

# مدلسازی اثرات تغییرات اقلیمی بر توزیع جغرافیایی جنس *Trametes* در ایران

انوشه کفاش<sup>۱\*</sup>، معصومه قبادنژاد<sup>۲</sup>

۱- دکتری، گروه زیست فناوری صنعتی و محیط زیست، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

۲- دکتری، دانشیار، گروه زیست فناوری صنعتی و محیط زیست، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران

## چکیده

شواهد اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر تنوع زیستی در حال افزایش است که نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی یک تهدید عمده برای تنوع زیستی کره زمین است. مطالعات صورت گرفته نشان داده که تنوع زیستی ایران تحت تاثیر اثرات منفی تغییرات اقلیمی قرار خواهد گرفت اما اثرات تغییرات اقلیمی بر قارچ‌ها ناشناخته مانده است. در مطالعه حاضر نحوه اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر توزیع قارچ‌های جنس *Trametes* در شمال ایران مورد بررسی قرار گرفته و مهمترین عوامل اقلیمی موثر بر توزیع این جنس تعیین شده است. برای سنجش اثرات تغییرات اقلیمی از رویکرد تجمیعی (*Ensemble approach*) و با در نظر گرفتن مدل‌های خطی تجمیعی یافته (*GLM*)، مدل‌های سازشی تجمیعی یافته (*GAM*)، مکسنت (*Maxent*) و جنگل تصادفی (*RF*) استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد بارش در خشک‌ترین ماه سال و تغییرات فصلی بارش مهمترین عوامل موثر بر توزیع قارچ‌های جنس *Trametes* در شمال ایران هستند. بر اساس نتایج مدل‌های تغییر اقلیم این قارچ‌ها تا ۶۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب خود را از دست خواهند داد. زیستگاه‌های مطلوب پایدار این جنس که در مطالعه حاضر شناسایی شدند اولویت بالایی برای حفاظت این گروه از قارچ‌ها تحت شرایط اقلیمی در حال تغییر دارند.

کلید واژه‌ها: الگوی توزیع، مدل‌سازی تجمیعی، حفاظت، *Trametes*.

## مقدمه

تغییر اقلیمی یکی از مهمترین چالش‌های بشر در قرن حاضر بوده و به عنوان عامل اصلی نابودی تنوع زیستی بشمار می‌رود (هانا، ۲۰۱۵). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهند که تنوع زیستی زمین در تمامی اکوسیستم‌ها اعم از خشکی، آب شیرین و دریایی و در تمامی گروه‌های تاکسونومیک تحت تاثیر قرار گرفته است (دیاز و همکاران، ۲۰۰۳؛ دیکسترا و همکاران، ۲۱۰۰، رویز-لابوردته و همکاران، ۲۰۱۳؛ هانا، ۲۰۱۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع تغییرات اقلیمی با تغییر توزیع گونه‌ها، برهم زدن توزان اکوسیستم‌ها و کاهش زیستگاه‌های مطلوب گونه‌ها عامل اصلی نابودی تنوع زیستی بوده و پیش بینی شده اثرات تغییرات اقلیمی طی سال‌های آتی بیشتر شود (چن و همکاران، ۲۰۱۱؛ دویی و شینه، ۲۰۱۱؛ تربیله و همکاران، ۲۰۱۸؛ آرچیس و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین ضروری است نحوه تاثیرپذیری گونه‌های مختلف از تغییرات اقلیمی بررسی و با آگاهی از نحوه توزیع آینده گونه‌ها برای حفاظت آنها برنامه‌ریزی نمود (هانا و همکاران، ۲۰۰۷؛ هانا، ۲۰۱۵).

امروزه مطالعات گسترده‌ای در زمینه اثرات تغییرات اقلیمی بر تنوع زیستی در کشورهای اروپایی و آمریکایی صورت می‌گیرد اما مناطق دیگر مانند آسیا و مخصوصاً منطقه خاورمیانه از این نظر کمتر مورد توجه قرار گرفته است (هانا، ۲۰۱۵؛ آپیس، ۲۰۱۸). این در حالی است که تغییرات اقلیمی یکی از مهمترین عوامل تهدید تنوع زیستی در آسیا شناخته می‌شود (هیوز، ۲۰۱۷؛ آپیس، ۲۰۱۸). در میان مقالات منتشر شده نیز اریبی برجسته‌ای درباره گروه‌های تاکسونومیک مطالعه شده وجود دارد و اغلب مطالعات صورت گرفته بر گونه‌های جانوری متمرکز هستند و سایر گروه‌های زیستی مانند قارچ‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (شرستا و باوا، ۲۰۱۴؛ آپیس، ۲۰۱۸؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹).

قارچ‌ها از متنوع‌ترین و ناشناخته‌ترین گروه‌های زیستی هستند به طوری که تخمین زده می‌شود بین ۲/۲ تا ۳/۸ میلیون گونه قارچ در سطح کره زمین وجود داشته باشد (هاوکسورث و لاکینگ، ۲۰۱۷). این در حالی است که تا کنون تنها معادل ۳ تا ۸ درصد از قارچ‌های احتمالی موجود شناسایی و نام‌گذاری شده‌اند (هاوکسورث و لاکینگ، ۲۰۱۷). با این حال و با وجود اهمیت بالای قارچ‌ها، بسیاری از آنها در خطر انقراض قرار دارند و بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که فعالیت‌های کشاورزی، ساخت و سازهای انسانی، برداشت بی‌رویه و

تغییرات اقلیمی از جمله عوامل تهدید کننده بقا و تنوع زیستی قارچ‌ها هستند (آنتونلی و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات صورت گرفته برای پیش بینی اثرات تغییرات اقلیمی آینده بر توزیع قارچ‌ها نسبت به سایر گروه‌های تاکسونومیک بسیار محدود بوده (شرستا و همکاران، ۲۰۱۴؛ برگس و همکاران، ۲۰۱۷؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹). اما در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های توزیع گونه‌ای در مطالعات توزیع، بومشناسی و تغییرات اقلیمی قارچ‌ها رو به افزایش نهاده است (هائو و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات معدود انجام شده نیز نتایج متفاوتی از اثرات تغییرات اقلیمی گزارش نموده‌اند (شرستا و همکاران، ۲۰۱۴؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ الخلیفه و همکاران، ۲۰۲۲). تحت تاثیر تغییرات اقلیمی توزیع و مطلوبیت زیستگاهی برخی قارچ‌ها کاهش (الخلیفه و همکاران، ۲۰۲۲) اما در برخی موارد افزایش خواهد یافت (شرستا و باوا، ۲۰۱۴).

به دلیل عدم توجه به قارچ‌ها در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی در گذشته، تلاش‌ها برای برجسته کردن اهمیت حفاظت قارچ‌ها (گونکالوز و همکاران، ۲۰۲۱) و قارچ‌های ماکروسکوپی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است (کائو و همکاران، ۲۰۲۱). نظر به اهمیت حفاظت قارچ‌ها ضروری است که در مناطق کمتر شناخته شده مطالعات هدفمند برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر آنها صورت پذیرد تا بتوان برای حفاظت آنها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی برنامه ریزی نمود.

کشور ایران از جمله کشورهای غنی از نقطه نظر تنوع زیستی قارچ‌ها است و قارچ‌های ماکروسکوپی در این میان نقش بارزی دارند (قبادنژاد و هالنبگ، ۲۰۱۲؛ قبادنژاد و برنیکیا، ۲۰۱۹؛ قبادنژاد و همکاران، ۲۰۱۹).

تنوع زیستی بالای قارچ‌ها احتمالاً به خاطر تنوع بالای زیستگاهی، اقلیمی و توپوگرافی است و همچنین قرار گرفتن ایران در یک چهارراه اقلیم زیستی یعنی ایران- تورانی، صحرا-سندی و اروپا-سیبری است (زهري، ۱۹۷۳). با وجود مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه تاکسونومی و فیلولژی قارچ‌های ماکروسکوپی در کشور (قبادنژاد و همکاران، ۲۰۲۰) اما تا کنون نحوه تاثیرپذیری آنها از تغییرات اقلیمی آینده مطالعه نشده است. در پژوهش حاضر اثر تغییرات اقلیمی آینده بر مطلوبیت زیستگاهی قارچ‌های ماکروسکوپی جنس *Trametes* در شمال کشور بررسی خواهد شد. اعضای *Trametes* از قارچ‌های چوبزی شاخص و با فرم رویشی پلیپور (منفذدار) هستند و بسیاری از آنها از جمله گونه معروف

### داده‌های اقلیم و تغییر اقلیم

متغیرهای اقلیمی بانک داده CHELSA استفاده شد (کارگر و همکاران، ۲۰۱۷). متغیرهای اقلیمی حاضر و آینده (سال ۲۰۷۰) از پنج مدل گردش جهانی (GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, MR-ESM2-0, UKESM1-0-LL) استفاده شد. سپس لایه‌های اقلیمی در فضای نرم افزار ArcGIS 10.5 با استفاده از مرز منطقه تحت مطالعه برش داده شد. این بانک داده‌های اقلیمی دارای ۱۹ متغیر اقلیمی است (جدول ۱). برای حصول اطمینان از عدم هم‌خطی بین متغیرهای اقلیمی از شاخص تورم واریانس (VIF) (کوپن و کیو، ۲۰۰۲) استفاده و متغیرهای با شاخص تورم کمتر از ۱۰ (متوسط دمای سالانه، میانگین تغییرات دمای روزانه، هم‌دمایی، تغییرات فصلی دما، بارش سالانه، بارش در خشک‌ترین ماه سال و تغییرات سالانه بارش) وارد فرآیند مدل‌سازی شد. شاخص تورم واریانس در بسته آماری 'usdm' (نعیمی، ۲۰۱۵) محاسبه گردید.

به قارچ رنگین کمان (*Trametes versicolor*) در زمره قارچ‌های دارویی معروف قرار می‌گیرند (هوبز، ۲۰۰۴). از آنجایی که قارچ‌های ماکروسکوپی از اجزای مهم اکوسیستم‌های جنگلی هستند (قبادنژاد و همکاران ۲۰۲۰) نتایج مطالعه حاضر نه تنها برای حفاظت تنوع زیستی قارچ‌ها بلکه می‌تواند برای حفاظت تنوع زیستی جنگل‌های منطقه تحت مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

#### نقاط حضور

داده‌های حضور جنس *Trametes* طی بازدیدهای میدانی در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۱ جمع‌آوری شد. شناسایی قارچ‌های جمع‌آوری شده با کمک مونوگراف‌های مرتبط با قارچ‌های پلیپور (ریواردن و گیلبرتسون، ۱۹۹۴؛ ریواردن و ملو، ۲۰۱۴) و همچنین مطابقت با فهرست استاندارد قارچ‌های چوبزی ایران (قبادنژاد و هالنبگ، ۲۰۱۲) انجام شد.

جدول ۱. فهرست متغیرهای اقلیمی بانک CHELSA. به دلیل وجود هم‌خطی بین متغیرهای اقلیمی تنها متغیرهای که در حالت بولد

نمایش داده شده‌اند در مدل‌سازی استفاده شده‌اند.

ردیف	نام فارسی	مخفف
۱	متوسط دمای سالانه	Bio1
۲	میانگین تغییرات دمای روزانه	Bio2
۳	هم‌دمایی	Bio3
۴	تغییرات فصلی دما	Bio4
۵	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال	Bio5
۶	حداقل دمای سردترین ماه سال	Bio6
۷	تغییرات سالانه دما	Bio7
۸	میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل سال	Bio8
۹	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	Bio9
۱۰	میانگین دمای گرم‌ترین فصل سال	Bio10
۱۱	متوسط دمای سردترین فصل سال	Bio11
۱۲	بارش سالانه	Bio12
۱۳	بارش در سردترین ماه سال	Bio13
۱۴	بارش در خشک‌ترین ماه سال	Bio14
۱۵	تغییرات فصلی بارش	Bio15
۱۶	بارش در مرطوب‌ترین فصل سال	Bio16
۱۷	بارش در خشک‌ترین فصل سال	Bio17
۱۸	بارش در گرم‌ترین فصل سال	Bio18
۱۹	بارش در سردترین فصل سال	Bio19

مدل کامل مدلی است که ارزش عددی برابر ۱+ داشته باشد و ارزش عددی برابر صفر یعنی پیش‌بینی تصادفی بوده و قابل استناد نخواهد بود (هیرزل و همکاران، ۲۰۰۶؛ گيسان و همکاران، ۲۰۱۷).

### نتایج

سنجش کارایی مدل بر اساس دو معیار AUC و TSS نشان داد که مدل تغییر اقلیم ساخته شده برای جنس *Trametes* از کارایی بالایی برخوردار است ( $AUC=0.942$ ) و ( $TSS=0.811$ ). بنابراین نتایج این مدل قابل استناد خواهد بود. بر اساس مدل حاضر ۳۶۴۵۶ کیلومتر مربع زیستگاه مطلوب برای جمعیت‌های مختلف این جنس در منطقه مورد مطالعه وجود دارد اما تحت تاثیر تغییرات اقلیمی آینده (۲۰۷۰) این مساحت به ۱۴۷۴۹ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت. به این ترتیب بر اساس نتایج تا سال ۲۰۷۰ تقریباً ۶۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب جنس *Trametes* در منطقه تحت مطالعه کاهش خواهد یافت.

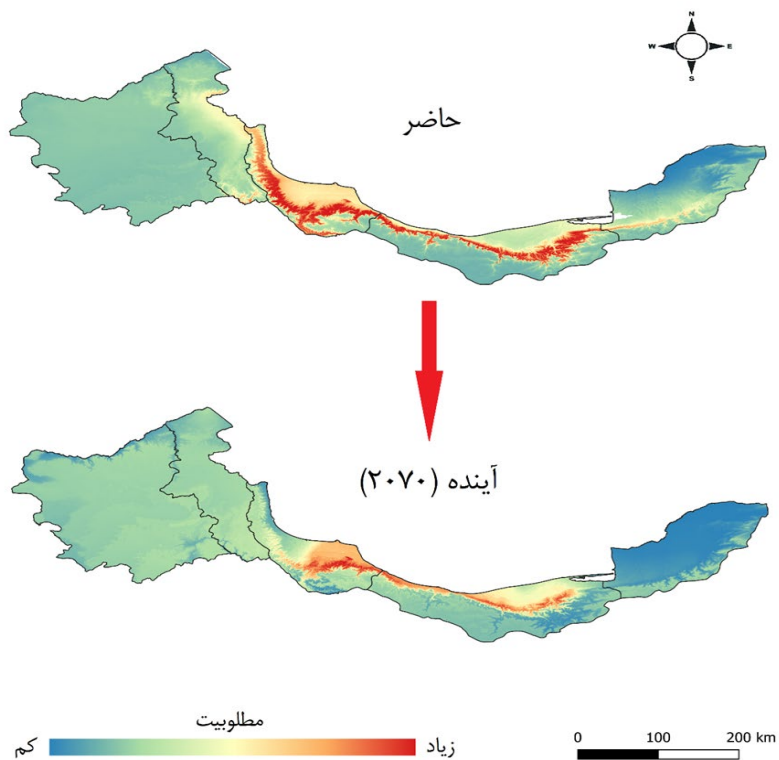
نتیجه سنجش مهمترین متغیرهای موثر بر مطلوبیت زیستگاهی جنس *Trametes* نشان داد که بارش در خشک‌ترین ماه سال با ۳۶ درصد مشارکت و تغییرات فصلی بارش با ۱۸ درصد مشارکت مهمترین عوامل موثر بر توزیع این جنس هستند. رابطه مطلوبیت زیستگاهی با بارش در خشک‌ترین ماه سال مثبت بوده و با افزایش میزان بارش در خشک‌ترین ماه سال میزان مطلوبیت زیستگاهی افزایش می‌یابد اما این در حالی است که رابطه مطلوبیت زیستگاهی با تغییرات فصلی بارش مثبت و خطی نبوده بلکه به صورت چند اوجی است. به این معنی که در ابتدا با افزایش تغییرات فصلی بارش مطلوبیت افزایش می‌یابد اما بعد از آن با افزایش میزان تغییرات فصلی بارش مطلوبیت زیستگاه کاهش می‌یابد در واقع مناطقی که تغییرات فصلی بارش بیشتری دارند برای حضور جنس *Trametes* مناسب نیست.

### مدلسازی اثرات تغییرات اقلیمی

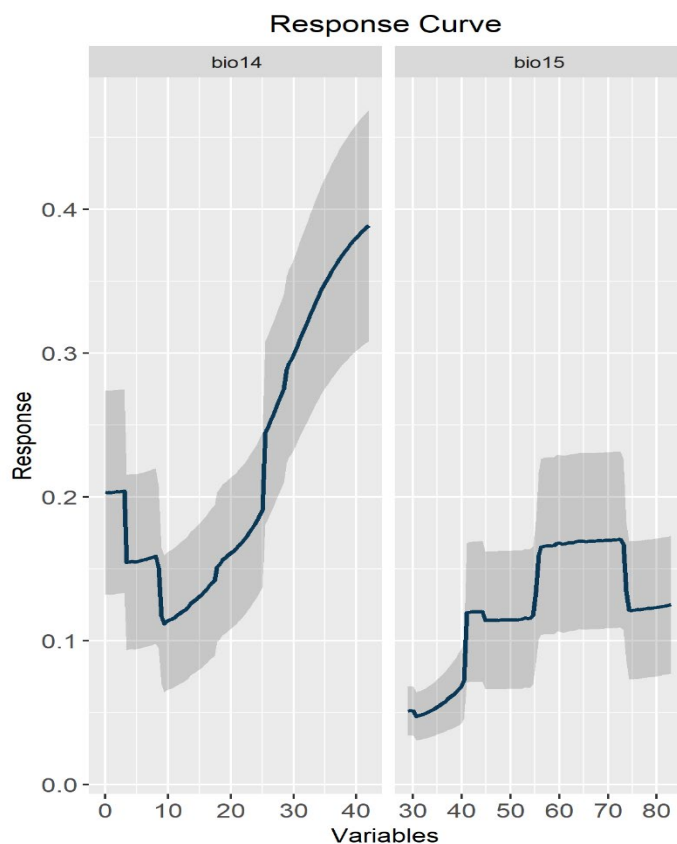
در حال حاضر مدل‌های توزیع گونه‌ای مهمترین ابزار برای سنجش اثرات تغییرات اقلیمی بر تنوع زیستی هستند (گيسان و همکاران ۱۹۹۷؛ فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۶؛ فیلیپس و دودیک، ۲۰۰۸؛ گيسان و همکاران، ۲۰۱۷). این مدل‌ها با استفاده از نقاط حضور گونه‌ها و متغیرهای اقلیمی، زیستگاه‌های مطلوب گونه‌ها را تحت اقلیم حاضر و آینده شناسایی می‌کنند (گيسان و همکاران، ۲۰۱۷). در مطالعه حاضر نیز از مدل‌های توزیع گونه‌ای برای سنجش اثرات تغییرات اقلیمی بر جنس *Trametes* استفاده شد. برای این منظور چهار روش مدل‌های خطی تعمیم یافته (مک کولگ و نلدر، ۱۹۸۹)، مدل‌های سازشی تعمیم یافته (هستی و تبشیرانی، ۱۹۹۰)، حداکثر بی‌نظمی (فیلیپس و همکاران، ۲۰۰۶) و جنگل تصادفی (بريمن، ۲۰۰۱) و سپس از رویکرد مدل‌سازی ترکیبی (آراجو و نیو، ۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفتند. ساخت مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار در فضای نرم افزار R 3.4.3 (آر، ۲۰۱۷) و با به-کارگیری بسته آماری sdm انجام گرفت (نعیمی و آراجو، ۲۰۱۶). در تحقیق حاضر ۸۰ درصد نقاط به عنوان داده‌های تعلیمی و ۲۰ درصد به عنوان آزمون در نظر گرفته شد. در نهایت مساحت زیستگاه‌های مطلوب هرگونه قارچ تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده در محیط نرم افزار R و با استفاده از بسته آماری (هایمنز، ۲۰۱۷) Raster محاسبه شد.

### سنجش کارایی مدل تغییر اقلیم

یک گام مهم در مطالعات مدل‌سازی تغییرات اقلیمی سنجش کارایی مدل‌های ساخته شده است (گيسان و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیار سطح زیر نمودار (AUC) بدست آمده از منحنی ROC (فیلدینگ و بل، ۱۹۹۷)، و معیار TSS استفاده شد. بر اساس معیار AUC، مدل با مقدار AUC برابر با ۰/۵، فاقد قدرت پیش‌بینی بوده و مدل‌هایی که دارای AUC بیشتر از ۰/۷۵ هستند، مدل قابل قبول و مدل‌های که AUC بیشتر از ۰/۹ دارند مدل‌های عالی محسوب می‌شوند (آراجو و همکاران، ۲۰۰۵). ارزش عددی معیار TSS از ۱- تا ۱+ متغیر بوده و



شکل ۱. مدل‌های مطلوبیت زیستگاهی جنس *Trametes* تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده (سال ۲۰۷۰) که بر اساس رویکرد انسمبل و با به‌کارگیری بسته آماری *sdm* ساخته شده‌اند.



شکل ۲. منحنی پاسخ دو متغیر اقلیمی با بیشترین اهمیت در ساخت مدل مطلوبیت زیستگاه یعنی بارش در خشک‌ترین ماه سال (*Bio14*) و تغییرات فصلی بارش (*Bio15*).

## بحث

بررسی قرار گرفته است. برای مثال در سال ۲۰۲۱ عرفانیان و همکاران به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر سه گونه گیاهی *Nepeta binaloudensis*, *Phlomis binaludensis*, *Euphorbia ferdowsiana* در شمال شرق ایران پرداخته و نشان دادند که از بین سه گونه بررسی شده گونه *E. ferdowsiana* تحت تاثیر اثرات منفی تغییرات اقلیمی قرار خواهد گرفت. و یا در مطالعه ای دیگر Behroozian و همکاران به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر گونه اندمیک *Dianthus polylepis* در گستره منطقه ایران-تورانی پرداختند و نشان دادند که تا سال ۲۰۵۰ زیستگاه‌های مطلوب گونه به سمت مناطق ارتفاعی مرتفع تر و و گستره ای با عرض جغرافیایی بالاتر جابجا خواهد شد. یافته‌های مطالعات فوق با نتایج این مطالعه همخوانی دارد که نشان می‌دهد قارچ‌های جنس *Trametes* نیز زیستگاه‌های مطلوب خود را از دست خواهند داد و به مناطق مرتفع‌تر محدود خواهند شد. در مطالعه حاضر نشان داده شد که مهمترین عامل محیطی تعیین کننده حضور قارچ‌های جنس *Trametes* میزان بارش در خشک‌ترین ماه سال است. میزان بارش در خشک‌ترین ماه سال اثر مثبت بر توزیع این قارچ‌ها داشته و با افزایش آن احتمال حضور این قارچ‌ها نیز بیشتر می‌شود. این نشان می‌دهد که میزان بارش در خشک‌ترین ماه سال یک عامل محدود کننده بسیار مهم برای توزیع این گروه از قارچ‌ها است و در مناطقی که میزان بارش ماه‌های خشک اندک است امکان رویش چنین قارچ‌هایی وجود ندارد. همچنین احتمال یافتن این قارچ‌ها در مناطقی که تغییرات فصلی بارش زیاد است نیز پایین‌تر خواهد بود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعاتی که نشان داده‌اند دما و بارش مخصوصاً در گرم‌ترین و خشک‌ترین زمان سال از عوامل مهم توزیع قارچ‌ها هستند (یوان و همکاران، ۲۰۱۵؛ یوان و همکاران، ۲۰۱۹). برای مثال در سال ۲۰۱۵ یوان و همکاران به مدل‌سازی توزیع بالقوه سه گونه قارچ با اهمیت دارویی (*Phellinus igniarius*, *Phellinus baumii* و *Phellinus vaninii*) در چین پرداختند. بر اساس نتایج بارش در گرم‌ترین فصل سال مهمترین عامل موثر بر توزیع دو گونه *Phellinus baumii* و *Phellinus vaninii* بوده و دما در گرم‌ترین فصل سال مهمترین عامل پیش‌بینی کننده توزیع گونه *Phellinus igniarius* است.

حفاظت گونه‌های مختلف نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از توزیع مکانی آنها و همچنین مطلوبیت زیستگاهی آنها است (گیسان و همکاران، ۲۰۱۷). اما تغییرات اقلیمی حفاظت گونه‌های که توزیع مکانی و مطلوبیت زیستگاهی آنها مطالعه شده را نیز با چالش روبرو نموده است (هانا، ۲۰۱۵). در این شرایط حفاظت گونه‌ها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی آینده مستلزم آگاهی از نحوه توزیع آینده گونه‌ها و نحوه تغییر پراکنش آنها است. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش‌های توزیع گونه‌ای (SDMs) مطلوبیت زیستگاهی آینده قارچ‌های جنس *Trametes* تحت بررسی قرار گرفت.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر قارچ‌های جنس *Trametes* تا ۶۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب خود را تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در منطقه تحت مطالعه از دست خواهند داد. به عبارتی دیگر این احتمال وجود دارد که ۶۰ درصد از جمعیت‌های این جنس در منطقه تحت مطالعه به خاطر تغییرات اقلیمی به صورت محلی منقرض شوند. نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات صورت گرفته در دیگر کشورها که نشان داده‌اند برخی از گونه‌های قارچ‌ها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی زیستگاه‌های مطلوب خود را از دست خواهند داد همخوانی دارد. برای مثال گائو و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی نحوه اثرپذیری گونه قارچ *Tricholoma matsutake* از تغییرات اقلیمی آینده نشان دادند که زیستگاه‌های مطلوب گونه در آینده و تحت تاثیر تغییرات اقلیمی کاهش قابل توجهی خواهد داشت همچنین زیستگاه‌های با مطلوبیت خیلی زیاد گونه تقریباً تا حد زیادی از بین خواهند رفت. اما نتایج با مطالعاتی که نشان داده‌اند توزیع برخی از قارچ‌ها مانند *Ophiocordyceps sinensis* (شرستا و باوا، ۲۰۱۴) به خاطر تغییرات اقلیمی افزایش خواهند یافت در تضاد است که این میتواند به طور خاص به خاطر منطقه جغرافیایی و شرایط توپوگرافی منطقه و در نهایت خصوصیات بیولوژیکی تاکسون تحت مطالعه باشد.

در کشور ایران مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی بر قارچ‌ها مسبوق به سابقه نیست اما در معدود مطالعات صورت گرفته در زمینه سنجش اثرات تغییرات اقلیمی در کشور (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۹) توزیع آینده برخی گونه‌های گیاهی تحت

مخصوصاً مناطق داغ زیستی آنها مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (پروژه شماره ۴۰۰۰۶۵۵) برای حمایت از پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را دارند.

### منابع

1. Alkhalifah, D.H.M.; Damra, E.; Khalaf, S.M.H.; Hozzein, W.N. (2022). Biogeography of Black Mold *Aspergillus niger*: Global Situation and Future Perspective under Several Climate Change Scenarios Using MaxEnt Modeling. *Diversity*, 14, 845.
2. Almadrones-Reyes, KJ., Dagamac NHA. (2018). Predicting local habitat suitability in changing climate scenarios: Applying species distribution modelling for *Diderma hemisphaericum*. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*, 8, 492–500.
3. Andrew, C., Büntgen U., Egli S., Senn-Irlet B., J.-A. Grytnes, J. Heilmann-Clausen, L. Boddy, C. Bässler, A. C. Gange, E. Heegaard, K. Høiland, P. M. Kirk, I. Krisai-Greilhuber, Kuyper, T.W., Kausrud, H. (2019). Open-source data reveal how collections-based fungal diversity is sensitive to global change. *Applications in Plant Sciences*, 7, e1227.
4. Antonelli, A., Fry, C., Smith, R. J., Simmonds, M. S. J., Kersey, P. J., Pritchard, H. W., et al. (2020). State of the World's Plants and Fungi 2020. Kew: Royal Botanic Gardens. doi: 10.34885/172.
5. Archis, JN., Akcali, C., Stuart, BL., Kikuchi, D., Chunco, AJ. (2018). Is the future already here? The impact of climate change on the distribution of the eastern coral snake (*Micrurus fulvius*) *PeerJ*, 6, e4647.
6. Avalos, V.d.R., Hernández, J. (2015). Projected distribution shifts and protected area coverage of range-restricted Andean birds under climate change. *Global Ecology and Conservation*, 4, 459-469.
7. Behroozian, M., Ejtehadi, H., Peterson, AT., Memariani, F., Mesdaghi, M. (2020). Climate change influences on the potential distribution of *Dianthus polylepis* Bien. ex Boiss. (Caryophyllaceae), an endemic species in the Irano-Turanian region. *PLoS ONE*, 15, e0237527.
8. Burgess, T.I., Scott, J.K., McDougall, K.L., Stukely, M.J.C., Crane, C., Dunstan, W.A.,

عوامل موثر بر توزیع قارچ‌ها می‌تواند بر حسب تاکسون تحت مطالعه و مقیاس تحت بررسی متفاوت باشد (داگامک و همکاران، ۲۰۲۱؛ توری و همکاران، ۲۰۲۱). برای مثال در برخی گونه‌ها پوشش برف و بارش در سردترین فصل سال به عنوان مهمترین عوامل موثر بر توزیع گونه *Physarum albescens* شناسایی شده‌اند (داگامک و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای دیگر برای تعیین مهمترین عوامل موثر بر توزیع و مطلوبیت زیستگاهی دو گونه قارچ *Fomitiporia punctata* و *Fomitiporia torreyae* ژاپن، توری و همکاران (۲۰۲۱) به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاهی آنها پرداختند که بر اساس نتایج دما مهمترین عامل موثر بر توزیع این گونه‌ها بوده است.

قارچ‌های ماکروسکوپی مانند جنس *Trametes* بخش مهمی از تنوع زیستی جنگل‌های هیرکانی هستند (قبادنژاد و همکاران، ۲۰۲۰) که این جنگل‌ها به خاطر قدمت خود و همچنین به خاطر پناهگاه اقلیمی بودن برای گروه‌های مختلف تاکسونومیک دارای ارزش و حفاظت بالایی هستند (آخانی و همکاران، ۲۰۱۰). لذا حفاظت قارچ‌های ماکروسکوپی تحت اقلیم در حال تغییر گامی مهم برای حفاظت تنوع زیستی جنگل‌های هیرکانی در برابر تغییرات اقلیمی نیز خواهد بود.

### پیشنهادات

براساس نتایج احتمالاً در آینده برخی از جمعیت‌های قارچ‌های جنس *Trametes* در ایران به خاطر تغییرات اقلیمی به طور محلی منقرض خواهند شد. از آنجایی که بسیاری از قارچ‌های ماکروسکوپی از دیرباز به عنوان گونه‌های دارویی شناخته شده هستند نابودی آنها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی سبب از بین رفتن منابع دارویی ارزشمند و همچنین صدمه به اقتصاد زیستی خواهد شد (ژو و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین مدیریت و حفاظت آن زیستگاه‌های که پیش بینی شده حتی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی مطلوب باقی بمانند نقش برجسته-ای در بقای طولانی مدت آنها خواهد داشت. یک راهکار موثر برای اطمینان از حفاظت آنها وارد نمودن مناطق مطلوب زیست آنها در شبکه مناطق حفاظت شده کشور است. ذکر این نکته مهم است که تا کنون در انتخاب مناطق حفاظت شده در کشور گونه‌های قارچ‌ها مد نظر نبوده (درویش‌صفت، ۲۰۰۸) و کارایی مناطق حفاظت شده در حفاظت از قارچ‌ها

18. Erfanian, M.B., Sagharyan, M., Memariani, F. (2021). Predicting range shifts of three endangered endemic plants of the Khorassan-Kopet Dagh floristic province under global change. *Scientific Reports*, 11, 9159.
19. Freeman, B.G., Scholer, M.N., Ruiz-Gutierrez, V., Fitzpatrick, J.W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 11982-11987.
20. Ghobad-Nejhad, M., E. Langer, V. Antonín, G. Gates, J. Noroozi and Zare, R. (2020). The gilled fungi and boletes of Iran: diversity, systematics, and nrDNA data. *Mycologia Iranica*, 7, 1-43.
21. Ghobad-Nejhad, M., and Bernicchia A. (2019). An outlook on the diversity of polypores shared between Iran and the Mediterranean area. *Mycologia Iranica*, 6, 33-39.
22. Ghobad-Nejhad, M., and Hallenberg, N. (2012). Checklist of Iranian non-gilled/non-gasteroid hymenomycetes (Agaricomycotina). *Mycotaxon*, 119, 494
23. Gonçalves, S.C., Haelewaters D., Furci G., Mueller, G.M. (2021). Include all fungi in biodiversity goals. *Science*, 373, 403.
24. Guisan, A. (1997). Distribution of plant species in an alpine landscape: application of statistical modelling in a geo-graphical information system. Doctoral Dissertation, University of Geneva.
25. Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, NE. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
26. Guo, Y., X. Li, Z. Zhao and Z. Nawaz (2019). Predicting the impacts of climate change, soils and vegetation types on the geographic distribution of *Polyporus umbellatus* in China. *Science of The Total Environment*, 648, 1-11.
27. Guo, Y., X. Li, Z. Zhao, H. Wei, Gao, B., Gu, W. (2017). Prediction of the potential geographic distribution of the ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake* under multiple climate change scenarios. *Scientific Reports*, 7, 46221.
28. Hannah, L. (2015). *Climate Change Biology*, London: Academic, 2nd ed.
29. Hao, T., G. Guillera-Arroita, T. W. May, J. J. Lahoz-Monfort and J. Elith (2020). Using Species Distribution Models for fungi. *Fungal Biology Reviews*, 34, 74-88.
30. Hawksworth, D. L., Lücking R. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 million Species. *Microbiol Spectr*, 5(4).
31. Hobbs, C. (2004). Medicinal value of turkey tail fungus *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát (Aphyllophoromycetidae). A literature  
Brigg, F., Andjic, V., White, D., Rudman, T., Arentz, F., Ota, N., Hardy, G.E.S.J., 2017. Current and projected global distribution of *Phytophthora cinnamomi*, one of the world's worst plant pathogens. *Global Change Biology*, 23, 1661e1674.
9. Butchart S.H. M., M. Walpole, B. Collen, A. van Strien, P. W. Scharlemann Jörn, E. A. Almond Rosamunde, E. M. Baillie Jonathan, B. Bomhard, C. Brown, J. Bruno, E. Carpenter Kent, M. Carr Geneviève, J. Chanson, M. Chenery Anna, J. Csirke, C. Davidson Nick, F. Dentener, M. Foster, A. Galli, N. Galloway James, P. Genovesi, D. Gregory Richard, M. Hockings, V. Kapos, J.-F. Lamarque, F. Leverington, J. Loh, A. McGeoch Melodie, L. McRae, A. Minasyan, H. Morcillo Monica, E. E. Oldfield Thomasina, D. Pauly, S. Quader, C. Revenga, R. Sauer John, B. Skolnik, D. Spear, D. Stanwell-Smith, N. Stuart Simon, A. Symes, M. Tierney, D. Tyrrell Tristan, J.-C. Vié and R. Watson (2010). *Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines*. *Science*, 328, 1164-1168.
10. Cao, Y., Wu, G., Yu, D. (2021). Include macrofungi in biodiversity targets. *Science*, 372, 1160.
11. Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B., Thomas, C.D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333, 1024-1026.
12. Dagamac, N. H. A., B. Bauer, J. Woyzichovski, O. N. Shchepin, Y. K. Novozhilov YK, Schnittler M. (2021). Where do nivicolous myxomycetes occur? – Modeling the potential worldwide distribution of *Physarum albescens*. *Fungal Ecology*, 53, 101079.
13. Darvishsefat A (2008) Atlas of protected areas of Iran. Department of Environment, Tehran.
14. Diaz, HF., Grosjean, M., Graumlich, L. (2003). Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. *Climatic Change*, 59, 1-4.
15. Dirzo, R., S. Young Hillary, M. Galetti, G. Ceballos, J. B. Isaac Nick and B. Collen (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345, 401-406.
16. Dubey, S., Shine, R. (2011). Predicting the effects of climate change on reproductive fitness of an endangered montane lizard, *Eulamprus leuraensis* (Scincidae). *Climatic Change*, 107, 531–547.
17. Elsen Paul, R., Monahan William, B., Dougherty Eric, R. and Merenlender Adina, M. (2020). Keeping pace with climate change in global terrestrial protected areas. *Science Advances*, 6, eaay0814.

- Hoplocephalus bungaroides. Diversity and Distributions, 16, 109-118.
41. Phillips, S.J., & Dudík, M.M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.
  42. Phillips, S.J., Anderson, R., Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
  43. Quinn, G.P., Keough, M.J. (2002). *Experimental designs and data analysis for biologists*. Cambridge University Press; Cambridge, UK.
  44. Ryvarden L., Gilbertson R.L. *European polypores: Part 2: Meripilus-Tyromyces*. *Fungiflora A/S*; 1994.
  45. Ryvarden L., Melo I. 2014. Poroid fungi of Europe. *Fungiflora A/C*, Oslo, Norway.
  46. Shrestha, U.B., Bawa, K.S., (2014). Impact of climate change on potential distribution of Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in Nepal Himalaya. *PloS One*, 9.
  47. Torii, M., Masuya H., Hattori, T. (2021). Temperature Characteristics of Two Fomitiporia Fungi Determine Their Geographical Distributions in Japan. *Forests*, 12, DOI: 10.3390/f12111580.
  48. Warren, D.L., Glor, R.E., & Turelli, M. (2010). ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33, 607-611.
  49. Yousefi, M., Kafash, A., Valizadegan, N., Sheykhi Ilanloo, S., Rajabizadeh, M., Malekoutikhah, S., Ashrafi, S. (2019). Climate change is a major problem for biodiversity conservation: A systematic review of recent studies in Iran. *Contemporary Problems of Ecology*, 12, 394-403.
  50. Yuan, H., Wei, Y., Zhou, L., Qin, W., Cui, B., He, S., Yuan, H.S. (2019). Potential distribution and ecological niches of four buttrot pathogenic fungi in Northeast China. *Biodiversity Science*, 27, 873-879.
  51. Yuan, H.-S., Wei Y.-L. Wang, X.-G. (2015). Maxent modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China. *Fungal*, 17, 140-145.
  52. Zhou, L.-W., M. Ghobad-Nejhad, X.-M. Tian, Wang, Y.-F., Wu, F. (2022). Current Status of 'Sanghuang' as a Group of Medicinal Mushrooms and Their Perspective in Industry Development. *Food Reviews International*, 38, 589-607.
  53. Zohary M. (1973). *Geobotanical foundations of the Middle East*. Vols. 1-2. Fischer, Stuttgart.
  - reviews. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 6(3).
  32. Hu, W., J. Du, S. Su, H. Tan, W. Yang, L. Ding, P. Dong, W. Yu, X. Zheng and B. Chen (2022). Effects of climate change in the seas of China: Predicted changes in the distribution of fish species and diversity. *Ecological Indicators*, 134, 108489.
  33. Hughes, A.C. (2017). Understanding the drivers of Southeast Asian biodiversity loss. *Ecosphere*, 8, e01624.
  34. IPBES (2018). Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Asia and the Pacific of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. M. Karki, S. Senaratna Sellamuttu, S. Okayasu, W. Suzuki, L. A. Acosta, Y. Alhafedh, J. A. Anticamara, A. G. Ausseil, K. Davies A. Gasparatos, H. Gundimeda, I. Faridah-Hanum, R. Kohsaka, R. Kumar, S. Managi, N. Wu, A. Rajvanshi, G. S. Rawat, P. Riordan, S. Sharma, A. Virk, C. Wang, T. Yahara and Y. C. Youn (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 41 pages.
  35. Karger, D.N., Conrad, O., Böhner, J., (2017). Climatologies at high resolution for the earth land surface areas. *Scientific Data*, 4, 170122.
  36. Lourenço-de-Moraes, R., Lansac-Toha, F.M., Schwind, L.T.F. (2019). Climate change will decrease the range size of snake species under negligible protection in the Brazilian Atlantic Forest hotspot. *Scientific Reports*, 9, 8523.
  37. Naimi, B. and Araújo, M.B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39, 368-375.
  38. Naimi, B. (2015). Uncertainty analysis for species distribution models. R package version 1.1-15.
  39. Newbold, T., L. N. Hudson, S. L. L. Hill, S. Contu, I. Lysenko, R. A. Senior, L. Börger, D. J. Bennett, A. Choimes, B. Collen, J. Day, A. De Palma, S. Díaz, S. Echeverria-Londoño, M. J. Edgar, A. Feldman, M. Garon, M. L. K. Harrison, T. Alhousseini, D. J. Ingram, Y. Itescu, J. Kattge, V. Kemp, L. Kirkpatrick, M. Kleyer, D. L. P. Correia, C. D. Martin, S. Meiri, M. Novosolov, Y. Pan, H. R. P. Phillips, D. W. Purves, A. Robinson, J. Simpson, S. L. Tuck, E. Weiher, H. J. White, R. M. Ewers, G. M. Mace, J. P. W. Scharlemann and A. Purvis (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45-50.
  40. Penman, T.D., Pike, D.A., Webb, J.K., Shine, R. (2010). Predicting the impact of climate change on Australia's most endangered snake,