Archive of SID

پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر مهاجرت فیل‌ماهی (*Huso huso* Linnaeus, 1754) در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر

تکتم مکی[1]، حسین مصطفوی*[1]، علی‌اکبر متکان[2]، حسین عقیقی[2]

[1]گروه تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم‌ها، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

[2]مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: hmostafaviw@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۱۲

چکیده

فیل‌ماهی از ماهیان شیلاتی بسیار گران‌بها در جهان است که به علت آلودگی‌های آبی، تغییرات هیدرولوژیک رودخانه‌ها، صید بی‌رویه و وجود موانع در رسیدن به محل‌های تخم‌ریزی در لیست قرمز اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) در طبقه "به شدت در معرض خطر انقراض" (CR) قرار گرفته است. با توجه به این که پدیده گرمایش جهانی در حال وقوع و اقلیم در حال تغییر است، در نتیجه این تغییر اقلیم سبب ایجاد چالش‌های جدید و مضاعف بر اکوسیستم‌های آبی و زیستمندان آن خواهد شد. هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش این گونه در آینده است. در این راستا، با استفاده از ابزار مدل‌سازی توزیع گونه (Species Distribution Modeling (SDM)، و روش مکسنت، پراکنش این گونه تحت سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) در دو مقیاس زمانی (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ میلادی) در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر پیش‌بینی شده است. همچنین متغیرهای محیطی استفاده شده شامل حداکثر عرض رودخانه، ارتفاع، شیب، میانگین بارش، میانگین دمای سالانه و اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال و حوضه پراکنش کنونی گونه است. نتایج نشان داد که عملکرد مدل در پیش‌بینی پراکنش گونه بر اساس معیار AUC (Area Under the Curve) بالا بوده است (۰/۹۶). براساس نتایج مدل‌سازی، تغییر اقلیم سبب تغییر در زیستگاه‌های مطلوب گونه در همه‌ی سناریوها در آینده نخواهد شد. بنابراین اگر مشکلات حال حاضر باعث حذف این گونه نشود، احتمال مقاومت این گونه در مقابل تغییر اقلیم خوشبختانه زیاد است.

واژگان کلیدی: ماهی خاویاری، مدل‌سازی، اکولوژی، حفاظت، ایران.

مقدمه

امروزه پدیده تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای فعالیت‌های انسانی بر نظام آب و هوایی کره زمین مورد توجه قرار دارد (Pittock, 2017). به عبارتی تغییر اقلیم به علت نقش عوامل انسانی با شدت و سرعت بیشتری نسبت به سایر دوره‌های تغییر و تحول در اقلیم جهانی در حال وقوع است و این ویژگی موجب می‌شود تا اکوسیستم‌ها و گونه‌های موجود زمان کافی برای سازگاری و همگامی با این تغییر محیطی را نداشته باشند (Lovejoy and Hannah, 2005).

با توجه به روند تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و موقعیت جغرافیایی فلات ایران، این پدیده اثرات فراوانی بر اکوسیستم‌های کشور به‌خصوص اکوسیستم‌های آب شیرین و رودخانه‌ها خواهد گذاشت. با توجه به این‌که از قبل عوامل متعددی مانند تغییرات کیفی آب، هیدرولوژی، مورفولوژی، کاربری اراضی و نیز ورود گونه‌های غیربومی به همراه صید بی‌رویه، تنوع زیستی اکوسیستم‌های آبی کشور را تهدید می‌کنند، این پدیده شدت و سرعت روند تخریب را احتمالاً افزایش خواهد داد (Mostafavi *et al.*, 2014, 2019a, b).

دانشمندان جهت مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی و کاهش خسارات ناشی از تغییر اقلیم، مطالعات متعددی را تاکنون در زمینه پیش‌بینی و مدل‌سازی این اثرات به‌خصوص در ارتباط با علوم

www.SID.ir

Archive of SID

زیستی، منابع طبیعی و آب داشته‌اند. در حقیقت فهم اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش، جمعیت و ساختار جوامع گیاهی و جانوری و کارکردهای اکوسیستمی از مهم‌ترین چالش‌ها در علم بوم‌شناسی مدرن به شمار می‌رود (رشیدیان، ۱۳۹۵ ;Dale, 2003). امروزه یکی از مهم‌ترین تکنیک‌ها در بررسی مسائل و تفسیر داده‌های بوم‌شناختی استفاده از روش‌های مدل‌سازی آماری است. استفاده از روش‌های مدل‌سازی برای شبیه‌سازی فرایندهای جهان واقعی به شکل ساده کمک می‌کنند تا شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های طبیعی با تمام پیچیدگی‌های موجود میسر شود (رشیدیان، ۱۳۹۵ ;Dale, 2003).

در این راستا، پیش‌بینی توزیع یا پراکنش گونه‌ها (Species Distribution Modeling) SDM طی چند سال اخیر به عنوان یک ابزار مهم برای مدیریت و برنامه‌ریزی حفاظت تبدیل شده است. برای این منظور تاکنون طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های مدل‌سازی توسعه یافته‌اند (Franklin, 2010). این مدل‌ها معمولاً با استفاده از ارتباط بین متغیرهای محیطی و سوابق وقوع گونه‌ها به شناسایی شرایط محیطی که در آن جمعیت‌ها می‌توانند حضور داشته باشند می‌پردازند. یعنی توزیع مکانی از محیط‌هایی که برای گونه‌ها مناسب بوده را مدل‌سازی می‌کنند و سپس پراکنش گونه‌ها برای سراسر منطقه مورد مطالعه برآورد می‌شود (Pearson *et al.*, 2007). این رویکرد اثبات کرده که ارزش بسیاری برای تولید اطلاعات جغرافیای زیستی داشته و در طیف وسیعی از زمینه‌های زیست‌شناسی حفاظت، محیط‌زیست و زیست‌شناسی تکاملی کاربرد دارد. مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به عنوان یک مدل برای بررسی ارتباط داده-های توزیع گونه (حضور یا فراوانی در مکان‌های شناخته شده) با اطلاعات در مورد ویژگی‌های زیست‌محیطی و یا فضایی محیط‌زیست گونه تعریف می‌شود. در واقع مدل‌های توزیع گونه‌ها ابزارهای عددی هستند که ترکیب مشاهدات وقوع گونه یا فراوانی را به صورت یک برآورد زیست‌محیطی معمولاً در یک مدل آماری انجام می‌دهند (Elith and Leathwick, 2009). به عبارت دیگر مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به منظور کمی کردن روابط بین گونه‌ها و محیط ایجاد شده است (Guisan and Thuiller, 2005).

این مطالعه با هدف مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش مکانی گونه فیل‌ماهی (*Huso huso*) تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در سال‌های مختلف صورت گرفت. این گونه از ماهیان شیلاتی بسیار گران‌بها و به بیانی دیگر، یکی از گران‌بهاترین ماهیان جهان است. این گونه به علت آلودگی‌های آبی، تغییرات هیدرولوژیک رودخانه‌ها، صید بی‌رویه و وجود موانع در رسیدن به محل‌های تخم‌ریزی در لیست قرمز اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) در طبقه "به شدت در معرض خطر انقراض" (CR = Critically endangered) قرار گرفته است. بنابراین با توجه به پدیده تغییر اقلیم نیاز هست که وضعیت مهاجرت این گونه در داخل رودخانه‌های حوضه‌ی خزر و پتانسیل رودخانه‌های دیگر برای مهاجرت یا جابجایی مصنوعی این گونه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

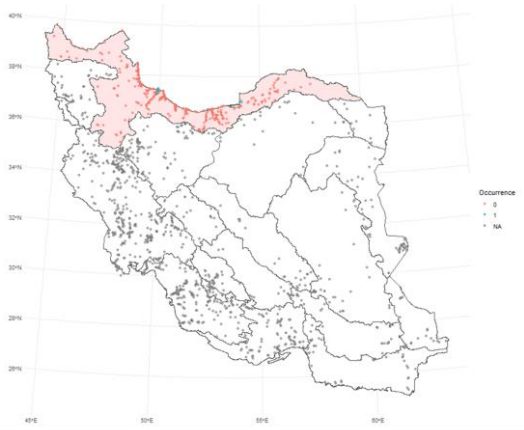
منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این تحقیق کشور ایران با موقعیت جغرافیایی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی است که شامل ۱۹ حوضه آبریز اصلی می‌باشد (Coad, 1980) (شکل ۱).

گونه مورد مطالعه و داده‌های واقعی پراکنش یا مهاجرت در رودخانه: فیل‌ماهی به خانواده‌ی تاس-ماهیان (Acipenseridae) یا ماهیان خاویاری تعلق دارد. این گونه رودرو و آب‌های گرم را ترجیح داده و در هنگام مهاجرت در بستر رسی و ماسه‌ای و شنی بسر می‌برد. دامنه وسیعی از دما را تحمل می‌نماید (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Coad, 2020) .

داده‌های مربوط به حضور واقعی گونه‌ی مورد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ – حوضه‌های آبریز ایران و نقاط حضور / مهاجرت گونه فیل‌ماهی در حوضه جنوبی دریای خزر بر اساس اطلاعات موجود. ۱: حضور واقعی گونه، ۰: عدم حضور گونه، NA: نقاط زمینه.

مطالعه در این مدل‌سازی متشکل از مطالعات قبلی، داده‌های مربوط به موزه‌ها و پایگاه داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها (شخصی) از ۱۴۸۱ ایستگاه می‌باشد. موقعیت نقاط حضور این گونه در شکل ۱ نشان داده شده است.

متغیرهای محیطی: نه متغیر محیطی شامل حداکثر عرض رودخانه (Max_Width)، ارتفاع (ELEV)، شیب (SLO)، میانگین بارش (Ave_Prec)، میانگین دمای سالانه (Ave_Tmean)، دمای سردترین ماه سال (Tmin)، دمای گرم‌ترین ماه سال (Tmax) اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال (Trange) و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه (BAS) در این مطالعه انتخاب شدند، روش استخراج این داده‌ها براساس Mostafavi و همکاران (۲۰۱۴) بود. همبستگی بین متغیرهای محیطی با استفاده از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن مورد بررسی قرار گرفت. سپس یکی از دو متغیری که دارای همبستگی بالا (|r> ۰/۷۵|) بوده‌اند، برای جلوگیری از همبستگی حذف شدند (Filipe *et al.*, 2013). داده‌های اقلیمی مورد نیاز نیز از وب‌سایت WorldClim با رزولوشن یک کیلومترمربع تهیه شد (Fick and Hijmans, 2017) و سناریوهای انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 برای گزارش پنجم IPCC در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مدنظر قرار گرفت.

روش مدل‌سازی: در این مطالعه مدل‌سازی توسط مکسنت (MaxEnt) در نرم‌افزار R انجام شد. این مدل به‌طور گسترده‌ای در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها کاربرد دارد (Hijmans *et al.*, 2017; Abolmaali *et al.*, 2018). در برآورد حداکثر تراکم آنتروپی، پراکنش واقعی یک گونه به صورت توزیع احتمال p بر مجموعه X از سایت‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده می‌شود (Phillips and Dudík, 2008).

میزان دقت مدل نیز به کمک منحنی ROC برآورد می‌شود. این منحنی یکی از متداول‌ترین روش‌های آماری است که در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌شود؛ سطح زیر منحنی (AUC) بیانگر میزان پیش‌بینی مدل از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست نقاط حضور و عدم حضور است (Phillips *et al.*, 2006). مقادیر سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنان چه سطح زیر منحنی برابر با ۰/۵ باشد بیان‌کننده تصادفی بودن مدل است. اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو می‌تواند نقاط حضور و عدم حضور را مشخص نماید. و مدل‌هایی که مقدار آن‌ها بالای ۰/۷۵ باشد جزو مدل‌های خوب دسته‌بندی می‌شوند (Elith and Burgman, 2002).

همچنین، مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در تعیین پراکنش گونه مورد نظر در منطقه مطالعاتی با استفاده از آزمون جک نایف مشخص و در نهایت نقشه پراکندگی گونه فیل‌ماهی در ایران تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ تولید شد.

نتایج

بعد از آزمون همبستگی (|r> ۰/۷۵|)، از نه متغیر محیطی، هفت متغیر شامل حداکثر عرض رودخانه (Max_Width)، ارتفاع (ELEV)، شیب (SLO)، میانگین بارش (Ave_Prec)، میانگین دمای سالانه (Ave_Tmean)، اختلاف دما بین سردترین و

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ - نتایج پیش‌بینی پراکنش گونه فیل‌ماهی تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP 4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰.

	RCP 4.5		RCP 8.5	
	دوره ۲۰۵۰	دوره ۲۰۸۰	دوره ۲۰۵۰	دوره ۲۰۸۰
کل ایستگاه‌ها	۱۴۸۱	۱۴۸۱	۱۴۸۱	۱۴۸۱
بدون تغییر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
درصد کاهش	۰	۰	۰	۰
درصد افزایش	۰	۰	۰	۰
تغییرات محدوده گونه	۰	۰	۰	۰

شکل ۲ - ارزیابی عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی گونه فیل‌ماهی (Sensivity= حساسیت، Specifity= اختصاصیت، Omission Rate= نرخ حذف) بر اساس شاخصAUC.

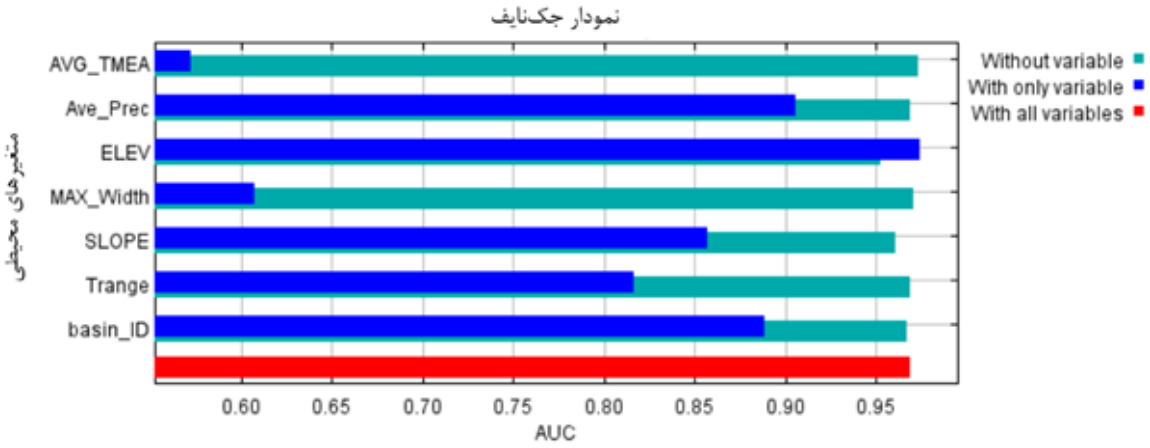
گرم‌ترین ماه‌های سال (Trange) و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه (BAS) برای مدل‌سازی انتخاب شدند. نتیجه حاصل از ارزیابی کارایی مدل مکسنت با استفاده از شاخص AUC نشان می‌دهد که این مدل دارای توانایی خوبی در پیش‌بینی پراکنش گونه فیل‌ماهی بوده است (شکل ۲). همچنین بر اساس نتایج، همه‌ی متغیرها دارای اهمیت نسبی بوده‌اند، اما به ترتیب متغیر ارتفاع، میانگین بارش، حوضه پراکنش کنونی، شیب، اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال، حداکثر عرض رودخانه و میانگین دمای سالانه اهمیت بیشتری را نشان داده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴). در مجموع، هیچ حوضه پراکنشی جدید و نقاط جدیدی برای این گونه تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۵۰ و ، پیش‌بینی نشده است (شکل ۴ و جدول ۱).

بحث

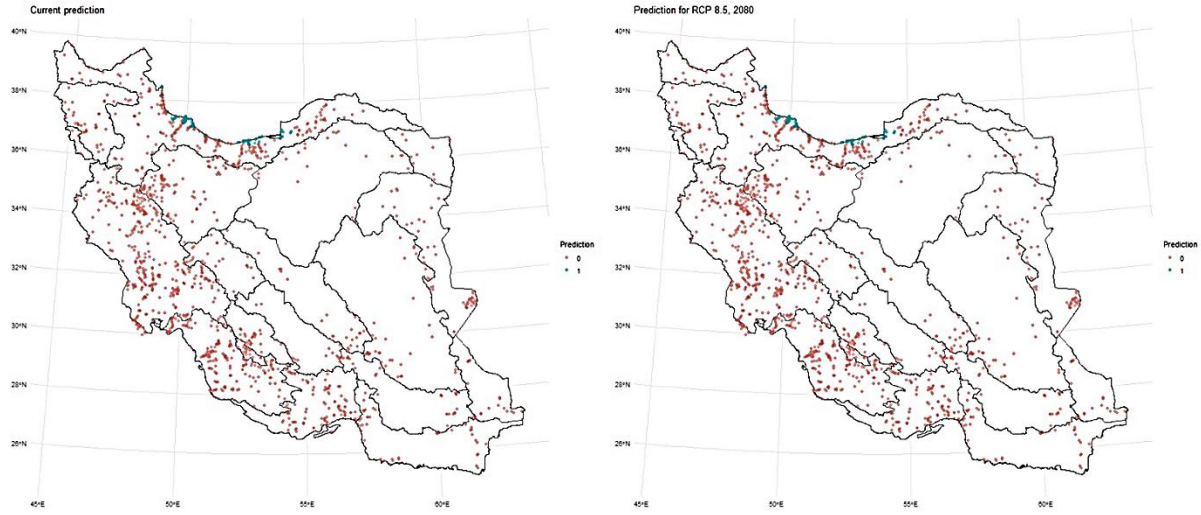
براساس نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در زمینه‌ی تغییرات متغیرهای آب و هوایی، تغییر اقلیم در ایران موجب رویدادهایی همچون تغییر الگوهای زمانی و مکانی و میزان بارش و تغییر در الگوهای دمایی در تمامی مناطق کشور مانند افزایش متوسط دمای سالانه، افزایش تعداد روزهای داغ در اکثر مناطق کشور، کاهش روزهای یخبندان در فصول سرد سال، افزایش تعداد روزهای خشک در اکثر مناطق کشور به خصوص در فصول گرم و افزایش در بروز پدیده‌های جدی آب و هوایی شده که این رویدادها از گستردگی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ - اهمیت نسبی متغیرها بر اساس آزمون جک‌نایف در توزیع گونه فیل‌ماهی، شامل حداکثر عرض رودخانه(Max_Width)، ارتفاع(ELEV)، شیب (SLO)، میانگین بارش (Ave_Prec)، میانگین دمای سالانه (Ave_Tmean)، اختلاف دما بین سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال (Trange) و حوضه‌های پراکنش کنونی گونه (BAS) می‌باشد.



شکل ۴ - ارزیابی عملکرد مدل مکسنت در پیش‌بینی گونه فیل‌ماهی (Sensivity= حساسیت، Specifity= اختصاصیت، Omission Rate= نرخ حذف) بر اساس شاخص AUC.

و شدت تغییر اقلیم در کشور خبر می‌دهند (Kuchaki *et al*,. 2007). بنابراین تردیدی نیست که تنوع زیستی کشورمان تحت تأثیر این تغییرات قرار گیرد. این مقاله تأثیر تغییر اقلیم را بر یک گونه‌ی خیلی مهم و با ارزش بررسی کرده که در فهرست قرمز IUCN است. این‌گونه هر ۲ یا ۳ سال یک‌بار، تخم‌ریزی می‌کند و بین ۱۴ و ۱۶ سالگی بالغ می‌شود (کیوانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Coad, 2020). این گونه برای بقاء خودش به اکوسیستم‌های رودخانه‌ای وابسته است و در حقیقت برای تخم‌ریزی به رودخانه‌های شرق تا غرب حوضه‌ی خزر در کشورمان مهاجرت می‌نماید. هدف این مطالعه این بود که آیا این گونه در آینده تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی مجدداً به رودخانه مهاجرت می‌نماید یا خیر؟ نتایج نشان داد که امکان مهاجرت وجود خواهد داشت.

تغییر اقلیم با توجه به شرایط اولیه اکوسیستم‌ها، پیامدهای متفاوتی بر گونه‌های مختلف خواهد داشت. هر یک از گونه‌های ماهیان نسبت به تغییرات محیطی حاصل از تغییر اقلیم واکنش خاصی نشان می‌دهند (Buisson *et al.*, 2008; Simpson *et al.*, 2013; Carosi *et al.*, 2019). و وضعیتی که جمعیت گونه‌ها با آن روبه‌رو خواهند شد به عوامل

www.SID.ir

Archive of SID

زیر بستگی دارد: (۱) آیا گونه دامنه‌ی اندکی از درجه حرارت را تحمل می‌کند یا طیف وسیعی از دما را می‌تواند تحمل کند، (۲) اندازه و نرخ تغییر حرارتی در اکوسیستم، (۳) پاسخ ژنتیکی جمعیت به فشارهای انتخابی جدید، (۴) توانایی حرکت و جابجایی برای مهاجرت به مناطقی با شرایط حرارتی مناسب‌تر، (۵) تغییرات در فراوانی و توزیع گونه‌های دیگر که ممکن است طعمه، شکارچی و یا رقبایی برای گونه موردنظر باشند و (۶) میزان دسترسی به منابع فیزیکی لازم مانند پارامترهای زیستگاه و کیفیت آب. برآیند این عوامل در هر گونه موجب انتخاب استراتژی‌های مختلفی برحسب نوع گونه می‌شود (رشیدیان، ۱۳۹۵).

سازگاری از گزینه‌های پیش روی گونه است. گونه برای سازگاری با تغییرات نیازمند بستری از تنوع ژنتیکی در ژنوم خود می‌باشد. توانایی گونه برای سازگاری به انطباق‌پذیری ژنتیکی و درجه تخصصی شدن آن‌ها بستگی دارد (Ficke *et al*., 2007). با توجه به ویژگی‌های گونه فیل‌ماهی و نتایج این مطالعه، به نظر می‌رسد که سازگاری لازم با شرایط جدید اقلیمی در ژنوم جمعیت‌های موجود وجود داشته باشد. در عین حال مشاهده شده که گونه‌های زیادی پاسخ‌های غیر از این مطالعه نشان داده‌اند به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای که توسط Esmaeili و همکاران (۲۰۱۸) در ارتباط با تأثیر تغییر اقلیم بر جنس *Alburnus* در ایران انجام شد، مشاهده شد که زیستگاه‌های مطلوب این جنس در آینده کاهش خواهد یافت. یا نتایج مطالعات Mostafavi و Kambouzia (۲۰۱۹) و Mostafavi و همکاران (۲۰۱۸) بر گونه‌های *Salmo trutta* و *Alburnus filippii* نتایج مشابه مطالعه فوق داشته و زیستگاه‌های مطلوب به‌صورت اساسی کاهش پیدا کرده‌اند.

Buisson و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای روی تغییر و تنوع ساختار ماهیان رودخانه‌ای نه حوضه آبخیز فرانسه انجام داده‌اند، بر اساس مطالعات آن‌ها گونه‌های سردابی کاهش قوی در سایت‌هایشان نسبت به تغییر اقلیم نشان داده‌اند در عین حال خیلی از گونه‌های سردابی و گرمابی محدود به سایت‌های جدید شده‌اند. گونه‌های مناطق بالادستی رودخانه بسیار آسیب‌پذیرتر نسبت به گونه‌های پایین‌دستی بوده‌اند. بنابراین، غنای گونه‌های محلی به صورت قابل‌توجهی تغییر و در نتیجه بر اساس مطالعه آن‌ها تغییرات معنی‌داری در ساختار و ترکیبات ماهیان به وجود خواهد آمد. Chu و همکاران (۲۰۰۵) اثرات تغییرات اقلیمی را بر روی چند گونه معمول و کمیاب در آب‌های شیرین کانادا بررسی کرده‌اند. آن‌ها بر اساس لوجستیک رگرسیون حضور و عدم حضور گونه‌ها را در سناریوهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها گونه‌های حساس آب شیرین به‌طورکلی ناپدید شده و پیش‌بینی شده است که برخی از گونه‌های سردابی و گرمابی به قسمت‌های شمالی کانادا محدود شوند. همچنین Xenopoulos و همکاران (۲۰۰۵)، بیان کردند که تا سال ۲۰۷۰، حدود ۷۵ درصد تنوع زیستی ماهیان محلی به سمت انقراض می‌روند.

با توجه به اکولوژی این گونه بر اساس کیوانی و همکاران (۱۳۹۵) که دامنه وسیعی از دما را تحمل می‌کند و این‌که این گونه پیشینه‌ای چند صدمیلیون ساله دارد، نتایج مدل‌سازی این گونه را تائید می‌کند و به احتمال زیاد تغییر اقلیم بر پراکنش آن تأثیری در آینده ندارد. در عین حال از آن‌جایی که عدم قطعیت در همه‌ی مدلسازی‌ها وجود دارد شایان ذکر است که در آینده این نتیجه با متغیرها و داده‌های بیشتر و حتی با مدل‌های مکانیکی تست و بررسی شود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان‌دهنده عدم تأثیرپذیری گونه مورد مطالعه از تغییر اقلیم بر خلاف خیلی از گونه‌ها است و این نتیجه با توجه به انواع تهدیدات انسانی که بر جمعیت و زیستگاه این گونه وجود دارد، بسیار امیدوارکننده است. در خاتمه این‌گونه مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها و زیستگاه‌های ارزشمند در مبحث حفاظت از تنوع زیستی فراهم کند که این اطلاعات می‌تواند راهنمای مناسبی برای مدیران عرصه حفاظت از تنوع زیستی در مواجهه با تغییرات پیش‌رو باشد.

منابع

رشیدیان دولیسکانی م. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر روی پراکنش گونه‌های ماهیان حساس آب شیرین در سری‌های مختلف زمانی و مقیاس-های مختلف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی تنوع زیستی و مدیریت اکوسیستم، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

کیوانی ی.، عبدلی ا.، نصری م.، عباسی ک. ۱۳۹۵. اطلس ماهیان آب‌های داخلی ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی استان البرز. ۲۳۴ ص.

Abolmaali SM.-R., Tarkesh M., Bashari H. 2018. MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, Daphne mucronata, in central Iran. *Ecological Informatics* 43, 116–123.

Buisson L., Thuiller W., Lek S., Lim P.U.Y., Grenouillet G. 2008. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology* 14, 2232-2248.

Carosi A., Padula R., Ghetti L., Lorenzoni M. 2019. Endemic Freshwater Fish Range Shifts Related to Global Climate Changes: A Long-Term Study Provides Some Observational Evidence for the Mediterranean Area. *Water* 11, 23-49.

Chu C., Mandrak N.E., Minns C.K. 2005. Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada. *Diversity and Distributions* 11. 299–310.

Coad B.W. 2020. Freshwater Fishes of Iran, Contents. Available from: www.briancoad.com.

Coad B.W. 1980. Environmental change and its impact on the freshwater fishes of Iran. *Biological Conservation* 19, 51-80.

Dale V.H. 2003. Ecological modeling for resource management. Springer Science & Business Media. 345 p.

Elith J., Burgman M.A. 2002. Predictions and their validation: rare plants in the Central Highlands, Victoria, Australia. *Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale* 303-314.

Elith J., 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.

Esmaeili H.R., Sayyadzadeh G., Eagderi S., Abbasi K. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3, 1,95.

Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37, 4302-4315.

Ficke A.D., Myrick C.A., Hansen L.J. 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 17, 581-613 .

Filipe A.F., Markovic D., Pletterbauer F., Tisseuil C., De Wever A., Schmutz S., Bonada N., Freyhof J. 2013. Forecasting fish distribution along stream networks: brown trout (*Salmo trutta*) in Europe (A Ricciardi, Ed). *Diversity and Distributions* 19, 1059-1071.

Franklin J. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press. UK. 340 p.

Guisan A., Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8, 993-1009.

Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J., Hijmans M.R.J. 2017. Package 'dismo'. *Circles* 9, 1-68.

Kuchaki A.M., Nassiri Gh., Kamali A. 2007. Study of Iran Meteorological Indicators in Climate Change. *Iranian Journal of Agricultural Research* 5. 133-143.

Lovejoy T.E., Hannah L. 2005. Climate change and biodiversity. Yale University Press, New Haven, CT. 418 p.

Mostafavi H., Kambouzia J. 2019. Impact of climate change on the distribution of brown trout, *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Teleostei: Salmonidae) using ensemble modelling approach in Iran. *Iranian*

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Ichthyology 6, 73-81.
Mostafavi H., Pletterbauer F., Coad B.W., Mahini A.S., Schinegger R., Unfer G., Trautwein C., Schmutz S. 2014. Predicting presence and absence of trout (Salmo trutta) in Iran. *Limnologica* 46, 1-8.
Mostafavi H., Rashidian Doliskani M., Valavi R. 2018. Modelling the effects of climate change on the distribution of Kura bleak (*Alburnus filippii* Kessler, 1877) on the Iranian scale. *Journal of Applied Ichthyological Research* 6, 1-12.
Mostafavi H., Kordjazi Z., Valavi R., Shafizadeh-Moghadam H., Kambouzia J., Infante D.M. 2019a. Ensemble Modelling of Sensitive Stream Fish Species Distributions in Iran: Expanding knoowledge to Aid Species Conservation. *American Fisheries Society Symposium* 90. 1-5.
Mostafavi H., Teimori A., Schinegger R., Schmutz S. 2019b. A new fish based multi-metric assessment index for cold-water streams of the southern Caspian Sea Basin in Iran. *Environmental Biology of Fishes* 102, 645-662.
Pearson R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M., Townsend Peterson A. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34, 102-117.
Phillips S.J., Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161-175.
Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259.
Pittock A.B. 2017. Climate change: turning up the heat. Routledge. London. 328 p.
Simpson S.D., Blanchard J.L., Genner M.G. 2013. Impacts of climate change on fish. *Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review* 113-124.
Xenopoulos M.A., Lodge D.M., Alcamo J., Märker M., Schulze K., Van Vuuren D.P. 2005. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology* 11, 1557-1564.

www.SID.ir

Archive of SID

Predicting effects of climate change on Beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1754) migration in the rivers of the southern part of the Caspian Sea basin

Toktam Makki[1], Hossein Mostafavi[*1], AliAkbar Matkan[2], Hossein Aghighi[2]

[1]Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
[2]Remote Sensing and GIS Centre, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
*Corresponding author: hmostafaviw@gmail.com
Received: 2020/6/1 Accepted: 2020/11/2

Abstract

Beluga is one of the most valuable commercial fishery species, and due to water pollution, hydrological changes in rivers, overfishing, and barriers to reach spawning habitats, this species has been categorized as Critically Endangered (CR) by International Union for Conservation of Nature (IUCN). Given that the climate change is occurring, new and intensive challenges for aquatic ecosystems and their habitats will create as a result of this phenomenon. The aim of this study is to investigate the effect of climate change on this species distribution in the future. In this regard, using Species Distribution Modeling (SDM) and MaxEnt, the distribution of Beluga was predicted under optimistic (RCP4.5) and pessimistic (RCP8.5) scenarios in two-time scales (2050 and 2080 AD) in the rivers of the southern part of the Caspian Sea basin. In addition, the environmental variables used include maximum river width, elevation, slope, average precipitation, average annual temperature, temperature difference between the coldest and hottest months of the year, and the basins where occupied by species. On the basis of AUC (Area Under the Curve), the model performance in predicting the distribution of the species was assessed high (0.96). Based on the modeling results, climate change will cause no change in the species' suitable habitats in all scenarios. Therefore, if the current problems do not eliminate this species from its habitats, the probability of its resistance to climate change is high fortunately.

Keywords: Sturgeon, Modeling, Ecology, Conservation, Iran.

www.SID.ir