shannon	ممرز Hornbeam
Simpson index= 0.054AirTemp+0.0001Asol+0.026TWI+0.011Wind-0.453	سیمپسون Simpson	راش Beech

نتایج با نتایج اسمیت (۲۰۱۲) که عنوان کرد توده‌های راش غالباً خالص و همگن هستند و منجر به مقادیر کم شاخص آمیختگی برای این گونه می‌شود اما دیگر گونه‌ها دارای آمیختگی بالایی می‌باشند و مقادیر به‌دست آمده برای این گونه‌ها معمولاً بیش‌تر است، مطابقت دارد (۳۲). حبشی و همکاران (۲۰۰۷) نیز در بررسی جامع‌پذیری راش بیان کردند که راش دارای جامع‌پذیری منفی است. (۱۴). پژوهش دیگری که این یافته را تأیید می‌کند، مطالعه اجتهادی و همکاران (۲۰۱۵) است که در بررسی تنوع گونه‌ای درختان در شیب‌های شرقی و غربی دره شیرین‌رود استان مازندران به این نتیجه رسیدند که شیب‌های غربی منطقه دارای قابلیت نگهداری رطوبت بیش‌تری هستند که مطلوب و ایده‌آل برای درختان راش است (۸). طبقه ارتفاعی متوسط در کنار این رودخانه نیز به‌دلیل شیب عمومی بیش‌تر زمین (اختلاف ارتفاع بیش‌تر در مسافت کوتاه‌تر) دارای خاکی با زهکشی بیش‌تر است، بنابراین از رطوبت بیش از حد و اشباع شدن زمین در امان است و به‌خوبی نهال‌های راش را حمایت می‌کند؛ بنابراین سایر گونه‌های درختی در رقابت با راش موفق نخواهند بود و بر اساس نظر پوربابایی و داوود (۲۰۰۶) حضور گونه راش باعث کاهش یکنواختی، غنا و بالاخره تنوع می‌شود (۲۵). یافته مهم دیگر این پژوهش همان‌گونه که در بخش نتایج نشان داده شد، این است که ضریب همبستگی متغیرهای محیطی (شامل دمای نزدیک سطح زمین، شاخص خیسی توپوگرافی و باد) با شاخص تنوع زیستی شانون-وینر در رویشگاه ممرز بالاتر از راش بوده است و تنها در مورد متغیر مجموع انرژی تابشی خورشید این امر صادق نبود و همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است خط همبستگی شاخص تنوع گونه‌ای با این عامل (مجموع تابش خورشیدی) در رویشگاه راش، دارای شیب منفی است؛ به این معنی

در حقیقت طبق پژوهش‌های انجام‌شده در جنگل‌های هیرکانی پراکنش کپه‌ای گونه راش، عاملی در رقابت بالا و در نتیجه، شاخص پایین یکنواختی است (۲، ۱۱، ۱۶ و ۱۷). نوری و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان کردند در توده‌های خالص با توده‌های جنگلی که ۶۰ تا ۷۰ درصد توده را یک‌گونه تشکیل می‌دهد، شاخص آمیختگی کل توده کم می‌باشد که به‌نوعی نتایج پژوهش حاضر یعنی پایین بودن شاخص یکنواختی در توده‌های خالص راش تأیید می‌کند (۲۱). بالا بودن شاخص تنوع گونه‌ای شانون با اختلاف معنی‌دار طبق آزمون آماری، در رویشگاه ممرز نسبت به رویشگاه راش، نشان‌دهنده وجود رقابت بالا بین گونه‌ها و پایداری و ثبات پایین جامعه در رویشگاه راش نسبت به ممرز می‌باشد. در حقیقت آمیختگی پایین در جامعه راش و تمایل به حضور در کنار درختان هم‌گونه خود (۳) سبب پایین بودن تنوع زیستی در آن می‌شود. گادو و هویی (۲۰۰۲) هم این یافته را تأیید می‌کنند به‌طوری‌که در پژوهش خود نتیجه گرفتند که راش تمایل کمی به آمیختگی با سایر گونه‌ها دارد که این عامل سبب پایین بودن شاخص تنوع گونه‌ای در رویشگاه راش می‌گردد (۱۲). بالاتر بودن دو شاخص شانون و سیمپسون در رویشگاه ممرز نیز به‌علت تمایل بیش‌تر حضور گونه ممرز با گونه‌های غیرهمجنس خود نسبت به گونه راش می‌باشد که نتایج پژوهش فرهادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز همسو با نتایج پژوهش حاضر بوده و آن را تأیید می‌کند؛ چنان‌که آن‌ها چنین نتیجه گرفتند که نتایج حاصل از به‌کارگیری این شاخص نشان داد، گونه راش دارای تمایل زیادی به حضور در کنار پایه‌های هم‌جنس خود دارد درحالی‌که سایر گونه‌ها مانند ممرز غالباً با پایه‌هایی از گونه‌های دیگر اختلاط دارند که این امر منجر به بالا رفتن مقادیر شاخص آمیختگی گونه‌ای برای سایر گونه‌ها شد (۱۱). هم‌چنین این

بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص تنوع زیستی رویشگاه ممرز با دمای هوا می‌باشد. بیات و همکاران (۲۰۱۸) نیز که در مطالعه‌ای کاربرد رگرسیون سیمبولیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز خیرود برای ارائه مدل‌های مکانی تأثیرگذار بر سطح سیمای سرزمین را بررسی کردند، در بین ۱۶ فاکتور اکوفیزیوگرافی مورد بررسی، ۴ متغیر باد، مجموع تابش سالیانه خورشید، دمای نزدیک سطح زمین و شاخص خیزی توپوگرافیک را دارای بیشترین ضریب اهمیت در مدل پیشنهاد شده، دانستند. آن‌ها بیان کردند که عامل باد به‌تنهایی، قادر است بیش از نیمی از تنوع زیستی را توجیه کند که با توجه به آن‌که در مطالعه آن‌ها بیش‌تر غنای گونه‌ای و در مورد گونه‌های مختلف بررسی شده است در نتیجه این یافته متفاوت از پژوهش حاضر می‌باشد که شاخص تنوع و یکنواختی گونه‌ای و تنها برای یک گونه خاص (راش یا ممرز) در نظر گرفته شده است؛ اما به‌طور کلی از نظر متغیرهای دارای اثر معنی‌دار بر تنوع همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد (۶).

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص تنوع گونه‌ای شانون در رویشگاه ممرز بالاتر از راش بوده که این تفاوت طبق آزمون آماری، معنی‌دار بود و نشان‌دهنده رقابت بالا و تمایل آمیختگی کم در رویشگاه راش نسبت به رویشگاه ممرز می‌باشد که نتایج پژوهش‌های متعددی که به آن‌ها اشاره شد یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که شاخص‌های تنوع زیستی دارای توانایی زیادی در تشریح وضعیت جنگل داشته و از مزایای این شاخص‌ها دسترسی آسان، ارزان بودن و انعطاف‌پذیری دانست.

که هرچه میزان مجموع تابش‌های خورشیدی بیش‌تر شده شاخص تنوع شانون در رویشگاه راش کاهش یافته است در صورتی‌که در همان نمودار خط مربوط به رویشگاه ممرز همبستگی مثبت را نشان می‌دهد که علت آن را می‌توان سرشت سایه‌پسندی گونه راش و بردباری آن به سایه سنگین دانست در حالی‌که گونه ممرز نیاز به روشنایی کامل در این مرحله توالی دارد که به این مطلب به‌خوبی در جدول ۳ پرداخته شده است. هم‌چنین نکته دیگری که مشاهده می‌شود این است که در رویشگاه راش بیش‌ترین ضریب همبستگی با شاخص تنوع مربوط به متغیر شاخص خیزی توپوگرافیک است (شکل ۶) که نشان‌دهنده حساسیت بالای درختان به عامل خشکی می‌باشد. هم‌چنین این ضریب در رویشگاه ممرز نیز به نسبت بالا می‌باشد. این امر نشان از اهمیت بالای رطوبت محیطی در پراکنش، استقرار و تنوع بالای یک رویشگاه جنگلی دارد. در رویشگاه ممرز آنچه بیش‌ترین ضریب همبستگی را با شاخص تنوع داشته متغیر دمای نزدیک سطح زمین می‌باشد که نشان می‌دهد پایداری و ثبات و تنوع گونه‌ها در این رویشگاه بیش از همه به دما و در درجه بعدی شاخص خیزی توپوگرافیک و باد، وابسته بوده است (شکل ۴). در جامعه راش - ممرزستان در اثر تخریب و بهره‌برداری از جنگل، در مراحل اولیه ممرز جایگزین راش می‌شود (۱۶). با اسیدی‌تر شدن خاک کیفیت توده‌های ممرز بهتر می‌شود، ولی اگر این اسیدی بودن از حد معینی تجاوز کند، ممرز ناپدید شده و جای خود را به گونه‌های دیگر می‌دهد. خراش سطحی خاک باعث افزایش تجدید حیات ممرز و سایر گونه‌ها شده و طولانی شدن دوره خشکی و گرمی هوا باعث کاهش زادآوری ممرز می‌گردد که یافته اخیر این پژوهش نتایج پژوهش حاضر را به‌نوعی تأیید می‌کند به گونه‌ای که نتایج نشان می‌دهد

## منابع

1. Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., and Jimenez, J. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management*. 183: 137-145.
2. Alijani, V., Feghi, J., and Marvi Mohadjer, M.R. 2012. Investigation on the beech and oak spatial structure in a mixed forest (Case study: Gorazbon district, Kheiroud forest). *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 19: 3. 175-188. (In Persian)
3. Alijani, V., Feghi, J., Zobeir, M., and Marvi mohajer, M. 2003. Quantifying the spatial structure in Hyrcanian submountain forest (Case study: Gorazbon district of Kheiroud forest, Noushahr, Iran). *Natural Environment*. 65: 1. 111-125. (In Persian)
4. Aubert, M., Didier, A., and Bureau, F. 2003. Diversity of plant assemblage in temperate forest; a case study in Normandy (France). *Forest Ecology and Management*. 175: 321-337.
5. Bahmani, H., Ataei, I., and Moradmand Jalali, A. 2014. Comparison of biodiversity indices of tree species in Darabkala forest. *Science and Environmental Technology*. 15: 4. 55-64. (In Persian)
6. Bayat, M., Heidari, S., and Bourque, Ch. 2018. Application of symbolic regression and geographic information system in Kheyroud watershed to provide spatial models that affect the surface of the landscape. *Environmental Science*. 44: 3. 411-424. (In Persian)
7. Bourque, C.P.A., Bayat, M., and Zhang, C. 2019. An assessment of height-diameter growth variation in an unmanaged *Fagus orientalis*-dominated forest. *European J. of Forest Research*, 1-15.
8. Ejtehadi, H., Zare, H., Amini Eshkevari, T., and Atashgahi, Z. 2015. Study of species diversity of trees and flora in different heights and eastern and western slopes of Shirin river valley, Mazandaran province. *Iran Taxonomy and Biosystematics*. 25: 39-52. (In Persian)
9. Emborg, J. 1996. Biodiversity in natural versus managed forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*. 85: 47-51.
10. Erfani, M., Danehkar, A., Salman Mahini, A., and Etemad, V. 2018. Beta diversity modeling in turbulence gradient and environmental factors of Hyrcani-Kheiroud forests of Nowshahr. *Science and Environmental Technology*. 8: 2. 18-28 (In Persian)
11. Farhadi, P., Soosani, J., and Erfanifard, S.Y. 2017. Evaluation level of tree diversity in the Hyrcanian forests using complex structural diversity index (Case study: beech-hornbeam type, Nave Asalem, Gilan). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 25: 3. 495-505. (In Persian)
12. Gadow, K., and Hui, G.Y. 2002. Characterizing forest spatial structure and diversity. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*. 170: 117-122.
13. Ghomi oili, A., Hoseini, M., Metaji, A., and Jalali, G.H. 2008. Biodiversity study of wood species and regeneration in two plant communities managed in Kheyroudkanar area of Noshahr. *Environmental Science*. 3: 43. 101-106. (In Persian)
14. Habashi, H., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., and Rahmani, R. 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian beech forest of Iran. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 1: 55-64. (In Persian)
15. Jalali, G.H., Hoseini, M., Afshin, M., and Seifelahian, M. 2000. Investigation of natural regeneration of hornbeam species in Sari forests. *Daneshvar Medical*. 31: 8. 9-14. (In Persian)
16. Kakavand, M., Marvie Mohadjer, M.R., Sagheb-Talebi, Kh., and Sefidi, K. 2014. Structural diversity of mixed beech stands in the middle stage of succession (Case study: Gorazbon district, Kheiroud forest of Nowshahr). *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 22: 3. 411-422. (In Persian)
17. Bourque, C.P.A., and Bayat, M. 2015. Landscape variation in tree species richness in Northern Iran forests. *PLoS ONE*. 10(4): e0121172.



18. Krebs, C.J. 1999. Ecological methodology. 2<sup>nd</sup> Ed. Benjamin-Cummings Pub. New York, U.S.A.
19. Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F.R., White, B., and Bhatti, J.S. 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: A case study. Ecological Modelling. 222: 2314-2332.
20. Neumann, T.M., and Starlinger, F. 2001. The significance of indices for stand structure and diversity in forests. Forest Ecology and Management. 145: 91-106.
21. Nouri, Z., Zobeiri, M., Fegghi, J., and Marvie Mohadjer, M.R. 2013. An investigation on the forest structure and trees spatial pattern in *Fagus orientalis* stands of Hyrcanian forests of Iran (Case study: Gorazbon district of Kheiroud forest). Iranian J. of Natural Recourses. 66: 1. 113-125. (In Persian)
22. Pausas, J.G., and Austin, M.P. 2001. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal. Vegetation Science. 12: 153-166.
23. Petritan, A.M., Biris, I.A., Merce, O., Turcu, D.O., and Petritan, I.C. 2012. Structure and diversity of a natural temperate Sessile oak (*Quercus petraea* L.)- European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest. Forest Ecology and Management. 280: 140-149.
24. Pourbabai, H. 2008. Biodiversity of wood species in forests of Guilan province. PhD thesis. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University. 264p.
25. Pourbabaei, H., and Davoud, Kh. 2006. Species diversity of woody plants in the district one forests Kelardasht, Mazandaran province. Iranian J. of Biology. 18: 4. 307-322. (In Persian)
26. Pourmajidian, M., Jalilvand, H., Hojjati, M., and Kianmehr, A. 2014. Investigation of diameter and height in pure and mixed managed beech and hornbeam stands (Case study: A series of a forestry plan of Nekachoob). Fourth International Conference on Environmental Challenges and Tree Chronology, Sari, 14-16 May. 2014: 1-10. (In Persian)
27. Rapp, V. 2003. New findings about old-growth forests. USDA Forest Service PNW Research Station, 11p.
28. Ratcliffe, S., Holzwarth, F., Nadrowski, K., Levick, S., and Wirth, C. 2015. Tree neighbourhood matters—tree species composition drives diversity—productivity patterns in a near-natural beech forest. Forest Ecology and Management. 335: 225-234.
29. Sagheb-Talebi, Kh., Pourhashemi, M., and Sajedi, T. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer, 2014.
30. Sefidi, K. 2017. Structural diversity as component of biodiversity in forest ecosystem case study from population of Persian ironwood (*Parrotia persica* C.A meyer) in north Iran. J. of Plant Research. 29: 4. 805-818. (In Persian)
31. Sheikh Hasanfard, M., Namiranian, M., and Etemad, V. 2015. Study of species diversity in two hornbeam bristles, beech with oak and hornbeam rye in district – Gorazbon. International Conference on New Findings in Agricultural Science, Natural Resources and the Environment. Tehran, 16 March 2016: 1-4. (In Persian)
32. Szmyt, J. 2012. Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. Dendrobiology. 68: 69-76.
33. Tabari, M., Espahbodi K., and Poormadjidian, M.R. 2007. Composition and structure of a *Fagus orientalis* - dominated forest managed with shelterwood aim: A case study in the Caspian forests, northern Iran. J. of Environmental Sciences. 5: 1. 35-40.



## Quantitative comparison of biodiversity indices and environmental variables affecting it in beech and hornbeam forests (Case study: Gorazbon district of Kheyroud forest)

\*M. Bayat<sup>1</sup>, S. Haidari Masteali<sup>2</sup> and A. Shekarchian<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran,

<sup>2</sup>PhD. Student of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Research Center of Kerman Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

Received: 07.31.2019; Accepted: 02.02.2020

### Abstract

**Background and Objectives:** Beech and hornbeam are important species in Hyrcanian forests. Due to the economic and ecological importance of these species it is of importance for forest managers to have sufficient information about the structure and the tree diversity level of beech and hornbeam stands and their associated species which will be used to manage and protect these forests. Also in this study, for the first time in the study area, correlation analysis and regression analysis between biodiversity indices and independent environmental variables were performed which are essential steps in forest planning and management.

**Materials and Methods:** For this purpose, the indices of biodiversity (Shannon-Weiner and Simpson Index) were measured separately in each sample plot and then were compared with each other. In addition, the correlation and regression of these indices with 16 eco-physiographic factors including seasonal light, mean air temperature, high altitude from the nearest drained point, topographic shafts, relative humidity, wind speed, reflection and radiation levels representing the environmental conditions of the region were obtained. Among them, only four factors had a significant correlation with biodiversity indices. These factors are air temperature near the earth surface, topographic wetness index, wind speed, and total solar radiation energy in each habitat. Also t-test was performed to investigate the significant differences between biodiversity indices of the two habitats.

**Results:** The results showed that both biodiversity indices were higher in hornbeam habitat than beech habitat. The correlation coefficient of the mentioned environmental variables with the Shannon diversity index in each habitat indicated that the correlation coefficients of the variables with the biodiversity index in the hornbeam habitat were higher than the beech except for the correlation coefficient related to the total solar energy variation in the beech habitat which was higher, with a negative slope indicating the shade-demanding nature of beech species compared to hornbeam. Also t-test showed that there is a significant difference between the two habitats in terms of Shannon-Weiner index.

**Conclusion:** Totally biodiversity indices have high ability in description of forest status. The advantages of these indices are high accuracy, inexpensiveness and flexibility. The results of this study showed that biodiversity indices were higher in hornbeam than in beech, which can be due to various reasons. In fact, determining biodiversity indices in forest communities firstly and then, examining and determining the environmental factors affecting the biodiversity of tree species, as well as comparing important forest habitats and communities from the perspective of these factors is of importance for proper management.

**Keywords:** Beech, Biodiversity, Hornbeam, Protection, Shannon-Weiner, Simpson

\*Corresponding author: [mbayat@rifr-ac.ir](mailto:mbayat@rifr-ac.ir)