14(4) 193-202, Winter 2023

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

Original Research Paper

Assessment of vulnerability and adaptation of Caspian Sea sturgeon in the face of future climate changes

Alireza Vaezi [1*]***, Hora Kouchakian*** [2]

[1] *Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran*
[2] *Agricultural Extension and Education, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran*

Key Words
Caspian Sea
Sturgeon
Climate change
Increase in temperature
Adaptation

Abstract

Introduction: Sturgeon are valuable species that stocks have reached the brink of extinction for various reasons such as overfishing, habitat destruction, and pollution. Despite the poor condition of sturgeon stocks, today climate change has posed another new and serious threat to these fish. In the meantime, analysis of the effects of global warming on the Caspian Sea and ecosystems related to the living environment of sturgeon is very necessary.

Materials & Methods: In this study, an appropriate set of consequences of climate change on the vulnerability and adaptation of sturgeon in the Caspian Sea was prepared using library research and expert opinions in the form of a researcher-made questionnaire and an expert group consisting of 21 experts related to Fishery and sturgeon basins as well as climate change experts were distributed.

Results: The results showed that by increasing the water level and decreasing salinity, we can see positive effects in improving the state of natural reserves and increasing the reproduction and breeding efficiency of sturgeon. Also, increasing the temperature will have a positive effect on the reproduction and breeding of sturgeon due to the increase in the length of the temperature period suitable for breeding and feeding sturgeon and will have no effect on stocks. However, in contrast to the decrease in rainfall in other parts of the Caspian catchment area will reduce the discharge of rivers and will have a significant impact on reducing reserves and reducing the breeding efficiency of these valuable fish. Also, increasing acidity, increasing the incidence of planktonic blooms and drastic changes in sea currents will have negative effects on these cases. However, it should be noted that the entry of pollutants into water resources, the occurrence of planktonic blues, the entry of invasive species and many other changes, intensify the destructive effects of climate change.

Conclusion: In order to adapt to the consequences of climate change, by adopting the managerial and executive measures presented in this study for the protection and sustainable use of valuable sturgeon reserves in the Caspian Sea, the negative effects can be mitigated.

* Corresponding Author's email: al.vaezi@yahoo.com, vaezi@ries.ac.ir
Received: 20 October 2021; Reviewed: 22 November 2021; Revised: 25 January 2022; Accepted: 26 February 2022
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.328858.2751

مقاله پژوهشی

ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری دریای خزر در مواجهه با تغییرات آتی اقلیمی

علیرضا واعظی[1*]، *حورا کوچکیان*[2]

[1] پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

[2] گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

کلمات کلیدی

دریای خزر
ماهیان خاویاری
تغییر اقلیم
افزایش دما
سازگاری

چکیده

مقدمه: ماهیان‌خاویاری از گونه‌های‌ارزشمندی هستند که ذخایر آن‌ها به‌دلایل متعدد ازجمله صید بی‌رویه وغیرقانونی، تخریب زیستگاه، وآلودگی به مرز نابودی رسیده است. علی‌رغم وضعیت نامناسب ذخایر ماهیان خاویاری، امروزه تغییر اقلیم نیز تهدید جدید و جدی دیگری را متوجه این ماهیان نموده است. در این بین تجزیه و تحلیل اثرات گرمایش جهانی بر روی دریای خزر و اکوسیستم‌های مرتبط با محیط زندگی ماهیان خاویاری بسیار ضروری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مجموعه مناسبی از پیامدهای تغییر اقلیم بر میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری دریای خزر با استفاده از تحقیقات کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان درقالب‌پرسشنامه محقق ساخته‌تهیه وبین گروه‌خبره متشکل از۲۱ نفراز متخصصین مرتبط با حوضه شیلات و ماهیان خاویاری و نیز کارشناسان تغییر اقلیم توزیع گردید.

نتایج: نتایج نشان داد با افزایش تراز آب و کاهش شوری می‌توان شاهد تاثیرات مثبت در بهبود وضعیت ذخایر طبیعی و افزایش راندمان تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری بود. هم‌چنین افزایش دما بر تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری به‌دلیل افزایش طول دوره دمایی مناسب برای پرورش و تغذیه ماهیان خاویاری تاثیر مثبت و در ذخایر بی‌تاثیر خواهد بود. البته در مقابل کاهش بارندگی در دیگر بخش‌های حوضه آبریز خزر سبب کاهش دبی رودخانه‌ها می‌گردد و تاثیر قابل‌توجهی برکاهش ذخایر و کاهش راندمان تکثیر و پرورش این ماهیان ارزشمند خواهد داشت. هم‌چنین افزایش اسیدیته، افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی و تغییر شدید جریان‌های دریایی تاثیرات منفی بر موارد مذکور خواهد گذاشت. البته باید توجه نمود که ورود آلاینده‌ها به منابع آبی، وقوع بلوهای پلانکتونی، ورود گونه‌های مهاجم و بسیاری از تغییرات دیگر، تأثیرات مخرب تغییرات آب و هوایی را تشدید می‌نماید.

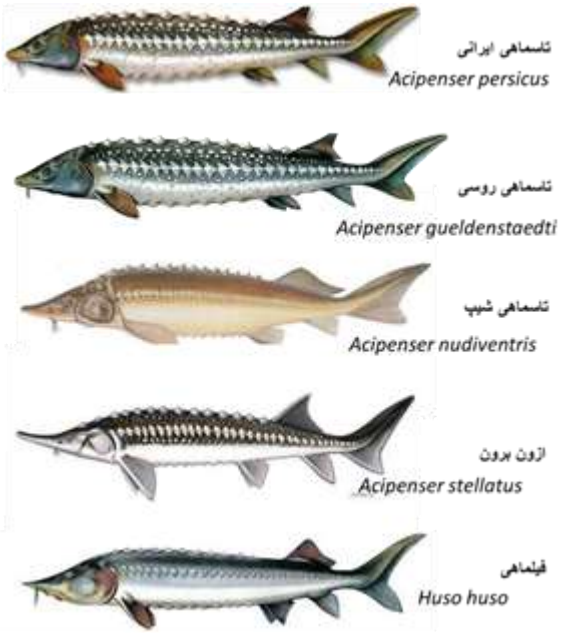
نتیجه‌گیری و بحث: در راستای سازگاری با پیامدهای تغییر اقلیم، با اتخاذ تدابیر مدیریتی و اجرائی ارائه شده در این پژوهش جهت حفاظت و بهره‌برداری پایدار از ذخایر باارزش خاویاری دریای خزر می‌توان اثرات منفی را تخفیف داد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: al.vaezi@yahoo.com, vaezi@ries.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۸ مهر ۱٤۰۰؛ تاریخ داوری: ۱ آذر ۱٤۰۰؛ تاریخ اصلاح: ۵ بهمن ۱٤۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۷ اسفند ۱٤۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2022.328858.2751

مقدمه

دریای خزر بزرگ‌ترین توده آبی محصور در خشکی است که به‌طور طبیعی با دریاهای آزاد ارتباط ندارد. حوضه آبریز خزر از منطقه بیابانی خشک در جنوب‌خاور تا مناطق معتدل مرطوب در عرض‌های جغرافیایی بالا پراکنده است. در طول قرن‌های متمادی، سطح آب دریای خزر متناسب با میزان ورودی آب از رودخانه ولگا، که این میزان هم تابعی از مقدار بارش و تبخیر در حوضه آبریز این رودخانه بوده است، تغییر یافته است (۱). میزان این تغییرات تابعی از سیکل نوسانات و وضعیت جوی و آب و هوایی اقیانوس آتلانتیک شمالی می‌باشد، که در طول هزاران کیلومتر در شمال و غرب گسترده است. تمامی این عوامل، موجب آن گردیده است که دریای خزر به عنوان یک منطقه باحساسیت بالا نسبت به اثرات تغییرات اقلیم باشد (۲). ماهیان خاویاری یا استورژن یکی از باارزش‌ترین گونه‌های آبزیان به‌شمار می‌روند که از قدمتی چندصد میلیون ساله برخوردارند و سابقه آن‌ها به عصر ژوراسیک باز می‌گردد و به‌علت این سابقه تاریخی فسیل زنده نام گرفته‌اند (۳). تاکنون ۲۷ گونه از این ماهیان در دنیا شناسایی شده‌اند. دریای خزر به‌عنوان یکی از بی‌همتاترین بوم‌شناخت‌های آبی جهان، محیطی مناسب برای زندگی و رشد مرغوب‌ترین ماهی‌های خاویاری جهان است. در حوضه دریای خزر روی هم رفته ۶ گونه ماهیان خاویاری زیست می‌کنند که عمدتاً رودکوچ هستند؛ یعنی در دریا تغذیه و رشد می‌کنند و پس از رسیدن به بلوغ و تولید مثل وارد آب‌های شیرین رودخانه‌های بزرگ حوضه این دریا می‌شوند (۴). پنج گونه تاس‌ماهی ایرانی یا قره برون، تاس ماهی روس یا چالباش، تاس‌ماهی شیپ (خاویار حاصل از این سه گونه آسترا نام دارد)، ازون‌برون یا دراکول (خاویار حاصل از آن سوروگا) و فیل‌ماهی (خاویار حاصله بلوگا) در سواحل ایرانی دریای خزر مشاهده شده است. اما گونه استرلیاد از گونه‌های مخصوص آب شیرین به‌شمار رفته و در رودخانه‌های شمال دریای خزر مشاهده می‌گردد (۵). متاسفانه با توجه به ورود منابع آلاینده مختلف به دریای خزر و تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی، اکوسیستم دریای خزر طی قرن گذشته شاهد افت کیفی و کمی شدیدی بوده است (۶). در سال‌های اخیر، صید بی‌رویه و برخی مخاطرات دیگر، موجب آن شده که ذخایر ماهیان خاویاری به‌شدت در معرض خطر قرار گرفته است. بهره‌برداری از منابع آبزی تحت نظارت و کنترل دولت قرار داشته و مقررات مربوطه براساس قانون توسط سازمان شیلات اعمال می‌گردد. کاهش ذخایر برخی از آبزیان در دو دهه اخیر به‌حدی بوده است که تعدادی از آن‌ها در لیست قرمز سازمان‌های بین‌المللی قرار گرفته‌اند. بدون تردید مهم‌ترین این گونه‌ها، ذخایر ارزشمند ماهیان خاویاری هستند که به‌عنوان فسیل زنده دریای خزر شناخته می‌شوند و هم اکنون تمامی گونه‌های آن در لیست قرمز IUCN قرار گرفته و تجارت آن‌ها براساس مقررات CITES ممنوع است (۳). در ایران صید ماهیان خاویاری در انحصار دولت بوده و صید تجاری آن به‌منظور حفاظت از ذخایر این آبزیان از سال ۲۰۱۰ ممنوع گردیده و تنها با هدف تحقیقات و تهیه مولدین جهت تکثیر نیمه مصنوعی و رهاسازی بچه ماهیان جهت بازسازی ذخایر آن‌ها، صید صورت می‌گیرد (۶).



شکل ۱: پنج گونه از انواع ماهیانی خاویاری که در دریای خزر زیست می‌کنند

علی‌رغم وضعیت نامناسب ذخایر ماهیان خاویاری، امروزه تغییر اقلیم نیز تهدید جدید و جدی دیگری را متوجه این ماهیان نموده است. تغییرات اقلیم و گرمایش کره زمین بر آب و هوای اقیانوس‌ها و دریاها، درجه حرارت آب به‌ویژه در لایه‌های سطحی، جریان‌های دریایی و اقیانوسی، نوع و شدت امواج، سطح تراز آب دریاها و اقیانوس‌ها، وضعیت سواحل، اسیدی شدن اقیانوس‌ها، جذر و مد، لایه‌بندی آب و نهایتاً شرایط فیزیکی، شیمیایی و علی‌الخصوص وضعیت بیولوژیک و زیستی آن‌ها به‌شدت اثرگذار بوده و در مجموع شرایط محیط‌های آبی را برای موجودات آن تغییر خواهد داد. شناخت عوامل تأثیرگذار محیطی و زیستی بر ذخایر ماهیان خاویاری یکی از نکات کلیدی و اساسی در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی جهت بهبود وضعت آتی ذخایر و فعالیت‌های شیلاتی مرتبط با این گونه ارزشمند است. می‌توان عوامل مؤثر ناشی از تغییرات اقلیم را بر زندگی آبزیان، در دو گروه تغییرات عوامل محیطی و تغییرات عوامل زیستی خلاصه

نمود. این عوامل که به نوعی به‌عنوان شاخص‌های بررسی وضعیت مورد نظر به‌کار گرفته شده‌اند، شامل تغییرات دما، شوری، بارش، سطح تراز آب دریا، جریان رودخانه‌ها، جریانات دریایی، تغییرات جغرافیایی محیط خشکی و تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب در محدوده ساحلی و خشکی (شامل تالاب‌ها، خلیج، خور، مصب و ...) اسیدی شدن دریا و اقیانوس‌ها، وقوع بلوم‌های پلانکتونی، تغییر در وفور موادغذایی، شرایط تغذیه‌ای آبزیان، حضور گونه‌های مهاجم، بروز بیماری‌ها و ناهنجاری‌های رشد بیولوژیک و فیزیولوژیک آبزیان، هم افزایی اثرات منفی ورود آلاینده‌ها به منابع آبی با تغییرات آب و هوایی و نهایتاً، تأثیر تمامی عوامل یاد شده در رشد، بلوغ، تکثیر و ذخایر آبزیان و محیط زندگی آن‌ها، خلاصه نمود (۶). با توجه به اهمیت زیستی، اقتصادی و تاریخی ماهیان خاویاری، انجام بررسی‌های دقیق درخصوص استفاده بهینه از فرصت‌های موجود در حفاظت و بهره‌برداری بلندمدت از ذخایر آن‌ها و هم‌چنین کنترل و مقابله با تهدیدها ضروری به‌نظر می‌رسد. این مطالعه ضمن ارائه بروزترین اطلاعات درخصوص وضعیت ذخایر و صید ماهیان خاویاری، به بررسی اثرات تغییراقلیم بر ذخایر و فعالیت‌های شیلاتی مرتبط با ماهیان خاویاری می‌پردازد. امید است موارد ارائه شده به اتخاذ راهکارهای مناسب جهت حفاظت و بهره‌برداری پایدار از ذخایر باارزش خاویاری دریای خزر کمک نماید.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، مجموعه مناسبی از پیامدهای تغییر اقلیم بر میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری دریای خزر با استفاده از تحقیقات کتابخانه‌ای و نظرات کارشناسان در قالب پرسشنامه محقق ساخته تهیه سپس به‌منظور تعیین تاثیر پیامدها از دو معیار ذخائر و تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری و امتیازدهی آن‌ها، پرسشنامه‌ها بین گروه خبره متشکل از ۲۱ نفر از متخصصین مرتبط با حوضه شیلات و ماهیان خاویاری و نیز کارشناسان تغییر اقلیم توزیع گردید. از آن‌ها خواسته شد با توجه به دیدگاه، تخصص و تجارب خود به هرکدام از پیامدهای پیامدهای تغییر اقلیم بر میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری با تعیین یکی از پنج درجه تاثیری (مقیاس لیکرت) امتیاز دهند. جدول ۱ و در صورت وجود پیامد جدید به لیست اضافه نمایند. در این مطالعه روایی پرسشنامه با توجه به‌نظر متخصصان و کارشناسان تعیین و به‌منظور بررسی پایداری درونی سوال‌های پرسشنامه، از تکنیک سنجش پایایی ضریب آلفای کرونباخ استفاده گردید که با توجه به‌مقدار این ضریب α=۰/۹ پایایی پرسشنامه مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۱ :تعیین درجه اهمیت معیارها و زیر معیارها براساس مقیاس لیکرت

۱	۲	۳	۴-	۵-
افزایش قابل ملاحظه	افزایش	بی تاثیر	کاهش	کاهش قابل ملاحظه

تعیین وزن و اولویت‌بندی اثرات: برای دستیابی به یک هدف، لازم است که تصمیم‌گیرنده، چندین معیار را توأم مورد ارزیابی قرار دهد و گزینه‌های تصمیم را بر طبق معیارها بسنجد. چنین فرآیندی تصمیم‌گیری چندمعیاره نامیده میشود، که به دو دسته چندهدفه و چندشاخصه تقسیم می‌شوند، در این پژوهش با توجه به پیامدهای تغییر اقلیم میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری دریای خزر درنظر گرفته شده، تکنیک‌های اِنتروپی به‌منظور تعیین وزن پیامدها، تاپسیس برای اولویت‌بندی پیامدها بر دو معیار ذخائر و تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری استفاده گردید.

الف: تکنیک اِنتروپی: این تکنیک یک مفهوم عمده در علوم فیزیکی، علوم‌اجتماعی و تئوری‌اطلاعات می‌باشدو نشان‌دهنده میزان عدم اطمینان موجود از محتوای مورد انتظار از یک پیام است. در این مطالعه جهت تعیین وزن پیامدهای افزایشی و کاهشی پیامدهای تغییر اقلیم بر میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ماهیان خاویاری دریای خزر با استفاده از تکنیک اِنتروپی، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری را به ماتریس نرمال‌شده تبدیل نموده و میزان Ej (عدم اطمینان) و dj (درجه انحراف) را برای هریک از پیامدها محاسبه و درنهایت وزن Wj تعیین شده‌است. تکنیک اِنتروپی به‌صورت روابط زیر بیان می‌شود: در یک ماتریس تصمیم‌گیری با m گزینه و n پیامد برای تعین وزن پیامدها به‌روش اِنتروپی شانون، ابتدا به‌ازای هر عضو ماتریس تصمیم‌گیری که با rij، مشخص می‌شود Pij به‌شرح رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} ; \forall i, j$$

انتروپی Ej به‌صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} [p_{ij} \ln p_{ij}] ; \forall j$$

به‌عنوان مقدار ثابت به‌صورت رابطه ۳:

$$k = \frac{1}{\ln (m)}$$

که مقدار Ej را بین صفر و یک نگه می‌دارد. در ادامه مقدار dj (درجه انحراف) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه‌می‌شود که بیان می‌کند پیامد

مربوطه چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد:

$$d_j = 1 - E_j \quad ; \forall j$$

سپس مقدار وزن Wj با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد که در آن، بهترین وزن انتخاب می‌شود:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \quad ; \forall j$$

ب: تکنیک تاپسیس: یکی از این‌روش‌های اولویت‌بندی دارای قدرت‌بالا در تفکیک گزینه‌ها تکنیک اولویت‌بندی ترجیحات براساس شباهت‌شان به راه‌حل ایده‌آل است که به اختصار با نام تاپسیس شناخته می‌شود و از روش‌های ارزیابی چندشاخصه است که توسط Hwang و Yoon ارائه گردید (۷). در این روش تحلیل چندمعیاره گسسته m گزینه به‌وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار گرفته و گزینه‌ها براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیش‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده آل منفی داشته باشد. که مراحل این روش به‌ترتیب زیر است.

تشکیل ماتریس داده‌ها براساس m گزینه و n پیامدها (رابطه ۶):

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

استانداردنمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد از طریق رابطه ۷:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}}$$

تعیین وزن هر یک از پیامدها (Wj) براساس رابطه ۸:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

در این راستا پیامدها دارای اثر افزایشی و یا کاهشی بیش‌تر از وزن بالاتری برخوردارند. در واقع ماتریس V حاصل‌ضرب مقادیر استاندارد هر پیامد در اوزان مربوط به خود می‌باشد:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

ایده‌آل و آلترناتیو (Si) تعیین معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو Si و آلترناتیو حداقل (-Si) براساس رابطه ۹:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

تعیین ضریبی که برابر است با فاصله آلترناتیو حداقل، تقسیم بر مجموع فاصله آلترناتیو حداقل(-Si) و فاصله آلترناتیو ایده‌آل (Si*) که آن را با (C_i^*) نشان داده و از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

رتبه‌بندی آلترناتیوها براساس میزان C_i^*

نتایج

نتایج به‌دست‌آمده‌از اجرای تکنیک اِنتروپی برای تکمیل ماتریس و میزان نرمال شده ماتریس، میزان (Wj وزن)، (dj، درجه انحراف) و (Ej، عدم اطمینان) پیامدها در جداول زیر به‌ترتیب ارائه شده است. تجزیه و تحلیل یافته‌های این پژوهش با استفاده از تکمیل پرسشنامه، ۱۶ پیامد ازاثر بر دو معیار "ذخائر" و "تکثیر و پرورش" ماهیان خاویاری شناسایی نموده است. نتایج وزن‌دهی پیامدها با استفاده از تکنیک اِنتروپی نشان‌داد که‌در میزان آسیب‌پذیری و سازگاری‌ذخائر ماهیان خاویاری پیامد "افزایش تراز آب دریای خزر"، "تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر" و"افزایش اسیدیته آب دریای خزر" با اثر افزایشی (مثبت) به‌ترتیب با وزن‌های (۰/۰۳۴۶۵۲)، (۰/۰۳۴۶۵۱) و (۰/۰۳۴۶۵۵) دارای بیش‌ترین وزن با اثر مثبت بوده‌اند و "کاهش بارندگی"، "کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت)" و "افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر" با اثر کاهشی (منفی) به‌ترتیب با وزن‌های (۰/۰۳۴۶۶۲-)، (۰/۰۳۴۶۶۱-) و (۰/۰۳۴۶۶۰-) دارای بیش‌ترین وزن با اثر منفی و نیز افزایش دما نیز در ذخائر بی‌تاثیر بوده است و در معیار میزان آسیب‌پذیری و سازگاری تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دریای خزر به‌جز پیامد "افزایش تراز آب دریای خزر" با وزن ۰/۰۳۴۴۱۹ و " افزایش دمای دریای خزر" با وزن ۰/۳۴۴۴۱ مابقی پیامدها اثر کاهشی یا کاهشی قابل ملاحظه داشته‌اند. نتایج وزن‌دهی پیامدها با تکنیک آنتروپی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: محاسبه وزن پیامدها با تکنیک اِنتروپی

میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ذخائر ماهیان خاویاری	Ej	dj	Wj
افزایش دما دریای خزر	۰/۹۷۵۳۶	۱/۹۷۵۳۶	۰/۰۳۴۵۶۰
افزایش شوری دریای خزر	۰/۹۷۶۴۵	۱/۹۷۶۴۵	۰/۰۳۴۶۵۸
کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر	-۰/۹۷۶۶۴	۱/۹۷۶۶۴	۰/۰۳۴۶۶۲
کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر	-۰/۹۷۶۶۲	۱/۹۷۶۶۲	۰/۰۳۴۶۶۱
افزایش تراز آب دریای خزر	۰/۹۹۲۸۹	۱/۹۹۲۸۹	۰/۰۳۴۶۵۲
تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر	۰/۹۹۲۸۴	۱/۹۹۲۸۴	۰/۰۳۴۶۵۱
افزایش اسیدیته آب دریای خزر	۰/۹۹۲۸۶	۱/۹۹۲۸۶	۰/۰۳۴۶۵۵
افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر	-۰/۹۷۶۶۱	۱/۹۷۶۶۱	۰/۰۳۴۶۶۰
میزان آسیب‌پذیری و سازگاری تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری	**Ej**	**dj**	**Wj**
افزایش دمای دریای خزر	۰/۹۹۱۲۱	۱/۹۹۱۲۱	۰/۰۳۴۴۴۱
افزایش شوری دریای خزر	-۰/۹۷۹۳۷	۱/۹۷۹۳۷	۰/۰۳۴۴۰۲
کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر	-۰/۹۷۹۳۹	۱/۹۷۹۳۹	۰/۰۳۴۴۱۰
کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر	-۰/۹۷۹۴۰	۱/۹۷۹۴۰	۰/۰۳۴۴۱۱
افزایش تراز آب دریای خزر	۰/۹۹۰۵۶	۱/۹۹۰۵۶	۰/۰۳۴۴۱۹
تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر	-۰/۹۸۰۴۵	۱/۹۸۰۴۵	۰/۰۳۴۴۱۸
افزایش اسیدیته آب دریای خزر	-۰/۹۸۰۴۶	۱/۹۸۰۴۶	۰/۰۳۴۴۲۰
افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر	-۰/۹۹۰۸۰	۱/۹۹۰۸۰	۰/۰۳۴۴۳۰

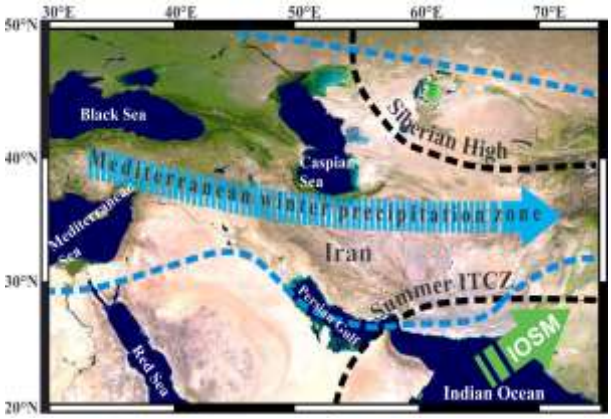
جدول ۳: محاسبه وزن نهایی پیامدها واولویت‌بندی آن‌ها با مدل تاپسیس

میزان آسیب پذیری و سازگاری ذخائر ماهیان خاویاری	نزدیکی نسبی	اولویت
افزایش دمای دریای خزر	۰/۷۹۰۱۲	۳
افزایش شوری دریای خزر	۰/۸۰۲۳۶	۲(با اثر منفی)
کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر	۰/۸۹۲۲۱	۱(با اثر منفی)
کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر	۰/۸۹۲۲۳	۱(با اثر منفی)
افزایش تراز آب دریای خزر	۰/۸۰۲۳۷	۲(با اثر مثبت)
تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر	۰/۸۰۲۳۶	۲(با اثرمنفی)
افزایش اسیدیته آب دریای خزر	۰/۸۰۲۳۸	۲(با اثرمنفی)
افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر	۰/۸۹۲۲۱	۱(با اثر منفی)
میزان آسیب پذیری و سازگاری تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری	**نزدیکی نسبی**	**اولویت**
افزایش دمای دریای خزر	۰/۷۹۸۴۸	۱(با اثر مثبت)
افزایش شوری دریای خزر	۰/۷۸۹۳۲	۲(با اثر منفی)
کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر	۰/۷۸۹۳۱	۲(با اثر منفی)
کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر	۰/۷۸۹۲۶	۲(با اثر منفی)
افزایش تراز آب دریای خزر	۰/۷۹۸۳۴	۲(با اثر مثبت)
تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر	۰/۷۸۹۲۷	۲(با اثر منفی)
افزایش اسیدیته آب دریای خزر	۰/۷۸۹۲۸	۲(با اثر منفی)
افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر	۰/۷۹۸۴۹	۱(با اثر منفی)

نتایج اولویت‌بندی معیارها و پیامدها (معیارها و شاخص‌ها) با استفاده از تکنیک تاپسیس نشان داد که میزان آسیب‌پذیری و سازگاری ذخائر ماهیان خاویاری "افزایش تراز آب دریای خزر"، با اولویت ۲ اثر افزایشی مثبت بر روی ذخائر داشته اما "کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر"، "کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر" و "افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر" با اولویت ۱ اثر کاهشی قابل ملاحظه (با تاثیر منفی) و ضمناً "افزایش شوری دریای خزر"، "تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر" و "افزایش اسیدیته آب دریای خزر" با اولویت ۲ اثر کاهشی داشته‌اند و نیز "افزایش دمای دریای خزر" اولویت ۳ و بی‌تاثیر در ذخائر می‌باشد. درخصوص میزان آسیب‌پذیری و سازگاری تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری نیز همان‌طورکه در جدول ۳ آمده است "افزایش شوری دریای خزر"، "کاهش بارندگی در حوزه آبریز دریای خزر"، "کاهش دبی رودخانه‌ها (به‌غیر از ولگا که افزایش دبی خواهد داشت) در حوزه آبریز دریای خزر"، "تغییرات جریانات افقی و عمودی دریای خزر" و "افزایش اسیدیته آب دریای خزر" با اولویت ۲ اثر کاهشی (با تاثیر منفی) داشته و "افزایش تراز آب دریای خزر" با اولویت ۲ اثر افزایشی مثبت و نیز "افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی در دریای خزر" با اولویت ۱ اثر کاهشی قابل ملاحظه با تاثیر منفی و نیز "افزایش دمای دریای خزر" با اولویت ۱ اثر افزایش قابل ملاحظه بر روی تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دریای خزر دارد.

بحث

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دریای خزر: با ادامه روند گرمایش جهانی سامانه مانسون در جنوب کشور تقویت یافته و با توجه به تاثیرات اثبات شده دیرینه اقلیمی این پدیده بر انتقال رو به شمال بادهای غرب وزان میانی و به‌تبع آن افزایش میزان بارش بر روی حوزه آبریز رودخانه ولگا به‌عنوان اصلی‌ترین تامین کننده آب دریای خزر، تراز آب دریای خزر افزایش خواهد یافت. این در حالی است که بارندگی‌ها بر روی حوزه جنوبی آبریز خزر کاهش خواهد یافت. هم‌چنین وابستگی تراز آب خزر با فعالیت‌های خورشیدی نیز نشانگر افزایش آتی تراز آب است (۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲). پیش‌بینی تغییر اقلیم حاکی است که روند عمومی بارش در ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ در حوضه جنوبی دریای خزر کاهنده است (۱۳). به‌علاوه هم‌زمان روند دمای هوای این منطقه افزایشی خواهد بود. اما دریای خزر تنها از آب و هوای روی دریا و سواحل آن متأثر نیست. بخش عمده حوضه آبریز دریای خزر در سرزمین اروپایی روسیه واقع است. این بخش از حوضه آبریز نقش کلیدی و تعیین‌کننده در بیلان آب دریای خزر ایفا می‌کند. پیش‌بینی دمای هوا و میزان بارندگی حاکی از افزایش بارش و افزایش دما در این بخش است. از این‌رو افزایش دما سبب تغییر در زمان طغیان بهاری رودخانه ولگا، از ماه‌های بهاری به ماه‌های زمستانی خواهد شد. هم‌چنین بخشی از افزایش بارش به‌دلیل افزایش دما هم در حوضه آبریز ولگا و هم برروی دریای خزر به‌صورت افزایش تبخیر جبران می‌شود.



شکل ۲: فلات ایران از دیدگاه هواشناسی یکی از مناطق بسیار پویای جهان محسوب می‌شود که اقلیم آن را برآیند اندرکنش جبهۀ پرفشار سیبری، بادهای غربی مدیترانه‌ای و بادهای موسمی اقیانوس هند (مونسون) کنترل می‌کند (۱۴، ۱۵، ۱۶)

اما افزایش بارندگی در حوضه ولگا در نهایت باعث افزایش آبدهی ولگا به حوضه خزر و به تبع آن افزایش تراز آب دریای خزر خواهد شد از آن‌جاکه پیش‌بینی افزایش بارش روی حوضه ولگا و دیگر بخش‌های حوضه آبریز خزر (قفقاز، البرز و زاگرس) دارای دو روند کاملاً متضاد هستند، بنابراین افزایش تراز آب خزر در دو دوره ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ بطئی خواهد بود و به‌دلیل افزایش فراوانی شرایط حدی، علی‌رغم روند عمومی افزاینده دارای دوره‌های کوتاه تراز کاهنده همانند سال ۲۰۱۰ خواهد بود (۱۷).

اثر کاهش بارش و افزایش دما: روند عمومی بارش در نوار ساحلی ایران در جنوب خزر از غرب به شرق کاهش می‌یابد. هم‌چنین روند عمومی دمای هوا در این ناحیه اندکی افزایش از غرب به شرق را نشان می‌دهد. به‌علاوه به‌دلیل تراکم جمعیت ساکن در نوار ساحلی و جاذبه گردشگری ناحیه، فشار مضاعفی بر منابع آب و پوشش گیاهی منطقه وارد می‌شود. در این بستر طبیعی و فعالیت انسانی در جنوب دریای خزر، پیش‌بینی کاهش بارش و افزایش دما احتمال توسعه برخی فرآیندهای زیانبار بر بوم‌سازگان ناحیه را افزایش می‌دهد (۱۷).

اختلال در فرآیندهای زیستی دهانه رودخانه‌ها: در ساحل ایران در دریای خزر ۶۲ رودخانه مستقل جریان دارد. برحسب میزان آبدهی رودخانه‌ها و شیب ساحل، آن‌ها دهانه‌های مختلفی را در هنگام ورود به دریا ایجاد می‌کنند. رودخانه‌های کوچک در جلگه ساحلی پخش‌شده‌وعملاً ورودی‌مشخصی به دریا ندارند. رودخانه‌های متوسط با قطع‌کردن ساحل به دریا می‌ریزند و به‌دلیل شیب ساحل، جریان ساحلی و رسوبدهی رودخانه‌ها، دهانه‌های مختلفی ایجاد می‌کنند. دو رودخانه بزرگ ساحل ایران در دریای خزر (سفیدرود و گرگانرود) به‌دلیل بار رسوبی زیاد، هنگام ورود به دریا، دلتای بزرگی را توسعه داده‌اند. کاهش بارندگی و افزایش دما، سبب کاهش آبدهی رودخانه‌های‌ورودی به دریای خزر خواهد شد. هم‌زمان فشار مضاعف فعالیت‌های انسانی در حوضه آبریزخزر در ایران سبب کاهش آبدهی رودخانه‌ها می‌شود. دهانه رودخانه‌های بزرگ و متوسط در ساحل ایران نقش اساسی در تولیدمثل برخی آبزیان خزر (به‌ویژه ماهیان) ایفا می‌کنند. کاهش آبدهی رودخانه‌ها سبب تشکیل بارهای ماسه‌ای در دهانه‌ها به‌دلیل عملکرد امواج شده و امکان تبادل آب بین رودخانه و دریا و هم‌چنین مهاجرت آبزیان را از بین می‌برد (۱۷).

تأثیر تغییرات تراز آب بر شوری: شوری آب خزر از ۱ در هزار در نواحی دلتایی خزر شمالی تا ۱۳٪ در بخش‌های خاور خزر و حتی مقدار بیش‌تر از آن در خلیج‌ها تغییر می‌کند (۱۸). شوری آب نواحی کم عمق خزر شمالی نسبت به تغییر تراز آب بسیار حساس است. حتی نوسان‌های کوتاه‌مدت تراز آب در خزر شمالی و تغییر دبی ولگا می‌تواند سبب تغییر شوری شود. تغییرات درازمدت شوری آب خزر نشان می‌دهد که مقدار آن تابعی از ورود آب ولگا و تراز آب دریا است. هنگام کاهش تراز آب شوری به بیشینه خود می‌رسد و با افزایش ورودی آب ولگا و به تبع آن افزایش تراز آب، شوری کاهش می‌یابد. تغییر شوری براثر نوسان تراز آب در دیگر بخش‌های خزر بسیار ناچیز است (۱۷).

اثر نوسان تراز آب بر هیدروشیمی: دریای خزر از نظر pH درمقایسه با حوضه‌های دریایی دیگر با مقدار بیش‌تر pH مشخص است که‌عمدتاً مرتبط با ذخایربالای مواد قلیایی ورودی از رودخانه‌ها و ترکیبات آب دریا است. pH آب دریای خزر از ۸/۶-۸/۳ در سطح تا ۸-۷/۳ در لایه‌های نزدیک بستر تغییر می‌کند (۱۷). بالاترین pH در خزر شمالی در دهانهٔ رودخانهٔ ولگا مشاهده می‌شود. هم‌زمان با کاهش تراز آب در دورهٔ ۱۹۸۳-۱۹۶۱ مقدار pH در خزر شمالی ۰/۲ کاهش یافت، اما مقدار pH در آب‌های خزر میانی و جنوبی افزایش نشان می‌دهد که حاکی از تسریع چرخه آب در بخش‌های عمیق به‌دلیل کاهش تراز آب دریا است (۱۹).

اثرنوسان تراز آب برخطوط ساحلی: جابجایی‌خطوط ساحلی نخستین اثر محسوس نوسان تراز آب خزر است. افزایش تراز آب در دو دهه گذشته سبب به زیر آب رفتن حدود ۳۰ هزار کیلومترمربع از سواحل خزر شد. اثر نوسان تراز آب بر سواحل آن بسته به شیب ساحل و جنس بستر متفاوت است. در سواحل بسیار کم شیب خزر شمالی و بخش‌هایی از خاور خزر نوسان تراز آب تنها سبب جابجایی خط ساحلی می‌شود و امکان ورود امواج مرتفع و تغییر فرایندهای رسوبی و ریخت‌شناسی وجود ندارد. در سواحل پرشیب هم‌چون بخش‌هایی از سواحل داغستان و باختر مازندران با افزایش تراز آب سواحل فرسایش یافته و مواد رسوبی به‌داخل دریا حمل می‌شوند. در سواحل با شیب متوسط مانند سواحل بخش‌هایی از آذربایجان و سواحل بخش مرکزی گیلان و خاور مازندران با افزایش تراز آب مرداب‌های کوچک بین پشته‌های ماسه‌ای و سرزمین اصلی تشکیل می‌گردد که زیستگاه جدیدی برای بسیاری از آبزیان محسوب می‌شود. حالت‌های تدریجی از تغییرات ساحلی با نوسان تراز آب نیز بر حسب ویژگی‌های ساحل روی می‌دهد (۲۰).

اثر نوسان تراز آب خزر بر بوم‌سامانه‌ها: نوسان تراز آب خزر اثرات متفاوتی بر بوم سامانه‌های خزر دارد. در حالت افزایش تراز آب، تالاب‌های ساحلی گسترش می‌یابد و زیستگاه‌های جدید برای آبزیان و پرندگان مهاجر ایجاد می‌کند. اما با افزایش تراز آب خزر، سرعت چرخه آب خزر کاهش می‌یابد و سرعت چرخه مواد مغذی و اکسیژن محلول را کاهش می‌دهد، از این‌رو تراز بالای آب خزر اثر منفی بر تولیدات زیستی خواهد داشت (۱۹، ۱۸). در هنگام کاهش تراز آب خزر، گستره تالاب‌ها کاهش می‌یابد و تالاب‌های کوچک‌خشک خواهندشد. بنابراین زیستگاه آبزیان و پرندگان مهاجر با محدودیت مواجه می‌شود. کاهش شدید تراز آب باعث محدودیت ورود ماهیان برای تخم‌ریزی به رودخانه‌ها می‌شود. اما در هنگام کاهش تراز آب خزر، چرخه آب خزر سرعت می‌گیرد. بنابراین مواد مغذی و اکسیژن با سرعت بیش‌تری به اعماق می‌رسند. افزایش سرعت چرخه آب خزر باعث بهتر شدن شرایط برای تولیدات زیستی می‌شود (۱۷).

اثر نوسان تراز آب خزر بر یوتریفیکاسیون: مواد مغذی به طور طبیعی عمدتاً از طریق رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی و هوا وارد آب دریای خزر می‌شود. تغییر اقلیم در سرزمین‌های پیرامونی دریای خزر (به‌ویژه آسیای میانه و خاورمیانه) به‌همراه فشار فعالیت‌های انسانی سبب توسعه بیابان‌زایی و افزایش خاک و رسوب برای انتقال از طریق سامانه‌های جوی خواهد شد. در دهه گذشته نیز فراوانی انتقال غبار از روی البرز و از طریق آسیای میانه به خزر افزایش یافته است. هم‌چنین استفاده روز افزون از کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی حوضه آبریز خزر و افزایش زمین‌های زیر کشت در دهه‌های آینده سبب انتقال بیش‌تر مواد مغذی به دریای خزر خواهد شد. توسعه شهرهای ساحلی و شهرهای واقع بر حوضه آبریز خزر بدون شبکه تصفیه فاضلاب نیز یکی دیگر از منابع افزایش ورود مواد مغذی به حوضه خزر خواهد شد. گسترش دریانوردی در دریای خزر و توسعه‌صنایع دریا پایه به‌ویژه درموردمنابع‌هیدروکربنی سبب افزایش ورود مواد مغذی به این دریا خواهد شد. در شرایط کنونی

نیز دریای خزر تجربه وقوع پدیده یوتریفیکاسیون به‌ویژه در نواحی دریایی انزلی، تنکابن، باکو، سومگاییت و ولگا را داشته است. افزایش تراز آب خزر به‌همراه افزایش دمای هوا و به تبع آن کاهش سرعت چرخه آب امکان یوتریفیکاسیون محیط و شکوفایی جلبکی را در دریای خزر افزایش خواهد داد. وقوع این پدیده، زنجیره‌ای از پدیده‌های زیان‌بار زیست‌محیطی بر دیگر گونه‌های زیستی خزر و هم‌چنین اثرات مخرب اقتصادی و توسعه انسانی را به‌دنبال خواهد داشت (۱۷).

اثر افزایش تراز آب دریای خزر در بازفرآوری آلاینده‌ها: در مجموع به‌نظر می‌رسد افزایش تراز آب به طرق مختلف می‌تواند سبب آلودگی بیش‌تر محیط زیست خزر گردد (۱۷).

ارزیابی آسیب‌پذیری ذخایر و آبزی‌پروری ماهیان خاویاری ناشی از تغییرات اقلیم: اگرچه ذخایر ماهیان خاویاری به‌دلیل عوامل مختلف و متعددی در طول سالیان گذشته به‌شدت آسیب دیده است (۲۱)، اما وضعیت ذخیره از نظر آسیب‌پذیری‌های ناشی از تغییرات اقلیم نیز قابل بررسی می‌باشد. هم‌چنین اگرچه تکثیر ماهیان خاویاری در کشور بیش از چهار دهه سابقه دارد، اما پیشینه آغاز به کار فعالیت‌های پرورشی این ماهیان جهت تولید ماهیان قابل عرضه به بازار و تولید خاویار به کم‌تر از ۲۵ سال می‌رسد (۲۲). از نظر نیازهای بیولوژیک و حساسیت به شرایط محیطی، ماهیان خاویاری حالت بینا بین میان ماهیان گرم آبی و سرد آبی دارند. یعنی در مقایسه با ماهیان سردآبی مقاومت‌تر و در قیاس با ماهیان گرم آبی و تیلاپیا از مقاومت کم‌تری نسبت به دمای بالا، کاهش اکسیژن و حتی برخی آلودگی‌های احتمالی دارند. با افزایش تراز آب و کاهش شوری می‌توان شاهد تاثیرات مثبت در بهبود وضعیت ذخایر طبیعی و افزایش راندمان تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری بود. هم‌چنین در خصوص فعالیت‌های تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری می‌توان پیش‌بینی نمود که تولید این آبزیان تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، به‌دلیل افزایش طول دوره دمایی مناسب برای پرورش و تغذیه ماهیان خاویاری، شرایط بهتری یافته و تولید این آبزیان از منظر این شاخص در مجموع با بهبود نسبی همراه گردد اما در خصوص ذخایر افزایش دما بی‌تاثیر خواهد بود. البته در مقابل کاهش بارندگی در دیگر بخش‌های حوضه آبریز خزر سبب کاهش دبی رودخانه‌ها می‌گردد و تاثیر قایل توجهی بر کاهش ذخایر و کاهش راندمان تکثیر و پرورش این ماهیان ارزشمند خواهد داشت. هم‌چنین افزایش اسیدیته، افزایش میزان وقوع بلوم‌های پلانکتونی و تغییر شدید جریان‌های دریایی تاثیرات منفی بر موارد مذکور خواهد گذاشت. البته باید توجه نمود که ورود آلاینده‌ها به منابع آبی، وقوع بلوهای پلانکتونی، ورود گونه‌های مهاجم و بسیاری از تغییرات دیگر، تأثیرات مخرب تغییرات آب و هوایی را تشدید می‌نماید. نکته قابل توجه دیگر این است که دریای خزر تحت تاثیر جریان آب سرد ورودی از رودخانه ولگا می‌باشد، زیرا بیش از ۸۵ درصد آب ورودی دریای خزر توسط این رودخانه تأمین می‌گردد (۲۱). این جریان‌های ورودی قادر به تغییر شدید جریان‌های دریایی فعلی در پهنه دریا هستند. هم‌چنین، به‌دلیل تغییرات درجه حرارت، الگوی بادها و جریان‌های دریایی تغییر زیادی خواهند یافت. این تغییرات بر روی زنجیره غذایی اکوسیستم دریا تأثیرگذارده، و موجبات از بین رفتن برخی از گونه‌ها، به‌ویژه گونه‌های حساس و آسیب‌پذیر را فراهم خواهد ساخت (۶).

سازگاری و انطباق‌پذیری: سازگاری (Adaptation)، طبق تعریف IPCC، عبارت است از تعدیل در سیستم‌های طبیعی یا انسانی در واکنش به تغییرات کنونی یا آتی و تأثیرات آن‌ها، به‌طوری‌که خسارات را کاهش داده، و یا از فرصت‌های سودمند بهره‌برداری کند. با توجه به مخاطرات مرتبط با گرم شدن کره زمین و اثرات آن بر دریای خزر و ماهیان خاویاری، که به‌صورت مختصر تشریح گردید، لازم است تمهیداتی در سطوح مختلف طراحی و جهت انجام معرفی گردد. لازم است که ابعاد مختلف فعالیت‌های شیلاتی که در دو سر فصل اصلی صید و پرورش قابل بررسی و مطالعه هستند، ضمن شناسایی مخاطرات، برنامه‌ریزی لازم در جهت سازگاری با تغییرات پدید آمده و یا تغییرات احتمالی قابل پیش‌بینی، کاهش احتمال وقوع خطر ناشی از این مخاطرات طراحی و صورت پذیرد (۲۳). اگرچه ممکن است در طی سال‌های گذشته، برخی از موارد سازگاری با تغییر اقلیم به‌صورت اتفاقی و یا ناشی از یک نیاز فوری و یا الزام قانونی اجرایی شده باشد، اما آن‌چه که مشخص است در برنامه کلان کشور و به تبع آن فعالیت‌های مختلف، برنامه هدفمند و زمان‌بندی شده‌ای در خصوص شناخت مخاطرات و مقابله یا سازگاری با آن‌ها وجود ندارد. در این راستا اعلام دقیق برنامه‌های سازگاری، به‌دلیل فقدان اطلاعات پایه به‌ویژه درخصوص تغییرات اقلیم (۲۳) و اثرات آن بر محیط دریا و گونه‌های آبزی و تغییرات قابل پیش‌بینی، به‌صورت دقیقی امکان‌پذیر نمی‌باشد. از طرفی کمبود اطلاعات و مطالعات مربوط به انواع گونه‌های آبزی نیز مزید بر علت خواهد بود. انجام مطالعات و اقدامات ملی و محلی متناسب با برنامه‌های بین‌المللی، بسیار مهم و ضروری می‌باشد. برنامه‌ریزی جهت اقتصادی شدن هر چه بیش‌تر فعالیت‌های شیلاتی و آبزی‌پروری، علاوه بر ایجاد درآمد در این‌گونه فعالیت‌ها، موجبات کاهش فشار بر ذخایر منابع آبزی را فراهم آورده و به‌نوعی در حفاظت از منابع آبزی سودمند و مؤثر خواهد بود. لذا، علاوه بر برنامه‌های جهانی و ملی مقابله با گرم شدن کره زمین، برنامه‌ریزی جهت استفاده مناسب از منابع و اقتصادی نمودن فعالیت‌های صیادی و آبزی‌پروری، از استراتژی‌های مناسب جهت کاهش آسیب‌پذیری و افزایش سازگاری فعالیت‌های یاد شده در قبال تغییرات اقلیم آینده کشور می‌باشد. با توجه به آن‌چه که در بخش مربوط به آسیب پذیری‌ها ذکر گردید، موارد مرتبط با مباحث شیلاتی بررسی و سازگاری احتمالی مربوطه هر یک از موارد معرفی می‌گردد. با توجه به شرایط کنونی، می‌توان برنامه‌های مرتبط با فعالیت‌های شیلاتی را در آینده به‌شرح زیر طراحی و پیش‌بینی نمود (۶).

انطباق‌پذیری و سازگاری در فعالیت‌های صیادی مرتبط با کاهش ذخایر ماهیان خاویاری:

۱- پایش محیط دریا و رودخانه‌ها و سایر مناطق حساس شیلاتی مربوط به زیست ماهیان خاویاری و تغییرات مربوط به این مناطق، به‌منظور شناسایی تغییرات محیطی و زیستی و طراحی اقدامات مربوط به آن

۲- حفاظت و احیای مناطق زیستگاهی و ضروری برای زندگی ماهیان خاویاری شامل مناطق دریایی، رودخانه‌ها، تالاب‌ها و خلیج

۳- پایش ذخایر و پویایی جمعیت انواع ماهیان خاویاری، به‌منظور شناسایی تغییرات در میزان ذخیره و رفتارهای بیولوژیک و طراحی اقدامات مربوط به آن

۴- پیش‌بینی حداقل دبی پایه آب رودخانه‌ها در فصل مهاجرت، تخم‌ریزی و ماندگاری بچه‌ماهیان در رودخانه، به‌منظور تکمیل چرخه طبیعی تکثیر ماهیان خاویاری

۵- رفع موانع فیزیکی و بهسازی محیط رودخانه‌ها، جهت تسهیل مهاجرت ماهیان خاویاری به رودخانه‌ها و ایجاد زمینه تکثیر طبیعی این آبزیان

۶- کنترل جدی آلودگی‌ها ناشی از فعالیت‌ها در خشکی و دریا و مدیریت هماهنگ و یکپارچه محیط زیستی دریای خزر

۷- مدیریت یکپارچه کلیه زنجیره‌های وابسته به احیای ذخایر ماهیان خاویاری اعم از حفاظت، صید، تولید و رهاسازی بچه‌ماهیان

۸- پیش‌بینی الزامات و انجام اقدامات لازم برای جلوگیری از ورود انواع آلاینده‌ها به دریا و رودخانه‌ها در جهت ایجاد محیط زندگی سالم برای ماهیان خاویاری و موجودات حائز اهمیت در چرخه زندگی آن‌ها

۹- پیش‌بینی الزامات و انجام اقدامات لازم برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها آلی به دریا و کاهش احتمال وقوع بلوم‌های پلانکتونی

۱۰- تکثیر و رهاسازی انواع بچه‌ماهیان خاویاری در مناطق طبیعی مساعد با رعایت کلیه تمهیدات لازم جهت تولید بچه‌ماهیان با کیفیت و هم‌چنین رهاسازی مجدد مولدین به دریا، جهت باروری و تولید در سال‌های آتی

۱۱- افزایش کیفیت بچه‌ماهی خاویاری تولید شده جهت رهاسازی از قبیل ارتقاء سلامت، افزایش وزن و سن رهاسازی، رهاسازی مناسب

۱۲- توقف صید ماهیان خاویاری با اهداف استفاده‌های تجاری به دلیل شرایط نامناسب ذخایر آن‌ها و صید به‌منظور تولید بچه‌ماهی و رهاسازی جهت بازسازی ذخایر و یا صید با هدف انجام تحقیقات کاربردی

۱۳- پیشگیری و مقابله جدی با صید غیرقانونی، گزارش نشده و تنظیم نشده IUU و فعال نمودن ظرفیت‌های موجود در سایر وزارتخانه‌ها و دستگاه‌های کشور

۱۴- توسعه تولید ماهیان خاویاری در مزارع پرورشی جهت تأمین نیازمندی‌های مصرفی ماهیان خاویاری در جامعه

۱۵- ایجاد بانک ژن ماهیان خاویاری با شناسایی محیط‌های طبیعی جهت حفاظت گونه‌های وحشی در این مناطق

سازگاری و کاهش اثرات تغییرات اقلیم در فعالیت‌های آبزی‌پروری ماهیان خاویاری: با توجه به اختصاصات بیولوژیک و فیزیولوژیک این ماهیان، تأثیرات منفی ناشی از تغییرات آب و هوایی بر این آبزیان کم‌تر از ماهیان سردابی و تا حدودی بیش‌تر از ماهیان گرم آبی پیش‌بینی می‌گردد. در این میان از اقدامات قابل انجام در جهت کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در پرورش ماهیان خاویاری می‌توان به‌موارد زیر اشاره نمود (۶):

۱- تهیه برنامه ملی تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری و شناسایی مخاطرات مرتبط با فعالیت‌های آبزی‌پروری این ماهیان به‌ویژه مخاطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی

۲- مدیریت صحیح کلیه زنجیره‌های وابسته به تولید ماهیان خاویاری و خاویار اعم از تکثیر، پرورش، فرآوری، بازاریابی، تجارت، تحقیق و توسعه و تعیین یک ساختار مسئول و متولی

۳- تهیه برنامه عملیات تکثیر و پرورش ماهیان گرمابی با لحاظ نمودن تمهیدات زیست‌محیطی جهت جلوگیری از ورود آلاینده‌های ناشی از به‌کارگیری سموم، کود، داروها و مواد غذایی در عملیات پرورش، به محیط زیست

۴- مدیریت مناسب منابع آب با بازچرخانی مجدد و به‌کارگیری هواده جهت افزایش بهره‌وری در مصرف آب و تولید بیش‌تر

۵- پیش‌بینی تمهیدات لازم برای تأمین منابع آب مناسب در شرایط بحران کمیت و کیفیت آب

۶- استفاده از تغییر دمای مورد انتظار در تولید سریع‌تر، بیش‌تر با توجه به افزایش طبیعی طول دوره پرورش با بهبود شرایط سایر عوامل تولید

۷- به‌کارگیری سیستم‌های تولید خوب آبزیان با استناد به استانداردهای تولید آبزیان سالم چه از لحاظ سلامت محیط و کاهش صدمات وارده به محیط زیست و چه از لحاظ کیفیت آبزیان تولیدی

۸- استفاده از زمینه‌های مناسب بازار و تجارت ماهیان خاویاری و خاویار ایران و بازیابی مجدد جایگاه ایران در بازار جهانی با محصولات حاصل از آبزی‌پروری جهت رونق اقتصادی این فعالیت‌ها با تولید محصولات سالم و متنوع

۹- توجه جدی به بهداشت و بیماری‌های ماهی به‌ویژه بیماری‌های با منشاء محیطی و تغذیه‌ای

۱۰- توجه به پرورش تمامی گونه‌های ماهیان خاویاری به‌ویژه ماهی قره‌برون

۱۱- برنامه‌ریزی در جهت اصلاح نژاد و تولید گونه‌های مقاوم‌تر به فاکتورهای محیطی از قبیل گرما و شوری

۱۲- استفاده از سیستم‌های پیشرفته تکثیر در جهت افزایش ضریب بازماندگی لاروهای تولیدی و تولید بچه‌ماهیان با کیفیت

۱۳- تحقیق و توسعه درجهت تولید غذای مناسب با ضریب تبدیل بالا جهت استفاده در مراحل مختلف تغذیه ماهی
۱۴- استفاده از سیستم‌های قابل کنترل جهت تولید بیش‌تر در واحد سطح
۱۵- توجه جدی به بهره‌وری در استفاده از منابع آب و خاک
۱۶- ارتقاء علمی پرورش‌دهندگان، تولیدکنندگان، کارشناسان و استفاده هدفمند علمی و تحقیقاتی از دانش آموختگان شیلاتی در جهت تولید مناسب و پایدار

تشکر و قدردانی

به مصداق «من‌لم یشکرالمخلوق لم یشکر الخالق» نویسندگان خودرا سپاسگزار همیاری‌و همکاری‌صمیمانه‌دکتر سیدمحمد مجابی و دکتر رضا شاهی‌فر می‌دانند. هم‌چنین از شرکت مادر تخصصی خدمات کشاورزی جهت حمایت از این طرح پژوهشی کمال تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

1. **Nikolaeva, P.V., 2011.** New morphometric characteristics of the Caspian Sea. Bulletin of MOTP. 7-8.
2. **Naderi Beni, A.B., Lahijani, H., Mousavi Harami, R., Arpe, K., Leroy, S.A., Marriner, N., Berberian, M., Andrieu-Ponel, V., Djamali, M., Mahboubi, A. and Reimer, P.J., 2013.** Caspian Sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. Climate of the Past. 9(4): 87-92.
3. **Mostefavi, H., Valavi, R., Rashidian, M. and Makki, T., 2017.** Prediction climate change effects on the Iranian sturgeon fishes (Acipenseridae) distribution under different climatic scenarios. 143-155.
4. **Statistical yearbooks of Iranian Fisheries Organization. 1994-2007.** Iranian Fisheries Organization. Vice President of Planning and Resource Management. Program and budget office. (In Persian)
5. **Larijany, M., Bandani, G.A., Khoshghalb, M.R., Hoseini, S.E. and Enayat Gholampour, T., 2020.** Investigation of the changes in length, weight, gender and caviar production and also CPUE of Persian sturgeon in the southern coast in the Golestan Province (2009-2012). Journal of Animal Environment. 11(4): 163-170. (In Persian)
6. **Khorsandi, F., Shahifar, R. and Sarabian, L., 2014.** Assessing the vulnerability and adaptability of the agriculture, animal husbandry and fisheries sectors to climate change in Iran. Third National Climate Change Report. (In Persian)
7. **Hwang, C.L. and Yoon, K., 1981.** Multiple attributes decision making methods and application. Springer, Berlin Heidelberg.
8. **Arpe, K., Bengtsson, L., Golitsyn, G.S., Mokhov, II., Semenov, V.A. and Sporyshev, P.V., 2000.** Connection between Caspian Sea level variability and ENSO. Geophysical research letters. 27(17): 2693-2696.
9. **Arpe, K., Leroy, S.A., Lahijani, H. and Khan, V., 2012.** Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level. Hydrology and Earth System Sciences. 16(1): 19-27.
10. **Gupta, A.K., Anderson, D.M. and Overpeck, J.T., 2003.** Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. Nature. 421(6921): 354-357.
11. **Leroy, S.A., Lahijani, H.A., Djamali, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., Shah-Hosseini, M., Hosseindoust, M., Miller, C.S., Tavakoli, V. and Habibi, P., 2011.** Late Little Ice Age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola Lagoons (south Caspian Sea): Vegetation and sea level changes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 302(3-4): 415-434.
12. **Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C., Lange, M.A., Tanarhte, M., Tyrlis, E. and Xoplaki, E., 2012.** Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. Climatic change. 114(3): 667-687.
13. **IPCC. 2019.** SBSTA/IPCC Summary Report on Unpacking the new scientific knowledge and key findings in the IPCC Special Report on Climate Change and Land SBSTA/IPCC Special Event.2019.1. Summary Report. 16 p.
14. **Gurjazkaite, K., Routh, J., Djamali, M., Vaezi, A., Poher, Y., Beni, A.N., Tavakoli, V. and Kylin, H., 2018.** Vegetation history and human-environment interactions through the late Holocene in Konar Sandal, SE Iran. Quaternary Science Reviews. 194: 143-155.
15. **Vaezi, A., Ghazban, F., Tavakoli, V., Routh, J., Beni, A.N., Bianchi, T.S., Curtis, J.H. and Kylin, H.A., 2019.** Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. 514: 754-767.
16. **Sharifi, A., Pourmand, A., Canuel, E.A., Ferer-Tyler, E., Peterson, L.C., Aichner, B., Feakins, S.J., Daryaee, T., Djamali, M., Beni, A.N. and Lahijani, H.A., 2015.** Abrupt climate variability since the last deglaciation based on a high-resolution, multi-proxy peat record from NW Iran: The hand that rocked the Cradle of Civilization. Quaternary Science Reviews. 123: 215-230.
17. **Lahijani, H. and Naderi Bani, A.D., 2013.** The effect of climate change on Iran's coasts and adaptation programs. Environmental Protection Organization. (In Persian)
18. **Terziev, S.F., Kosarev, A.N. and Kerimov, A.A., 1992.** Hydrometeorology and hydrochemistry of seas. Vol. 6, the Caspian Sea, No. 1. Hydrometeorological Conditions. Leningrad: Gidrometeoizdat. 358 p.
19. **Kosarev, A.N., 1975.** The hydrology of the Caspian and Aral Seas. Mosk. Gos. Univ., Moskva (USSR). 272 p.
20. **Lahijani, H.A., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V. and Hosseindoost, M., 2009.** Evidence for late Holocene highstands in central Guilan–East Mazanderan, south Caspian coast, Iran. Quaternary International. 197(1-2): 55-71.
21. **IUCN. 2010.** Red list of threatened species. International Union for Conservation of Nature (Available at: www. iucnredlist. org/mammals.
22. **Farhangi, M., Hoseini, S.A., Jafaryan, H., Ghorbani, R., Harsij, M., Sudagar, M., Mira, S.S. and Ballashi, A., 2018.** Impact of Sturgeon pen culture on the water quality in Gorgan Gulf. Journal of Animal Environment. 10(2): 217-230. (In Persian)
23. **http://www.inio.ac.ir**