بوم‌شناسی کاربردی/ سال دوازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/ صفحات ۵۷ تا ۷۱

ارزیابی ریسک ماهی غیربومی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) در ایران

اصغر عبدلی[۱*]، حسین ولیخانی[۱]، میلاد خسروی[۲،۱]، فرشاد نجات[۳]، سید داریوش مقدس[۴]، مریم پیمانی[۱] و بهرام حسن زاده کیابی[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸)

چکیده

مطالعهٔ حاضر به منظور ارزیابی ریسک ماهی غیربومی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus* L.) در سطح ایران انجام شد. دستورالعمل‌های ارزیابی ریسک متداول گونه‌های غیربومی در سطح دنیا برطبق معیارهای مشخص مورد بررسی قرار گرفت و ارزیابی ریسک این گونه براساس روش انتخابی اجرا گردید. همچنین به منظور ارزیابی دقیق‌تر، از ابزارهای کمکی مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای نیز استفاده گردید. از میان دستورالعمل‌های مختلف، ابزار غربال‌گری تهاجمی گونه‌های آبزی (AS-ISK) بیشترین امتیاز را به جهت ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی آب‌های شیرین ایران دریافت کرد. نتایج نشان داد که ریسک این گونه در ایران بالا بوده و تأثیرات مخرب آن قابل توجه است. میانگین عدد ریسک پایه (Basic Risk Assessment, BRA) و مجموع (BRA + Climate Change Assessment) به ترتیب ۴۱/۵ و ۵۳/۵ بدست آمد که از حد آستانهٔ مدل برای کشور ایران (یعنی ۲۱)، بسیار بالاتر می‌باشد. همچنین برطبق نتایج سایر دستورالعمل‌ها (یعنی GABLIS، CEC، NRRA و Harmonia$^+$)، ماهی تیلاپیای نیل دارای ریسک بالا می‌باشد. در مجموع، ریسک تهاجمی تیلاپیای نیل در کشور بالا بوده و متأسفانه راهکار کنترل آن نیز پیچیده، پرهزینه و در موارد بسیار زیادی غیرممکن است؛ بنابراین، جلوگیری از معرفی این ماهی، باید به عنوان بهترین استراتژی مدیریت در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ماهیان غیربومی، پروتکل‌های ارزیابی ریسک، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، ماهیان تیلاپیا

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

۲. گروه اکولوژی و زیست شناسی تکاملی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه آدلاید، آدلاید، استرالیای جنوبی، استرالیا.

۳. گروه گیاه‌شناسی و جانورشناسی، دانشگاه ماساریک، برنو، جمهوری چک.

۴. بخش زیستگاه‌ها و مناطق حفاظت‌شده، اداره کل حفاظت محیط زیست مازندران، ساری، ایران.

۵. گروه علوم جانوری و زیست شناسی دریایی، دانشکده علوم زیستی و بیوتکنولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_abdoli@sbu.ac.ir

مقدمه

جانداران غیربومی گونه‌هایی هستند که به مناطقی در بیرون از دامنهٔ طبیعی پراکنش خود وارد شده و در آنجا زیست می‌کنند؛ برخی از این گونه‌ها تأثیرات منفی بر جای گذاشته به طوری که تنوع‌زیستی را تهدید کرده (۸، ۲۳، ۲۴) و اثرات مخرب اقتصادی- اجتماعی و نیز اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان دارند (۲۲، ۲۵)، که به آن‌ها، گونه‌های غیربومی مهاجم گفته می‌شود. گونه‌های غیربومی و مهاجم از مهم‌ترین عوامل تهدیدات زیستی و مخاطرات طبیعی می‌باشند به طوری که می‌توانند در تمام مؤلفه‌های محیط‌زیست و منابع طبیعی، بخش کشاورزی و حتی بهداشت و امنیت غذایی برای انسان تأثیرات منفی وارد سازند (۳۱). به‌خصوص اکوسیستم‌های آب شیرین و آرایهٔ ماهی‌ها توسط معرفی گونه‌های غیربومی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند (۱۳، ۲۶). در رابطه با محیط‌های آبی، می‌توان گفت که پرورش ماهی دلیل اصلی معرفی گونه‌های غیربومی به این اکوسیستم‌ها می‌باشد (۱۲).

به منظور جلوگیری از معرفی و همچنین مدیریت صحیح گونه‌های غیربومی که پتانسیل مهاجم‌شدن دارند، کشورهای مختلف پروتکل‌هایی را برای ارزیابی ریسک این گونه‌ها تدوین کرده‌اند (۳۸). برطبق دستورالعمل‌های سازمان‌های اصلی تنظیم استاندارد جهانی، ارزیابی ریسک جزئی از «تحلیل ریسک» محسوب می‌شود؛ در واقع تحلیل ریسک شامل چندین مؤلفه مجزا است که شامل «شناسایی خطر»، «ارزیابی ریسک»، «مدیریت ریسک» و «تبادل اطلاعات ریسک» می‌باشد. براین‌اساس، اولین مؤلفه تحلیل کامل ریسک گونه‌های غیربومی، مرحلهٔ «شناسایی خطر» است که مشخص می‌کند برای کدام گونه تحلیل ریسک انجام شود. مؤلفه دوم، «ارزیابی ریسک»، شواهد علمی مربوط به گونه‌های مورد بررسی را جمع‌آوری می‌کند. مؤلفهٔ ارزیابی ریسک، پایهٔ تحلیل ریسک را تشکیل می‌دهد، و در زمینهٔ گونه‌های غیربومی، معمولاً شامل چهار جزء فرعی، مؤلفه‌های متمایز تهاجم، یعنی ارزیابی پتانسیل/احتمال معرفی، استقرار، پراکنش و تأثیرات، می‌باشد. مؤلفهٔ سوم به‌عنوان «مدیریت ریسک» شناخته می‌شود؛ در این مرحله، تصمیم‌گیرندگان، اطلاعات و شواهد جمع‌آوری شده در ارزیابی ریسک را در نظر گرفته و آن را در برابر سایر عوامل اقتصادی، سیاسی یا اجتماعی می‌سنجند. در نهایت، مؤلفهٔ چهارم یعنی «تبادل اطلاعات ریسک»، ارتباط تنگاتنگی با اصل شفافیت و با حق مشارکت جوامع در فرآیند تصمیم‌گیری دارد (۳۶).

تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) یکی از گونه‌های مورد توجه در آبزی‌پروری بوده و به مناطق مختلف دنیا معرفی شده است (۱۶). در سال ۱۳۸۷، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی، این ماهی را به منظور پژوهش در مورد توانایی سازگاری این ماهی با شرایط ایران و احتمال معرفی به صنعت آبزی‌پروری، از اندونزی وارد کشور کرد (۲۱). پس از ورود این گونه، سازمان حفاظت محیط‌زیست و کارشناسان و متخصصان محیط‌زیست بر لزوم ارزیابی ریسک گونهٔ غیربومی *O. niloticus* تأکید کرده‌اند تا سطح ریسک این گونه برای تصمیم‌گیران و مدیران مشخص شود (۴۰). بنابراین مطالعهٔ حاضر با هدف ارزیابی ریسک گونهٔ غیربومی *O. niloticus* در ایران، به منظور بدست آوردن پتانسیل تهاجمی آن، انجام گردید. برای نیل به این هدف، در ابتدا لازم بود که بهترین پروتکل‌های موجود در سطح دنیا برای ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی در آب‌های شیرین ایران، که ماهی *O. niloticus* نیز جزو این گونه‌ها می‌باشد، مشخص شود. پروتکل‌هایی که قابل اجرا برای ماهیان باشند، تأثیرات مختلف ازجمله اثرات اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی را شامل شوند، بروز بوده و توسط مطالعات مختلف از نظر کارایی مورد آزمون قرار گرفته باشند. بنابراین، ابتدا پروتکل‌های متناسب با اهداف تعیین‌شده، انتخاب گردید و براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از گونهٔ *O. niloticus*، اجرا شدند تا نتایج حاصل از این ارزیابی‌های ریسک، مورد استفاده تصمیم‌گیران و مدیران مرتبط قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

نحوه انتخاب پروتکل‌های ارزیابی ریسک

انتخاب دستورالعمل ارزیابی ریسک مناسب برای ماهیان

غیربومی آب‌های شیرین ایران، مستلزم جمع‌آوری اطلاعات از پروتکل‌های ارزیابی ریسک مختلف موجود در سطح دنیا، مقایسهٔ ویژگی‌های مختلف این پروتکل‌ها، آزمون پروتکل‌های انتخاب‌شده با استفاده از گونه‌های غیربومی در سطح ایران و در نهایت انتخاب بهترین دستورالعمل ارزیابی ریسک متناسب با شرایط کشور ایران می‌باشد. جای تردید نیست که به دلیل نو بودن این روش‌ها برای ایران، در این مرحله انتظاری نیست که روش جدیدی مخصوص کشورمان معرفی شود چراکه برای این منظور نیاز به مطالعات گسترده و چندین‌ساله به همراه داده‌های مختلف می‌باشد؛ لذا با شرایط در حال حاضر ایران، بهترین روش، انتخاب پروتکلی است که بیشترین هماهنگی و کارایی را با شرایط کشور دارد.

برای انتخاب مناسب‌ترین دستورالعمل، ابتدا اطلاعات بیشتر روش‌های ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی موجود استخراج گردید و پس از آن با توجه به هدف مطالعهٔ حاضر، تعدادی از این دستورالعمل‌های غیرمرتبط (برای مثال روش‌های مختص گیاهان) از ادامه بررسی حذف شدند. در مرحلهٔ بعد، از میان دستورالعمل‌های باقیمانده، دستورالعمل‌هایی که برطبق نتایج روی و همکاران (۲۰۱۸) دارای حداقل استانداردهای بیشتری بودند برای تجزیه‌وتحلیل نهایی انتخاب شدند (۳۳). روی و همکاران (۲۰۱۸)، با بررسی دستورالعمل های موجود برای ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی و با توجه به الزامات مقررات اتحادیهٔ اروپا در مورد گونه‌های غیربومی مهاجم (۲۰۱۴/۱۱۴۳) و موافقت‌نامه‌های بین‌المللی ازجمله سازمان تجارت جهانی (World Trade Organization, WTO)، کنوانسیون تنوع‌زیستی (Convention on Biological Diversity, CBD) و کنوانسیون بین‌المللی حفاظت از گیاهان (International Plant Protection Organization, IPPC)، همراه با روش‌های مورد اجماع، ۱۴ استاندارد (ویژگی) حداقل را که یک طرح ارزیابی ریسک باید دارا باشد را مشخص کرده‌اند (۳۳).

در مرحلهٔ تحلیل نهایی، دستورالعمل‌های ارزیابی ریسک انتخاب‌شده، برطبق معیارهای مشخص مورد مقایسه قرار گرفتند. این معیارهای ارزیابی، برطبق وربروگ و همکاران (۲۰۱۰) و روی و همکاران (۲۰۱۸)، شامل مؤلفه‌های ارزیابی ریسک، گروه‌های مختلف تأثیرات، نیازمندی‌های اطلاعاتی، روش‌های نمره‌دهی، عدم قطعیت‌ها، تطابق با سیاست‌ها و خط‌مشی‌های ملی، منطقه‌ای و جهانی، کاربرپسندی و زمان ارزیابی پروتکل‌ها می‌باشد (۳۳ و ۴۱). در این روش مقایسه، چندین معیار با استفاده از زیرمعیارها (Sub-criteria) مشخص می‌شوند. لازم به ذکر است که برطبق هدف مطالعهٔ حاضر، برخی از معیارها و زیرمعیارها حذف یا تغییر پیدا کردند. پروتکل‌ها براساس مقیاس چهار امتیازی از صفر تا سه (یعنی -، ±، +، ++) نمره‌دهی شدند (۴۱) که نشان‌دهندهٔ این است که زیرمعیار مربوطه تا چه اندازه دقیق و مفصل در دستورالعمل مربوطه مورد توجه قرار گرفته است. در مرحلهٔ بعدی با استفاده از نتایج بررسی و مقایسهٔ پروتکل‌های مختلف، نقاط قوت و ضعف هر دستورالعمل مشخص گردید و در نتیجه بهترین آن‌ها از نظر هدف این مطالعه مشخص شد. همچنین، به منظور اجرای ارزیابی ریسک نیاز به جمع‌آوری اطلاعات کامل زیستی، پراکنش و به‌خصوص تأثیرات اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و نیز تأثیرات آن بر روی سلامتی انسان می‌باشد که این مورد نیز انجام گردید. بدین منظور با مرور منابع مختلف کتابخانه‌ای و جستجو در پایگاه‌های علمی موجود در اینترنت، مطالب مختلف از کتاب‌ها، مقالات علمی و وب‌سایت‌های تخصصی استخراج شد. لازم به ذکر است که به منظور مقایسهٔ نتایج ارزیابی ریسک گونهٔ *O. niloticus*، از تمامی پروتکل‌های مرحلهٔ نهایی برای ارزیابی این گونه استفاده گردید. در ابزار غربال‌گری تهاجمی گونه‌های آبزی (Aquatic Species Invasiveness Screening Kit, AS-ISK)، به دلیل اینکه بیشترین امتیاز را در بین پروتکل‌های مختلف دریافت کرد تصمیم بر آن شد که دو ارزیاب به‌طور جداگانه آن را اجرا کرده و میانگین‌گیری صورت گیرد (۳۷)، بنابراین جمع‌آوری اطلاعات برای ارزیابی ۱ و ۲ به صورت کاملاً مستقل از یکدیگر انجام شد.

معرفی برخی از مدل‌های ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی

سیستم اطلاعات لیست سیاه آلمان- اتریش
(German-Austrian Black List Information System, GABLIS)

این دستورالعمل ابزار ارزیابی ریسک فراملی عمومی برای گونه‌های غیربومی مهاجم در کشورهای آلمان و اتریش می‌باشد. هرچند این روش شامل اثرات اقتصادی و سلامتی، به‌عنوان اطلاعات تکمیلی نیز می‌باشد، اما تنها اثرات اکولوژیکی را مورد ارزیابی قرار داده و مشکلات اقتصادی و سلامتی در کلید طبقه‌بندی وارد نمی‌شود. گونه‌ها برطبق پتانسیل ریسک بدست‌آمده در سه لیست سفید، خاکستری و سیاه قرار می‌گیرند. لیست سیاه شامل گونه‌های غیربومی است که طبق شواهد علمی، تهدید قابل توجهی بر تنوع‌زیستی دارند. لیست خاکستری شامل گونه‌های غیربومی است که در مورد آن‌ها شواهدی با قطعیت کمتر وجود دارد. گونه‌های غیربومی که تهدیدی برای گونه‌های بومی محسوب نمی‌شوند در لیست سفید قرار می‌گیرند. همچنین، لیست سیاه به سه بخش هشدار، اقدام و مدیریت تقسیم می‌شود. این گروه‌بندی طبق پراکنش گونه‌ها و امکان‌سنجی در خصوص اقدامات ریشه‌کنی می‌باشد. لیست خاکستری نیز براساس سطح قطعیت ارزیابی شامل دو بخش لیست مشاهده و لیست عملکرد می‌باشد. در واقع این دستورالعمل عدم قطعیت را با قرار دادن گونه‌های غیربومی در لیست خاکستری، یعنی گونه‌هایی که تأثیرات آن‌ها بر روی تنوع‌زیستی به اندازه کافی مشخص نیست، پوشش می‌دهد (۱۷).

دستورالعمل‌های ارزیابی ریسک سه ملیتی (Commission for Environmental Cooperation, CEC)

دستورالعمل‌های ارزیابی ریسک سه ملیتی (آمریکا، کانادا و مکزیک) برای ارزیابی ریسک معرفی ارگانیسم‌های غیربومی آبزی به محیط جدید بوده (۹) و به دو بخش عمده احتمال استقرار و نتایج استقرار تقسیم شده و تأثیرات اکولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی را پوشش می‌دهد. پتانسیل ریسک نهایی جاندار تحت عنوان ریسک پایین/L (ریسک قابل قبول؛ بدون نگرانی)، متوسط/M (ریسک غیرقابل قبول؛ نگرانی متوسط) یا بالا/H (غیرقابل قبول؛ نگرانی زیاد) طبقه‌بندی می‌شود. در این روش ارزیابی کدهایی برای عدم قطعیت اطلاعات استفاده شده در نظر گرفته شده است که در شش طبقه (شامل VC: کاملاً مشخص و قطعی؛ RC: منطقاً قطعی؛ MC: نسبتاً قطعی؛ RU: منطقاً نامشخص؛ VU: عدم قطعیت بالا، صرفاً حدس علمی) قرار می‌گیرند (۴۱).

ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی بریتانیای کبیر
(The Great Britain Non-native Species Risk Assessment, GBNNRA)

ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی بریتانیای کبیر شامل دو روش ارزیابی ریسک سریع گونه‌های غیربومی (Non-native Species Rapid Risk Assessment , NRRA) و ارزیابی ریسک کامل می‌باشد. اصول هر دو روش یکسان بوده و بر پایهٔ دانش علمی از گونهٔ مورد نظر، قضاوت متخصص و داوری دقیق می‌باشد. ارزیابی ریسک کامل بریتانیای کبیر روش بسیار خوبی بوده و بسیاری از جزئیات را شامل می‌شود اما با توجه به کمبود اطلاعات در ایران، پاسخ به برخی از سؤالات آن امکان‌پذیر نبوده یا پاسخ با عدم قطعیت بالا همراه است؛ در نتیجه تصمیم بر آن شد که از روش ارزیابی ریسک سریع که شامل سوالات کلی است، استفاده شود. ارزیابی ریسک NRRA شامل دو بخش اطلاعات جاندار و ارزیابی ریسک می‌باشد. بخش ارزیابی ریسک شامل شش ماژول ورود، استقرار، پراکنش، تأثیرات و تغییرات اقلیمی بوده و در آخر نتیجه‌گیری صورت می‌گیرد. در هر ماژول از ارزیاب خواسته می‌شود که تخمین کلی خود را نسبت به آن ماژول در سطوح مختلف ارائه داده و توضیحات لازم را اضافه نماید. همچنین درجهٔ اطمینان پاسخ نیز در شش سطح بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا تعیین می‌شود (۱۰). مدل GBNNRA که NAPRA نیز نامیده می‌شود، شامل فایل ارزیابی سریع و ارزیابی کامل، از وب‌سایت (www.nonnativespecies.org) قابل دریافت می‌باشد.

مدل ارزیابی ریسک گونه‌های غیربومی هارمونیا و پاندورا (Harmonia$^+$ and Pandora$^+$)

این مدل برای جانوران و گیاهان کاربرد داشته و از دو بخش تشکیل شده است؛ دستورالعمل Harmonia$^+$ که برای هر گونهٔ گیاهی یا جانوری بالقوهٔ مهاجم کاربرد داشته و دستورالعمل Pandora$^+$ در مورد انگل‌ها و عوامل بیماری‌زای بالقوه خطرناک اعمال شده و نتایج آن ممکن است که به نتایج Harmonia$^+$ اضافه شود. پروتکل Harmonia$^+$ شامل ۲۵ سؤال اصلی (۴۱ سؤال در نسخهٔ آنلاین: http://ias.biodiversity.be/) بوده که شامل مراحل مختلف (ماژول‌ها)، شامل تهاجم (معرفی، استقرار، پراکنش و تأثیرات مختلف زیست محیطی، تأثیر بر گیاهان، حیوانات، انسان و غیره)، خدمات اکوسیستم و تغییر اقلیم می‌باشد. سطح قطعیت هر سؤال می‌تواند کم، متوسط و زیاد باشد که توسط ارزیاب به هر پاسخ داده می‌شود (۱۵).

ابزار غربال‌گری تهاجمی گونه‌های آبزی (AS-ISK)

ابزار غربال‌گری تهاجمی گونه‌های آبزی، برای تمامی گیاهان و جانوران آبزی از هر نوع سیستم آبی (دریایی، لب‌شور و آب شیرین) کاربرد داشته (۱۴) و متشکل از دو بخش اصلی است؛ بخش اول ارزیابی ریسک پایه (Basic Risk Assessment, BRA) شامل ۴۹ سؤال مرتبط با موضوعات جغرافیای زیستی و تاریخی گونه (اهلی کردن و پرورش گونه، ریسک اقلیم، پراکنش و معرفی و مهاجم شدن در مناطق دیگر)، زیست شناسی و اکولوژی گونه (ویژگی‌های نامطلوب، بهره‌برداری از منابع، تولیدمثل، مکانیسم‌های پراکندگی و ویژگی‌های تحمل‌پذیری) می‌باشد و بخش دوم مدل، ارزیابی تغییرات اقلیم (Climate Change Assessment, CCA) است که اثرات احتمالی تغییر اقلیم در آینده را در قالب ۶ سؤال در ارزیابی ریسک گونهٔ غیربومی نشان می‌دهد. این روش شامل چهار نوع خروجی شامل خروجی بخش BRA، CCA، BRA+CCA و میزان اطمینان است. دامنهٔ BRA از ۲۰- تا ۶۸ و CCA از ۱۲- تا ۱۲ است (مجموعاً ۳۲- تا۸۰). همچنین، نیاز به واردکردن حد آستانهٔ منطقهٔ ارزیابی ریسک دارد تا مشخص شود که گونه‌های غیربومی در چه طبقه‌ای از ریسک بالا، متوسط یا کم قرار می‌گیرند. عامل اطمینان یا عدم قطعیت برای این مدل از ۰/۲۵ تا ۱ متغیر است؛ اگر این عدد بیشتر از ۹۰٪ باشد به این معنی است که اطمینان ارزیابی خیلی زیاد است و اگر بین ۸۰٪ تا ۹۰٪ باشد اطمینان زیاد، ۵۰٪ تا ۸۰٪ اطمینان متوسط و از ۵۰٪ تا ۲۵٪ اطمینان کم به‌حساب می‌آید. آخرین نسخه به روزرسانی شدهٔ این مدل در آدرس https://www.cefas.co.uk قابل دسترس است (۲۷).

مدل‌سازی پراکنش

یکی از راه‌های بررسی وضعیت گونه‌های غیربومی، داشتن اطلاعاتی از الگوی پراکنش آن‌ها می‌باشد. به همین منظور، از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt)، به‌عنوان ابزار کمکی، در ارزیابی ریسک گونهٔ *O. niloticus* استفاده شد. این مدل‌های پراکنش گونه (Species Distribution Models)، داده‌های مربوط به پراکنش گونه‌ها را در زمان و مکان برون‌یابی می‌کنند (۱۸). در مدل‌های پراکنش گونه‌ها از اطلاعات حضور یا عدم حضور گونه‌ها استفاده می‌شود. در مطالعهٔ حاضر، ازآنجایی‌که بسیاری از داده‌های موجود در مورد پراکنش ماهیان مهاجم ایران محدود به نقاط حضور آن‌هاست و مقیاس کار، به کل پهنهٔ آبی ایران مربوط می‌شود، ترجیح داده شد تا از داده‌های صرفاً حضور استفاده شود.

برای دسترسی به شبکهٔ آبراهه‌ای با دقت بالا به سایت زمین‌شناسی ایالات متحده (United States Geological Survey, USGS) مراجعه شد. پس از آن مختصات نقاط حضور با استفاده از دستورهای موجود در نرم‌افزار ArcGIS v10.2 با نزدیکترین آبراهه اصلاح گردید. با انجام این کار از اینکه نقاط حضور نمایندهٔ آبراهه و رودخانه در پهنهٔ مورد مطالعه است، اطمینان حاصل گردید. همچنین با توجه به زیست‌شناسی گونه و اندازهٔ سلول‌های لایه‌ها، برخی از نقاط که با یکدیگر همپوشانی داشتند حذف شدند. در ادامه، پردازش متغیرها با توجه به منبع داده‌ها انجام شد و برای استخراج لایه‌ها و تبدیل آن‌ها به فرمت مورد

نظر برای استفاده در MaxEnt، از نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. مدل‌ها با تکرار ۱۰۰۰۰۰۰ بار، شبیه‌سازی ۱۰ بار و تخصیص ۸۰ درصد از داده برای آزمون و ۲۰ درصد برای آموزش مدل، اجرا شدند. نکتهٔ دیگری که باید در زمینه داده‌ها در نظر گرفت، استفاده از متغیرهای فیزیکی در کنار متغیرهای اقلیمی است که دلیل آن، بالا بردن میزان دقت و صحت پیش‌بینی می‌باشد (۱۸)؛ به همین منظور از داده‌هایی همچون شیب، شبکهٔ آبراهه‌ها، ارتفاع و غیره نیز استفاده شد. همچنین تأکید می‌شود که پیش‌بینی پراکنش برای گونه‌های غیربومی می‌بایست هم برای نقاط پراکنش بومی گونهٔ مورد نظر و هم برای نقاط غیربومی آن باید صورت گیرد (۴)، به‌طوری‌که نتایج هرکدام به تنهایی قابل استناد نمی‌باشد. بنابراین در این مطالعه نیز از نقاط بومی و غیربومی گونهٔ *O. niloticus* استفاده گردید. همچنین پیش‌بینی پراکنش برای آیندهٔ این گونه براساس بدبینانه‌ترین سناریوی ممکن (Representative Concentration Pathway, RCP8. 5) در دو مدل CNRM-CM6-1 (Centre National de Recherches Météorologiques - Climate Model) و MIROC6 (Model for Interdisciplinary Research on Climate) برای سال‌های ۲۰۴۱–۲۰۶۰ نیز انجام شد. بدبینانه‌ترین سناریو تغییرات اقلیم، یک مسیر انتشار گازهای گلخانه‌ای با غلظت بالا در طول قرن ۲۱ را نمایش می‌دهد. این سناریو فرض می‌کند که روندهای کنونی ادامه یابند و هیچ تدابیر مهمی برای کاهش انتشارات اتخاذ نشوند. در این سناریو، غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، به سرعت افزایش پیدا کرده و منجر به افزایش چشمگیر دمای میانگین جهانی می‌شود. در این سناریو، افزایش دمای میانگین جهانی تا پایان قرن ۲۱ میلادی بین ۲/۶ تا ۴/۸ درجهٔ سلسیوس تخمین زده شده است. با این حال، این ارقام تخمینی هستند و می‌توانند تحت تأثیر عوامل مختلفی تغییر کنند (۳۰).

نتایج

غربالگری اولیهٔ پروتکل‌ها

در ابتدا، پروتکل‌هایی که برای ارزیابی ریسک ماهیان آب شیرین قابلیت اجرا داشته (چه عمومی و چه اختصاصی) و در مطالعهٔ جامع روی و همکاران (۲۰۱۸) دارای بیشترین حداقل استاندارد لازم برای ارزیابی بودند (۳۳)، یعنی پروتکل‌های GABLIS، CEC، NRRA، Harmonia$^+$، لیست سیاه نروژ (Norwegian Black List)، GBNNRA، AS-ISK و برنامهٔ تحلیل ریسک گونه‌های غیربومی اروپا در آبزی‌پروری (ENSARS) انتخاب شدند. به دلیل اینکه هدف از مطالعهٔ حاضر انتخاب پروتکلی است که تأثیرات مختلف را شامل شده و برای تمامی گروه‌های ماهیان غیربومی (وحشی، پرورشی و زینتی) مورد استفاده قرار گیرد، بنابراین به ترتیب دستورالعمل Norwegian Black List (فقط تأثیرات اکولوژیکی را شامل می‌شود) و برنامهٔ تحلیل ریسک گونه‌های غیربومی اروپا در آبزی‌پروری (ENSARS)، که مختص گونه‌هایی است که برای آبزی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرند، از ادامه بررسی حذف گردیدند.

مقایسهٔ نهایی دستورالعمل‌ها

دستورالعمل‌های باقیمانده، براساس معیارهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند و از میان آن‌ها، پروتکل‌های AS-ISK (۱۰) و Harmonia$^+$ (۵) با اختلافی زیاد نسبت به سه دستورالعمل دیگر، بیشترین امتیازات را دریافت کردند (جدول ۱). دستورالعمل AS-ISK در معیارهای دامنه و جامعیت، نیازمندی‌های اطلاعاتی (بیشترین اختلاف) و تطابق با سیاست‌ها و خط‌مشی‌ها، امتیاز بیشتری نسبت به دستورالعمل Harmonia$^+$ گرفت؛ در مقابل، روش Harmonia$^+$ در معیار عدم قطعیت و کاربرپسندی امتیاز بالاتری را دریافت کرد. از بین سه دستورالعمل دیگر، پروتکل GABLIS (۱۷) دارای امتیاز بیشتری بود و در رتبه‌های بعدی نیز پروتکل‌های NRRA (۲۹) و CEC (۹) قرار گرفتند. بنابراین برطبق نتایج حاصل‌شده، روش AS-ISK، به‌عنوان بهترین مدل براساس اهداف مطالعهٔ حاضر تعیین شد.

نتایج اجرای پروتکل‌های ارزیابی ریسک

پتانسیل ورود، پتانسیل استقرار، پتانسیل گسترش و احتمال

جدول ۱. مقایسهٔ امتیاز پروتکل‌های ارزیابی ریسک انتخاب‌شده براساس معیارهای مختلف

امتیاز	GABLIS	CEC	NRRA	Harmonia^{+}	AS-ISK
دامنه و جامعیت	۱۹	۱۸	۱۸	۲۹	۳۳
نیازمندی‌های اطلاعاتی	۱۰	۷	۸	۱۰	۱۶
روش‌های نمره‌دهی	۱۲	۱۲	۱۲	۳۱	۳۱
عدم قطعیت	۸	۵	۴	۱۰	۹
تطابق با سیاست‌ها و خط‌مشی‌ها	۲	۲	۲	۲	۳
کاربرپسندی	۶	۵	۷	۱۱	۹
امتیاز کلی	۵۷	۴۹	۵۱	۹۳	۱۰۱

جدول ۲. نتیجهٔ ارزیابی ریسک دستورالعمل CEC برای گونهٔ غیربومی *Oreochromis niloticus*

نوع ریسک	احتمال استقرار	پیامد استقرار	شدت ریسک
پتانسیل ریسک جاندار (ORP)	H	H	H =
پتانسیل ریسک مسیر معرفی (PRP)		H (H: High)	

جدول ۳. نتیجهٔ ارزیابی ریسک دستورالعمل NRRA $v_{2.2}$ برای گونهٔ غیربومی *Oreochromis niloticus*

اطمینان (Confidence)	ریسک (Risk)	ماژول (Module)
بالا	بسیار محتمل (Very likely)	ورود (Entry)
بالا	بسیار محتمل (Very likely)	استقرار (Establishment)
بالا	سریع (Rapid)	پراکنش (Spread)
بالا	عمده (Major)	اثر (Impact)
بالا	بالا (High)	تغییرات اقلیمی (Climate change)
بالا	بالا (High)	نتیجه‌گیری (Conclusion)

تأثیرات زیست‌محیطی در محدودهٔ مورد مطالعه، برطبق ارزیابی ریسک CEC، بالا ارزیابی گردید. همچنین براساس نتایج همین روش، این گونه ریسک متوسطی از نظر تأثیرات منفی اقتصادی – اجتماعی دارد (جدول ۲). نتایج دستورالعمل NRRA $v_{2.2}$ نشان داد که گونهٔ غیربومی *O. niloticus* از ریسک تهاجمی بالایی در کشور ایران برخوردار است (جدول ۳). برطبق نتایج دستورالعمل GABLIS، این گونه که به طور پراکنده در چند منطقه مشاهده شده است در لیست سیاه و زیرلیست مدیریت (3b) قرار گرفت (جدول ۴). امتیاز کلی ریسک در روش Harmonia^{+} که تابعی از امتیاز تهاجم و تأثیرات گونه است، برای ماهی *O. niloticus* بالا ارزیابی گردید. براین‌اساس ریسک استقرار و پراکندگی این گونه در محدودهٔ مورد مطالعه زیاد بوده و تأثیرات زیست‌محیطی آن قابل توجه است (جدول ۵). به دلیل اینکه روش ارزیابی ریسک AS-ISK $v_{2.3.3}$ بیشترین امتیاز را در بین پروتکل‌های مختلف دریافت کرد، برای دقت بیشتر، دو ارزیاب به‌طور جداگانه آن را اجرا کرده و میانگین‌گیری صورت گرفت. میانگین عدد ریسک پایه (Basic Risk Assessment) و مجموع (BRA + Climate Change Assessment) به ترتیب ۴۱/۵ و ۵۳/۵ (با میانگین اطمینان ۰/۸۰) بدست آمد که از حد آستانهٔ مدل برای منطقهٔ ارزیابی ریسک که برابر با ۲۱ است (۱)، بسیار بالاتر می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۴. نتیجهٔ ارزیابی ریسک دستورالعمل GABLIS برای گونهٔ غیربومی *Oreochromis niloticus*

شمارهٔ ردهبندی	ردهبندی	توضیحات
3b	لیست سیاه– لیست مدیریت	گونهٔ بیگانهٔ مهاجمی که فقط در چند منطقه مشاهده شده و معمولاً در ابتدای گسترش/تهاجم خود است، اما هیچ اقدام مناسب کنترل/ریشه‌کنی وجود ندارد. اقدامات برای چنین گونه‌هایی باید به منظور به حداقل رساندن/کاهش تأثیر منفی آن‌ها در مناطق حفاظت‌شده، ذخیره‌گاه‌های طبیعی یا حفاظت از گونه‌های بومی در معرض خطر باشد. علاوه‌براین، نظارت بر جمعیت ناخواستهٔ این گونهٔ بیگانهٔ مهاجم توصیه می‌شود.

جدول ۵. نتیجهٔ ارزیابی ریسک دستورالعمل Harmonia⁺ برای گونهٔ غیربومی *Oreochromis niloticus*

ماژول (Module)	نمره (Score)	روش تجمیع	وزن (Weight)	اطمینان (Confidence)
معرفی	۱/۰	حسابی	۱	۱/۰
استقرار	۱/۰	حسابی	۱	۱/۰
پراکنش	۱/۰	حسابی	۱	۱/۰
تأثیر زیست‌محیطی	۰/۷۹۲	حسابی	۱	۰/۶۶۷
تأثیر بر روی گیاهان (پرورشی)	۰/۰	حسابی	۱	۰/۳۳۳
تأثیر بر روی حیوانات (پرورشی)	۰/۴۱۷	حسابی	۱	۰/۵
تأثیر بر روی (سلامت) انسان‌ها	۰/۲۵	حسابی	۱	۰/۵
سایر تأثیرات	۰/۰	حسابی	۱	۱/۰
نمرهٔ تهاجم	۱/۰۰۰	هندسی		
نمرهٔ تأثیرات	۰/۷۹۲	ماکزیمم		
نمرهٔ کلی ریسک	۰/۷۹۲			

حد آستانهٔ مدل برطبق عبدلی (۲۰۲۲) می‌باشد (۱). اخیراً مشخص شده است که به دلیل مشکلاتی که در استفاده از آستانهٔ BRA+CCA ایجاد می‌شود، استفاده از آن توصیه نمی‌شود و برای هر دو معیار (BRA و BRA+CCA)، از آستانهٔ BRA استفاده می‌گردد (۴۳).

نتایج پیش‌بینی پراکنش

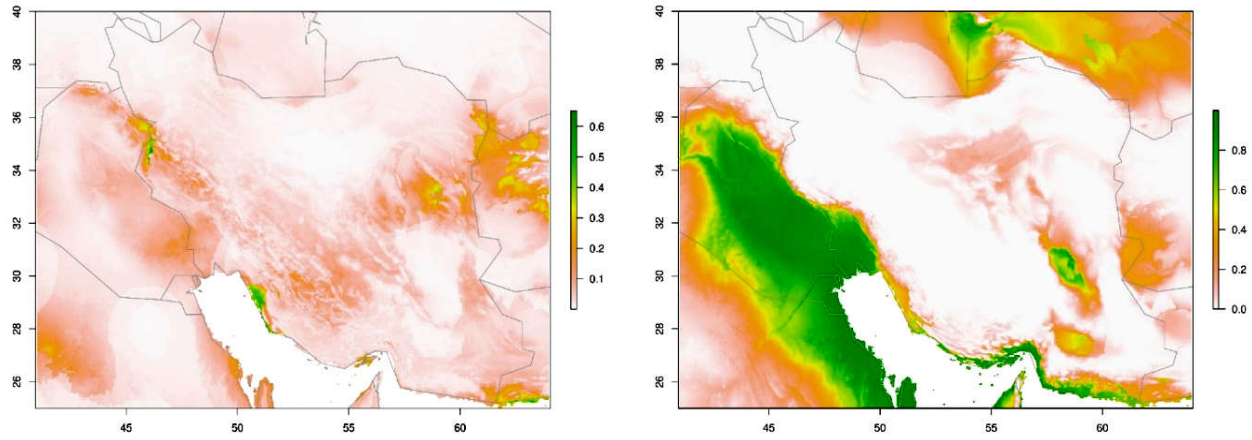
نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش *O. niloticus* با توجه به نقاط بومی آن نشان‌دهندهٔ توانایی حضور این گونه در مناطق گرمسیری و حاره‌ای ایران است و نقشهٔ پیش‌بینی پراکنش با توجه به نقاط غیربومی حاکی از توانایی گسترش گونه در صورت پیوندخوردن به مناطق جدید می‌باشد (شکل ۱). همچنین نقشه های پیش‌بینی پراکنش برای آیندهٔ این گونه براساس بدبینانه ترین سناریوی ممکن (RCP8. 5) در دو مدل CNRM-CM6-1 و MIROC6 برای سال‌های ۲۰۶۰–۲۰۴۱ نیز در مجموع حاکی از احتمال پراکنش بیشتر گونه در طی زمان می‌باشد (شکل ۲).

بحث

دستورالعمل انتخابی مطالعه حاضر، روش AS-ISK، برای ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی آب‌های داخلی ایران (پهنه‌های آب شیرین شامل رودخانه‌ها، تالاب‌ها، مخازن سدها و غیره) مناسب بوده و برای گونه‌های وحشی، پرورشی و زینتی قابل اجرا می‌باشد. اگرچه باید به این نکته هم تأکید شود که سایر روش‌هایی که در مرحلهٔ نهایی مقایسهٔ پروتکل‌ها مورد بررسی

جدول ۶. نتیجهٔ ارزیابی ریسک پروتکل AS-ISK v2.3.3 برای گونهٔ غیربومی *Oreochromis niloticus* (ارزیاب ۱ و ۲)

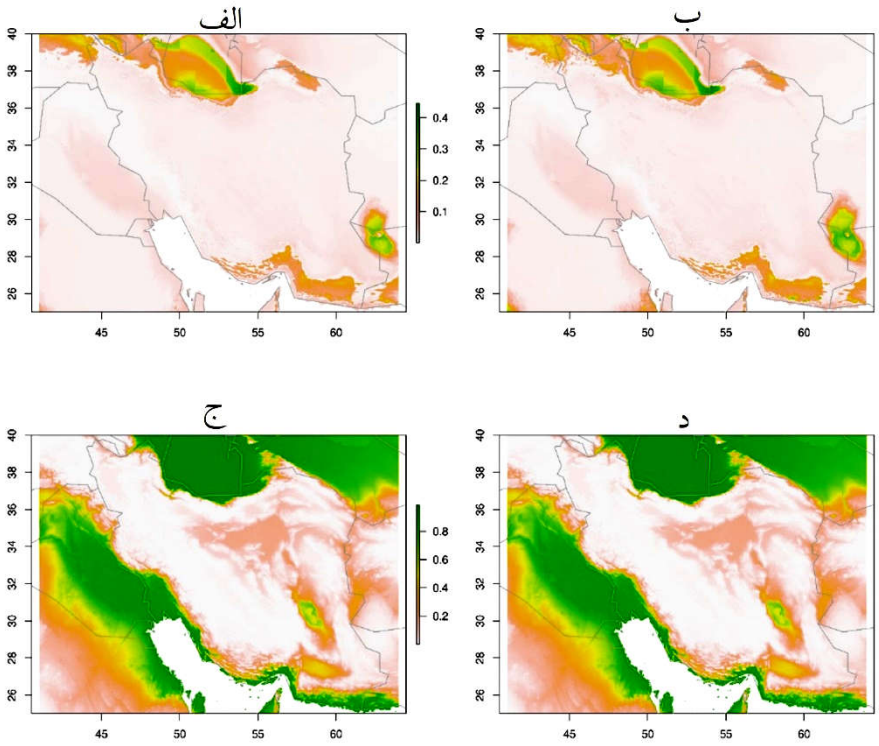
آمار	عدد ریسک	
	ارزیاب ۱	ارزیاب ۲
ارزیابی ریسک پایه/BRA (ارزیابی کل/BRA+CCA)	۴۹ (۶۱)	۳۴ (۴۶)
عامل اطمینان	BRA (۰/۷۹) CCA (۰/۷۵) BRA+CCA (۰/۷۹)	BRA (۰/۸۳) CCA (۰/۷۵) BRA+CCA (۰/۸۲)
حد آستانه	۲۱	
خروجی BRA	بالا (High)	بالا (High)
خروجی BRA+CCA	بالا (High)	بالا (High)
جزئیات		
A- جغرافیای زیستی/تاریخی	۲۴	۲۰
B- زیست شناسی/بوم شناسی	۲۵	۱۴
C- تغییر اقلیم	۱۲	۱۲
پیامدهای منفی احتمالی		
تجاری	۲۱	۱۷
زیست محیطی	۱۲	۱۲
ویژگی‌های نامطلوب جمعیتی یا مربوط به گونه	۳۳	۲۲



شکل ۱. پیش‌بینی پراکنش *Oreochromis niloticus* با نقاط بومی (سمت چپ) با دقت ۰/۹۴ و نقاط غیربومی (سمت راست) با دقت ۰/۹۸ با استفاده از ابزار MaxEnt (هر چه پتانسیل حضور گونه بیشتر باشد به رنگ سبز متمایل‌تر است)

قرار گرفتند به ترتیب روش‌های Harmonia+، GABLIS، NRRA و CEC ابزارهای مناسب و قابل اتکایی برای ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی آب‌های داخلی ایران هستند.

نتایج ارزیابی ریسک *O. niloticus* با استفاده از پروتکل‌های



شکل ۲. نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش *Oreochromis niloticus* برای آینده براساس بدبینانه‌ترین سناریوی ممکن (RCP8. 5) در دو مدل CNRM-CM6-1 (الف: بومی و ج: غیربومی) و MIROC6 (ب: بومی و د: غیربومی) برای سال‌های ۲۰۶۰–۲۰۴۱ با استفاده از مدل MaxEnt (هر چه پتانسیل حضور گونه بیشتر باشد به رنگ سبز متمایل‌تر است)

مختلف، نشان داد که این گونه ریسک بالایی برای کشور داشته به‌طوری‌که در هر پنج دستورالعمل GABLIS، CEC، NRRA، Harmonia^{+} و AS-ISK رتبهٔ ریسک این گونه بالا ارزیابی شد. برطبق مطالعات مشابه انجام‌شدهٔ قبلی با استفاده از روش AS-ISK در این منطقه از دنیا، یعنی در تالاب انزلی، کشور ترکیه و آب‌های لب‌شور منطقهٔ راپمی (خلیج‌فارس و دریای عمان)، سطح پتانسیل ریسک این گونه بالا گزارش شده است (۲۸). استفاده از سایر روش‌های مشابه نیز گواه بر ریسک بالای این گونه می‌باشد؛ برای مثال در ۱۱ منطقه از دنیا که از ابزار غربالگری تهاجمی ماهیان آب شیرین (Fish Invasiveness Scoring Kit, FISK) برای ارزیابی ریسک استفاده شده است، در ۹ منطقه این ماهی با ریسک بالا ارزیابی شده (۸۲ درصد) و در دو منطقه نیز ریسک آن متوسط بوده است (۴۲). در مطالعهٔ حاضر، جمع‌آوری اطلاعات، مدل‌سازی و اجرای ارزیابی ریسک، توسط تیمی شش نفره در بازهٔ زمانی چند ماهه انجام شده است و بیش از ۱۳۰ منبع (رفرنس) معتبر مورد استفاده قرار گرفته است. نکتهٔ دیگری که باید تاکید کرد این است که در مطالعهٔ حاضر از حد آستانهٔ بومی که برای ماهیان غیربومی آب شیرین ایران محاسبه شده، استفاده شده است (۱). قبل از مطالعهٔ عبدلی (۲۰۲۲)، نتایج بدست‌آمده برای BRA و BRA+CCA برای گونه‌های غیربومی ایران با حد آستانهٔ میانگین جهانی مورد مقایسه قرار می‌گرفت اما با بومی‌سازی حد آستانه برای ماهیان غیربومی آب شیرین ایران، امکان مقایسهٔ نتایج با شاخصی نزدیک‌تر به واقعیت موجود فراهم شده است (۱).

نتایج پیش‌بینی پراکنش مدل MaxEnt برای حال و آینده نیز حاکی از توانایی گونهٔ *O. niloticus* برای استقرار در حوضه‌های

آبریز مهم ایران، مانند حوضه دجله و حوضه جنوبی دریای خزر، می‌باشد. به دلیل اینکه پیش‌بینی پراکنش برای این گونه‌ها برای کشور و یا خاورمیانه وجود ندارد، نمی‌توان به درستی در مورد نقشه‌های پیش‌بینی صحبت نمود. آنچه که واضح است، با توجه به نقشهٔ پیش‌بینیِ نقاط غیربومی می‌توان به خوبی تغییر در آشیان اکولوژیک گونه‌ها بعد از معرفی را مشاهده نمود. این تغییر یکی از خطرات بالقوهٔ معرفی و پیوند خوردن همهٔ گونه‌های غیربومی می‌تواند باشد و در هنگام پیش‌بینی پراکنش آن‌ها باید به این نکته توجه نمود. تغییر در آشیان اکولوژیک گونه‌ها امری بسیار محتمل است و در هنگام انجام ارزیابی ریسک باید به آن توجه شود.

به طور عام این مسئله در خصوص گونه‌ها وجود داشته که هر گونه‌ای که توانایی بیشتری برای سازگار شدن با محیط داشته باشد، پراکندگی وسیع‌تری نیز دارد و حضور گسترده و استقرار *O. niloticus* در مناطق مختلف دنیا گواه بر این مسئله است (۳۲). تهاجم ماهی *O. niloticus* در برخی از مناطق ازجمله حوضهٔ آبریز رودخانه‌های زامبزی و کافو، ماداگاسکار، نیکاراگوئه، تانزانیا، مکزیک، برزیل، ایالت‌های می‌سی‌سی‌پی، آریزونا و نوادا در ایالات متحده، فیلیپین، چین و نپال گزارش شده و تأثیرات منفی این گونه را غالباً در خصوص کاهش ماهیان بومی، رقابت و رفتار پرخاشجویانه این ماهی با گونه‌های بومی و تغییرات کیفیت آب عنوان کرده‌اند (۳، ۶، ۷، ۱۱، ۱۷، ۱۹، ۲۰ و ۳۲). گونهٔ *O. niloticus* در صورت راه‌یابی به استخرها و قفس های پرورش ماهی، می‌تواند با رقابت با گونه‌های بومی بر اقتصاد وابسته به شیلات و همچنین فعالیت‌های آبزی‌پروری تأثیر منفی داشته باشد (۳، ۱۹ و ۳۵). بنابراین، این گونه با ورود به پهنه‌های طبیعی و نیز استخرهای پرورش ماهیان گرمابی، با حضور افراد نر و ماده، انرژی زیادی را به تولیدمثل اختصاص داده و بنابراین ارزش شیلاتی چندانی نخواهد داشت و تبدیل به رقیب گونه‌های پرورشی در استفاده از غذا و فضا خواهد شد.

با توجه به سابقهٔ معرفی ماهی غیربومی *O. niloticus* و پیامدهای محیط‌زیستی و اقتصادی – اجتماعی که به معرفی این گونه در مناطق مختلف دنیا نسبت داده شده است، تأثیرات منفی گسترش پراکنش این ماهی در کشور می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. این باور زمانی تقویت می‌شود که تأثیرات منفی معرفی برخی از گونه‌های دیگر تیلاپیا به اکوسیستم‌های طبیعی استان خوزستان به خوبی آشکار شده است (۲، ۳۹). مدیریت تهاجم تیلاپیا مشکل‌ساز است به‌طوری‌که حذف آن‌ها از اکوسیستم‌های طبیعی با روش‌های موجود عملاً غیرممکن است و هزینهٔ کنترل جمعیت و جلوگیری از گسترش آن‌ها به مناطق غیرآلوده بسیار سرسام‌آور می‌باشد (۳۴).

نتیجه‌گیری

کشور ایران دارای چندین نقطهٔ داغ تنوع ماهیان آب‌های داخلی می‌باشد که معرفی گونه‌های غیربومی و مهاجم می‌تواند بر گونه‌های بومی و ارزشمند آن تأثیرات منفی قابل توجهی وارد کند. در حال حاضر، برخی از ماهیان غیربومی و مهاجم در مناطق مختلفی از ایران فراوانی زیادی داشته و اثرات مخرب بسیاری بر روی گونه‌های بومی این مناطق ایجاد کرده و درنهایت منجر به مشکلات اقتصادی – اجتماعی برای صیادان بومی و پرورش‌دهندگان ماهیان گرمابی شده‌اند. متأسفانه راهکار کنترل گونه‌های مهاجم پیچیده، پرهزینه و در موارد بسیار زیادی غیرممکن است؛ بنابراین، جلوگیری از معرفی به اکوسیستم‌های آبی جدید، به‌ویژه توسط فعالیت‌های آبزی پروری، باید به‌عنوان بهترین استراتژی مدیریت آن‌ها در نظر گرفته شود. لزوم کنترل شدید بر فعالیت‌هایی مانند آبزی‌پروری که یکی از مهمترین راه‌های انتقال و معرفی ماهیان غیربومی و مهاجم به مناطق مختلف کشور است، به شدت احساس می‌شود. در مناطقی که این گونه‌ها معرفی شده و فراوانی بالایی دارد نیز باید روش‌های تلفیقی مبارزه با این آفات به همراه احیای اکوسیستم‌های آبی منطقه لحاظ گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش حاصل بخشی از قرارداد پژوهشی مشترک بین

دانشگاه شهید بهشتی و سازمان حفاظت محیط‌زیست به شماره ۱۸۱/ص/۱۴۰۰ مورخ ۱۴۰۰/۴/۱ می‌باشد. نگارندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاری صـمیمانهٔ مهندس امیرمحمد علمی و مهندس امید صدیقی از گروه آبزیان دفتر حیات وحش و آبزیان آب‌های داخلی، دکتر آرزو اشرفی‌زاده، مدیر کل دفتر حفاظت و احیاء تالاب‌ها و دکتر مجتبی ذوالجودی، معاون محیط‌زیست دریایی و تالاب‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست تشـکر و قدردانی نمایند. همچنین از نظرات ارزشمند دکتر Gordon H. Copp از مرکز Cefas بریتانیا در مورد تفسیر برخی از سؤالات دستورالعمل AS-ISK بی‌نهایت سپاسگزار هستیم.

منابع مورد استفاده

1. Abdoli, A. 2022. Report on the study of formulating a non-native fish risk assessment protocol and risk assessment of non-native indicator species (Nile tilapia, Redbelly tilapia, Blue tilapia, *Carassius*, and Sharp Belly) in Iran. Joint research agreement between Shahid Beheshti University and Department of Environment (DoE), Tehran. (In Persian)
2. Abdoli, A., H. Valikhani, F. Nejat, M. Khosravi. 2022. Non-native freshwater fishes of Iran: Identification, Impacts, Management. Jahad Daneshgahi, Shahid Beheshti University, Tehran. (In Persian)
3. Attayde, J. L., J. Brasil and R. A. Menescal. 2011. Impacts of introducing Nile tilapia on the fisheries of a tropical reservoir in North-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology* 18 (6): 437-443.
4. Barbet-Massin, M., Q. Rome, C. Villemant and F. Courchamp. 2018. Can species distribution models really predict the expansion of invasive species?. PloS One, 13(3): p.e0193085.
5. BFIS. 2021. Harmonia+. Available online at: https://ias.biodiversity.be/harmoniaplus. Accessed 2 August 2021.
6. Bittencourt, L. S., U. R. Leite-Silva, L. M. A. Silva and M. Tavares-Dias. 2014. Impact of the invasion from Nile tilapia on natives Cichlidae species in tributary of Amazonas River, Brazil. *Biota Amazônia* 4(3): 88-94.
7. Canonico, G. C., A. Arthington, J. K. McCrary and M. L. Thieme. 2005. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15 (5): 463-483.
8. CBD. 2015. Convention on biological diversity: Summary synthesis of information on the use of biological control agents against invasive alien species. Available online at:: https://www.cbd.int/meetings/IASEM-2015-01. Assessed 20 December 2015.
9. CEC. 2009. Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species: test cases for the snakeheads (Channidae) and armored catfishes (Loricariidae) in North American inland waters. Commission for Environmental Cooperation. Available online at: http://www.cec.org/publications/trinational-risk-assessment-guidelines-for-aquatic-alien-invasive-species/.
10. Cefas. 2021. Decision support tools for the identification and management of invasive non-native aquatic species. Available online at: https://www.cefas.co.uk/services/research-advice-and-consultancy/non-native-species/decision-support-tools-for-the-identification-and-management-of-invasive-non-native-aquatic-species. Accessed 4 August 2021.
11. Champneys, T., M. J. Genner and C. C. Ioannou. 2021. Invasive Nile tilapia dominates a threatened indigenous tilapia in competition over shelter. *Hydrobiologia* 848 (16): 3747-3762.
12. Ciruna, K. A., L. A. Meyerson and A. Gutierrez. 2004. The ecological and socio-economic impacts of invasive alien species in inland water ecosystems. Report to the Conservation on Biological Diversity on behalf of the Global Invasive Species Programme. Washington, D.C. 34 pp.
13. Clavero, M. and E. García-Berthou. 2006. Homogenization dynamics and introduction routes of invasive freshwater fish in the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* 16 (6): 2313-2324.
14. Copp, G. H., L. Vilizzi, H. Tidbury, P. D. Stebbing, A. S. Ali Serhan Tarkan, L. Miossec and P. Goulletquer. 2016. Development of a generic decision-support tool for identifying potentially invasive aquatic taxa: AS-ISK. *Management of Biological Invasions* 7: 343-350.
15. D'hondt, B., S. Vanderhoeven, S. Roelandt, F. Mayer, V. Versteirt, T. Adriaens, E. Ducheyne, G. San Martin, J. C. Grégoire, I. Stiers and S. Quoilin. 2015. Harmonia+ and Pandora+: risk screening tools for potentially invasive plants, animals and their pathogens. *Biological Invasions* 17(6): 1869-1883.
16. Dunz, A. R. and U. K. Schliewen. 2013. Molecular phylogeny and revised classification of the haplotilapiine cichlid fishes formerly referred to as "*Tilapia*". *Molecular Phylogenetics and Evolution* 68(1): 64-80.
17. Essl, F., S. Nehring, F. Klingenstein, N. Milasowszky, C. Nowack and W. Rabitsch. 2011. Review of risk assessment systems of IAS in Europe and introducing the German–Austrian Black List Information System (GABLIS). *Journal for Nature Conservation* 19 (6): 339-350.

18. Franklin, J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
19. Gu, D. E., G. M. Ma, Y. J. Zhu, M. Xu, D. Luo, Y. Y. Li, H. Wei, X. D. Mu, J. R. Luo and Y. C. Hu. 2015. The impacts of invasive Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the fisheries in the main rivers of Guangdong province, China. *Biochemical Systematics and Ecology* 59: 1-7.
20. Husen, M. A. 2014. Impact of invasive alien fish, Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) on native fish catches of sub-tropical lakes (Phewa, Begnas and Rupa) of Pokhara valley, Nepal. In: Proceedings of the International Conference on Invasive Alien Species Management. Sauraha, Chitwan, Nepal. pp.112-122.
21. IFRO. 2015. Official website of the Iranian Fisheries Research Organization. Available online at: http://www.en.ifro.ir/default.aspx . Assessed 25 April 2016.
22. Kolar, C. S. and D. M. Lodge. 2001. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in ecology & evolution* 16 (4): 199-204.
23. Kolar, C. S. and D. M. Lodge. 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* 298 (5596): 1233-1236.
24. Leung, K. M. and D. Dudgeon. 2008. Ecological risk assessment and management of exotic organisms associated with aquaculture activities. Understanding and applying risk analysis in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 519: 67-100.
25. Lymbery, A. J., M. Morine, H. G. Kanani, S. J. Beatty and D. L. Morgan. 2014. Coinvaders: the effects of alien parasites on native hosts. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 3(2): 171-177.
26. Marchetti, M. P., P. B. Moyle and R. Levine. 2004. Invasive species profiling? Exploring the characteristics of non-native fishes across invasion stages in California. *Freshwater biology* 49(5): 646-661.
27. Moghaddas, S. D. 2020. Effectiveness of invasiveness risk assessment models for non-native fish species in Anzali Wetland, Iran. PhD dissertation. Shahid Beheshti University. Tehran, Iran. (In Persian)
28. Moghaddas, S. D., A. Abdoli, B. H. Kiabi and H. Rahmani. 2020. Risk assessment of the potential invasiveness of *Coptodon zillii* (Gervais, 1848) in Anzali Wetland using AS-ISK Model. *Environmental Sciences* 18 (2): 255-270. (In Persian)
29. NNSS. 2021. Risk assessment. Available online at: https://www.nonnativespecies.org/non-native-species/risk-analysis/risk-assessment/. Assessed 6 August 2021.
30. Pörtner, H. O., D.C. Roberts, H. Adams, C. Adler, P. Aldunce, E. Ali, R. A. Begum, R. Betts, R. B. Kerr, R. Biesbroek and J. Birkmann. 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability (p. 3056). Geneva, Switzerland: IPCC. Available online at: https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability/161F238F406D530891AAAE1FC76651BD.
31. Rabbaniha, M. and F. Owfi. 2021. Biodiversity and ecology of invasive non-native and alien species with a view to climate change. Iranian Fisheries Science Research Institute, Tehran. (In Persian)
32. Rahman, M. L., M. Shahjahan and N. Ahmed. 2021. Tilapia farming in Bangladesh: adaptation to climate change. *Sustainability* 13 (14): 7657.
33. Roy, H. E., W. Rabitsch, R. Scalera, A. Stewart, B. Gallardo, P. Genovesi, F. Essl, T. Adriaens, S. Bacher, O. Booy and E. Branquart. 2018. Developing a framework of minimum standards for the risk assessment of alien species. *Journal of Applied Ecology* 55 (2): 526-538.
34. Russell, D. J., P. A. Thuesen and F. E. Small. 2012. Tilapia in Australia–Development of management strategies for the control and eradication of feral tilapia populations in Australia. PestSmart Toolkit publication, Invasive Animals Cooperative Research Centre, Canberra, Australia.
35. Shuai, F., X. Li, Y. Li, L. Jie, Y. Ji-Ping and S. Lek. 2015. Forecasting the invasive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a large subtropical river using a univariate approach. *Fundamental and Applied Limnology* 187 (2): 165-176.
36. Strubbe, D., R. White, P. Edelaar, C. Rahbek and A. Shwartz. 2019. Advancing impact assessments of non-native species: strategies for strengthening the evidence-base. *NeoBiota* 51: 41-64.
37. Tarkan, A. S., H. M. Sarı, A. İlhan, I. Kurtul and L. Vilizzi. 2017. Risk screening of non-native and translocated freshwater fish species in a Mediterranean-type shallow lake: Lake Marmara (West Anatolia). *Zoology in the Middle East* 63 (1): 48-57.
38. Valikhani, H., A. Abdoli, K. Khezri. 2015. Review of the risk assessment protocols of non-native species. The 2nd National Conference on Environmental Hazards of Zagros, Tehran. 5 March 2015. Available online at: https://civilica.com/doc/373160/
39. Valikhani, H., A. Abdoli, B. H. Kiabi and F. Nejat. 2016. First record and distribution of the blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864)(Perciformes: Cichlidae) in inland waters of Iran. *Iranian Journal of Ichthyology* 3 (1): 19-24.
40. Valikhani, H and M. Khosravi. 2021. Tilapia reveals unsustainable management by an organization in charge of sustainability. *Acta Scientific Veterinary Sciences* 1: 01-05.

41. Verbrugge, L. N. H., R. S. Leuven and G. Velde. 2010. Evaluation of international risk assessment protocols for exotic species. (Reports Environmental Science; No. 366). Department of Environmental Science, Radboud University Nijmegen, Netherlands.
42. Vilizzi, L., G. H. Copp, B. Adamovich, D. Almeida, J. Chan, P. I. Davison, S. Dembski, F. G. Ekmekçi, Á. Ferincz, S. C. Forneck and J. E. Hill. 2019. A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29(3): 529-568.
43. Vilizzi, L., M. Piria and G. H. Copp. 2022. Which calibrated threshold is appropriate for ranking non-native species using scores generated by WRA-type screening toolkits that assess risks under both current and future climate conditions? *Management of Biological Invasions* 13: 593–608.

Risk Assessment of Non-Native Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in Iran

A. Abdoli[1*], H. Valikhani[1], M. Khosravi[1,2], F. Nejat[3], S. D. Moghaddas[4], M. Peymani[1] and B. H. Kiabi[5]

(Received: June 26-2023; Accepted: August 09-2023)

Abstract

The present study was carried out to assess the risk of non-native Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in Iran. The common invasive risk assessment protocols of non-native species were examined according to specific criteria, and the invasive risk assessment of this species was applied based on the selected method and auxiliary tools of species distribution models. The Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK) received the highest score for assessing the invasive risk of non-native fishes in the freshwaters of Iran. The results showed that the risk of the species in Iran is high, and its impacts are significant. The mean scores of the Basic Risk Assessment (BRA) and the total risk assessment (BRA+Climate Change Assessment) were obtained as 41.5 and 53.5, respectively, which are much higher than the threshold values of the model for Iran (i.e., 21). Also, according to the results of other protocols used, the species has a high risk. Overall, the Nile tilapia possess a high potential invasive risk in the country, and unfortunately, its control is complicated, costly and mostly impossible in the recipient ecosystems. Therefore, as the best management measure, preventing the introduction of this species should be considered.

Keywords: Exotic fish, Risk assessment protocols, Species distribution modeling, Tilapia fish

1. Department of Biodiversity and Ecosystem Management, Institute of Environmental Sciences Research, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Department of Ecology and Evolutionary Biology, School of Biological Sciences, The University of Adelaide, Adelaide, South Australia, Australia 5005.
3. Department of Botany and Zoology, Masaryk University, Brno, Czech Republic
4. Protected Areas and Biodiversity Division, Department of Environment, Sari, Mazandaran, Iran
5. Department of Animal Sciences and Marine Biology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran

*: Corresponding Author, Email: a_abdoli@sbu.ac.ir