استفاده از روش مدل‌سازی آنتروپی بیشینه (MaxEnt) و خوشه‌بندی K-mean برای تحلیل زیستگاه‌های زیرزمینی جنس *Niphargus* در ایران

پیمان کرمی[۱] و سمیه اسمعیلی رینه[۲*]

[۱] **ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست**

[۲] **ایران، کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی**

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۹

چکیده

دوجورپایان جنس *Niphargus* در انواع آب‌های زیرزمینی زندگی می‌کنند و بخش مهمی از تنوع زیستی آن را تشکیل می‌دهند. در دهه‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی توسعه‌یافته است، اما بالطبع تکنیک‌های آماری برای مطالعه پراکنش موجودات زیرزمینی کمتر است. در این مطالعه به‌منظور بررسی اثر عوامل محیطی بر پراکنش جنس، از نقاط حضور تاکسون براساس مطالعات قبلی استفاده شد. سپس از متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی و داده‌های دما و رطوبت در عمق‌های ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر و ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد. با استفاده از تحلیل هیستوگرام چگالی و آمار توصیفی، توزیع مقادیر متغیرهای زیستگاهی به ازای نقاط حضور بررسی شدند. شباهت بین مناطق زیستگاهی از روش خوشه‌بندی مشاهدات به روش K-mean به دست آمد. مدل‌سازی پراکنش تاکسون نیز با استفاده از روش آنتروپی بیشینه انجام گرفت. نتایج نشان داد که در میان تمام متغیرهای مورد استفاده، متغیر Bio14 دارای توزیع نرمال نیست (P-value> ۰/۰۵). نتایج خوشه‌بندی نیز نشان داد خوشه‌های ۱و۲ که نقاط حضور جنس در محدوده نوار خزری و امتداد رشته‌کوه زاگرس را شامل می‌شوند در گروه‌های مجزا قرار می‌گیرند. البته شباهت‌هایی نیز بین این خوشه‌ها وجود دارد که مشتمل بر جمعیت‌های کرمانشاه، ایلام و کهگیلویه و بویراحمد است. در مقیاس موردمطالعه، دو متغیر بارش سالانه و دمای خاک در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری، بیشترین تأثیر را در پراکنش جنس *Niphargus* دارند. همچنین به دلیل دوری از سطح زمین و به‌تناوب آن متغیرهای محیطی مربوطه شرایط یکسانی در اکثر نقاط حضور جنس وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: زیستگاه‌های زیرزمینی، خوشه‌بندی، مدل‌سازی زیستگاه، جنس *Niphargus*، ایران.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۳۲۵۵۰۰۹، پست الکترونیکی: sesmaeili@razi.ac.ir

مقدمه

تنوع زیستی به‌طور ناهمگونی در سرتاسر کره زمین توزیع یافته است و موجودات زنده با الگوهای توزیع متفاوت در اکوسیستم‌های مختلف زندگی می‌کنند (۱۴و ۲۹). در این میان توجه به تنوع زیستی تاکسون‌های زیرزمینی همانند موجودات سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آب‌های زیرزمینی یکی از بزرگ‌ترین منابع آب شیرین در جهان هستند که کمتر از ۱۰ درصد گونه‌های جانوری شناخته‌شده را در برمی‌گیرند (۲۸ و ۵۱). کولور و هولسینگر در سال ۱۹۹۲ تخمین زده‌اند که حدود ۵۰ تا ۱۰۰ هزار گونه غار زی واقعی در سرتاسر دنیا حضور دارند که اکثر آن‌ها شناسایی نشده‌اند. البته محققین معتقدند که شرایط بوم‌شناختی ویژه نظیر تاریکی مداوم، محدودیت مواد غذایی و نوسانات اقلیمی کوتاه‌مدت ازجمله عوامل بازدارنده در تنوع زیستی چنین محیط‌هایی می‌باشند (۱۸،

۱۹ و ۴۷). اکثر گونه‌های آبزی زیرزمینی دامنه پراکنش محدودی دارند که احتمالاً به دلیل درجه بالای تکه‌تکه شدن زیستگاه در سفره‌های آب زیرزمینی است و گونه‌ها با دامنه پراکنش گسترده، استثنا هستند (۲۰، ۲۲، ۴۸، ۵۰ و ۵۲). بنابراین، از دست دادن زیستگاه منجر به کاهش جمعیت گونه‌های زیرزمینی و حتی انقراض آن‌ها می‌شود (۳۴).

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای (Species distribution modelling) یا (SDM)، شامل روش‌هایی است که در آن با استفاده از الگوریتم ریاضی، ارتباط بین داده‌های حضور و متغیرهای محیطی باهدف معرفی آشیان‌های بوم‌شناختی و یا دامنه توزیع آن برقرار می‌شود (۶ و ۴۲). زیستگاه‌های زیرزمینی و موجودات ساکن در آن چالش‌های ویژه‌ای در ارتباط با SDM دارند، زیرا نمونه‌برداری از غارها و سایر محیط‌های زیرزمینی به دلیل عدم دسترسی انسان مشکل است و به تجهیزات پیشرفته نیاز است. علاوه بر آن فراوانی نمونه‌های زیرزمینی کم بوده و بعضی از نمونه‌ها نیز در شکاف‌ها زندگی می‌کنند (۸). صرف‌نظر از دلایل ذکرشده، استفاده از SDM فهم ما را از جغرافیای زیستی موجودات ساکن در محیط‌های زیرزمینی، دینامیک پردازه بوم‌شناختی آن‌ها و اثرات تغییر آب‌وهوا در اکوسیستم‌های زیرزمینی بالا می‌برد (۱۶). مطالعه کلان‌بوم‌شناسی (Macro ecology) این زیستگاه‌های زیرزمینی به‌عنوان یک شاخه مطالعاتی به‌سرعت در حال رشد است. ازاین‌رو درصورتی‌که بتوان با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی که مرهون رشد حوزه‌های تخصصی علوم زمین مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information) و سنجش‌ازدور (Remote Sensing) است شرایط متفاوت این محیط‌ها را برای مؤلفه‌های تأثیرگذار پراکنش کمی کرد، می‌توان از این مدل‌ها برای ارزیابی وضعیت توزیع گونه‌های زیرزمینی استفاده برد (۱۰، ۳۷ و ۴۳).

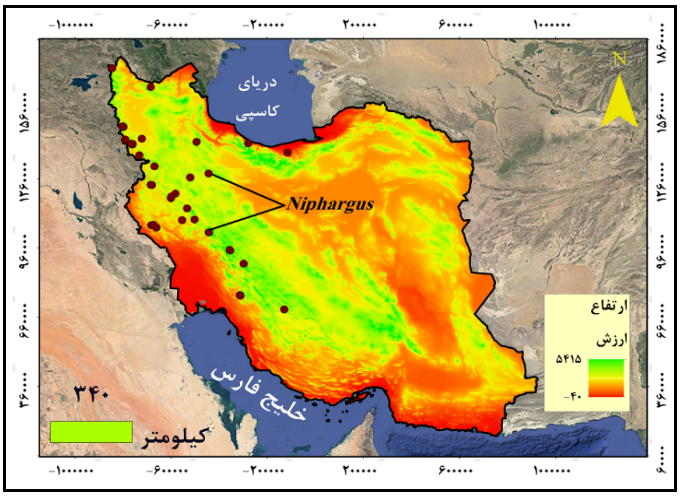
دو جور پایان یکی از مؤلفه‌های مهم در اکوسیستم‌های زیرزمینی هستند و مدل مناسبی برای بررسی فرایندهای بوم‌شناختی و تکاملی در این محیط‌های چالش‌برانگیز محسوب می‌شوند. جنس *Niphargus*، بزرگ‌ترین جنس دو جور پایان آب شیرین مشتمل بر بیش از ۳۰۰ گونه و زیرگونه است (۴۹). که اکثر گونه‌های آن در آب‌های زیرزمینی زندگی کرده و بخش مهمی از تنوع زیستی غرب پاله آرکتیک را تشکیل می‌دهند (۱). درجه بومی شدن در این جنس بسیار بالا است و اکثر گونه‌ها توانایی مهاجرت اندکی دارند (۲۶). ایران در محدوده شرقی دامنه پراکنش جنس *Niphargus* قرار دارد و تاکنون ۱۸ گونه از این جنس معرفی‌شده است که اغلب در محل نمونه تایپ یافت شده‌اند (۲۳، ۲۴، ۳۵ و ۳۶). اکثر گونه‌های این جنس از بخش غربی ایران در امتداد رشته‌کوه زاگرس یافت شده‌اند و به نظر می‌رسد عواملی نظیر زمین‌شناسی منطقه، میزان بارش سالانه و کیفیت منابع آب بر فراوانی جمعیت‌های این جنس اثر می‌گذارند (۲۴). در حال حاضر بسیاری از گونه‌های این جنس در کشورهای اروپایی در معرض خطر انقراض هستند و در لیست قرمز IUCN قرار دارند. لذا آگاهی از الگوی توزیع و پراکنش گونه‌های مختلف زیرزمینی نقش کلیدی در مدیریت و حفاظت از آن‌ها دارد (۹). بنابراین، هدف این مطالعه بررسی تأثیر پارامترهای محیطی بر پراکنش گونه‌های جنس *Niphargus* در ایران است.

مواد و روشها

محدوده مورد مطالعه: جنس *Niphargus*، از متنوع‌ترین و غنی‌ترین تاکسون‌ها در محیط‌های زیرزمینی در غرب پاله آرکتیک است (۴۹). باوجود سفره‌های آب زیرزمینی بخصوص در شمال و غرب ایران، بررسی گروه‌های جانوری در محیط‌های زیرزمینی به‌تازگی آغازشده است. ازآنجایی که مدل‌های توزیع توانایی پیش‌بینی زیستگاه‌های بالقوه را برای گونه‌های گیاهی و جانوری دارند، لذا باتوجه

به پراکنش مناسب مناطق نمونه‌برداری و به‌منظور دستیابی به پتانسیل توزیع گونه در سایر مناطق، مدل‌سازی در محدوده کشور انجام گرفت.

ثبت نقاط حضور: اعضای این گروه از سخت‌پوستان در آب‌های زیرزمینی و مناطق کارستی یافت می‌شوند، لذا در مرحله نخست، نقشه آب‌های زیرزمینی و مناطق کارستی موردبررسی قرارگرفت، تا موقعیت تقریبی ایستگاه‌هایی که احتمالاً نمونه‌ها را می‌توان یافت، مشخص شود. نمونه‌برداری از آب‌های سطحی، در سرچشمه‌ها، جایی که آب از زیرزمین خارج می‌شود انجام گرفت، بدین‌صورت که با استفاده از کلنگ مناطقی از سرچشمه‌ها برداشت شد و بعد از تمیز شدن آب، با کمک‌صافی بررسی محل صورت گرفت. نمونه‌برداری در غارها، با استفاده از توری‌های تیره با چشمه‌هایی به قطر یک میلی‌متر و صافی انجام گرفت. بعد از جمع‌آوری، نمونه‌ها به ظرف پر از آب منتقل شدند تا شن و مواد زائد از آن‌ها جدا شود. سپس نمونه‌های هر منطقه به لوله فالکون مجزایی منتقل و با الکل ۷۰ درصد تثبیت شدند. در خاتمه، محل، موقعیت جغرافیایی و تاریخ نمونه‌برداری بر روی کاغذ کالک نوشته‌شده و درون هر لوله فالکون قرارگرفته و به آزمایشگاه منتقل شد. در این مطالعه نقاط حضور گونه‌های جنس *Niphargus* و موقعیت جغرافیایی آن‌ها از مطالعات قبلی استخراج و مورداستفاده قرارگرفت (۲۲ و ۲۳). شکل ۱ موقعیت نقاط حضور جنس *Niphargus* در ایران را نمایش می‌دهد.



شکل ۱ـ موقعیت جغرافیایی جمعیت‌های جنس *Niphargus*

آنتروپی بیشینه: به‌منظور بررسی و شبیه‌سازی محدوده پراکنش جنس مذکور از روش آنتروپی بیشینه (Maximum Entropy) در نرم‌افزار مکسنت (MaxEnt 3.3) استفاده گردید. محدودیت‌های روش آنتروپی بیشینه در مدل‌سازی توزیع از جنبه‌های مختلفی از قبیل اریب (Bias grid) در نمونه‌گیری، اریب در انتخاب محدوده برای نقاط پس‌زمینه، انتخاب ویژگی‌ها و ضرایب اصلاح (Regularization multiplier) قابل‌بررسی است (۲۱، ۳۵، ۴۴ و ۴۵). محدودیت‌های ذکرشده بر روی خروجی مدل تأثیر گذاشته و مدل را دچار بیش برازش (Overfitting) می‌کنند، ازاین‌رو شبکه اریب برای کاهش اثرات خوشه‌ای نقاط، ایجاد می‌شود (۴۲). شیوه جمع‌آوری نقاط حضور، یک پارامتر بسیار مهم است که با تغییر در مقیاس مطالعه ممکن است از حالت پراکنده به خوشه‌ای تبدیل شود. دراین مطالعه به کمک شبکه اریب به نقاط حضوری با همسایگان کمتر وزن بیشتری برای ایجاد نقاط شبه عدم حضور داده شد. شبکه اریب با استفاده از تابع چگالی گوسی کرنل

(Gaussian kernel density) بافاصله ۱۰۰ کیلومتر از نقاط حضور مشاهده در نرم‌افزار QGIS آماده شد.

باتوجه به تعداد نقاط از روش اعتبارسنجی متقاطع (Cross validation) استفاده شد، مدل مذکور ۱۰ تکرار داشت و نقشه میانگین به‌عنوان نقشه خروجی ارائه گردید. بررسی اهمیت هر متغیر با استفاده از تحلیل جک نایف انجام گرفت. برای استفاده از SDM، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نقاط حضور گونه ضروری است. ازآنجایی‌که گونه‌های زیرزمینی به‌واسطه نوع نمونه‌برداری و یا درجه بومی بودن ازنظر حضور حداقل داده را دارند، لذا دراین مطالعه به‌جای بررسی گونه، نقاط حضور جنس *Niphargus* مورد بررسی قرار گرفت (۱۴).

متغیرهای محیطی: شناسایی متغیرهای زیستگاهی متناسب با ابعاد محدوده مورد مطالعه یکی از موارد کلیدی است که در مدل‌سازی‌های محیطی باید رعایت گردد. استفاده از متغیرهای زیستگاهی که بتواند روابط موجودات زیرزمینی را با زیستگاه آن‌ها تبیین کند مسلماً جدا از متغیرهایی است که برای مدل‌سازی زیستگاه گونه‌های سطح زمین استفاده می‌شود (۳۷). متغیرهای اقلیمی بر روی عوامل محیطی ازجمله متغیرهای خاک تأثیر دارند (۱ و ۴) و در مدل‌سازی زیستگاه‌های زیرزمینی توسط سایر محققین نیز به‌وفور مورداستفاده قرارگرفته‌اند (۱۱، ۱۳، ۳۳ و ۳۸). لذا در این مطالعه از برخی متغیرهای مربوط به اقلیم استفاده شد و اطلاعات آن از پایگاه جهانی اقلیم مستخرج شد (https://www.worldclim.org/). از میان ۱۹ متغیر اقلیمی، متغیرهایی که دما و بارش را به‌صورت مستقیم بیان کنند و بیشترین مقدار ناهمگنی را در سطح مطالعه داشته باشند، انتخاب شدند. در کنار عوامل مذکور به‌منظور تحلیل متغیر خاک و سطح خاک از متغیرهای مربوط به توپوگرافی و توزیع دما و رطوبت در عمق‌های مختلف خاک نیز استفاده گردید. متغیر ارتفاع باقدرت تفکیک مکانی ۸۹۷ متر از پایگاه جهانی اقلیم تهیه و متغیرهای درصد شیب و رطوبت سطح زمین (Compound Topographic Index) نیز از این متغیر مستخرج شدند (۵). شاخص رطوبت سطح (CTI) در واقع توزیع رطوبت در سطح زمین را با در نظرگرفتن آبراهه‌ها نمایش می‌دهد. این متغیر در نرم‌افزار SAGAGIS تهیه شد. به‌منظور استفاده از متغیرهای خاک نیز مقدار رطوبت و دمای حجمی خاک در عمق‌های ۰تا۱۰ و ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر تهیه شدند (۳۲). این متغیرها با استفاده از فراخوانی پروداکت FLDAS در محیط سامانه برخط گوگل ارث (۴۰) قابل دریافت و استفاده هستند. دما برحسب کلوین و رطوبت خاک برحسب مکعب بر مترمکعب قابل محاسبه است. به‌منظور اجرای مدل آنتروپی بیشینه آزمون همبستگی میان تمام متغیرهای زیستگاهی برقرار شد و آن دسته از متغیرهایی که دارای همبستگی بیش از ۰/۸۵بودند از تحلیل حذف شدند. براساس این تحلیل، متغیرهای دما در گرم‌ترین ماه سال (Bio5)، دما در سردترین ماه سال (Bio6)، بارش سالانه (Bio12)، بارش در خشک‌ترین ماه (Bio14)، ارتفاع، شیب، نمایه رطوبت سطح زمین، رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر، رطوبت خاک در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، و دمای خاک در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر وارد مدل‌سازی شدند (جدول۱).

هیستوگرام چگالی و خوشه‌بندی: به‌منظور مقایسه مقادیر زیستگاهی ذکرشده در مناطق حضور، مقادیر مربوط به تمام متغیرها به ازای نقاط حضور استخراج شدند. این عمل در محیط ArcMap انجام گرفت. پس از استخراج مقادیر به‌منظور تحلیل توزیع از هیستوگرام چگالی استفاده شد. دراین منحنی دامنه تغییرات متغیر (محور X) به همراه نوسان آن در نقاط حضور (محور Y) نمایش داده می‌شود. هیستوگرام در محیط نرم‌افزار R3.5.2 تهیه شد. تحلیل نوسان مقادیر متغیرهای زیستگاهی با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف و مقادیر مستخرج شده به ازای نقاط حضور در محیط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. بررسی شباهت بین نمونه‌ها با استفاده از خوشه‌بندی K-Mean در محیط ClustTool در نرم‌افزار R3.5.2 انجام گرفت. این

روش از روش‌های جزءبندی آنالیز خوشه‌ای است که تلاش می‌کند تا مجذور میانگین بین مشاهدات و مرکز خوشه، حداقل شود. بدین‌صورت که با انتخاب K خوشه اولیه به‌صورت تصادفی شروع می‌گردد. در این روش هر مشاهده در مرکز ثقل قرار می‌گیرد (مثلاً با بکار بردن فاصله اقلیدسی) و دوباره مرکز هر خوشه مشخص می‌شود. در واقع خوشه‌بندی یک روش یادگیری بدون نظارت است (۳، ۲۸، ۴۹) که روی دسته‌های از قبل تعریف‌شده و یا ویژگی خاصی به‌عنوان هدف تأکید ندارد و نمونه‌های مشابه به هم را در یک حجم نمونه‌بندی می‌کند (۳). از آنجایی که در این مطالعه بیشتر نمونه‌ها در شمال و در امتداد رشته‌کوه زاگرس برداشت شده‌اند تعداد خوشه‌ها برابر ۲ در نظر گرفته شد.

جدول۱ـ متغیرهای بوم‌شناختی؛ نام اختصاری، واحد و دامنه تغییر

ردیف	متغیر	نام اختصاری	واحد	دامنه تغییر	مقیاس
۱	دمای متوسط سالانه	Bio1	درجه سلسیوس	-۷۱-۲۵۶	۱۰
۲	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	Bio5	درجه سلسیوس	۱۶۳-۴۵۰	۱۰
۳	حداکثر دمای سردترین ماه	Bio6	درجه سلسیوس	-۲۷۸-۱۱۷	۱۰
۴	بارش سالیانه	Bio12	میلی‌متر	۴۸-۱۲۵۲	۱
۵	بارش مرطوب‌ترین ماه	Bio13	میلی‌متر	۱۰-۲۱۴	۱
۶	بارش خشک‌ترین ماه	Bio14	میلی‌متر	۰-۳۸	۱
۷	رطوبت سطح زمین	CTI	-	۳/۵۸-۲۱/۵۲	۱
۸	ارتفاع	DEM	متر	-۳۴ -۵۴۱۵	۱
	شیب	Slope	درصد	۰-۸۴/۸۴	۱
۱۰	دمای ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر	T 0 To 10	کلوین	۲۷۱-۳۰۵/۰۱	۱
۱۱	دمای ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر	T 10 to 40	کلوین	۲۷۲-۳۰۵/۴۴	۱
۱۲	رطوبت ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر	M 0 to 10	مترمکعب/مترمکعب	۰/۰۸ -۰/۴۸	۱
۱۴	رطوبت ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر	M 10 to 40	مترمکعب/مترمکعب	۰/۰۸ -۰/۴۳	۱

نتایج

جدول ۲ ویژگی‌های توصیفی شامل حداقل، حداکثر، انحراف معیار، میانگین و توزیع نرمال هریک از متغیرها را نمایش می‌دهد. براساس نتایج، اکثر متغیرهای مورد بررسی دارای توزیع نرمال هستند و تنها متغیر Bio14 دراین مطالعه دارای توزیع نرمال نیست که نشان از توزیع نامتقارن این متغیر زیستگاهی در نقاط حضور جنس مورد مطالعه دارد.

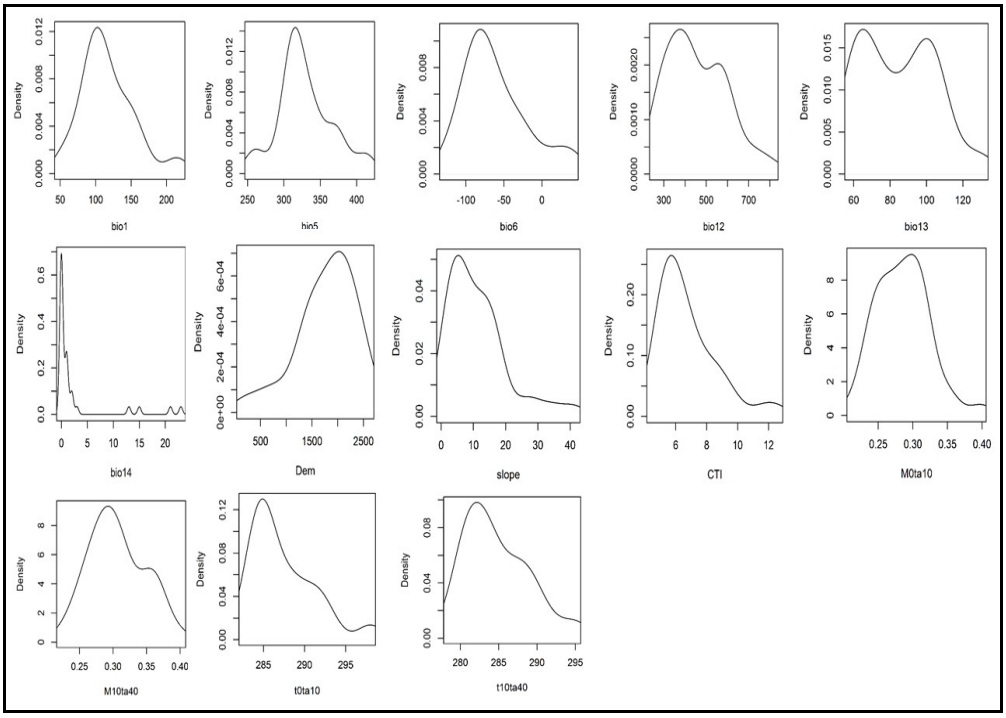
هیستوگرام چگالی: شکل۳ هیستوگرام چگالی متغیرهای زیستگاهی را به ازای نقاط حضور جنس *Niphargus* نمایش می‌دهد. براساس نتایج، بیشترین احتمال حضور این جنس در دمای متوسط سالانه (Bio1) حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس است. با افزایش و کاهش از این دما احتمال حضور و مشاهده جنس کاهش می‌یابد. براساس نتایج حاصل از متغیر حداکثر دمای گرم‌ترین ماه (Bio5)، بیشترین احتمال حضور این تاکسون بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سلسیوس است. اگر از این محدوده دما کمتر و یا بیشتر شود احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد. حضور گونه‌های این جنس براساس متغیر حداکثر دمای سردترین ماه (Bio6)، نوسانی بین ۱۰۰- تا ۵۰- درجه را نمایش می‌دهد و از این دامنه دمایی به بعد احتمال حضور گونه کاهش می‌یابد.

جدول۲ـ توزیع هریک از مقادیر متغیرهای زیستگاهی در نقاط مشاهده جنس *Niphargus*

ردیف	نام متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	*P-Value*
۱	Bio1	۴۹	۲۱۹	۱۱۷/۶۱	۳۷/۰۱	۰/۴۲۰
۲	Bio5	۲۵۳	۴۱۸	۳۳۰/۹۷	۳۷/۸۷	۰/۶۸۶
۳	Bio6	−۱۲۸	۴۱	−۵۹/۲۰	۴۲/۴۴	۰/۴۴۵
۴	Bio12	۲۵۵	۸۱۶	۴۵۴/۳۵	۱۳۷/۰۱	۰/۶۰۳
۵	Bio13	۵۸	۱۳۱	۸۴/۱۵	۲۰/۱۴	۰/۱۷۱
۶	Bio14	۰	۲۳	۲/۲۸	۵/۵۹	۰/۰۰۰۱
۷	ارتفاع (Dem)	۱۳۷	۲۶۰۴	۱۷۵۵/۶۱	۵۷۴/۹۲	۰/۵۵۴
۸	شیب (Slope)	۰/۲۶	۴۱/۴۰	۱۱/۲۰	۹/۲۱	۰/۵۱۰
۹	رطوبت سطح زمین (CTI)	۴/۴۶	۱۲/۵۹	۶/۷۲	۱/۸۴	۰/۲۷۳
۱۰	رطوبت عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر	۰/۲۱۲	۰/۳۹	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۹۴۵
۱۱	رطوبت عمق ۱۰ تا۴۰ سانتی‌متر	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۶۰۷
۱۲	دمای عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر	۲۸۲/۶۳	۲۹۸	۲۸۷/۳۷	۳/۸۷	۰/۱۱۲
۱۳	دمای عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر	۲۷۸/۴۷	۲۹۵/۰۳	۲۸۴/۷۶	۴/۱۹	۰/۱۳۴

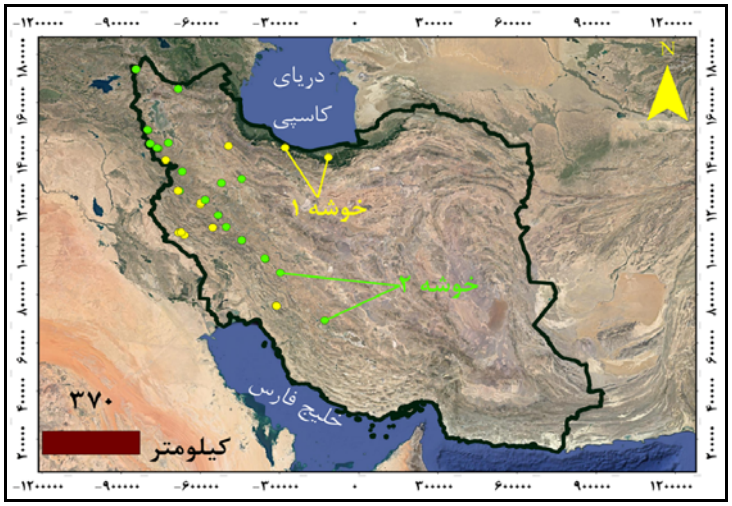
متغیر بارش سالانه (Bio12) نشان داد که احتمال حضور اعضای این جنس در محدوده‌هایی با بارش حدود ۳۰۰ میلی‌متر بالا است و با افزایش میزان بارش از ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر احتمال حضور کم‌تری وجود دارد و از این دامنه به بالا حضور جنس با شیب بیشتر کاهش می‌یابد. متغیر بارش در مرطوب‌ترین ماه (Bio13) نشان داد بیشترین احتمال حضور جنس در مناطقی با بارش حدود ۷۰ میلی‌متر است و احتمال حضور تاکسون با افزایش میزان بارندگی کاهش می‌یابد و در مقادیر بالاتر از ۱۰۰ میلی‌متر بارش مجدداً بر مطلوبیت افزوده می‌شود. اما درمجموع بیشترین مقدار مطلوب حدود ۷۰ میلی‌متر بارندگی است. اما نتایج تحلیل متغیر بارش در خشک‌ترین ماه (Bio14) نشان داد بیشترین احتمال حضور جنس در مقادیر بین ۰ تا ۵ میلی‌متر است و با افزایش بارش از احتمال حضور جنس کاسته می‌شود.

تحلیل نتایج ارتفاع نشان داد که متغیر مذکور در دامنه نوسان ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا نوسان دارد. درمجموع با افزایش ارتفاع بر احتمال حضور جنس *Niphargus* افزوده می‌شود ولی در ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متری از سطح دریا احتمال حضور و مشاهده کاسته می‌شود. متغیر شیب نیز نشان داد با افزایش مقدار شیب تا ۲۰ درصد بر احتمال حضور افزوده می‌شود به‌نحوی‌که در شیب‌های کمتر از ۱۰درصد، احتمال بالایی از حضور این گروه از دوجورپایان وجود دارد. نمایه رطوبت سطح زمین نیز نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت سطح زمین، از احتمال حضور جنس *Niphargus* کاسته می‌شود اما در مقادیر پایین این متغیر، احتمال زیادی برای حضور اعضای جنس وجود دارد. شاخص رطوبت در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر نیز نشان داد که اعضای جنس *Niphargus* در مقدار رطوبت ۰/۳۰ درصد احتمال حضور بالایی دارند. متغیر رطوبت برای عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر نیز همین نتیجه را نشان می‌دهد. اما بررسی دماهای مربوط به عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر نشان داد که بیشترین احتمال حضور این جنس در دمای ۲۸۵ درجه کلوین است و با افزایش دما از احتمال حضور آن‌ها کاسته می‌شود. در عمق‌های بیش از این میزان، نیز بیش‌ترین مقدار مطلوبیت بین دماهای ۲۸۰ تا ۲۸۵ درجه کلوین است.



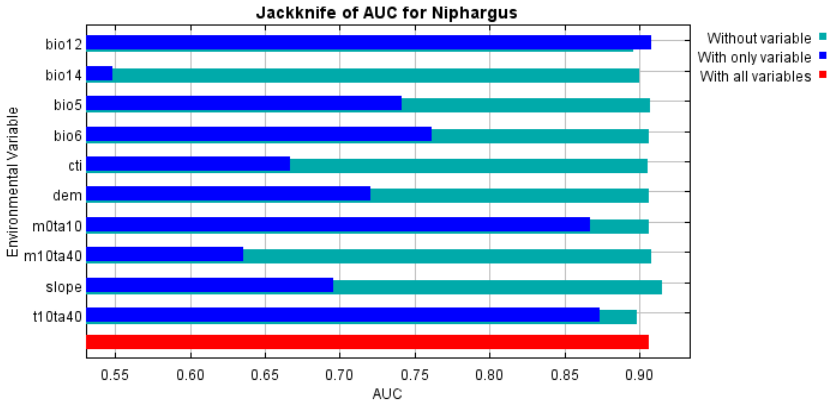
شکل۳ـ هیستوگرام چگالی متغیرهای تأثیرگذار بر زیستگاه جنس *Niphargus*

خوشه‌بندی: نتایج حاصل از خوشه‌بندی مشاهدات مربوط به جنس *Niphargus* در ۴۰ جمعیت مورد مطالعه در شکل ۴ آمده است. متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه براساس دو خوشه تنظیم شده‌اند. خوشه زردرنگ، آن دسته از نقاط نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد که بیش‌ترین شباهت را به یکدیگر دارند و خوشه‌های سبزرنگ نیز بخش‌هایی را نمایش می‌دهد که براساس متغیرهای مورداستفاده بیش‌ترین شباهت را به یکدیگر دارند. نتایج این خوشه‌بندی نشان داد که درمجموع براساس متغیرهای مورداستفاده دراین مطالعه آن دسته از نقاط حضور که در امتداد رشته‌کوه زاگرس قرارگرفته‌اند به بیش‌ترین مقدار به یکدیگر شباهت دارند. البته نمونه‌هایی نیز وجود دارند که ازنظر جغرافیایی به خوشه ۲ نزدیک هستند ولی به خوشه ۱ شباهت بیشتری دارند.



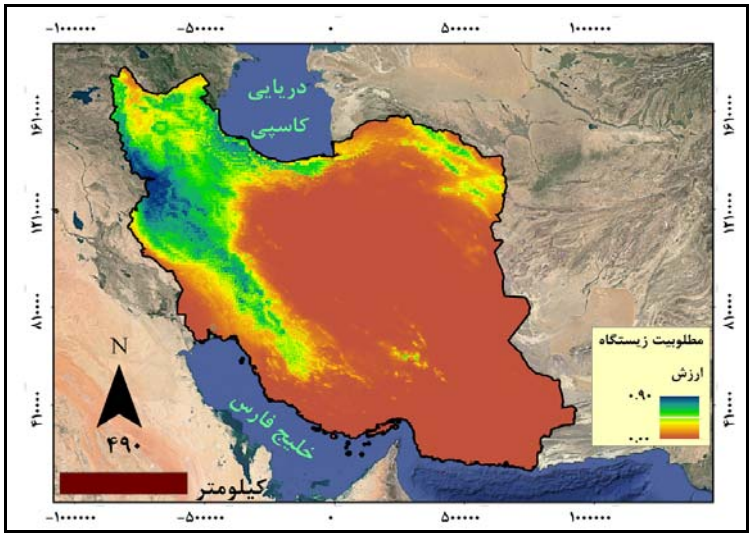
شکل۴ـ خوشه‌بندی مشاهدات براساس اثر عوامل محیطی بر جمعیت‌های جنس *Niphargus*

مدل‌سازی توزیع و انتشار: نتایج نشان داد که مدل در ۱۰ تکرار خود موفق بوده است. میانگین AUC برای ۱۰ اجرا، برابر ۰/۹۰ محاسبه‌شده که تائید کننده اجرا است. نتایج حاصل از درصد مشارکت هر متغیر در مدل‌سازی نشان داد که متغیرهای بارش سالانه و دمای خاک در عمق ۱۰ تا۴۰ سانتی‌متر، بیشترین مشارکت را در توسعه مدل داشته‌اند. شکل ۵ منحنی جک نایف را نمایش می‌دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده متغیر بارش سالانه و دما در عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک بیش‌ترین اثر را بر پراکنش اعضای جنس *Niphargus* دارند. متغیر رطوبت خاک در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری نیز جز متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر روی این تاکسون است. براساس همین نتایج، بارش در خشک‌ترین فصل سال کم‌ترین تأثیر را در پراکنش اعضای جنس *Niphargus* داشته است.



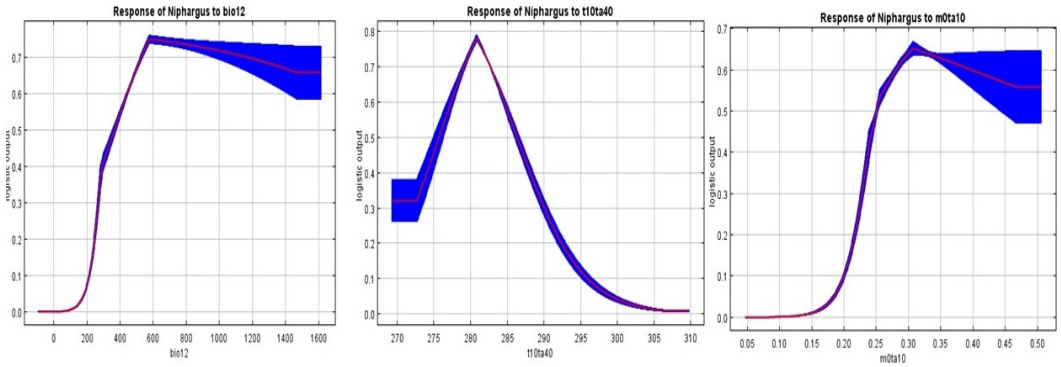
شکل۵ـ تحلیل اهمیت متغیرهای مدل‌سازی توزیع جنس *Niphargus* به روش جک نایف

شکل ۶ موقعیت انتشار جنس *Niphargus* را در ایران نمایش می‌دهد. رنگ‌های آبی نواحی را نمایش می‌دهند که احتمال حضور جنس موردمطالعه در آن بالا است. نواحی قهوه‌ای‌رنگ نیز مناطقی را نشان می‌دهند که احتمال حضور تاکسون در آن پایین است. بنابراین در این مطالعه مناطقی که در امتداد رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس قرارگرفته‌اند، برای حضور جنس مناسب تشخیص داده‌شده است و بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی، جنوب و شرق کشور دارای پتانسیل بالایی برای حضور این جنس نیستند.



شکل ۶ ـ محدوده توزیع جنس *Niphargus* و ارزش مطلوبیت زیستگاه در مناطق مختلف ایران

شکل ۷ منحنی پاسخ متغیرهای تأثیرگذار بر روی پراکنش جمعیت‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. بر این اساس با افزایش میزان بارش سالانه (Bio12) بر مطلوبیت زیستگاه افزوده می‌شود. اما با افزایش دما از ۲۸۰ درجه کلوین از مطلوبیت آن کاسته می‌شود. همچنین، با افزایش رطوبت خاک تا ۰/۳۰ مترمکعب بر مترمکعب بر مطلوبیت زیستگاه افزوده می‌شود (شکل ۷).



شکل۷ـ منحنی پاسخ مدل متغیرهایی با بیشترین تأثیر در توزیع جنس *Niphargus*

بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از توزیع متغیرهای زیستگاهی، عوامل بوم‌شناختی دراین مطالعه در نقاط حضور جنس *Niphargus* دارای توزیع نرمال هستند که این امر می‌تواند ناشی از وجود شرایط مشابه برای تمام نقاط حضور باشد. به‌عبارتی‌دیگر، ازآنجاکه نوسان شدیدی در وضعیت متغیرهای زیستگاهی وجود ندارد، توزیع این متغیرها دارای شرایط نرمال است. تنها در متغیر بارش در خشک‌ترین ماه (Bio14)، نوسانی شدید در مقدار متغیر به ازای نقاط حضور وجود داشت که منجر به تغییر در توزیع این عامل شد (جدول۲). وضعیت نامتقارن توزیع این عامل زیستگاهی را می‌توان در هیستوگرام چگالی مربوطه نیز مشاهده کرد (شکل۳). توزیع یکنواخت در اکثر عوامل زیستگاهی در گونه‌های جنس *Niphargus* می‌تواند معرف تخصص بالا در انتخاب زیستگاه، آشیان بوم‌شناختی مشابه و توانایی مهاجرت کم برای اشغال آشیان جدید باشد. همچنین بایستی توجه کرد که به دلیل سازش گونه‌های زیرزمینی به زیستگاهشان، این موجودات تااندازه‌ای به اثرات استرس‌های انسان مبنا حساس هستند (۸).

نوسانات آب‌وهوایی کوتاه‌مدت بر اکوسیستم‌های زیرزمینی اثر می‌گذارند (۱۹)، همان‌طور که رژیم بارش سالانه و نوسانات دمایی طولانی‌مدت بر میزان تولیدات محیط‌های سطحی مؤثر است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان تولیدات در محیط‌های سطحی بر غنای گونه‌ای سخت‌پوستان زیرزمینی و نیازهای بوم‌شناختی آن‌ها اثر می‌گذارد (۲۲).

براساس نتایج این مطالعه، متغیر بارش سالانه از میان تمام متغیرهای مورد استفاده بیش‌ترین تأثیر را بر حضور جنس *Niphargus* داشته است. آب به‌عنوان اصلی‌ترین فاکتور زیستگاهی برای موجودات ساکن در محیط‌های آبی و یا وابسته به آن است (۴۶). متغیر بارش شامل حجم، زمان، شدت و تغییرات میزان بارش اثر مهمی بر تولیدات اکوسیستم و ساختار زیستگاه دارد (۴، ۳۰، ۴۱) و مقادیر متفاوت آن برای حیات گونه‌های مختلف برآورد شده است (۲). نتایج حاصل از بررسی این متغیر نشان داد که بارش سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر برای این تاکسون بهینه است. بنابراین، فقدان آب عاملی محدودکننده برای پراکنش اعضای این جنس هست و همان‌طور که در شکل ۶

مشخص است بخش‌های بیابانی مرکز و شرق ایران مطلوبیت چندانی برای حضور این دوجورپایان ندارد و انتظار نمی‌رود که زیستگاه‌های این مناطق، محیطی مناسب برای حضور آن‌ها باشد همان‌طور که تاکنون جمعیتی از این جنس در این نواحی مشاهده نشده است (۲۴).

متغیرهای دما و رطوبت در عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر بعد از متغیر بارش، بیشترین تأثیر را در توزیع اعضای جنس *Niphargus* دارند. فاکتور درجه حرارت به‌عنوان فاکتور محیطی مهم، نقش محوری در اکوسیستم‌های آبی دارد (۴۱). موجودات آبزی در یک دامنه دمایی ترجیحی زندگی می‌کنند و تحمل دمایی گونه‌ها، نقش اساسی در توزیع جغرافیایی آن‌ها دارد (۱۲). آزمایش‌های محدودی در ارتباط با اثر تغییرات دمایی بر موجودات زیرزمینی انجام‌شده است. به‌طور مثال جمعیت‌های گونه *Niphargus virei*، در آزمایشگاه به درجه حرارت‌های پایین حساس هستند که در تأیید دامنه توزیع آن‌ها در محدوده مرز یخبندان‌های پلیوستوسن است (۲۷). گونه *N. tatrensis* به کوهستان‌های سرد سازش یافته است، احتمالاً گرم شدن پس از پلیوستوسن سبب انقراض جمعیت‌های سطحی این‌گونه و قطعه‌قطعه شدن جمعیت‌های اجدادی شده است (۱۷). نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دما بر مطلوبیت حضور جنس افزوده می‌شود اما این نسبت خطی نیست و از ۲۸۰ درجه کلوین به بعد با افزایش دما مطلوبیت حضور اعضای جنس *Niphargus* روندی کاهشی دارد. این وضعیت برای شاخص رطوبت نیز صدق می‌کند به‌نحوی‌که با افزایش مقدار شاخص رطوبت، مطلوبیت افزایش و سپس با شیب کمتری نسبت به دما مطلوبیت حضور اعضای جنس کاهش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان گفت دمای مناسب برای پراکنش جمعیت‌های هرگونه برحسب سازگاری و میزان تحمل آن‌ها به متغیرهای محیطی متفاوت است. اما به‌طورکلی براساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه می‌توان گفت که براساس متغیر دما، ناحیه مناسب برای حضور و فعالیت اعضای جنس *Niphargus* در ایران، امتداد رشته‌کوه زاگرس است.

متغیرهای توپوگرافی مانند ارتفاع و درصد شیب نیز تأثیر چندانی بر روی توزیع این دسته از جانداران ندارند. درواقع زندگی و حضور اعضای این جنس در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد که این دسته از موجودات زیرزمینی دارای شرایط منحصربه‌فردی هستند. در حضور نور بعضی گونه‌ها پاسخ‌های استرس‌زا می‌دهند و به همین دلیل در روز و حضور نور در بخش‌های تاریک به سر می‌برند و برای تغذیه شبانه به چشمه‌های سطحی وارد می‌شوند (۳۱ و ۳۹)، اما بعضی دیگر از گونه‌ها به‌طور دائمی چندصدمتر دور از سطح سکونت دارند (۷و ۲۵). این عدم وابستگی به حضور در سطح زمین می‌تواند به دلیل سازگاری‌هایی باشد که به میزان متفاوت توسط گونه‌های این جنس کسب‌شده است (۲۳).

خوشه‌بندی به دلیل توانایی و قابلیت بالایی که در تلخیص اطلاعات و دسته‌بندی آن‌ها دارد موردتوجه بسیاری از محققان قرارگرفته است. ازاین‌رو با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی که دراین مطالعه استفاده شده‌اند تلاش شد تا با استفاده از روش خوشه‌بندی به روش K-means، شباهت و تفاوت بین متغیرهای مورداستفاده در نقاط حضور جنس بررسی شود (شکل۴). همچنین از این تحلیل برای بررسی شباهت جانوران بزرگ جثه نیز استفاده شده است (۲ و ۵). خوشه‌های سبزرنگ دراین قسمت نسبت به خوشه‌های زرد تعداد عضو بیشتری دارند که نشان از وجود مشابهت بیشتر در متغیرهای بوم‌شناختی مربوط به این نواحی از توزیع است. محدوده زردرنگ نیز توزیع نمونه‌های موجود در شمال کشور و حتی نمونه‌های موجود در زاگرس (کرمانشاه، ایلام و کردستان) را شامل می‌شود که می‌تواند نشان از عدم وجود تفاوت باشد. این یافته لزوم مطالعه با دقت بالاتر (بزرگ‌مقیاس) بر روی این نواحی را بیش از پیش روشن می‌سازد.

در ادامه بایستی گفت که بعضی از جمعیت‌های یک‌گونه دراین جنس، در یک یا چند زیستگاه با ویژگی‌های متفاوت و یا حوضه‌های آبریز متفاوت یافت می‌شوند. تعدادی از گونه‌های جنس *Niphargus* در ایران نیز چنین وضعیتی دارند که بر طبق بررسی محققین به توانایی متفاوت گونه‌ها در استفاده از ارتباطات هیدرولوژیکی و توانایی مهاجرت و پراکنش آن‌ها برمی‌گردد (۱۵).

به‌طورکلی، با استفاده از متغیرهای زیستگاهی و شاخص‌های مناسب می‌توان حدود و انتشار گروه‌های مختلف موجودات را بررسی کرد. در این راستا سنجش‌ازدور و محاسبات طیفی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. دراین مطالعه تلاش شد تا با بررسی متغیرهای بوم‌شناختی و اثر آن بر محیط زیرزمینی احتمال حضور اعضای جنس *Niphargus* در مناطق مختلف ایران مورد ارزیابی قرارگیرد. براساس نتایج، متغیر میزان بارش سالیانه از عواملی است که بیشترین تأثیر را در پراکنش این جنس دارد. همچنین داده‌های بوم‌شناختی نشان داد که بخش‌هایی از کردستان، آذربایجان شرقی و غربی از مناسب‌ترین مناطق برای حضور این تاکسون در ایران است.

سپاسگزاری

از دانشگاه رازی جهت حمایت‌های مالی جهت انجام این مطالعه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- باعقیده، م.، انتظاری، ع.، و کردی، آ.، ۱۳۹۷. بررسی ارتباط دمای خاک با پارامترهای آب‌وهوایی در شمال غرب ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۱۶، شماره۱، صفحات ۳۰۷-۲۷۹.

۲- پویانی، م. ع.، شمس اسفند آباد، ب.، احمدی، ع.، و ترنج زر، ا.، ۱۳۹۹. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پلیکان پا خاکستری (*Pelecanus crispus*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MAXENT) در ایران، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، سال دوازدهم، شماره ۲، صفحات ۹۰-۸۳.

۳- فیروزی جهان تیغ، ف.، و عامری، ح.، ۱۳۹۴. بررسی ویژگی‌های بیماران مبتلا به سل با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means، مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۱۵۹-۱۴۹.

۴- کرمپور، م.، یوسفی، ع.، و کوهپایه، نواب.، ۱۳۹۴. بررسی رابطه عناصر اقلیمی با پوشش گیاهی مراتع استان هرمزگان (مطالعه موردی *Gymnocarpus decander*)، فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال ۶، شماره ۳، صفحات ۴۸-۴۱.

۵- کرمی، پ.، و شایسته، ک.، ۱۳۹۷. بررسی آشیان بوم‌شناختی قوچ و میش (*Ovis oriantalis*) در مناطق حفاظت‌شده لشگر در - گلپر آباد، الوند-چالخاتون -راسوند و پلنگاب، فصلنامه علمی پژوهشی محیط‌زیست جانوری، سال دهم، شماره ۴، صفحات ۷۴-۶۵.

۶- میرزائی، ر.، همامی، م.، اسماعیلی ساری، ع.، و رضایی، ح.، ۱۳۹۲. مدل‌سازی پراکنش دلیجه کوچک (*Falco naumanni*) در استان گلستان، فصلنامه پژوهش‌های محیط‌زیست جانوری، سال ۴، شماره ۸، صفحات ۱۵۶-۱۴۹.

7- Avramov, M., Schmidt, S. I., Griebler, C., Hahn, H. J., and Berkhoff, S., 2010. Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2, PP: 74–81.

8- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., and Thuiller, W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? Methods in Ecology and Evolution, 3, PP: 327–338.

9- Boulton, A. J., 2005. Chances and challenges in the conservation of groundwaters and their dependent ecosystems, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 15, PP: 319-323.

10- Bregović, P., and Zagmajster, M., 2016. Understanding hotspots within a global hotspot identifying the drivers of regional species richness patterns in terrestrial subterranean habitats, Insect Conservation Diversity, 9, PP: 268–281.

11- Bryson, R. W., Prendini, L., Savary, W. E., and Pearman. P. B., 2014. Caves as microrefugia: Pleistocene phylogeography of the troglophilic

North American scorpion *Pseudouroctonus reddelli*. BMC evolutionary biology, 14, 1 p.

12- Calosi, P., Bilton, D. T., Spicer, J. I., Votier, S. C., and Atfield, A., 2010. What determines a species' geographical range? Thermal biology and latitudinal range size relationships in European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae), Journal of Animal Ecology, 79, PP: 194–204.

13- Camp, C. D., Wooten, J. A., Jensen, J. B., and Bartek, D. F., 2014. Role of temperature in determining relative abundance in cave twilight zones by two species of lungless salamander (Family Plethodontidae), Canadian Journal of Zoology, 92, PP: 119–127.

14- Castany, G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod Université, Paris, 238 p.

15- Castellarini, F., Malard, F., Dole-Olivier, M. J., and Gibert, J., 2007. Modelling the distribution of stygobionts in the Jura Mountains (eastern France), Implications for the protection of ground waters, Diversity and Distributions, 13, PP: 213–224.

16- Christman, M. C., Doctor, D. H., Niemiller, M. L., Weary, D. J., Young, J. A., Zigler, K., and Culver, D. C., 2016. Predicting the occurrence of cave-inhabiting fauna based on features of the earth surface environment, PLoS One, 11, e0160408 p.

17- Colson-Proch, C., Renault, D., Gravot, A., Douday, C. J., and Hervant, F., 2009. Do current environmental conditions explain physiological and metabolic responses of subterranean crustaceans to cold? The Journal of Experimental Biology, 212, PP: 1859–1868.

18- Culver, D. C., and Holsinger, J. R., 1992. How many species of troglobites are there?, National Speleological Society Bulletin, 54, PP: 79–80.

19- Culver, D. C., and Sket, B., 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells, Journal of Cave and Karst Studies, 62, PP: 11–17.

20- Delić, T., Švara, V., Coleman, C. O., Trontelj, P., and Fišer, C., 2017. The giant cryptic amphipod species of the subterranean genus *Niphargus* (Crustacea, Amphipoda), Zoologica scripta, 46, PP: 740–752.

21- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., and Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists, Diversity and distributions, 17, PP: 43–57.

22- Eme, D., Zagmajster, M., Delić, T., and Malard, F., 2017. Do cryptic species matter in macroecology? Sequencing European groundwater crustaceans yields smaller ranges but does not challenge biodiversity determinants, Ecography, https://doi.org/10.1111/ecog.02683

23- Esmaeili-Rineh, S., Sari, A., Delić, T., Moškrič, A., and Fišer, C., 2015. Molecular Phylogeny of the Subterranean Genus *Niphargus* (Crustacea: Amphipoda) in the Middle East: A Comparison with European Niphargids, Zoological Journal of the Linnaean Society, 175, PP: 812–826. https://doi.org/10.1111/zoj.12296

24- Esmaeili-Rineh, S., Mamaghani-Shishvan, M., Fišer, C., Akmali, V., and Najafi, N., 2020. Range sizes of groundwater amphipods (Crustacea) are not smaller than range sizes of surface amphipods: a case study from Iran, Contribution to Zoology, 89, PP: 1–13.

25- Fišer, C., Sket, B., and Stoch, F., 2006. Distribution of four narrowly endemic *Niphargus* species (Crustacea: Amphipoda) in the western Dinaric region with description of a new species, Zoologischer Anzeiger, 245, PP: 77–94.

26- Fišer, C., 2012. Niche-based mechanisms operating within extreme habitats: a case study of subterranean amphipod communities, Biology letters, 8, PP: 578–581.

27- Folquier, A., Malard, F., Lefébure, T., Douady, C. J., and Gibert, J., 2008. The imprint of Quaternary glaciers on the present-day distribution of the obligate groundwater amphipod *Niphargus virei* (Niphargidae), Journal of Biogeography, 35, PP: 552–564.

28- Franklin, J., 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.

29- Gaston, K. J., 2000. Global patterns in biodiversity, Nature, 405, PP: 220–227.

30- Gibert, J., and Deharveng, L., 2002. Subterranean ecosystems: A truncated functional biodiversity, BioScience, 52, PP: 3–81.

31- Glanville, K., Schulz, C., Tomlinson, M., and Butler, D., 2016. Biodiversity and biogeography of groundwater invertebrates in Queensland, Australia, Subterranean Biology, 17, PP: 55–76. https://doi.org/10.3897/subtbiol.17.7542

32- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., and Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale

geospatial analysis for everyone, Remote Sensing of Environment, 202, PP: 18-37.

33- Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P. E., McCarthy, M. A., Tingley, R., and Wintle, B. A., 2015. Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications, Global Ecology and Biogeography, 24, PP: 276–292.

34- Halse, S. A., 2018. Subterranean fauna of the arid zone, In: H Lambers (Ed.), The ecology of the Australian arid zone, Springer Nature, San Diego, PP: 215-241.

35- Kramer-Schadt, S., Niedballa, J., Pilgrim, J. D., Schröder, B., Lindenborn, J., Reinfelder, V., Stillfried, M., Heckmann, I., Scharf, A. K., Augeri, D. M., and Cheyne, S. M., 2013. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models, Diversity and Distributions, 19, PP: 1366–1379.

36- Mamaghani-Shishvan, M., and Esmaeili-Rineh, S., 2019. A two new species of groundwater amphipods of the genus *Niphargus* Schiødte (Crustacea, Amphipoda, Niphargidae) from the northwestern Iran, European Journal of Taxonomy, 546, PP: 1–23.

37- Mammola, S., and Leroy, B., 2018. Applying species distribution models to caves and other subterranean ecosystems, Ecography, 41, PP: 1194–1208.

38- Mammola, S., and Isaia, M., 2017. Rapid poleward distributional shifts in the European cave-dwelling Meta spiders under the influence of competition dynamics, Journal of Biogeography, doi: 10.1111/jbi.13087

39- Mathieu, J., and Turquin, M. J., 1992. Biological processes at the population level. II. Aquatic populations *Niphargus* (stygobiont amphipod) case, in the natural history of biospeleology, edited by A. I. Camacho, Monografias Museo Nacional de Ciencas Naturales, Madrid, PP: 264–293.

40- McNally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., Funk, C., Peters-Lidard, C. D., and Verdin, J. P., 2017. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications, Scientific Data, 4, 170012 p.

41- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., and Pearson, A. T., 2007. Predicting Species Distributions from Small Numbers of Occurrence Records: A Test Case Using Cryptic Geckos in Madagascar, Journal of Biogeography, 34, PP: 102–117.

42- Peers, M. J., Wehtje, M., Thornton, D. H., and Murray, D. L., 2014. Prey switching as a means of enhancing persistence in predators at the trailing southern edge, Global change biology, 20, PP: 1126–1135.

43- Pellegrini, T. G., Sales, L. P., Aguiar, P., and Ferreira, R. L., 2016. Linking spatial scale dependence of land-use descriptors and invertebrate cave community composition, Subterranean Biology, 18, PP: 17–38.

44- Peterson, A. T., and Soberón, J., 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right, Nature Conservation, 10, PP: 102–107.

45- Radosavljevic, A., and Anderson, R. P., 2014. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation, Journal of biogeography, 41, PP: 629–643.

46- Sharma, S., Arunachalam, K., Bhavsar, D., and Kala, R., 2018. Modeling habitat suitability of *Perilla frutescens* with MaxEnt in Uttarakhand, A conservation approach, Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 10, PP: 99–105.

47- Sket, B., 1999a. High biodiversity in hypogean waters and its endangerment in Slovenia, The Dinaric Karst, and Europe, Crustaceana Supplment, 72, PP: 767–779.

48- Sket, B., 1999b. The nature of biodiversity in hypogean waters and how it is endangered, Biodiversity and Conservation, 8, PP: 1319–1338.

49- Templ, M., Filzmoser, P., and Reimann, C., 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities, Applied Geochemistry, 23, PP: 2198–2213.

50- Trontelj, P., Douady, C. J., Fiser, C., Gibert, J., Goricki, S., Lefébure, T., Sket, B., and Zakšek, V., 2009. A molecular test for cryptic diversity in ground water: How large are the ranges of macro-stygobionts? Freshwater Biology, 54, PP: 727–744. doi: 10.1111/j.1365-2427.2007.01877.x

51- Väinölä, R., Witt, J. D. S., Grabowski, M., Bradbury, J. H., Jazdzewski, K., and Sket, B., 2008. Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater, Hydrobiologia, 595, PP: 241–255.

52- Zagmajster, M., Eme, D., Fiser, C., Galassi, D., Marmonier, P., Stoch, F., Cornu, J. F., and

Malard, F., 2014. Geographic variation in range size and beta diversity of groundwater crustaceans: Insights from habitats with low thermal seasonality, Global Ecology and Biogeography, 23, PP: 1135–1145. doi: 10.1111/geb.12200

Use maximum entropy modeling (MaxEnt) and K-mean clustering for analysis of subterranean habitats genus *Niphargus* in Iran

Karami P.[1] and Esmaeili-Rineh S.[2]

[1] Dept. of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I.R. of Iran.

[2] Dept. of Biology, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, I.R. of Iran.

Abstract

The amphipods of genus *Niphargus* Schiödte, 1847 inhabit in subterranean waters and constitute a substantial part of the groundwater biodiversity. In the last decades, there have been many developments for using of modelling algorithms, although not exclusive to the specific case of subterranean habitats. In this study, ecological variables were used to investigate the effect of environmental factors on *Niphargus* genus distribution. The occurrence points of the genus in north, west and northwest provinces were obtained from previous studies. Then, climatic variables, topography (slope, elevation, and moisture) were used, as well as temperature and moisture data at depths of 0 to 10 cm and 10 to 40 cm. In order to evaluate the similarity between habitat areas, k-mean clustering were used. Then, species distribution modeling was performed using Maximum Entropy Method at the country scale. The results showed that among all the variables used, only Bio14 had no normal distribution (P-value>0/05). Clustering results also showed that, the occurrence points of genus members is placed in two clusters, cluster 1 in the north of Iran and cluster 2 along of Zagros mountain range. There is similarities between two clusters. Two variables include the annual rainfall and soil temperature at depths of 10 to 40 cm have the most effect on the distribution of genus *Niphargus*. The results also showed that due to distance from the ground surface and the environmental variables, the same conditions exist in most occurrence points of this taxon.

Key words: Subterranean habitats, Clustering, Habitat Modelling, *Niphargus* genus, Iran.