فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

۴۶-۳۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی با استفاده از مدلAS-ISK در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر

حسین رحمانی[۱*] و سید داریوش مقدس[۲]

[۱] گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۲] بخش زیستگاهها و مناطق حفاظت شده، اداره کل حفاظت محیط زیست مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

رحمانی، ح. و س.د. مقدس. ۱۴۰۲. ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی با استفاده از مدل AS-ISK در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۱): ۳۱-۴۶.

سابقه و هدف: گونه‌های غیربومی یکی از تهدیدهای مهم برای تنوع زیستی محسوب می‌شوند. برخی از گونه‌های ماهیان غیربومی اثرات سوء زیست محیطی داشته و به‌عنوان ماهیان مهاجم شناخته می‌شوند. رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر که مأمن و زیستگاه طیف وسیعی از ماهیان بومی و تجاری هستند. مدل‌های ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی برای شناسایی گونه‌های غیربومی با توان بالای تهاجمی و به‌عنوان ابزاری برای کمک تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران استفاده می‌شود. هدف این تحقیق واسنجی و بررسی کارآمدی مدل Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK) در ارزیابی خطر ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر است.

مواد و روش‌ها: از ابزار ارزیابی ریسک تهاجمی آبزیان (AS-ISK) برای ارزیابی گونه‌های ماهیان غیربومی که ممکن است توان بالای مهاجم شدن در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر را داشته باشند استفاده شده است. ۱۵ گونه از ماهیان غیربومی موجود در منطقه ارزیابی ریسک ارزیابی شدند که ۱۴ گونه آن موجود و یک گونه آن به‌عنوان گونه افق در منطقه ارزیابی ریسک بودند . با استفاده از روش‌های آماری اعداد ریسک حاصل از ارزیابی ریسک توسط هر ارزیاب با هم مقایسه شدند. حد آستانه مدل با روش آنالیز منحنی راک تعیین شد. همچنین برای تطابق اقلیمی منطقه ارزیابی ریسک و گستره بومی ماهیان غیربومی از سیستم طبقه بندی اقلیمی Köppen-Geiger استفاده شده است.

نتایج و بحث: ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی منجر به شناسایی ۷۳٪ گونه‌ها به‌عنوان ماهیان با توان بالای تهاجمی شد. بیشترین عدد ریسک در مدل AS-ISK برای گونه‌های *Carassius auratus* و *Carassius gibelio* و کمترین برای *Anguilla anguilla* به‌دست آمد. تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین متوسط عدد ریسک دو ارزیاب وجود نداشت. حدآستانه برای AS-ISK و ارزیابی ریسک اصلی مدل (BRA) به ترتیب ۹/۵ و ۱۱/۵ به‌دست آمد. سطح زیر نمودار منحنی راک برای مدل AS-ISK

* Corresponding Author: *Email Address*. H.Rahmani@sanru.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1219
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.1.10.6

۱۰۰٪ بود که از نظر آماری، بیانگر کارآمدی مدل در ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک بوده است. ۱۱ گونه از ۱۵گونه ماهی غیربومی به‌عنوان گونه‌های با توان بالای تهاجمی (مهاجم) و بقیه به‌عنوان گونه غیرمهاجم در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر شناسایی شدند. فاکتور اطمینان برای ارزیابی‌های گونه‌ها از ۶۴٪ تا ۷۳٪ متفاوت بود. تمام گونه‌های اولویت‌بندی مدیریتی شدند و در سه فهرست سیاه، خاکستری و سفید قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: مدل AS-ISK برای شناسایی گونه‌های ماهیان غیربومی که ممکن است در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر مهاجم شده یا شوند کارآمد بوده و می‌توان از این مدل برای اولویت‌بندی مدیریتی آن‌ها بر اساس میزان ریسک و به‌عنوان ابزاری علمی در حمایت از مدیران حفاظت، تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران طرح‌های توسعه آبزی‌پروری در منطقه ارزیابی ریسک استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: غربالگری خطر، AS-ISK، گونه مهاجم، دریای خزر.

مقدمه

گونه‌های غیربومی مخصوصاً ماهیان غیربومی یک تهدید جدی برای تنوع زیستی محسوب می‌شوند (Dudgeon *et al.*, 2006; Gozlan *et al.*, 2010). از طرفی دیگر، علی رغم اینکه بوم‌سازگان آب شیرین به‌عنوان هسته سازماندهی در سیمای سرزمین عمل می‌کنند و خدمات بوم‌شناختی بسیاری را برای بشر به‌دنبال دارند، تحت تاثیر مشکلاتی همانند تخریب و از دست رفتن زیستگاه‌ها، تغییر آب‌شناختی، تغییر اقلیم، بهره‌برداری بی‌رویه و آلودگی به صورت هم‌افزا قرار دارند که در این میان، اثرات گونه‌های ماهیان مهاجم هم به این مشکلات اضافه می‌شود (Dudgeon *et al.*, 2006). دامنه اثرات بوم‌شناختی گونه‌های ماهیان غیربومی مهاجم هم وسیع بوده و می‌تواند شامل اثر بر نسخه‌برداری ژنتیکی، دورگه‌گیری، رفتار، ریخت‌شناختی و میزان فعالیت‌های کلیدی گونه (همانند نرخ رشد و تولیدمثل)، شیوع عوامل بیماری‌زا و انگل‌ها، اثرات جمعیت‌شناسی و اثرات پراکنشی در سطح جمعیت، انقراض گونه، تغییرات در ترکیب جامعه و شبکه‌های غذایی و چرخه‌های بیوشیمیایی، جریان انرژی بین اکوسیستم‌ها و ساختار اکوسیستم شود (Cucherousset and Olden, 2011).

ماهیان از جمله جانورانی هستند که در صورت مهاجم شدن در بوم‌سازگان کنترل یا ریشه‌کنی آنان بسیار چالش برانگیز است و در محیط‌های آبی بزرگ موفق نیست و ریشه کنی موفق ماهیان غیربومی تنها در زیستگاه‌های کوچک و محصور گزارش شده است (Britton *et al.*, 2011). بنابراین با علم به اینکه پیشگیری معمولاً بهترین و کم هزینه‌ترین روش کنترل و دور نگه‌داشتن بوم سازگان از گونه‌های مهاجم است (Leung *et al.*, 2002) ارزیابی ریسک تهاجمی یک پیش شرط الزامی برای مدیریت موفق و حتی به‌عنوان یک اقدام پیشگیرانه و به‌صرفه اقتصادی محسوب می‌شود (Keller *et al.*, 2007). ورود عمدی گونه‌های ماهیان غیربومی به اکوسیستم‌های آبی در راستای اهدافی همانند تولید پروتئین، صید ورزشی، کنترل بیولوژیکی و ارزش‌های زینتی بوده است (Kumschick and Richardson, 2013). در کشور ایران با تکیه بر وجود منابع آبی و ضرورت تولید پروتئین و تامین نیاز جمعیت رو به رشد، توسعه آبزی‌پروری از توجه خاصی در برنامه‌های کلان برخوردار است (Ramin *et al.*, 2015) که زمینه ساز ورود عمدی یا سهوی گونه‌های غیربومی جهت برآورد اهداف آبزی‌پروری به اکوسیستم‌های آبی کشور است (Coad and Abdoli, 1993). رونق آبزی‌پروری در حوضه جنوبی دریای خزر امکان معرفی عمدی و سهوی خیلی از گونه‌های غیربومی را فراهم کرده است. در همین راستا و بر اساس آمارنامه سالانه سازمان شیلات در شش سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ در استان‌های شمالی به‌طور متوسط هر ساله ۲۲۹۳۳۳ تن ماهیان گرم آبی و ۷۲۰۱۵۰۰۰ قطعه ماهی زینتی تولید می‌شود (Anonymous, 2019). ضرورت تداوم

آبزی‌پروری در کشور برای تولید پروتئین به‌عنوان یک محصول اساسی (ماده ۳۱ بخش ۷ برنامه ششم توسعه) و از طرفی اجتناب از پیامدهای معرفی گونه‌های غیربومی مهاجم به صنعت آبزی‌پروری و به اکوسیستم‌های آبی طبیعی، نیاز به تجزیه و تحلیل خطر گونه‌های ماهیان غیربومی را الزامی می‌نماید و در فرایند تجزیه و تحلیل خطر، غربالگری خطر تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی به‌عنوان قدم اول فرایند تجزیه و تحلیل ریسک محسوب می‌شود (Copp *et al.*, 2016). ارزیابی و غربالگری خطر تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی، به‌عنوان ابزاری کمکی به مدیران و تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی و مدیریت ورود گونه‌های ماهیان غیربومی به شکلی که هم حفظ و تداوم صنعت آبزی‌پروری و هم تنوع زیستی با ارزش کشور امکان‌پذیر گردد. در میان مدل‌های ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی، مدل AS-ISK (Aquatic Species Invasiveness Screening Kit) از توجه زیادی برخودار شده و از آن در ارزیابی اثرات تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی ۱۲۰ منطقه در دنیا استفاده شده است (Vilizzi *et al.*, 2021). این مدل به‌عنوان ابزاری، موثر برای کمک به سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران و مدیران در مدیریت ماهیان غیربومی (با اهداف مختلف اقتصادی یا بهداشتی) به‌طور گسترده‌ای در دنیا استفاده می‌شوند (Copp *et al.*, 2016a). Moghaddas *et al.* (2020b)برای اولین بار از این مدل برای ارزیابی ریسک تهاجمی ماهیان غیربومی موجود و افق برای تالاب انزلی استفاده نمود که براساس نتایج این ارزیابی از ۱۵ گونه ماهی غیربومی موجود و ۱۴ ماهی غیربومی افق، ۸۹/۷ درصد به‌عنوان ماهیان با توان تهاجمی بالا در تالاب انزلی شناسایی شدند. در بررسی دیگر، توان تهاجمی ماهی تیلاپیای شکم قرمز در صورت معرفی به تالاب انزلی بالا پیش بینی شده است (Moghaddas *et al.*, 2020a). در رودخانه اوب در سیبری روسیه ۳۹ درصد ماهیان غیربومی بررسی شده در گروه ماهیان غیربومی با توان بالای تهاجمی قرار گرفتند (Interesova *et al.*, 2020). در مجموعه ۴۵ کشور جهان از این مدل برای ارزیابی خطر تهاجمی ماهیان غیربومی استفاده کردند و از این حیث مدل AS-ISK از کارآمدی بالایی برخوردار می‌باشد (Vilizzi *et al.*, 2019).

حوضه آبریز جنوبی دریای خزر یک از مناطق با تنوع بالا برای ماهیان آب شیرین محسوب می‌شود ۶۴ درصد کل خانواده‌های ماهیان آب‌های داخلی ایران در این حوضه یافت می‌شوند (Abdoli, 2015). در آب‌های ساحلی و آب‌های داخلی حوضه جنوبی دریای خزر ۸۰ گونه ماهی زیست می‌کنند که ۶۵ گونه از این ماهیان بومی هستند و در میان این گونه‌ها، برخی در طبقه‌بندی سازمان جهانی حفاظت در گروه ماهیان تهدید شده قرار دارند (Abdoli *et al.*, 2022;Kiabi *et al.*, 1999). وجود واحدهای پرورش ماهی متعدد در حوضه آبریز جنوبی دریای خزر یک مسیر احتمالی مهم ورود گونه‌های غیربومی به اکوسیستم‌های آبی این حوضه محسوب می‌شود و در این میان رودخانه‌ها به‌عنوان مأمن و زیستگاه ماهیان بومی و منبع تغذیه تالاب‌ها مخصوصاً تالاب‌های مهم بین‌المللی (رامسر سایت) همانند شبه جزیره میانکاله، خلیج گرگان و لپوی زاغمرز و انزلی از اهمیت قابل توجه‌ای برخوردارند. ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل AS-ISK از دو حیث می‌توانند کاربرد داشته باشد. ۱) اولویت‌بندی ماهیان غیربومی با توان تهاجمی بالا در رودخانه حوضه مورد بررسی مادامی که منابع مالی و لجستیکی برای مدیریت این گونه‌ها محدود است (Copp *et al.*, 2016) و گونه‌های ماهی غیربومی که از توان تهاجمی بالاتری نسبت به سایرین برخوردارند می‌توانند به مدیران و تصمیم‌گیران برای مدیریت این گونه معرفی نمود و ۲) واسنجی این مدل برای حوضه جنوبی دریای خزر است تا امکان ارزیابی گونه ماهیان پرورشی جدید که در برنامه آبزی‌پروری برای این حوضه قرار دارند قبل از

معرفی ارزیابی شوند و نتایج به‌عنوان مستندات در اختیار مسئولین قرار گیرند تا با علم به میزان توان مهاجم شدن این گونه در این منطقه برای معرفی آن تصمیم‌گیری نمایند. لذا هدف از این تحقیق، تفکیک گونه‌های ماهیان غیربومی در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر از نظر میزان توان تهاجمی و همچنین واسنجی مدل AS-ISKبرای ماهیان غیربومی و معرفی حدآستانه مدل مذکور برای منطقه ارزیابی ریسک است.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز جنوب دریای خزر با وسعت ۱۷۴۷۹۰ کیلومتر مربع شامل رودخانه‌های متعددی است که از شیب شمالی رشته کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و نهایتاً به دریای خزر می‌ریزد (Anonymous, 2015). ماهیان غیربومی رودخانه‌های مهم حوضه جنوبی دریای خزر شامل گرگانرود، نکارود، تجن، تلار، بابل‌رود، هراز، رودخانه چالوس، سردابرود، رودخانه شیرود، سفیدرود رودخانه‌های مدنظر این تحقیق بودند. برای تهیه فهرست ماهیان غیربومی رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر از منابع موجود شامل Abdoli, 1999; Abdoli and Naderi, 2009; Abdoli, 2015; Abbasi *et al.*, 1999; Abbasi 2019; Keivany *et al.*, 2016 ;Abdoli *et al.*, 1999 ;Kiabi *et al.*, 2022 استفاده شد. از ۱۵ گونه ماهیان غیربومی، ۱۴ گونه وارد رودخانه‌ها شده‌اند و یک گونه در حوضه‌جنوبی دریای خزر پرورش داده می‌شود ولی وارد اکوسیستم رودخانه نشده است و در این مطالعه به‌عنوان گونه افق در نظر گرفته می‌شود. منظور از گونه افق، گونه ماهی غیربومی است که در مجاورت منطقه ارزیابی ریسک (رودخانه‌ها) وجود دارد ولی هنوز وارد منطقه ارزیابی ریسک نشده است.

شکل ۱- موقعیت رودخانه‌های مهم در حوضه جنوبی دریای خزر
Fig. 1- Location of important rivers in south of Caspian Sea

از نسخه فارسی AS-ISK v2.2 برای ارزیابی خطر مهاجم شدن ماهیان غیربومی استفاده شده است. این نسخه از آدرس https://www.cefas.co.uk/nns/tools/ قابل دسترس است. این مدل از دو بخش BRA (Basic Risk Assessment) و CCA (Climate Change Assessment) تشکیل شده است. تطابق اقلیمی بین گستره خانه اصلی (بومی) گونه‌های ماهیان غیربومی با حوضه جنوبی دریای خزر با سیستم طبقه‌بندی اقلیمی Köppen-Geiger (https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007-discussion.html) انجام شده است. ارزیابی تغییر اقلیم CCA مدل AS-ISK با سناریوی تغییر اقلیم در آینده و

براساس مطالعات مربوطه موجود صورت گرفته است. حوضه جنوبی دریای خزر در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی Köppen-Geiger عمدتاً در طبقه اقلیم معتدل با تابستان گرم (Csa[1]) قرار دارد هرچند طبقات اقلیم نیمه بیابانی خشک و سرد (Bsk[2])، معتدل پر باران با تابستان گرم (Cfa[3]) و اقلیم نیمه بیابانی خشک و گرم (Bsh[4]) هم به‌طور جزیی در این منطقه وجود دارند (Raziei, 2017). در مدل AS-ISK ارزیاب هر سوال را به استناد منابع موجود پاسخ داده و حدود اطمینان برای آن در نظر می‌گیرد. رتبه‌بندی اطمینان برای هر یک از ۵۵ سوال در ارزیابی بر اساس برنامه بین‌المللی تغییرات اقلیم (IPCC, 2005) به‌صورت کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد که معادل عددی آن‌ها به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴ است (Copp *et al.*, 2008). فاکتور اطمینان از رابطه زیر بدست می‌آید که در آن CL رتبه اطمینان هر سوال و Q*i* از سوال یک تا ۵۵ است:

$$CF = \sum (CL_{Qj})/(4 \times 55)(i = 1 \dots 55) \quad (1)$$

فاکتور اطمینان از حداقل ۰/۲۵ تا ۱ متغیر است. فاکتور اطمینان در صورتی‌که بیشتر از ۹۰٪ باشد اطمینان ارزیابی خیلی زیاد و اگر بین ۸۰٪ تا ۹۰٪ باشد اطمینان زیاد و اگر بین ۵۰٪ تا ۸۰٪ باشد اطمینان متوسط و کمتر از ۵۰٪ باشد اطمینان کم به‌حساب می‌آید (Copp *et al.*, 2008).

برای تعیین حد آستانه منطقه ارزیابی ریسک از آنالیز منحنی راک Receiver Operating Characteristic Curve استفاده شده است. حداقل نمونه برای تعیین حد آستانه با استفاده از منحنی راک باید ۱۵ گونه باشد (Vilizzi *et al.*, 2019). سطح زیر نمودار منحنی راک یا AUC (Area Under Curve) میزان دقت آنالیز منحنی راک را نشان می‌دهد. هرچه سطح زیر منحنی راک به عدد یک نزدیک‌تر باشد کارآمدی منحنی راک در جدا کردن گونه‌های ماهیان غیربومی مهاجم از غیر مهاجم بیشتر است و اگر این عدد کمتر از نیم باشد، مدل برای تعیین گونه‌های غیربومی مهاجم کارآمدی ندارد (دقت آن قابل قبول نیست).

برای مقایسه تفاوت معنی‌دار بین میانگین اعداد ریسک ارزیاب‌ها با هم پس از آزمون نرمال بودن آن‌ها با آزمون Shapiro-Wilk، از آزمون تی تست مستقل استفاده شده است. در صورت معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین اعداد اثر حاصل از ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی با استفاده از مدل AS-ISK، باید به تعداد ارزیاب‌ها اضافه شود تا نهایتاً بین میانگین‌های اعداد ریسک، تفاوت معنی‌داری وجود نداشته باشد.

در مدل AS-ISK برای هر گونه ماهی غیربومی پس از انجام ارزیابی، عدد ریسک به‌دست می‌آید که اگر مقدار آن بیشتر از حد آستانه باشد گونه غیربومی پتانسیل بالای مهاجم شدن دارد و اگر کمتر از حدآستانه شود پتانسیل مهاجم شدن گونه غیربومی متوسط یا پایین است و گونه غیرمهاجم در نظر گرفته می‌شود.

نتایج و بحث

با استفاده از مدل AS-ISK، ۱۴ گونه از ماهیان غیربومی در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر و یک گونه غیربومی به‌عنوان گونه افق از نظر توان ریسک تهاجمی ارزیابی شدند. داده‌های حاصل از ارزیابی ارزیاب‌ها، با استفاده از تست نرمالیته Shapiro-Wilk نشان دادند که از توزیع نرمال برخوردار بودند و براساس تست t تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بین نتایج حاصل از ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک توسط دو ارزیاب وجود نداشت (جدول ۱). معنی‌دار نبودن تفاوت بین عدد ریسک دو ارزیاب، عدم نیاز به ارزیاب جدید و کافی بودن دو ارزیاب برای انجام ارزیابی ریسک تهاجمی ماهیان غیربومی ارزیابی شده با مدل AS-ISK را نشان می‌دهد.

در جدول ۳ نتایج ارزیابی‌ها شامل ارزیابی اصلی BRA و ارزیابی کامل AS-ISK (BRA+CCA) آمده است. بیشترین عدد ریسک در هر دو ارزیابی برای دو گونه *Carassius auratus* و *Carassius gibelio* و کمترین عدد ریسک در BRA برای *Chelon saliens* و در AS-ISK برای *Anguilla anguilla* به‌دست آمد.

جدول ۱- نتایج آزمون توزیع نرمال و تفاوت بین میانگین عدد ریسک ارزیاب‌ها

Table 1. The results of the normal distribution test and the difference between the risk score mean of assessors

ارزیاب Assessor	میانگین عدد اثر Mean risk score	انحراف معیار Standard error	(W-index) Shapiro-Wilk	(P-value) Shapiro-Wilk	(P-value) t-test independent
BRA					
اول First	19.38	13.18	0.928	0.2	0.182
دوم Second	20.13	13.24	0.931	0.3	
AS-ISK					
اول First	25.36	19.68	0.93	0.2	0.784
دوم Second	25.33	18.26	0.92	0.2	

برای واسنجی مدل AS-ISK با منطقه ارزیابی ریسک براساس آزمون راک نشان داده که این آزمون کارآمدی مدل مذکور را برای ارزیابی گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی خطر (رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر) در سطح معنی‌دار ۰/۰۰۰۱ نشان داد. حد آستانه برای مدل AS-ISK ۹/۵ و برای BRA ۱۱/۵ به‌دست آمد و سطح زیر نمودار ۱۰۰٪ بود (شکل ۱ و ۲ و جدول ۲) که بیانگر دقت بالای تفکیک گونه‌های ماهیان غیربومی مهاجم و غیرمهاجم در منطقه ارزیابی ریسک است (Safari *et al.*, 2016). سنجش گونه‌های ماهیان غیربومی ارزیابی شده با این دو حد آستانه به ترتیب برای AS-ISK و BRA ۱۱ و ۹ گونه ماهی غیربومی با توان بالای تهاجمی در منطقه ارزیابی ریسک شناسایی شدند (جدول ۲). گونه‌های *Carassius auratus*، *Carassius gibelio*، *Ctenopharyngodon idella*، *Cyprinus carpio*، *Gambusia holbrooki*، *Hemiculter leucisculus*، *Hypophthalmichthys molitrix*، *Hypophthalmichthys nobilis* و *Pseudorasbora parva* در هر دو حالت یعنی ارزیابی ریسک اصلی بدون در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی احتمالی در آینده (BRA) یا با آن (AS-ISK) به‌عنوان گونه‌های غیربومی با توان بالای تهاجمی ارزیابی شدند. ارزیابی تغییر اقلیم (CCA) مدل AS-ISK با سناریوی تغییر اقلیم در آینده به سمت گرم‌تر شدن منطقه ارزیابی ریسک، بر اساس مطالعات انجام شده صورت گرفت (Lovieh and Alijani, 2019). CCA باعث افزایش عدد ارزیابی ریسک تهاجمی ۶۰ درصد گونه‌های مورد ارزیابی (یعنی تفاوت میانگین عدد ریسک بین AS-ISK و BRA) شده است (جدول ۳). این بدان معنی است که در صورت تحقق پیش‌بینی تغییرات اقلیم در منطقه ارزیابی ریسک شانس احتمالی مهاجم شدن گونه‌های ماهیان غیربومی ارزیابی شده افزایش خواهد یافت.

بیشترین میانگین فاکتور اطمینان Confidence factor در ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک ۷۳ درصد به گونه *Ctenopharyngodon idella* و کمترین آن ۶۴ درصد به گونه *Acipenser ruthenus* تعلق داشت. فاکتور اطمینان، خلاءهای اطلاعاتی در مورد گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک را نشان می‌دهد که باید اساسی برای انجام مطالعات ضروری برای این گونه‌های ماهیان غیربومی باشد.

جدول۲- حد آستانه و سطح زیر نمودار منحنی راک به همراه دقت آزمون‌ها در ارزیابی ریسک با AS-ISK

Table 2. Threshold values, the AUC of ROC curve and corresponding P-value in regard with risk assessment using AS-ISK

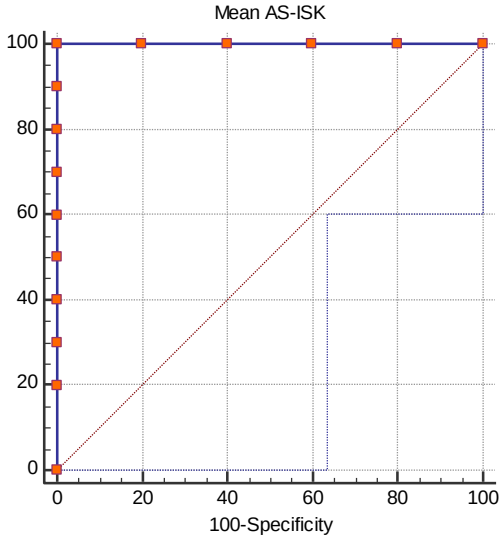
مدل ارزیابی Risk assessment model	تعداد گونه Number species	میانگین عدد ریسک Mean risk score	میانگین فاکتور اطمینان (درصد) Mean confidence factor %	حدآستانه Threshold	سطح زیر نمودار AUC	مقدار پی P-value
BRA	15	19.75	70	11.5	1	0.0001
AS-ISK	15	23.35	74	9.5	1	0.0001

جدول۳- نتایج ارزیابی ریسک تهاجمی گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک با مدل AS-ISK

Table 3. Results of the risk assessment of the non-native fish species in the risk assessment area using AS-ISK

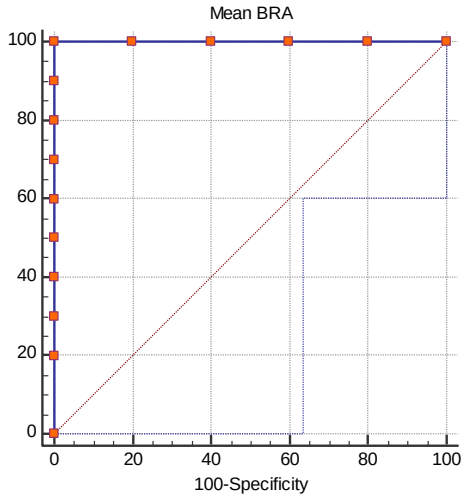
ردیف No.	نام علمی گونه Scientific name	ارزیاب ۱ Assesor1		ارزیاب ۲ Assesor2		میانگین ۱ و ۲ Mean 1&2		میانگین فاکتور اطمینان(درصد) Mean CF		رتبه ریسک Risk level		اولویت‌بندی مدیریتی Management prioritization	
		BRA	AS-ISK	BRA	AS-ISK	BRA	AS-ISK	BRA	AS-ISK	BRA	AS-ISK	BRA	AS-ISK
1	*Acipenser ruthenus*	7	7	6	6	6.5	6.5	64	67	M	M	خاکستری Gray	خاکستری Gray
2	*Anguilla anguilla*	4.5	0.5	4	0	4.25	0.25	71	71	M	L	خاکستری Gray	سفید white
3	*Carassius auratus*	41	53	42	54	41.5	53.5	69	68	H	H	سیاه Black	سیاه Black
4	*Carassius gibelio*	42	54	41	53	23.35	53.5	71	71	H	H	سیاه Black	سیاه Black
5	*Chelon auratus*	4	4	6	6	5	1	72	71	M	M	خاکستری Gray	خاکستری Gray
6	*Chelon saliens*	3	7	5	5	4	6	68	67	M	M	خاکستری Gray	خاکستری Gray
7	*Ctenopharyngodon idella*	17.5	29.5	24.5	34.5	21	32	72	73	H	H	سیاه Black	سیاه Black
8	*Cyprinus carpio*	29	41	34	44	31.5	42.5	71	70	H	H	سیاه Black	سیاه Black
9	*Gambusia holbrooki*	35	48	32	40	33.5	44	71	69	H	H	سیاه Black	سیاه Black
10	*Gasterosteus aculeatus*	16	6	7	13	11.5	9.5	68	67	H	H	سیاه Black	سیاه Black
11	*Hemiculter leucisculus*	28	40	25	35	26.5	37.5	71	71	H	H	سیاه Black	سیاه Black
12	*Hypophthalmichthys molitrix*	12.5	22.5	19.05	25.5	16	24	71	72	H	H	سیاه Black	سیاه Black
13	*Hypophthalmichthys nobilis*	12.5	22.5	16.5	24.5	14.5	23.5	69	68	H	H	سیاه Black	سیاه Black

14	*Oncorhynchus mykiss*	18.5	14.5	13	7	15.75	10.75	70	69	H	H	سیاه Black	سیاه Black
15	*Pseudorasbora parva*	27	39	26.5	32.5	26.75	35.75	69	68	H	H	سیاه Black	سیاه Black



شکل ۲- نمودار راک ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک با مدل AS-ISK

Fig. 2- ROC curve of the risk assessment of NN fish species in the RA area using AS-ISK



شکل ۳- نمودار راک ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک با مدل BRA

Fig. 3- ROC curve of the risk assessment of NN fish species in the RA area using BRA

همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود تمامی سطوح بالای قطر مربع را پوشانده است که بیانگر ۱۰۰٪ کارآمدی مدل است و اگر این نمودار در زیر قطر مربع قرار می‌گرفت و مساحت آن ۵۰ درصد شکل یا کمتر از آن بود بیانگر ناکارآمدی مدل در جداکردن گونه‌های غیربومی مهاجم از غیرمهاجم برای منطقه ارزیابی ریسک بود.

هر دو گونه جنس *Carassius* بیشترین عدد ریسک را در بین ماهیان غیربومی منطقه ارزیابی ریسک داشته‌اند و در اکثر رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر در بخش پایین‌دست رودخانه پراکندگی دارند (Abdoli, 2015). در رودخانه تجن و در آب‌های پشت سد شهید رجایی این گونه از شاخص کیفیت قابل توجه‌ای به نسبت سایر

ماهیان بومی برخوردار بود (Rahmani, 2016). کپورچه *C. gibelio*(همچنین ماهی حوض *C. auratus*) ویژگی-های زیست‌شناختی خاصی دارد که از این گونه یک ماهی غیربومی مهاجم موفق ساخته‌است (Lusková *et al.*, 2010). از جمله می‌توان به مقاومت بالا به تغییرات محیطی و استرس ناشی از آن، بکرزایی، بلوغ زودرس و نرخ باروری بالا اشاره کرد (Copp *et al.*, 2005; Vetemaa *et al.*, 2005; Morgan and Beatty, 2007; Tarkan *et al.*, 2010; Yerli *et al.*, 2014; Nentwig *et al.*, 2016)

گونه‌های ماهیان غیربومی مهاجم از ویژگی‌های زیست‌شناختی مانند رشد سریع، باروری بالا، بردباری به دامنه وسیعی از تغییرات دما و تاریخچه استقرار موفق در سایر نقاط دنیا برخوردارند که آن‌ها را از سایر ماهیان غیرمهاجم جدا می‌کند (Kolar and Lodge, 2002). ماهیانی که در این ارزیابی به‌عنوان گونه‌های با توان بالای تهاجمی شناسایی شدند مانند تیزکولی *H. leucisculus* به دلیل برخورداری از این ویژگی‌ها، از ماهیان غیربومی مهاجم موفقی در زیستگاه‌هایی که معرفی شده‌اند به-حساب می‌آیند (Wang *et al.*, 2016). ماهی دیگری که به‌عنوان گونه مهاجم در منطقه ارزیابی ریسک شناخته شده است گامبوزیا *G. holbrooki* است که برای اولین بار بین سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ برای کنترل لارو پشه مالاریا به تالاب انزلی معرفی شده است (Coad and Abdoli, 1993). این گونه است مقاوم به شرایط محیطی سخت از جمله درجه حرارت بالا، تغییر pH آب و اکسیژن محلول پایین است و در تراکم بالا می‌تواند اثر منفی بر ساختار پلانکتونی محیط آبی معرفی شده داشته باشد (Margaritora *et al.*, 2001; Blanco *et al.*, 2004; Coad, 2017). کپور معمولی در حوضه آبریز جنوبی دریای خزر از دو فرم وحشی و پرورشی تشکیل شده است (Abbasi *et al.*, 1999). فرم پرورشی آن به طور عمدی به همراه سایر کپورهای چینی (*H. molitrix*، *H. nobilis* و *C. idella*) با هدف بازسازی ذخایر رهاسازی شده است (Holčík and Oláh, 1992; Mirzajani *et al.*, 2009). ماهی کپور پرورشی به همراه سایر کپورهای چینی، میزبان یا ناقل طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زا محسوب می‌شوند (Shamsi *et al.*, 2009; Pazooki and Masoumian, 2012) و برخی از عوامل بیماری‌زا که توسط این ماهیان پرورشی برای اولین بار در ایران گزارش شده‌اند (Sattari *et al.*, 2007).

حدآستانه مدل AS-ISK برای گونه‌های ماهیان غیربومی منطقه مورد مطالعه ۹/۵ به‌دست آمد (جدول ۲). در مقایسه با تحقیق مشابه در تالاب انزلی، حدآستانه مدل AS-ISK ۱۱/۵ بود که براساس آن از ۷۳٪ درصد گونه‌های ماهیان غیربومی تالاب انزلی با توان بالای تهاجمی شناسایی شدند (Moghaddas *et al.*, 2020b). تمام گونه‌های ماهیان غیربومی که در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر توان بالایی را در مدل AS-ISK نشان دادند در ارزیابی ریسک تهاجمی تالاب انزلی مشابه بودند. در ارزیابی ریسک تهاجمی ماهیان غیربومی با همین مدل در منطقه رامپی (خلیج فارس و دریای عمان) حدآستانه برای منطقه ارزیابی ریسک ۲۳/۵ حاصل شد که منجر به شناسایی ۵۳/۰۷ درصد کل آبزیان ارزیابی شده با ریسک تهاجمی بالا (مهاجم) شد (Clarke *et al.*, 2019).

Vilizzi *et al.* (2022)توصیه کردند که در واسنجی مدل AS-ISK برای مناطق ارزیابی ریسک، حدآستانه BRA برای ارزیابی ریسک ماهیان غیربومی استفاده شود (یعنی بدون در نظر گرفتن تغییرات احتمالی اقلیم در منطقه ارزیابی ریسک) تا خطای شناسایی گونه‌های غیربومی با توان بالای تهاجمی به حداقل برسد. لذا در این ارزیابی، حدآستانه BRA برای واسنجی مدل در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر انتخاب شده است.

بر اساس نتایج ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک، گونه‌ها را از نظر اولویت‌بندی مدیریتی می‌توان در سه فهرست سیاه، خاکستری و سفید

طبقه‌بندی نمود (Ries *et al.*, 2020). گونه‌هایی که با توان بالای تهاجمی (H) در جدول ۳ شناسایی شدند از نظر اولویت مدیریتی در فهرست سیاه قرار می‌گیرند که هدف اصلی برنامه ریشه‌کنی یا کنترل قرار می‌گیرند و گونه‌هایی که با توان تهاجمی متوسط (M) شناسایی شدند در فهرست خاکستری خواهند بود که برنامه پایشی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود و گونه‌های که در حداقل ریسک قرار دارد (L) در فهرست سفید قرار داده می‌شود تا فعلا در اولویت مدیریتی قرار نگیرد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی ریسک، شدت احتمال ریسک ورود و گسترش گونه‌های غیربومی را شناسایی و به‌عنوان اولین قدم در مدیریت ریسک این گونه‌ها محسوب می‌شود (Moghaddas, 2020). ارزیابی ریسک گونه‌های ماهیان غیربومی در منطقه ارزیابی حوزه جنوبی دریای خزر با مدل AS-ISK نشان داد که ۷۳ درصد ماهیان غیربومی توان تهاجمی بالایی دارند که برخی از این گونه‌ها در حوضه جنوبی دریای خزر در تالاب انزلی به‌عنوان مهاجم معرفی شده بودند (Esmaeili *et al.*, 2014; Sayad *et al.*, 2001; Abdoli and Naderi, 2009). فاکتور اطمینان در ارزیابی ریسک انجام شده، نشان دهنده کمبود اطلاعات در خصوص گونه‌های غیربومی در منطقه ارزیابی ریسک است که با توجه به پیامدهای آنان بر گونه‌های بومی و اکوسیستم‌ها، انجام مطالعات جامع در مورد گونه‌های غیربومی موجود و گونه‌هایی که ممکن است در آینده به‌عنوان گونه هدف باشند، ضرورت می‌یابد. تغییرات احتمالی اقلیم در منطقه ارزیابی ریسک در آینده، احتمال افزایش توان تهاجمی بیشتر گونه‌های ماهیان غیربومی مورد بررسی را به‌دنبال خواهد داشت که می‌تواند دلیلی برای تعجیل در برنامه‌ریزی برای مدیریت گونه‌های غیربومی در فهرست سیاه تهیه شده در این ارزیابی باشد. ضمنا، مدل ارزیابی ریسک AS-ISK یک روش علمی، سریع و پرطرفدار است (Copp *et al.*, 2016; Vilizzi *et al.*, 2019) که با کارآمدی بالا در این تحقیق توانسته ماهیان غیربومی با توان بالای تهاجمی (مهاجم) را از گونه‌های با توان متوسط تا کم (غیرمهاجم) جدا کند و لذا می‌تواند به‌عنوان یک مدل ارزیابی ریسک سریع در برنامه‌های حفاظتی و یا برنامه معرفی گونه‌های غیربومی جدید در رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر، برای مدیران و سیاستگذاران محسوب گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است. به این وسیله از کلیه مسئولان دانشگاه خصوصا حوزه معاونت پژوهشی و کلیه عزیزانی که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند کمال تشکر را داریم.

پی‌نوشت‌ها

[1] Mediterranean hot summer climate
[2] Cold semi-arid climate
[3] Humid subtropical climate
[4] Hot semi-arid climate

منابع

Abdoli, A. and Naderi, M., 2009. Biodiversity of Fishes of the Southern Basin of the Caspian Sea. Abzian Publishers, Tehran, Iran.

Abdoli, A., 1999. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Nature and Wildlife Museum. Tehran, Iran.

Abdoli, A., 2015. The Field Guide of the Inland Abbasi, K., Valipour, A., Haghighi, T., Sarpanah, A. and Nezami, S., 1999. Atlas of Iranian fishes Guilan Inland Water. Guilan Fisheries Research Center. Guilan, Iran.

Abbasi, K., Moradi, M. and Mirzajani, A., 2019. Anzali Wetland Basin Fishes. Green Books, Lahijan Press, Lahijan, Iran.

Water Fishes of Iran. Iranshenasi Publications, Tehran, Iran.

Abdoli, A., Valikhani, H., Nejat, F. and Khosravi, M., 2022. Non-native Freshwater Fishes of Iran: Identification, Impacts, Management. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Anonymous., 2015. Iran's Annual Statistical Report on Water. Comprehensive Planning Bureau. Ministry of Power. Tehran, Iran.

Anonymous., 2019. Annual statistical report. Iranian Fisheries Organization. https://www. fisheries.ir/site/personelinfo.aspx?jaygah=2

Blanco, S., Romo, S. and Villena, M.J., 2004. Experimental study on the diet of mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) under different ecological conditions in a shallow lake. International Review of Hydrobiology. 89, 250–262.

Britton, J.R., Copp, G.H., Brazier, M. and Davies, G.D., 2011. A modular assessment tool for managing introduced fishes according to risks of species and their populations, and impacts of management actions. Biological Invasions. 13, 2847–2860.

Clarke, S.A., Vilizzi, L., Lee, L., Wood, L.E., Cowie, W.J., Burt, J.A., Mamiit, R.J.E., Ali, H., Davison, P.I., Fenwick, G.V., Harmer, R., Skóra, M.E., Kozic, S., Aislabie, L.R., LeQuesne, W.J.F., Copp, G.H. and Stebbing, P.D., 2019. Identifying potentially invasive non-native marine and brackish water species for the Arabian Gulf and Sea of Oman. Global Change Biology. 26, 2081-2092.

Coad, B.W. and Abdoli, A., 1993. Exotic fish species in the fresh waters of Iran. Zoology in the Middle East. 9, 65–80.

Coad, B.W., 2017. Review of the livebearer fishes of Iran (Family *Poeciliidae*). Iranian Journal of Ichthyology. 4,305-330.

Copp, G.H., Wesley, K.J. and Vilizzi, L., 2005. Pathways of ornamental and aquarium fish introductions into urban ponds of Epping Forest (London, England): the human vector. Journal of Applied Ichthyology. 21, 263–274.

Copp, G.H., Britton, J.R., Jeney, G., Joly, J.P., Gherardi, F., Gollasch, S., Gozlan, R.E., Jones, G., MacLeod, A., Midtlyng, P.J., Moissec, L., Nunn, A.D., Occhipinti-Ambrogi, A., Oidtmann, B., Olenin, S., Peeler, E.J., Russell, I.C., Savini, D., Tricarico, E. and Thrush, M., 2008. Risk Assessment Protocols and Decision Making Tools for Use of Alien Species in Aquaculture and Stock Enhancement. Report to the European Commission. UK.

Copp, G.H., Vilizzi, L., Tidbury, H., Stebbing, P.D., Tarkan, A.S., Moissec L. and Goulletquer P.H., 2016. Development of a generic decision-support tool for identifying potentially invasive aquatic taxa: AS-ISK. Management of Biological Invasions. 7, 343–350.

Cucherousset, J. and Olden, J.D., 2011. Ecological impacts of non-native freshwater fishes. Fisheries. 36, 215-230.

Dudgeon, D., Arthington, A. H, Gessner, M.O., Kawabata, Z., Knowler, D.J., Leveque, C.L., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A., Soto, D., Stiassny, M.L.J. and Sullivan, C.A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews. 81, 163–182.

Esmaeili, H.R., Teimori, A., Owfi, F., Abbasi, K. and Coad, B.W., 2014. Alien and invasive freshwater fish species in Iran: Diversity, environmental impacts and management. Iranian Journal of Ichthyology. 1, 61–72.

Gozlan, R.E., Britton, J.R., Cowx, I. and Copp, G.H., 2010. Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. Journal of Fish Biology. 76, 751–786.

Holčík, J. and Oláh, J., 1992. Fish, Fisheries and Water Quality in Anzali Lagoon and Its Watershed. Report Prepared for the Project–Anzali Lagoon Productivity and Fish Stock Investigations. FAO, Rome, Italia.

Interesova, E., Vilizzi, L. and Copp, G.H., 2020. Risk screening of the potential invasiveness of non-native freshwater fishes in the River Ob basin (West Siberian Plain, Russia). Regional Environment Change. 20(64), 1-10.

I.P.C.C., 2005. Guidance notes for lead authors of the IPCC fourth assessment report on addressing uncertainties. Available online at: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-uncertaintyguidancenote.

Keller, R.P., Lodge, D.M. and Finnoff, D.C., 2007. Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits. Proceeings of the National Academy Sciences of the USA. 104, 203–207.

Keivany, Y., Nasri, M., Abbasi, K. and Abdoli, A., 2016. Atlas of Inland Water fishes of Iran. Iran Department of Environment. Iran.

Kiabi, B.H., Abdoli, A. and Naderi, M., 1999. Status of the fish fauna in the South Caspian Basin of Iran. Zoology in the Middle East. 18(1), 57–65.

Kumschick, S. and Richardson, D.M., 2003. Species based risk assessments for biological invasions: advances and challenges. Diversity Distribution. 19, 1095–1105.

Kolar, C.S. and Lodge, D.M., 2002. Ecological predictions and risk assessment for Alien fishes in North America. Science. 238, 1233-1236.

Leung, B., Lodge, D.M., Finnoff, D., Shogren, J.F., Lewis, M.A. and Lamberti, G., 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. Proceedings. Biological sciences. 269(1508), 2407–2413.

Lovieh, S.F and Alijani, B., 2019. Future climate change of the southern Caspian Sea, using regional climate model. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 1, 11-136.

Lusková, V., Lusk, S., Halačka, K. and Vetešník, L., 2010. *Carassius auratus gibelio* – the most successful invasive fish in waters of the Czech Republic. Russian Journal of Biological Invasions. 1, 176–180.

Margaritora, F.G., Ferrara, O. and Vagaggini, D., 2001. Predatory impact of the mosquitofish (*Gambusia holbrooki*, Girard) on zooplanktonic population in a pond at Tenuta di Castelporziano (Rome, Central Italy). Journal of Limnology. 60, 189–193.

Moghaddas, S.D., 2020. Effectiveness of invasiveness risk assessment models for non-native fish species in Anzali wetland. Ph.D. Thesis. Shahid Beheshti University. Tehran, Iran.

Moghaddas, S.D., Abdoli, A., Hassanzade Kiabi, B. and Rahmani, H., 2020a. Risk assessment of the potential invasiveness of Coptodon zillii (Gervais, 1848) in Anzali Wetland using AS-ISK Model. Environmental Sciences. 18(2), 255-270.

Moghaddas, S.D., Abdoli, A., Kiabi, B.H., Rahmani, H., Vilizzi, L. and Copp, G.H., 2020b. Risk screening for potentially invasive non-native freshwater fishes in the Anzali Wetland Complex (Iran). Fisheries Management and Ecology. 28, 28-39.

Morgan, D.L. and Beatty, S.J., 2007. Feral goldfish (*Carassius auratus*) in Western Australia: a case

study from the Vasse River. Journal of the Royal Society of Western Australia. 90, 151-156.

Nentwig, W., Bacher, S., Pyšek, P., Vilà, M. and Kumschick, S., 2016. The generic impact scoring system (GISS): a standardized tool to quantify the impacts of alien species. Environmental Monitoring and Assessmen. 188(5), 1-13.

Pazooki, J. and Masoumian, M., 2012. Synopsis of the parasites in iranian freshwater fishes. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 11, 570–589.

Rahmani, H., 2016. Limnology and demography study on fish species in Rajai Dam. Department of Environment in Mazandaran. Iran.

Ramin, M., Khalifenimsaz, M., Mohamadkhani, H., Abedini, A., Nazari, K., Kianerci, F. and Daghighi, R., 2015. Identification and introduction of aquaculture capacities Inland waters of the country. Research Report. Iranian Fisheries Science Research Institute. Iran.

Raziei, T., 2017. Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. Journal of Earth and Space Physics. 43, 419–439

Ries, C., Krippel, Y. and Pfeiffenschneider, M., 2020. Risk assessment after the Harmonia + protocol of invasive alien vascular plant species in Luxembourg. Bulletin Societe des Natturalistes Luxembourgeois. 122, 195-205.

Safari, S., Bratloo, A., Elfil, M. and Nagida, A., 2016. Evidence Based Emergency Medicine; Part 5: Receiver Operating Curve and Area under the Curve. Archive Academic Emergency Medicine. 4, 111-113.

Sattari, M., Mokhayer, B., Khara, H., Nezami, S. and Shafii, S., 2007. Occurrence and intensity of parasites in some bony fish species of Anzali wetland from the southwest of the Caspian Sea. Bulletin- European Association of Fish Pathologists. 27, 54–62.

Sayad Borani, M., Nezami, S.N. and Hasanzadeh, Kiabi, B., 2001. Biological study and population dynamics of *Carassius auratus gibelio* in Anzali Lagoon. Scientific Journal of Iranian Fisheries. 10, 57-70.

Shamsi S, Jalali, B. and Aghazadeh Meshgi, M., 2009. Infection with *Dactylogyrus* spp. among introduced cyprinid fishes and their geographical distribution in Iran. Iranian Joutrnal of Veterinary Research. 10, 70-74.

Tarkan, A.S., Cucherousset, J., Zięba, G., Godard, M.J. and Copp, G.H., 2010. Growth and reproduction of introduced goldfish *Carassius auratus* in small ponds of southeast England with and without native crucian carp *Carassius carassius*. Journal of Applied Ichthyology. 26, 102-108.

Vilizzi, L., Copp, G.H., Adamovich, B., Chan, J., Davison, P.I. and Zeng, Y., 2019. A global review and meta-analysis of applications of the freshwater Fish Invasiveness Screening Kit. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 29, 529-268.

Vilizzi, L., Copp, G.H., Hill, J.E., Adamovich, B., Aislabie, L. and Akin, D. and Bakiu, R., 2021. A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions. Science of the Total Environment. 788, 147868.

Vilizzi, L., Piria, M. and Copp, G.H., 2022. Which calibrated threshold is appropriate for ranking non-native species 4 using scores generated by WRA-type screening toolkits that assess risks 5 under both current and future climate conditions**.** Management and Biological Invasion**.** 13(4), 593-608.

Wang, T., Jakovlić, I., Huang, D., Wang, J.G. and Shen, J.Z., 2016. Reproductive strategy of the

invasive sharp belly, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky 1855), in Erhai Lake, China. Journal Applied Ichthyology. 32, 324–333.

Yerli, S.V., Mangıt, F., Emiroğlu, Ö., Yeğen, V., Uysal, R., Ünlüb, E., Alp, A, Buhan, E., Yıldırım,T. and Zengin, M., 2014. Distribution of Invasive *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) (Teleostei:Cyprinidae) in Turkey. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 14, 581-590.

Environmental Sciences Vol.21 / No.1 / Spring 2023

31-46

Original Article

Invasiveness risk assessment of non-native fishes using the AS-ISK model in the rivers of the southern basin of the Caspian Sea

Hossein Rahmani[1*] and Seyed Daryoush Moghaddas[2]

[1] Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[2] Part of Habitats and Protected Areas, Mazandaran Department of Environment, Sari, Iran

Received: 2022.12.31 Accepted: 2023.09.13

Rahmani, H. and Moghaddas, S.D., 2023. Invasiveness risk assessment of non-native fishes using the AS-ISK model in the rivers of the southern basin of the Caspian Sea. Environmental Sciences. 21(1): 31-46.

Introduction: Non-native species are one of the important threats to biodiversity. Some non-native fish species pose environmental impacts and are known as invasive species. Rivers of the southern Caspian Sea are home to a vast variety of native or commercial fish species. Non-native species invasiveness risk assessment tools are used to identify the species with high invasive potential risks and are used as a decision–making tool. The main aim of this study is to calibrate and validate the Aquatic Species Invasiveness Screening Kit (AS-ISK) for non-native fish species of rivers in the southern Caspian Sea basin.

Material and methods: AS-ISK was used to assess non-native (NN) fish that may pose a high potential risk of becoming invasive in rivers of the South Caspian Sea. Fifteen NN fish species were assessed, 14 of which are extant and 1 is horizon species in the risk assessment (RA) area. The statistical methods were used to compare the scores obtained by each assessor. The threshold score was calculated using receiver operating characteristic curve analysis. Also, the Köppen-Geiger climate system was used to match the climate between the native range of NN fish species and the risk assessment area.

Results and discussion: Risk assessment of NN fish species led to the identification of 73 % of the species as potential invasive species in the RA area. *Carassius gibelio* and *Carassius auratus* achieved the highest risk score and *Anguilla anguilla* obtained the lowest risk score among all NN fish species. There was not a statistically significant difference between assessor-specific mean risk scores. Threshold scores were 9.5 and 11.5 for AS-ISK and Basic Risk Assessment (BRA), respectively. The area under curve was 100%, which shows an excellent output for the efficiency of the AS-ISK in the RA area. Eleven out of the 15 NN fish species

[*] Corresponding Author: *Email Address*. H.Rahmani@sanru.ac.ir

were identified as potential invasive species and the rest as non-invasive NN species in the RA area. Confidence factors were different from 73% to 64%. All NN fish species were categorized in three lists i.e., black, grey and white in regard to their risk ranks in order to manage prioritization.

Conclusion: The AS-ISK efficiently identified NN fish species that pose a high risk of being/becoming invasive in rivers in the south Caspian Sea to prioritize them based on their risk rank and to support conservation managers, decision-makers and policymakers in the aquaculture development plans.

Keywords: Risk screening, AS-ISK, Invasive species, Caspian Sea.