14(4) 221-226, Winter 2023

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Modeling the effects of climate change on the distribution of *Salmo trutta* in Urmia lake Basin Rivers

Ahmad Hajizadeh Lilabadi [1], ***Ebrahim Hossein Najdegerami*** [1*], ***Hossein Mostafavi*** [2]

[1] *Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran*
[2] *Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

Key Words
Salmo trutta
Species Distribution Modelling
Algorithm
Climate scenario
Urmia Lake

Abstract

Introduction: Nowadays, based on the reports of the International Panel Climate Change (IPCC) there is no doubt that climate change has been occurring. All ecosystems on the earth have been concerned by the effects of climate change. Freshwater communities are particularly more vulnerable to the climate change because freshwaters are also exposed to numerous anthropogenic stressors such as hydrological, morphological, connectivity and, water quality pressures. The main objective of this study is to determine the effects of climate change on the *Salmo trutta* distribution under optimistic and pessimistic scenarios of 2050 and 2080.

Materials & Methods: For this purpose, Species Distribution Modelling (SDM) method was used. For this purpose, data related to fish observation as well as environmental variables like elevation, slope, maximum air temperature, range temperature, precipitation and, maximum width were collected. Then, different models including GLM, GAM, GBM, RF, CTA, FDA, MARS, ANN and SRE as well as the Ensemble model (in order to reduce the uncertainty), were used to predict the potential distributions of considered species at the scale of the Lake Urmia basin and Iran.

Results: The results showed that *Salmo trutta* populations will decline sharply in the optimistic scenario in 2050.

Conclusion: Whilst, in a similar scenario, populations of this species will disappear in 2080. In addition, the populations of *Salmo trutta* would become extinct in the pessimistic scenario, including two time scales in 2050 and 2080.

* Corresponding Author's email: e.gerami@urmia.ac.ir
Received: 2 October 2021; Reviewed: 4 November 2021; Revised: 7 January 2022; Accepted: 8 February 2022
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.309620.2657

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز *Salmo trutta* در حوضه دریاچه ارومیه

احمد حاجی‌زاده لیل‌آباد[۱]، ابراهیم حسین‌نجدگرامی*[۱]، حسین مصطفوی[۲]

[۱] گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

[۲] پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

کلمات کلیدی

Salmo trutta
مدل‌سازی پراکنش گونه
الگوریتم
سناریوهای اقلیمی
دریاچه ارومیه

چکیده

مقدمه: بر مبنای گزارش‌های کارگروه‌های بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)، هیچ‌گونه تردیدی در بروز پدیده تغییر اقلیم وجود ندارد، به‌طوری‌که تمامی اکوسیستم‌های موجود در کره زمین تحت تاثیر پیامدهای تغییر اقلیم قرار دارند. در بین اکوسیستم‌های آبی، جوامع آب‌شیرین نسبت به این تغییرات آسیب‌پذیرتر هستند چون آب‌های شیرین در معرض استرس‌های انسانی متعددی مانند هیدرولوژی، مورفولوژی، پیوستگی و کیفیت آب هم قرار دارند. هدف اصلی این مطالعه تعیین اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ است.

مواد و روش‌ها: برای این منظور از روش مدل‌سازی پراکنش گونه (SDM) استفاده گردید. در ابتدا اطلاعات مربوط به مشاهدات گونه و نیز متغیرهای محیطی مانند شیب، ارتفاع، دمای ماکزیمم، دمای رنج، بارش و عرض ماکزیمم جمع‌آوری شد و سپس با مدل‌های مختلف مانند ANN, MARS, FDA, RF, CTA, GBM, GAM, GLM و SRE و روش انسمبل (جهت کاهش عدم قطعیت) پتانسیل پراکنش این گونه در مقیاس حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایران و نیز در سناریوهای اقلیمی اشاره شده در بالا پیش‌بینی گردید.

نتایج: براساس نتایج به‌دست آمده، در سناریو خوش‌بینانه در مقیاس زمانی۲۰۵۰ گونه قزل‌آلای‌خال‌قرمز با خطر کاهش پراکنش جمعیتی بالقوه مواجه خواهد بود.

نتیجه‌گیری و بحث: براساس این نتایج سناریو خوش‌بینانه گونه در مقیاس زمانی ۲۰۸۰ با خطر انقراض از زیستگاه‌های حوضه آبریز مواجه خواهد بود. در سناریو بدبینانه در مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ گونه با خطر انقراض از زیستگاه مواجه می‌باشد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: e.gerami@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۰ مهر ۱٤۰۰؛ تاریخ داوری: ۱۳ آبان ۱٤۰۰؛ تاریخ اصلاح: ۱۷ دی ۱٤۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۹ بهمن ۱٤۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.309620.2657

مقدمه

امروزه تغییرات آب و هوایی یکی از مهم‌ترین مخاطراتی است که به‌صورت مزمن حیات بشری را از جنبه‌های مختلفی تحت تأثیر قرار داده است. گرمایش جهانی که برخلاف اصطلاح تغییر اقلیم، در مورد آن وفاق جهانی وجود دارد، در واقع به افزایش میانگین دمای جهانی طی چند دهه اخیر اشاره دارد (۱). درحالی‌که تغییر در اقلیم پدیده‌ای طبیعی است که در مقیاس زمانی چندهزار ساله رخ می‌دهد. تغییرات اقلیمی که اخیراً به‌وقوع پیوسته، در مقایسه با تغییرات اقلیمی دو میلیون سال پیش بسیار شدیدتر بوده است و زمین در طول سال‌های اخیر به اوج گرمای خود در دو هزار سال اخیر رسیده است. مطالعات مختلف نشان می‌دهند اگر روند تغییرات اقلیمی با همین سرعت ادامه یابد، مناطق حفاظت‌شده فعلی تضمین‌کنندهٔ ماندگاری و بقای طولانی مدت گونه‌ها نخواهند بود. در این میان اکوسیستم‌های آب‌شیرین با توجه به محدودیت و حساسیت بالای آن‌ها، در معرض آسیب بالایی قرار دارند. این اکوسیستم‌ها، یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های کره زمین بوده و با وجود محدود بودن آن‌ها، گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری را در خود جای داده‌اند. حفاظت از گونه‌های مختلف ماهیان موجود در این اکوسیستم‌ها با توجه به نقش آن‌ها در پایداری اکوسیستم‌های آب‌شیرین از یک سو و آگاهی از وضعیت و پایش مداوم آن‌ها برای درک وضعیت اکوسیستم می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای مدیران و محققین فراهم کند (۲). امروزه یکی از مهم‌ترین تکنیک‌ها در بررسی مسائل و تولید اطلاعات از داده‌های موجود، استفاده از روش‌های مدل‌سازی کامپیوتری است. کاربرد روش‌های مدل‌سازی در علوم زیست‌محیطی با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیک و نظری در چند دهه اخیر، به‌عنوان یکی از روش‌های نوین و قابل قبول در مطالعات مختلف و به‌عنوان ابزاری برای ایجاد دانش و اطلاعات کاربردی جهت اهداف گوناگون در ارزیابی و حفاظت از منابع طبیعی توسعه یافته است (۳). یکی از مهم‌ترین روش‌ها در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها در عرصه‌های محیط طبیعی، مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (Species Distribution Modeling :SDM) است. این مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری جهت بررسی ارتباط بین داده‌های توزیع جغرافیایی گونه (حضور یا فراوانی در مکان‌های شناخته شده) اطلاعات موجود در مورد ویژگی‌های زیست‌محیطی گونه تعریف می‌شود(۴). نتایجی در رابطه با استفاده‌از این مدل‌سازی در گونه‌های مختلف آبزیان در جهان و داخل کشور وجود دارد که می‌توان به مطالعه Mostafavi، اشاره کرد که تاثیرات تغییرات اقلیم بر پراکنش گونه‌های ماهیان حساس آب‌شیرین در سری‌های مختلف زمانی و مکانی را بررسی کرد که نتایج حاکی از این مسئله بود که تغییرات اقلیم بر پراکنش گونه‌های حساس ماهیان آب‌شیرین در سری‌های زمانی تاثیر داشته و جمعیت و پراکنش این گونه‌ها در آینده‌در سطح کشور کاهش خواهد یافت (۵). وضعیت طبیعی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در چند دهه اخیر متاثر از عواملی مانند تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت، استفاده بی‌رویه از آب‌های جاری و زیرزمینی برای گسترش کشاورزی بوده، صید بی‌رویه برخی از گونه‌های ماهیان، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی و نیز عدم وجود برنامه مدیریت زیست‌محیطی دچار تغییرات عظیمی شده و این مسائل باعث تغییرات زیاد زیستگاهی و محدود شدن عرصه زیستی و تنوع زیستی بسیاری از ماهیان در این حوضه شده است. نتایج بررسی‌های Hajizadeh Lilabadi، در مورد وضعیت گونه‌های حساس در حوضه دریاچه ارومیه نشان داده است که گونه‌های مشابه مانند *Acanthalburnus urmianus* نسبت به تغییرات اقلیمی در سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) حساس هستند و در سناریوهای مورد بررسی از اکوسیستم حوضه دریاچه ارومیه حذف یا منقرض خواهند شد (۶). قزل‌آلای خال‌قرمز نام گونه‌ای از خانواده آزادماهیان است که نسبت به تغییرات دما و مواد غذایی حساسیت خاصی دارد و به‌علت شرایط زیستی هیچ‌وقت به‌صورت پرورشی تکثیر نمی‌شود (۷). این گونه که در مناطق مختلف ایران و حوزه دریاچه ارومیه دیده می‌شود، یکی از شاخصه‌های سلامت اکوسیستم است و برای زیست احتیاج به آب سرد با اکسیژن بالا در بالادست رودخانه‌ها دارد (۸). هرچند این ماهی پر جنب و جوش است و حرکات سریعی در آب های شفاف دارند اما نسبت به آلودگی و ناهنجاری اکولوژیکی فوق‌العاده حساس است به طوری‌که با کاهش اکسیژن و افزایش دمای آب، شرایط زیست خود را از دست می‌دهد. با توجه به اهمیت حوضه دریاچه ارومیه و هم‌چنین بحث کاهش سطح آب و تاثیرات آن بر محیط پیرامون، ضرورت انجام مطالعه‌ای برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های حساس و بومی در قالب مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها (SDM)، به‌منظور ایجاد چارچوبی برای پیش‌بینی روند تغییرات در این اکوسیستم و برنامه‌ریزی‌های آتی ضروری به‌نظر می‌رسید. بنابراین این تحقیق با هدف بررسی پراکنش قزل‌آلای خال‌قرمز *Salmo trutta* با استفاده از روش مدل‌سازی SDM و با درنظر گرفتن سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران با مساحت تقریبی ۵۲۰۰۰ کیلومترمربع قرار گرفته و یکی از حوضه‌های آبریز اصلی کشور محسوب می‌گردد. حوضه آبریز دریاچه ارومیه از نظر تقسیمات

سیاسی و کشوری در حوزه استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان شرقی و کردستان واقع گردیده است. این حوزه در بین ارتفاعات زاگرس در شمال و ارتفاعات رشته کوه سبلان در جنوب‌شرقی و دامنه‌های ارتفاعات سهند در شمال‌شرقی و جنوب قرار گرفته است (۶). گونه قزل‌آلای خال‌قرمز براساس میزان پراکنش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، با مشخصات رده‌بندی و پراکنش زیستگاهی مندرج در جدول ۱، به‌عنوان یکی از گونه‌های حساس به تغییرات اقلیمی در این حوضه آبریز تعیین گردیده است (۹). تعیین شرایط پراکنش گونه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه براساس مدل‌سازی داده‌های محیطی، زیستگاهی و اقلیمی انجام گرفته‌است. در ابتدا ۱۷۰۰ سایت نمونه‌برداری مورد بررسی و پایش قرار گرفت که از این تعداد ۱۴۸۱ سایت برای مدل‌سازی باقی مانده است. تمامی اطلاعات بیولوژیکی مربوط به این سایت‌ها مربوط به داده‌های نمونه‌برداری نویسندگان، گزارش‌ها، مقالات و سایت اینترنتی (www.briancoad.com) Brian Coad هست. در این مدل‌سازی متغیر مورد استفاده شامل، بیش‌ترین عرض رودخانه (Max-Width)، شیب (Slope)، ارتفاع (Elevation)، میانگین اختلاف دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال (دمای رِنج) ($Ave\text{-}T_{range}$)، میانگین دما ($Ave\text{-}T_{mean}$)، میانگین کم‌ترین دما (T_{min}) میانگین بیش‌ترین دما (T_{max}) و میانگین بارش (Ave-Precipitation)، در قالب متغیرهای اولیه می‌باشند، که طبق آزمون همبستگی اسپیرمن بر پایه روش Barbett –Massin (۱۰)، شش متغیر به‌ترتیب به‌عنوان متغیرهای نهایی (بیش‌ترین عرض رودخانه، شیب، ارتفاع، میانگین اختلاف دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال یا دمای رِنج، میانگین دما، میانگین بارش) برای مدل‌سازی انتخاب شده اند.

جدول ۱: وضعیت گونه قزل‌آلای خال‌قرمز *Salmo trutta* در حوضه آب ریز دریاچه ارومیه و پراکنش آن (۹)

نام فارس گونه	نام علمی گونه	وضعیت از نظر IUCN	وضعیت پراکنش گونه			ارزش اکولوژیکی		ارزش اقتصادی		اطلاعات مربوط به پراکنش گونه
			بومی	غیر بومی	اندمیک	حساس	غیر حساس	ورزشی	اقتصادی	
قزل‌آلای خال‌قرمز	*Salmo trutta*	LC	*	-	-	*	-	*	$	سرشاخه‌های آجی‌چای، مرداق چای

متغیرهای اقلیمی در مدل‌سازی برای تعیین وضعیت آینده گونه براساس سناریوی خوش‌بینانه Representative Concentration Pathway (RCP2.6: 2.6) (تا پایان ۲۱۰۰ با میزان غلظت ppm ۴۹۰ برای CO_2 باجمعیت ۷ میلیارد نفر) و سناریوی بدبینانه (RCP8.5: Representative Concentration Pathway 8.5) (تا پایان ۲۱۰۰ میزان غلظت ۱۳۷۰ ppm برای CO_2 با جمعیت ۱۲ میلیارد نفر) (IPCC , 2014) و مدل اقلیمی گردش عمومی جو (GCMs:General Circulation Models) در دو مقیاس زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ از سایت www.worldclime.org تهیه و در محیط نرم‌افزاری Arc GIS 10.2 ویرایش شده است. در مدل‌سازی پراکنش گونه از بسته نرم‌افزاری BIOMOD2 (مدل‌سازی تنوع زیستی) با نه الگوریتم مدل‌سازی در زبان برنامه نویسی آر (R) استفاده گردید (۱۱)، که یک مدل کارا برای بررسی عدم قطعیت در روش‌های مدل‌سازی است. هم‌چنین، این مدل جهت به حداکثر رساندن عملکرد پیش‌بینی توزیع گونه‌ها دارای اهمیت خاصی است (۱۲). برای تعیین پراکنش گونه طبق داده‌های بیولوژیک وقوع گونه (داده‌های حضور و داده‌های شبه عدم حضور) و داده‌های اقلیمی در بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ میلادی مدل‌سازی پراکنش گونه تحت عنوان مدل نهایی تجمیع شده با روش SDM-BIOMOD انجام شده است. در این مرحله از بین کل داده‌های مورد استفاده برای گونه، ۷۰ درصد داده‌ها به‌نام پایگاه داده‌ای (داده‌های اصلی و شاهد)، ۳۰ درصد از داده‌ها به‌عنوان داده‌های مورد نیاز در کالیبراسیون و بررسی ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده واقع شده است (۱۰). الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل:

۱ . مدل خطی تعمیم یافته GLM (Generalised Linear Models)

۲ . مدل افزایشی تعمیم یافته GAM(Generalized Additive Model)

۳ . تجزیه و تحلیل درخت طبقه‌بندی CTA(Classification Tree Analysis)

۴ . شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN (Artificial Neural Network)

۵ . پوشش محدوده سطح SRE (Surface Range Envelops)

۶ . مدل‌های افزایش‌دهنده تعمیم یافته GBM(Generalized Boosting Method)

۷ . جنگل‌های تصادفی RF (Random Forest)

۸ . رگرسیون سازشی چند متغیره MARS(Multivariate Adaptive Regression Splines)

۹ . آنالیز تفکیکی انعطاف‌پذیر FDA(Flexible Discriminant Analysis)

نهایتاً اجرای مدل در نرم‌افزار R با داده‌های آب و هوای بازه زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ و پنج تکرار برای گونه قزل‌آلای خال‌قرمز، انجام گرفته و نتایج مدل‌سازی‌ها برای ارزیابی عملکرد آن براساس شاخص TSS در چهار کلاس کمی ارزیابی گردیده است. محدود عددی

شاخص در TSS از صفر تا یک بوده، و هرچه مقدار عددی بیش‌تر باشد، عملکرد مدل بهتری خواهد بود (جدول ۲).

جدول ۲: طبقه‌بندی کمی و کیفی عملکرد مدل براساس شاخص TSS

Accuracy	TSS
Excellent	۰/۸-۱/۰
Good	۰/۶-۰/۸
Fair	۰/۴-۰/۶
Poor	۰/۲-۰/۴
Failed	۰-۰/۲

نتایج

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها براساس شاخص ارزیابی True Skill Statistic (TSS)، پراکنش این گونه (*Salmu trutta*) را باعملکرد عالی توصیف کرد. هم‌چنین، در مدل‌سازی انجام‌شده برای این گونه تمامی مدل‌های مورداستفاده جز مدل SRE عملکرد عالی داشت، به‌طوری‌که عملکرد مدل SRE به‌عنوان ضعیف‌ترین مدل در سطح متوسط ارزیابی شد (شکل ۱). مهم‌ترین متغیرها در پراکنش این گونه با توجه به نتایج مدل‌سازی به‌ترتیب دامنه دمایی، میانگین بیشینه دما و ارتفاع ارزیابی شد (جدول ۳). هم‌چنین، نتایج مدل‌سازی نشان داد تغییر اقلیم تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی این گونه دارد (شکل ۲). در تمامی سناریوها در مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه، پیش‌بینی مدل نهایی (مدل انسمبل) نشان‌دهنده کاهش شدید محدوده پراکنش بالقوه برای گونه قزل‌آلای خال‌قرمز بود. هم‌چنین نتایج مدل (RCP 2.6) در هر دو مقیاس زمانی در محدوده پراکنش بالقوه نشان از کاهش شدید پراکنش این گونه بود. محدوده پراکنش بالقوه گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در هر دو مقیاس زمانی تقریباً ۱۰۰ درصد کاهش داشته و پیش‌بینی مدل در سناریو بدبینانه‌تر (RCP 8.5) در هر مقیاس زمانی، ۱۰۰ درصد کاهش در محدوده پراکنش بالقوه را نشان می‌دهد، درحالی‌که طبق جدول ۴ تنها در سناریو خوش‌بینانه به‌طور محدود چند ایستگاه جدید با پتانسیل پراکنش بالقوه برای این گونه در داخل و خارج از حوضه را پیش‌بینی می‌کند.

شکل ۱: ارزیابی عملکرد مدل‌سازی براساس شاخص TSS برای گونه *Salmu trutta*

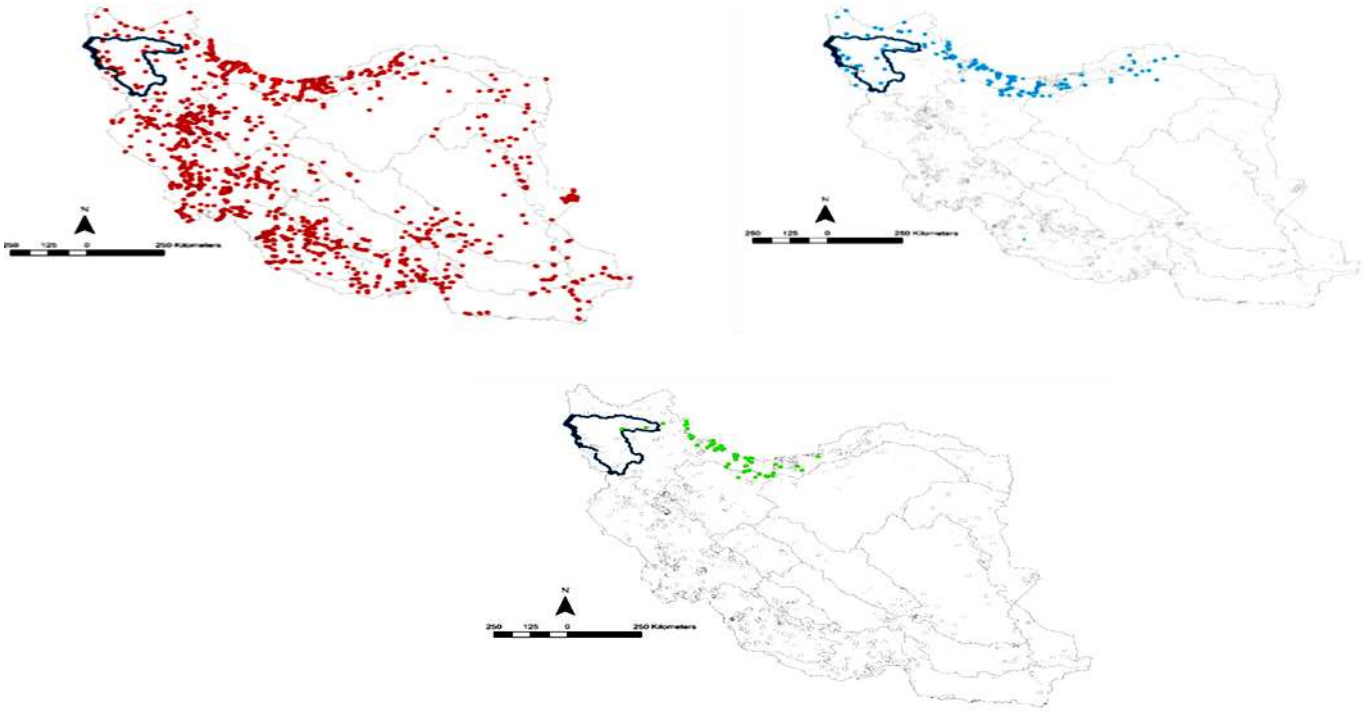
جدول ۳: اهمیت نسبی متغیرها استفاده شده در مدل‌سازی در گونه *Salmu trutta*

	Model									
	Ensemble	SRE	CTA	RF	MARS	FDA	GLM	GAM	GBM	ANN
Max-Width	0.07	0.16	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02	0.13	0.01	0.29
Slope	0.21	0.41	0.33	0.14	0.06	0.13	0.17	0.38	0.27	0.03
Elevation	0.29	0.11	0.00	0.04	0.41	0.00	0.48	0.77	0.05	0.78
Tmaxe	0.54	0.58	0.62	0.28	0.61	0.40	0.77	0.84	0.52	0.23
Ave-Tmax	0.40	0.48	0.63	0.23	0.07	0.33	0.32	0.51	0.46	0.57
Ave-Prec	0.18	0.11	0.00	0.05	0.35	0.28	0.00	0.26	0.00	0.63

جدول ۴: نتایج حاصل از مدل‌سازی در سناریوهای مختلف

RCP 8.5		RCP 2.6		
2080	2050	2080	2050	
1481	1481	1481	1481	کل ایستگاه ها
1318	1318	1318	1318	نامطلوب
0	0	0	0	بدون تغییر
163	163	163	163	کاهش
0	0	0	0	افزایش
100.00	100.00	100.00	100.00	درصد کاهش
0.00	0.00	0.00	0.00	درصد افزایش
-100.00	-100.00	-100.00	-100.00	تغییرات محدوده گونه

- ایستگاه‌ها در کل ایران در نظر گرفته شده است



شکل ۲: مدل پراکنش گونه قزل‌آلای خال‌قرمز در سناریوهای مختلف. پتانسیل توزیع گونه براساس مدل‌سازی (a)، دیتای (داده) واقعی پتانسیل پراکنش و مشاهده گونه در سناریوهای حال حاضر (b)، نتایج حاصل از تاثیر تغییر اقلیم در همه سناریوها (c) (براساس رنگ دایره‌های اشکال بالا: نقاط قرمز رنگ: نقاط عدم حضور، نقاط آبی: پتانسیل پراکنش گونه در حال حاضر، نقاط سبز: پتانسیل حضور گونه در سناریوهای اقلیمی)

بحث

گونه *Salmu trutta* یک گونه مهاجر است، که تغییرات اقلیم تاثیر بالایی بر پراکنش آن دارد. این گونه با توجه به روند تکاملی خود برای تولیدمثل و بقا مهاجرت می‌کند که الگو مهاجرت آن بر اساس سازگاری با شرایط محیطی شکل گرفته است، به‌طوری که تغییرات اقلیم و تغییر در شرایط محیطی موجب بر هم خوردن الگو زمانی و مکانی مهاجرت این گونه می‌شود. این گونه به مانند بسیاری از گونه‌های مهاجر، برای تولیدمثل و تخم‌ریزی به مناطق دیگر که شرایط مساعد محیطی برای رفتارهای تولیدمثلی و تخم‌ریزی گونه را فراهم می‌کند مهاجرت می‌کند که در صورت تغییر در شرایط محیطی ممکن است این مناطق کیفیت و یا کمیت لازم برای حمایت از گونه‌های مهاجر را از دست‌دهند و روند تولیدمثل و بقا این گونه‌ها را با مشکلات جدی رو به رو کنند (۹). در این مطالعه واکنش گونه قزل‌آلای خال‌قرمز به تغییرات محیطی در دوره‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ و در دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 و چگونگی پراکنش آن در داخل و خارج حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج سناریو خوش‌بینانه در مقیاس زمانی ۲۰۵۰ نشان داد که گونه قزل‌آلا خال‌قرمز با خطر کاهش پراکنش جمعیتی بالقوه مواجه است. هم‌چنین براساس این نتایج در این سناریو گونه در مقیاس زمانی ۲۰۸۰ با خطر انقراض از زیستگاه‌های حوضه آبریز مواجه خواهد بود. در سناریو RCP8.5 یعنی سناریو بدبینانه در مقیاس‌زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ گونه با خطر انقراض از زیستگاه مواجه می‌باشد. مطالعه دیگری در حوزه دریاچه ارومیه در زمینه استفاده از روش مدل‌سازی توزیع گونه (SDM) برای گونه‌های ماهیان حساس آب‌های شیرین توسط Hajizadeh Lilabadi انجام گرفته است که تاثیرات تغییرات اقلیم را در دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه در بازه‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر روی ماهی اندمیک کولی ارومیه (*Acanthalburnus urmianus*) بررسی کرد (۶). نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه Hajizadeh Lilabadi بر روی ماهی کولی ارومیه (۶) هم‌خوانی دارد، به‌طوری‌که که نتایج مطالعه وی نشان داد که طبق شاخص TSS پتانسیل حضور گونه کولی ارومیه فقط در خود حوضه در حالت خوش‌بینانه و بدبینانه برای سال ۲۰۵۰ حالت افزایشی و برای حالت خوش‌بینانه و بدبینانه در سال ۲۰۸۰ فقط کاهشی مشاهده شده است (۶). در این مطالعه عواملی مانند تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی و در نتیجه کاهش سطح آب بسیاری از رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، ازجمله عوامل تاثیرگذار در تغییرات پراکنش این گونه بومی در حوضه بیان شده بود. هم‌چنین Mostafavi، اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش ۴۷ گونه از ماهیان اغلب حساس ایران با ۹

مدل مختلف مدل‌سازی تحت سناریوهای مختلف انتشار خوش‌بینانه و بدبینانه در مقیاس‌های زمانی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی را بررسی کرد (۵). نتایج نشان داد که محدوده پراکنش بالقوه برخی از گونه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت، که نتایج مطالعه حاضر با مطالعه Mostafavi (۵) مطابقت دارد. براساس نتایج تفاوت چندانی مابین سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه وجود ندارد و برخی از گونه‌ها در هر دو سناریو و مقیاس زمانی به‌طور کامل ناپدید خواهند شد. برخی از گونه‌ها هم، در هر دو سناریو با افزایش انفجاری در محدوه پراکنش بالقوه خود روبرو خواهند شد. براساس نتایج او به‌طورکلی واکنش گونه‌های مختلف به تغییرات اقلیم در سناریوها و مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت خواهد بود. مطالعاتی هم نشان دادند که پراکنش گونه‌های حساس آب‌شیرین در زیستگاه چه از نظر مکانی (۱۳، ۱۴) و چه از نظر زمانی (۱۵) محدودتر می‌شود. Chu و همکاران، حضور و عدم حضور برخی از گونه‌های حساس و غیرحساس را با استفاده از رگرسیون لجستیک در آب‌های شیرین کانادا در سناریوهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ بررسی کردند (۱۳). نتایج آن‌ها نشان داد که گونه‌های حساس آب‌شیرین به‌طورکلی ناپدید و محل زیست برخی از گونه‌های سردابی و گرمابی به قسمت‌های شمالی کانادا محدود خواهد شد. هم‌چنین Buisson و همکاران، روی تغییر و تنوع ساختار جمعیت ماهیان رودخانه‌های ۹ حوضه آبخیز فرانسه مطالعه‌ای به‌روش حضور و عدم حضور انجام داده‌اند، براساس مطالعات آن‌ها گونه‌های سردابی کاهش قوی در سایت‌هایشان نشان داده‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها گونه‌های مناطق بالادستی رودخانه که عمدتاً از ماهیان حساس بودند براساس نتایج آن‌ها بسیار آسیب‌پذیر بودند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد که پراکنش گونه‌های پایین‌دستی به مناطق میان‌دستی و بالادستی گسترش خواهد یافت (۱۴). بنابراین، غنای گونه‌های محلی به‌صورت قابل توجه‌ای تغییر و در نتیجه تغییرات معنی‌داری در ساختار و ترکیبات جوامع ماهیان به‌وجود خواهد آمد. Filipe و همکاران، اثرات تغییرات اقلیمی را بر پراکنش ماهی قزل‌آلای خال قرمز در شبکه رودخانه‌های حوضه‌های ابرو، دانوب و البه اروپا بررسی کردند و نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که پراکنش این گونه در طول زمان در سناریوهای مختلف زمانی محدودتر می‌شود. نتایج این تحقیق در راستای نتایج تحقیقات قبلی می‌باشد که نشان می‌دهد با توجه به روند حاکم بر اکوسیستم‌های آبی مخصوصاً آب‌شیرین، تغییرات اقلیمی تاثیرات فاجعه باری را از نکته نظر کاهش و انقراض گونه‌های بومی و حساس خواهد داشت. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات اقلیم در طول زمان موجب تغییرات پراکنش گونه ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز می‌شود. این تغییرات از کاهش در محدوده پراکنش گونه تا انقراض در این محدوه را شامل می‌شود. در مواردی با وجود حذف مناطق فعلی پراکنش بالقوه این گونه، مناطق جدید دیگری با پتانسیل بالقوه برای پراکنش گونه فراهم نخواهد شد. بنابراین در صورت عدم پاسخ‌دهی بحث‌های حفاظتی و ادامه روند فعلی تغییرات اقلیمی، پروتکل‌های حفاظتی در خارج از محل زیست طبیعی ماهی قزل‌آلای خال قرمز می‌تواند در دستور کار سازمان‌های مربوطه قرار گیرد.

منابع

1. **New, M., Hulme, M. and Jones, P., 2000.** Representing twentieth-century space–time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. Journal of climate. 13: 2217-2238.
2. **Mostafavi, S.M., Rahmani, M., Kaboli, M. and Abdoli, A., 2020.** The effect of different environmental factors on habitat selection by *Salmo trutta* in Karaj River. Journal of Animal Environment. 12(3): 251-258. (In Persian) DOI: 10.22034/aej.2020.117908.
3. **Dale, K.M., Coleman, C.I., Henyan, N.N., Kluger, J. and White, C.M., 2006.** Statins and cancer risk: a meta-analysis. Jama. 295: 74-80.
4. **Elith, J. and Leathwick, J.R., 2009.** Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual review of ecology, evolution, and systematics. 40: 677-697.
5. **Mostafavi, H., 2015.** Investigating the effects of climate change on the distribution of sensitive freshwater fish species in different time series and different scales. MSc thesis, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University. 105 p. (In Persian)
6. **Hajizadeh Lilabadi, A., 2018.** Modeling to investigate the effects of climate change on the distribution of sensitive fish species in Urmia Lake basin. MSc thesis, Urmia University. 132 p. (In Persian)
7. **Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J., Jonsson, B., Jonsson, N., O'connell, M. and Mortensen, E., 2003.** Atlantic salmon Salmo salar L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecology of freshwater fish. 12: 1-59.
8. **Hashemzadeh Segherloo, I., Farahmand, H., Abdoli, A., Bernatchez, L. and Karami, M., 2012.** Identification of Brown Trout, *Salmo trutta*, of Mardgh River in Liqvan River (Iran), Using Microsatellite Loci. Journal of Fisheries. 65(3): 327-337. (In Persian)
9. **Abdoli, A. 2015.** The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife. 102 p. (In Persian)
10. **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: 327-338.
11. **R Development Core Team. 2011.** A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing Vienna, Austria.
12. **Thuiller, W., 2003.** BIOMOD–optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global Change Biology. 9: 1353-1362.
13. **Chu, W. and Keerthi, S.S., 2005.** New approaches to support vector ordinal regression in proceedings of the 22nd international conference on machine learning. 145-152.
14. **Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P. and Grenouillet, G., 2008.** Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. Global Change Biology. 14: 2232-2248.
15. **Filipe, A.F., Lawrence, J.E. and Bonada, N., 2013.** Vulnerability of stream biota to climate change in mediterranean climate regions: a synthesis of ecological responses and conservation challenges. Hydrobiologia. 719: 331-351.