



Assessing ecological niche shift for the Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) in southern waters of the Caspian Sea over a decadal period

Fateh Moëzzi¹ , Soheil Eagderi² 

1. Post-doctoral Researcher, Iran's National Elites Foundation and Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: moezifateh@ut.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: Soheil.eagderi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received July 23, 2024

Received in revised form

August 18, 2024

Accepted August 27, 2024

Available online September
22, 2024

Keywords:

Caspian Sea,
Caspian Kutum,
Ecological Niche,
Modelling.

ABSTRACT

Objective: Assessment of influencing environmental fluctuations on organisms in aquatic ecosystems is of high importance in the management and conservation of them. The present study aimed to investigate ecological niche shifts of Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) under the effects of environmental condition changes in southern waters of the Caspian Sea during a decadal period (catch seasons 2002/03 and 2011/12).

Method: The ecological niche modeling was applied using commercial catch data and remotely-sensed environmental data. The random forest method was used to evaluate ecological niche relationships.

Results: The results showed significant ($P < 0.001$) decreases in day-time sea surface temperature (SST) and near-surface chlorophyll-a concentration (Chl-*a*) during the study period. The importance levels of SST, slope, and distance to riverine entrance locations in defining fish ecological niche were increased over the decadal period, while Chl-*a* and particulate organic carbon (POC) content had lower importance levels at the end of the period. The estimations of optimum ecological ranges of SST indicated considerable decreases over the period, but for other parameters, there were increasing patterns of optimum levels with extending their ranges compared to the initial catch season. Also, spatial shifts were obtained in the occurrence of the ecological niche conditions over the coastal regions.

Conclusions: The findings of this study indicated considerable changes in the ecological niche of the Caspian Kutum during the decadal period and its spatial distribution over the southern coastal waters of the Caspian Sea.

Cite this article: Moëzzi, F., Eagderi, S. (2024). Assessing ecological niche shift for the Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) in southern waters of the Caspian Sea over a decadal period. *ECOHYDROLOGY*, 11 (3), 395-410. <https://doi.org/10.22059/ije.2024.385183.1848>



© Fateh Moëzzi, Soheil Eagderi.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ije.2024.385183.1848>

Introduction

Assessment of the impacts of environmental fluctuations on organisms in aquatic ecosystems is of high importance in the management and conservation of them. Species responses to the changes in their surrounding environments are species-specific and they are capable of tolerating new conditions and adopting to them during long periods, or considering their movement ability, they could change their geographical presence extents to find better ecological conditions. As one of the main approaches to evaluating species-environment relationships, ecological niche modelling (ENM) is extensively used to investigate alterations in species' occurrence patterns due to fluctuations in environmental and habitat characteristics over time and space.

The present study aimed to investigate ecological niche shifts of Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) under the effects of environmental condition changes in southern waters of the Caspian Sea during a decadal period (catch seasons 2002/03 and 2011/12). This fish has high commercial and conservation importance and regarding the reduction of its catch levels during the last decades, the outputs of this study could help fisheries managers to better understand the probable role of the environmental condition changes in regulating and explaining spatiotemporal changes of catch levels.

Materials and Methods

The ecological niche modelling (ENM) was applied using commercial catch data of the fish (as Catch per unit of effort (CPUE) for the catch seasons of 2002/03 and 2011/12, and remotely-sensed environmental data, including near surface chlorophyll-a concentration (Chl-a), day-time sea surface temperature (SST), particulate organic carbon concentration (POC), bottom slope, and distance from the river mouth. The random forest (RF) method was used to evaluate ecological niche relationships. The fluctuations in environmental parameters' levels were compared between studied catch seasons and their importance in defining the ecological niche of the fish was analyzed. Also, the changes in optimum ranges of the environmental variables for the Caspian Kutum were compared during the decadal period and geographical occurrences of the optimum ecological niche over the studied coastal extent were investigated for the catch seasons.

Results

The results showed significant ($P < 0.001$) decreases in day-time sea surface temperature (SST) and near-surface chlorophyll-a concentration (Chl-a) during the study period. The importance levels of SST, slope, and distance to riverine entrance locations in defining fish ecological niche were increased over the decadal period (SST: 17.03% to 25.02%; slope: 20.16% to 20.86%; Distance: 17.86% to 21.27%), while Chl-a and particulate organic carbon (POC) content had lower importance levels at the end of the period (Chl-a: 22.08% to 16.07%; POC: 22.85% to 16.78%).

The estimations of optimum ecological ranges of SST indicated considerable decreases over the period from the range [25.2, 25.4]°C in 2002/03 to [22.2, 22.8]°C in 2011/12, but for other parameters, there were increasing patterns of optimum levels with extending their ranges compared to the initial catch season (POC: from [427, 439] mg m⁻³ to [528, 799] mg m⁻³; Slope: from [0.09, 0.15] ° to [0.24, 0.39]°; Distance: from [0.7, 2.1] km to [2.1, 6.2] km). Spatial analysis of the occurrence of optimum ecological conditions over fishing areas showed complete shifts in these areas during the study period. On the other hand, a high proportion of fishing points maintain their non-optimum ecological niche condition. Despite the overall increase in the number of fishing points having the optimum ecological conditions,

there was a considerable increase in areas with optimum conditions along the western part of the coastal region, besides the nearly stable eastern optimum locations.

Conclusion

The findings of this study clearly showed considerable changes in the ranges of the environmental variables defining the ecological niche of the Caspian Kutum during the decadal period. Considering the significant decrease in water temperature over fishing areas, the optimum temperature range for the fish was decreased, while increasing and expanding trends were obtained for other environmental parameters. Spatial analyses of optimum ecological ranges of environmental variables indicated spatial shifts in geographical incidence of optimum ecological areas where in addition to the eastern range of fishing points with the optimum niche condition, a distinct apparent range of them along the western coastal regions were distinguished at the end of the period. The obtained results could lead to a better understanding of the environmental dynamics of fish abundance fluctuations and the preferred ecological conditions over the southern waters of the Caspian Sea and improve the management plans with the exploitation and/or conservation goals for the Caspian Kutum as a valuable species.

Author Contributions

Fateh Moëzzi: Conceptualization (equal); data curation (equal); formal analysis (equal); methodology (equal); software (equal); writing, review and editing (equal). Soheil Eagderi: Conceptualization (equal); data curation (equal); formal analysis (equal); methodology (equal); software (equal); writing, review and editing (equal).

Data Availability Statement

All data used in this research are publicly available (sources provided in the Methods). The fish catch data were available from the Iranian Fisheries Organization (IFO).

Acknowledgements

-

Ethical considerations

The authors avoided from data fabrication and falsification.

Funding

The study was funded by the Iran's National Elites Foundation and the University of Tehran.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



ارزیابی تغییر آشیان اکولوژیک ماهی سفید (*Rutilus frisii*) در آب‌های جنوبی دریای خزر در طول یک دوره ۱۰ ساله

فاتح معزی^۱ | سهیل ایگدری^۲ ✉

۱. محقق پسادکتری، بنیاد ملی نخبگان و گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: moezifateh@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: soheil.egderi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱</p> <p>کلیدواژه‌ها: آشیان اکولوژیک، دریای خزر، ماهی سفید، مدل‌سازی</p>	<p>موضوع: ارزیابی اثرپذیری آبریزان از تغییرات شرایط محیطی در اکوسیستم‌های آبی از اهمیت بالایی در مدیریت بهره‌برداری و حفاظت این گونه‌ها برخوردار است.</p> <p>هدف: مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات آشیان اکولوژیک ماهی سفید (<i>Rutilus frisii</i>) در نتیجه تغییرات شرایط محیطی در آب‌های جنوبی دریای خزر در طول یک دوره ۱۰ ساله (دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲) انجام شد.</p> <p>روش تحقیق: مدل‌سازی آشیان اکولوژیک این گونه با استفاده از داده‌های صید تجاری و داده‌های سنجش از دور پارامترهای محیطی انجام شد. روش مدل‌سازی جنگل تصادفی برای ارزیابی آشیان اکولوژیک گونه به کار گرفته شد.</p> <p>یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار ($P < ۰/۰۰۱$) دمای سطحی آب دریا در روز (SST) و غلظت کلروفیل-a لایه سطحی آب (Chl-a) در طول دوره زمانی مورد بررسی بود. سهم اهمیت پارامترهای SST، شیب و فاصله از ورودی‌های رودخانه‌ای در تعریف آشیان اکولوژیک گونه در طول این دوره افزایش یافته، درحالی‌که اهمیت Chl-a و غلظت کربن آلی ذره‌ای (POC) کاهش یافته بود. برآوردهای مربوط به بازه بهینه اکولوژیک متغیر SST بیانگر کاهش بهینه دمایی گونه در پایان دوره بود، درحالی‌که برای سایر متغیرها جابه‌جایی‌های افزایشی و همچنین وسیع‌تر شدن بازه مقادیر مطلوب به دست آمد. ارزیابی‌های مکانی نیز نشان‌دهنده تغییرات چشمگیر در بروز شرایط بهینه اکولوژیک بود.</p> <p>نتیجه‌گیری: مجموعه یافته‌های به دست آمده در این مطالعه، بیانگر تغییر قابل توجه آشیان اکولوژیک ماهی سفید در طول دوره زمانی مورد بررسی و همچنین پراکنش مکانی مربوط به این گونه در آب‌های ساحلی جنوب خزر بود.</p>

استناد: معزی، فاتح؛ و ایگدری، سهیل. ارزیابی تغییر آشیان اکولوژیک ماهی سفید (*Rutilus frisii*) در آب‌های جنوبی دریای خزر در طول یک دوره ۱۰ ساله.

اکوهیدرولوژی، ۱۱(۳)، ۳۹۵-۴۱۰.

<https://doi.org/10.22059/ije.2024.385183.1848>



۱. مقدمه

مطالعات متعدد انجام شده در سال‌های اخیر نشان داده است که بروز تغییرات در شرایط محیطی اکوسیستم‌های آبی در دوره‌های زمانی کوتاه و بلندمدت می‌تواند منجر به تغییراتی در الگوهای پراکنش و همچنین فراوانی موجودات آبی گردد. میزان اثرگذاری ناشی از این تغییرات بر جوامع گونه‌های پلاژیک آبیان به واسطه نرخ‌های بیشتر تغییرات بالاتر است (چن و همکاران، ۲۰۲۴a). نوسانات چشمگیر در پارامترهای محیطی از جمله دما، تولید اولیه و سایر عوامل از این دست به صورتی که محدوده‌هایی فراتر از بازه‌های مورد ترجیح گونه‌ها را شامل شوند، می‌توانند تغییرات نامطلوب زیستگاهی و متعاقباً از دست رفتن زیستگاه و در مواردی انقراض گونه‌ها را به همراه داشته باشند (چن و همکاران، ۲۰۲۴b؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹). از این رو، شناخت چگونگی اثرپذیری تغییرات فراوانی و توزیع گونه‌ها از نوسانات شرایط محیطی می‌تواند در اجرای بهتر برنامه‌های مدیریتی حفاظتی و بهره‌برداری بسیار کمک‌کننده باشد.

ارزیابی و تعیین چگونگی و وسعت اثرگذاری عوامل محیطی بر توزیع موجودات آبی در محیط‌های آبی موضوعی چالش‌برانگیز است. پاسخ‌های گونه‌ای به تغییرات شرایط محیطی برای گونه‌های مختلف اختصاصی بوده و این گونه‌ها قادرند شرایط محیطی جدید به وجود آمده را تحمل نموده و با آن در درازمدت سازگار شوند (رزنیك، لوسس و تراویس، ۲۰۱۹؛ سزوس و همکاران، ۲۰۱۷) یا با توجه به قابلیت‌های حرکتی در یافتن شرایط بهینه زیستی، گستره‌های جغرافیایی زیستگاه خود را تغییر دهند (ملو- میرنو، ریز- بونیلا و لیرا-نوریگا، ۲۰۱۹). این وضعیت ممکن است در طول چرخه زندگی یک جاندار نیز متغیر باشد؛ آن چنان که تمایل بیشتری به حضور در نواحی دارای مواجهه کمتر با شکارچیان یا مناطق بهینه تغذیه‌ای و تخم‌ریزی دارند (آفونسو، مک گینتی و ماش، ۲۰۱۴؛ فرومنتین و لوپوزانسکی، ۲۰۱۴). بنابراین، در نظر گرفتن محدوده‌های مکانی و زمانی گسترده در بررسی‌های روابط گونه- محیط برای این موجودات در درک دقیق‌تر این روابط از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

مدل‌سازی آشیان اکولوژیک^۱ (ENM) یکی از رویکردهای پرکاربرد در ارزیابی روابط بین شرایط محیطی و حضور گونه‌هاست. این رویکرد شاخص‌های حضور و فراوانی گونه‌ای را به مجموعه‌ای از لایه‌های داده از شرایط محیطی بر مبنای روابط و همبستگی‌های موجود بین آن‌ها مرتبط می‌سازد (گویسان و همکاران، ۲۰۱۳؛ پترسون و سوبرون، ۲۰۱۲). مدل‌های ENM جنبه‌های مختلف آشیان اکولوژیک بنیادی^۲ (بالقوه) را بر مبنای ارتباطات بین شرایط محیطی و مکان‌یابی جغرافیایی شناخته شده برای گونه تعیین می‌کنند (پترسون و همکاران، ۲۰۱۱؛ الیت و همکاران، ۲۰۰۶) که عمدتاً برداشت‌ها و برآوردهایی را در طول زمان یا مکان ارائه می‌دهند (ملو- میرنو، ریز- بونیلا و لیرا-نوریگا، ۲۰۱۹). این مدل‌ها از طریق مدل‌سازی شرایط مورد نیاز برای بقای گونه‌ها و همچنین ویژگی‌های آشیان اکولوژیک، به خوبی توزیع‌های گونه‌ای و تطابق‌های اکولوژیک گونه‌ها را پیش‌بینی کرده و نوسانات آن‌ها را توضیح می‌دهند (هی و همکاران، ۲۰۱۸).

۲. پیشینه پژوهش

مدل‌های ENM به‌طور معمول در مطالعات تنوع و کاربرد در زمینه اکولوژی و جغرافیای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند (پترسون، پاپس و سوبرون، ۲۰۱۵). از مجموعه موارد کاربرد بسیار معمول این مدل‌ها می‌توان به تعیین محل‌های مناسب حضور یک گونه، پیش‌بینی پیامدهای تغییرات شرایط محیطی بر توزیع‌های گونه‌ای، ارزیابی توان تهاجمی گونه‌های غیربومی و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی اشاره کرد (گویسان و همکاران، ۲۰۱۳؛ خیمنز- والواردی و همکاران، ۲۰۱۱؛ گویسان و زیمرمان، ۲۰۰۰). تحقیقات انجام شده در ارتباط با مدل‌سازی آشیان اکولوژیک ماهیان اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با تصمیم‌گیری‌های مناسب‌تر حفاظتی برای ذخایر این گونه‌ها فراهم می‌سازند (مور و همکاران، ۲۰۱۶؛ شمینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

تأثیرگذاری تغییرات شرایط محیطی بر پراکنش ماهیان در برخی از مطالعات انجام شده با بهره‌گیری از رویکردهای ارزیابی آشیان اکولوژیک در ایران بررسی شده است. در یکی از مطالعات صورت گرفته، حقی و ایقان و همکاران (۲۰۱۶) به مدل‌سازی مطلوبیت

1. Ecological niche modelling: ENM

2. Fundamental Niche

زیستگاهی گونه‌های *Allosa spp.* در دریای خزر پرداختند که در آن بازه‌های زیستگاهی بهینه فصلی و شرایط محیطی مطلوب برای گونه‌های مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت. در دیگر مطالعه انجام شده توسط اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات آشیان اقلیمی گونه‌های جنس *Alburnus* در آب‌های داخلی ایران مورد بررسی قرار گرفته و توزیع گونه‌ها در زمان انجام مطالعه و همچنین تغییرات مربوط به آن‌ها در سال ۲۰۵۰ برآورد شده است. فصلی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به تجزیه و تحلیل ارتباط بین تغییرات در تنوع و توزیع مکانی و زمانی گونه‌های ماهیان دمرسال تجاری دریای خزر در محدوده آب‌های ساحلی این دریا پرداختند که یافته‌های آنان بیانگر وجود گرادیان‌های زیست-جغرافیایی و زمانی در توزیع فراوانی و تنوع این ماهیان بود.

دریای خزر به عنوان یکی از اکوسیستم‌های دریایی بسته زیستگاه مجموعه بزرگی از گونه‌های جانوری در جهان به شمار می‌رود. ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*)، متعلق به خانواده Leuciscidae (ایگدری و همکاران، ۲۰۲۲) یکی از گونه‌های بومی دریای خزر است که عمدتاً در آب‌های ایرانی جنوب این دریا پراکنش دارد. این گونه مهم‌ترین گونه از ماهیان استخوانی است که در صیدگاه‌های پره در امتداد ساحل جنوبی خزر صید می‌گردد و دارای ارزش تجاری و درعین حال حفاظتی بسیار زیادی است. بیش از ۷۰ درصد صید ماهیان استخوانی به این گونه اختصاص دارد (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۱۵). روند مقادیر صید استحصال شده مربوط به این ماهی در طول دهه‌های اخیر نوسانات کاهشی قابل توجهی را به رغم اجرای برنامه‌های بازسازی ذخایر نشان داده است. این کاهش به عوامل مختلفی از جمله صید بی‌رویه، آلودگی آب و تنزل نواحی زیستگاهی تخم‌ریزی نسبت داده شده است (برزانوو و همکاران، ۲۰۱۹). الگوی کلی کاهشی در میزان صید ماهی سفید در طول دهه‌های گذشته، نیاز به شناخت بهتر پویایی تغییرات جمعیتی آن در گستره آبی مورد اشاره را دوچندان ساخته است تا بتوان براساس آن برنامه‌ریزی مناسب‌تری در رابطه با سیاست‌های بهره‌برداری و یا حفاظت گونه در نظر گرفته شود.

مطالعات معدودی به بررسی ترجیح زیستگاهی و ارتباطات فراوانی این گونه با شرایط محیطی انجام شده که براساس آن دینامیک صید توزیع گونه به صورت مقطعی مورد بررسی قرار گرفته است (معزی و همکاران، ۲۰۲۴، معزی و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال، ارزیابی تأثیر شرایط محیطی و تغییرات آن در بلندمدت بر ویژگی‌های اکولوژیک ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است. در مطالعه حاضر، خصوصیات آشیان اکولوژیک ماهی سفید در پاسخ به تغییرات احتمالی در مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده آشیان این گونه در محدوده آب‌های جنوبی دریای خزر در یک دوره بلندمدت ۱۰ ساله با استفاده از رویکرد مدل‌سازی آشیان اکولوژیک بررسی شده است. در این راستا، تغییرات احتمالی در شرایط محیطی، تغییرات آشیان اکولوژیک گونه و همچنین تغییرات زمانی در توزیع مکانی شرایط بهینه اکولوژیک ماهی تجزیه و تحلیل شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهشی

۳-۱. داده‌های صید

در این مطالعه از داده‌های صید ماهی سفید (*R. frisii*) در صیدگاه‌های پره ساحل جنوبی خزر استفاده شد. این داده‌ها مربوط به دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲ در تعداد ۹۰ ناحیه صیدگاهی بود. فصل صید این گونه از ماه مهر (سپتامبر) هر سال آغاز شده و تا اردیبهشت (آوریل) سال بعد را شامل می‌گردد. مقادیر صید به دست آمده برای استفاده به عنوان یک شاخص استاندارد از فراوانی گونه با استفاده از رابطه ۱ به صورت صید در واحد تلاش صیادی^۱ (CPUE) تبدیل شدند.

$$CPUE (kg\ seine^{-1}h^{-1}) = \frac{\text{زیتوده صید (kg)}}{\text{مدت زمان صید (h)} \times \text{تعداد تور پره (seine)}} \quad \text{رابطه ۱}$$

۳-۲. داده‌های محیطی

پنج متغیر محیطی که براساس مطالعات انجام شده (۲۵) دارای تأثیر قابل توجه به پراکنش ماهی سفید هستند، به‌عنوان عوامل اصلی تعیین‌کننده آشیان اکولوژیک این گونه انتخاب شدند: غلظت کلروفیل- a در لایه سطحی آب^۱ ($\text{Chl-}a$ (mg m^{-3})); دمای سطحی آب دریا در روز^۲ (SST ($^{\circ}\text{C}$)); غلظت کربن آلی ذره‌ای^۳ (POC (mg m^{-3})); فاصله صیدگاه از دهانه رودخانه (Distance (km)); و شیب بستر ($^{\circ}$ Slope). داده‌های مربوط به متغیرهای $\text{Chl-}a$ ، SST و POC از پایگاه داده پروژه MODIS ^۴ استخراج گردید و برداشت و محاسبه مقادیر آن‌ها در نقاط صیدگاهی در دوره‌های صید مورد بررسی براساس میانگین مقادیر ماهیانه در طول دوره صید در محیط نرم‌افزار R (version: 4.1.2) با استفاده از بسته raster انجام گرفت. برای تهیه نقشه شیب در نقاط صیدگاهی، از نقشه عمق سنجی به‌دست‌آمده از پایگاه داده^۵ GEBCO استفاده شد. فاصله بین نقاط صیدگاهی تا دهانه رودخانه (Distance) نیز براساس نزدیک‌ترین فاصله مستقیم تا دهانه رودخانه‌های اصلی ورودی به جنوب دریای خزر در امتداد ساحل محاسبه شد (معزی و همکاران، ۲۰۲۴).

برای مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای محیطی دینامیک شامل $\text{Chl-}a$ ، SST و POC در دوره‌های صید در گستره‌های صیدگاهی از آزمون t جفتی (paired-samples t-test) استفاده شد.

۳-۳. مدل‌سازی آشیان اکولوژیک

مدل‌سازی آشیان اکولوژیک ماهی سفید با استفاده از روش جنگل تصادفی^۶ (RF) انجام شد. روش جنگل تصادفی (RF) یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که یک رویکرد میانگین‌گیری مبتنی بر مشارکت تعداد زیادی از درخت‌های تصادفی براساس مجموعه‌ای از متغیرها و مشاهدات با انتخاب تصادفی را شکل می‌دهد (بویسون و همکاران، ۲۰۱۰). روش RF متشکل از مجموعه‌ای از درخت‌های طبقه‌بندی یا رگرسیونی است که پیش‌بینی‌هایی فاقد بیش‌برازش را ارائه می‌دهند (بريمن، ۲۰۰۱). تعداد زیادی از مطالعات انجام‌شده توان بالایی طبقه‌بندی و پیش‌بینی این مدل را در نتیجه شناخت کارآمد از روندهای موجود در داده‌ها، نداشتن پیش‌فرض‌های اختصاصی برای توزیع داده‌ها و قدرت پرداختن به اثرات متقابل بین متغیرها گزارش داده‌اند (اولیا-مارین، مارتینز-کاپل و وزا، ۲۰۱۳؛ کاتلر و همکاران، ۲۰۰۷). تحقیقات متعددی در زمینه‌های مرتبط با اکوسیستم‌های آبی و مباحث شیلاتی مربوط به تنوع زیستی و کیفیت شرایط زیستگاهی برای گونه‌ها به‌شکلی کارآمد از این روش استفاده کرده‌اند (لوان و همکاران، ۲۰۱۸).

برازش مدل‌های جنگل تصادفی (RF) با استفاده از تابع randomForest از بسته (4.7-1.1) randomForest (لیاو و وینر، ۲۰۰۲) انجام شد. میزان اهمیت نسبی متغیرها در مدل با استفاده از تابع Importance از بسته randomforest محاسبه شد و برای رسم نمودارهای وابستگی نسبی متغیرهای مدل از تابع partial از بسته pdp (0.8.0) (گرینول و همکاران، ۲۰۲۰) استفاده گردید. تعیین بازه‌های بهینه متغیرهای محیطی برای مقایسه تغییرات آشیان اکولوژیک گونه در دوره زمانی ۱۰ ساله بین دوره‌های صید براساس مقادیر هر پارامتر محیطی متناظر با مقادیر برآورده شده مدل برای شاخص فراوانی (CPUE) بیشتر از مقدار معادل چندک ۰/۶ انجام گرفت. بر این اساس، تغییرات در مقادیر بهینه هر پارامتر و همچنین تغییرات جهت‌دار بازه‌های بهینه بین دو دوره صید مورد مطالعه، ارزیابی گردید. تعداد نقاط صیدگاهی دارای شرایط بهینه و غیربهینه اکولوژیک برای مجموعه پارامترها و همچنین تغییرات آن‌ها در طول دوره زمانی ۱۰ ساله نیز بررسی شد. توزیع مکانی شرایط بهینه اکولوژیک در صیدگاه‌ها و تغییرات زمانی آن‌ها نیز در فاصله بین دوره‌های صید براساس نقشه‌های جغرافیایی تحلیل شد.

1. Near surface chlorophyll- a concentration: $\text{Chl-}a$
2. Day-time sea surface temperature: SST
3. Particulate organic carbon: POC
4. NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory (2021)
5. The General Bathymetry Chart of the Oceans (GEBCO)
6. Random forest

۴. یافته‌های پژوهش و بحث

۴-۱. تغییرات شرایط محیطی و آشیان اکولوژیک بهینه

دامنه تغییرات و میانگین مقادیر برداشت‌شده متغیرهای محیطی در نقاط صیدگاهی مورد بررسی در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲ در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به ماهیت ثابت و بدون تغییر پارامترهای فاصله از دهانه رودخانه و شیب بستر، مقادیر این دو متغیر در هر دو دوره زمانی ثابت و فاقد تغییر بود. متغیرهای دینامیک شامل غلظت سطحی کلروفیل-*a* (Chl-*a*)، دمای سطحی آب در روز (SST) و غلظت کربن آلی ذره‌ای (POC) تغییراتی را در طول دوره ۱۰ساله نشان دادند. باین‌حال، مقایسه آماری مقادیر میانگین این متغیرها تنها برای پارامترهای Chl-*a* و SST معنی‌دار ($P < 0.001$) بود به طوری که نشان‌دهنده کاهش مقادیر میانگین هر دو متغیر در طول دوره زمانی مورد بررسی در مجموعه صیدگاه‌ها بود. مقدار کاهش SST تقریباً بازه تغییر 2°C را در مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین نشان داد. برای پارامتر Chl-*a*، مقادیر حداقل اندازه‌گیری‌شده در هر دو دوره صید تقریباً برابر بود، اما در طول فاصله زمانی ۱۰ساله کاهش قابل توجهی در مقادیر حداکثر (از $16/1 \text{ mg m}^{-3}$ در ۲۰۰۲/۰۳ به $13/5 \text{ mg m}^{-3}$ در ۲۰۱۱/۱۲) و میانگین (از $5/9 \text{ mg m}^{-3}$ در ۲۰۰۲/۰۳ به $4/8 \text{ mg m}^{-3}$ در ۲۰۱۱/۱۲) به دست آمد. برای متغیر POC، با وجود کاهش چشمگیر در مقادیر حداکثر (از 7895 mg m^{-3} در ۲۰۰۲/۰۳ به 3632 mg m^{-3} در ۲۰۱۱/۱۲)، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر میانگین ($P = 0.213$) وجود نداشت.

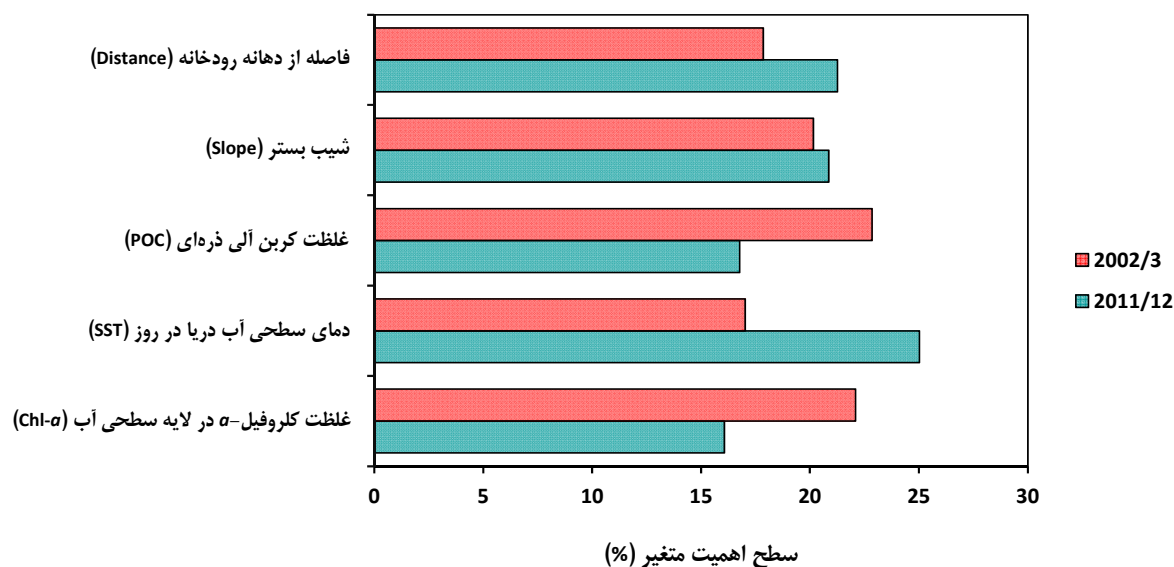
یافته‌های به‌دست‌آمده در ارتباط با سطوح پارامترهای محیطی دینامیک به‌طور کلی نشان‌دهنده کاهش دمای سطحی آب دریا و همچنین مقدار بیشینه تولیدکنندگی در نواحی صیدگاهی ماهی سفید بود. به‌طور مشخص مقادیر SST برداشت‌شده از داده‌های سنسور از دور یک کاهش معنی‌دار و مشهود را در میانگین این متغیر در طول دوره ۱۰ساله نشان داده است. دو متغیر مرتبط با تولید محیط آبی شامل Chl-*a* (شاخصی از تولید اولیه پلانکتون) و محتوای POC (به‌عنوان شاخصی غیرمستقیم از تولید ثانویه) نیز در نمای کلی کاهش توان تولیدکنندگی توده آبی در محل‌های صید ماهی سفید را در دوره زمانی مورد بررسی نشان دادند که تا حدودی نیز ممکن است ناشی از روند کلی کاهش دمای رخ داده در محیط باشد.

جدول ۱. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین متغیرهای زیستگاهی در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲ در صیدگاه‌های ماهی سفید (*Rutilus frisii*)

دوره صید	متغیر	غلظت کلروفیل- <i>a</i> در لایه سطحی آب (Chl- <i>a</i>)	دمای سطحی آب دریا در روز (SST)	غلظت کربن آلی ذره‌ای (POC)	فاصله صیدگاه از دهانه رودخانه (Distance)	شیب بستر (Slope)
	حداقل	۲/۸	۲۲/۲	۳۵۱	۰/۱	۰/۰۳
۲۰۰۲/۰۳	حداکثر	۱۶/۰	۲۵/۷	۷۸۹۵	۴۰/۴	۰/۶۴
	میانگین	۵/۹	۲۴/۴	۷۴۶	۱۱/۶	۰/۲۹
	حداقل	۲/۹	۲۰/۵	۳۴۷	۰/۱	۰/۰۳
۲۰۱۱/۱۲	حداکثر	۱۳/۵	۲۳/۳	۳۶۳۲	۴۰/۴	۰/۶۴
	میانگین	۴/۸	۲۲/۴	۶۱۴	۱۱/۶	۰/۲۹

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های جنگل تصادفی در ارتباط با تأثیر متغیرهای محیطی (شکل ۱) نشان داد که میزان اثرگذاری متغیرهای SST، شیب بستر و فاصله از دهانه رودخانه بر چگونگی توزیع ماهی سفید در طول دوره ۱۰ساله افزایش یافته به طوری که بیشترین میزان افزایش مربوط به متغیر SST از ۱۷/۰۳٪ در ۲۰۰۲/۰۳ تا ۲۵/۰۲٪ در ۲۰۱۱/۱۲ بوده است. مقادیر سهم نسبی متغیرهای POC و Chl-*a* نیز به شکل قابل توجهی در طول دوره ۱۰ساله کاهش یافته به طوری که مقادیر کاهش مربوط به آن‌ها به ترتیب برابر با ۶/۰۷ و ۶/۰۱ درصد بوده است.

براساس این نتایج، سهم تأثیر متغیرهای SST و فاصله از دهانه رودخانه در تعیین آشیان اکولوژیک ماهی سفید بر مبنای مدل‌سازی توزیع آن در طول دوره ۱۰ ساله به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. عامل شیب نیز افزایشی مشابه اما میزان کمتری داشته است. این درحالی است که هر دو پارامتر مربوط به سطوح تولید شامل *Chl-a* و POC با توجه به کاهش چشمگیر تأثیر نسبت به دوره صید ۲۰۰۲/۰۳، نقش کمتری در تعیین آشیان اکولوژیک این گونه داشته‌اند. در مطالعات صورت گرفته در ارتباط با توزیع کلی آبیان، متغیر دما به عنوان یک عامل حیاتی تعیین کننده در پراکنش گونه‌ها در مقایسه با سایر عوامل محیطی شناخته شده است؛ به طوری که به واسطه نقش آن در فرایندهای فیزیولوژیک، تأثیر بالایی بر بقای گونه‌های آبی دارد (هوا و همکاران، ۲۰۲۰؛ اولسن، ۲۰۱۹). این پارامتر در مطالعات صورت گرفته مربوط به ماهی سفید نیز به عنوان یک عامل اساسی در تعریف الگوهای توزیع گونه شناخته شده است (معزی و همکاران، ۲۰۲۴؛ معزی و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه حاضر نیز، کاهش قابل ملاحظه دما در صیدگاه‌های واقع در گستره آب‌های جنوبی خزر در طول دوره ۱۰ ساله، منجر شده تا سهم تأثیر این عامل بر پراکنش گونه بیشتر گردد که احتمالاً ناشی از فاصله گرفتن سطوح دمایی برزیافته در نقاط صیادی از بهینه دمایی مورد ترجیح گونه بوده است. کاهش سهم اثر عوامل مربوط به تولید، یعنی *Chl-a* و POC، می‌تواند با کاهش مقادیر این پارامترها که نشان دهنده تقلیل تولیدکنندگی توده آبی (گریفیت و همکاران، ۲۰۱۷؛ پرتا-بلازکوئز، دیوی و بل، ۲۰۱۲) در نواحی صیدگاهی است، مرتبط بوده باشد؛ به طوری که نقش این متغیرها را در مقایسه با اهمیت بالای کاهش قابل توجه دمای آب تنزل دهد. این درحالی است که فاصله از دهانه رودخانه‌های ورودی به مناطق ساحلی دریای خزر و شیب بستر نیز پس از گذشت ۱۰ سال، از تأثیرگذاری نسبی بیشتری در مقایسه با این عوامل برخوردار بوده‌اند. این دو پارامتر استاتیک محیط آبی با تنظیم ویژگی‌های هیدرودینامیک توده آبی و جریان آب مرتبطاند (پارا و همکاران، ۲۰۱۷)؛ در نتیجه، تأثیرگذاری غیرمستقیم آن‌ها در تنظیم دمای آب و همچنین ویژگی‌های تغذیه‌ای محیط (فرویسکل و همکاران، ۲۰۱۳) از نقش پررنگ‌تری در تعریف آشیان اکولوژیک ماهی برخوردار شده‌اند.

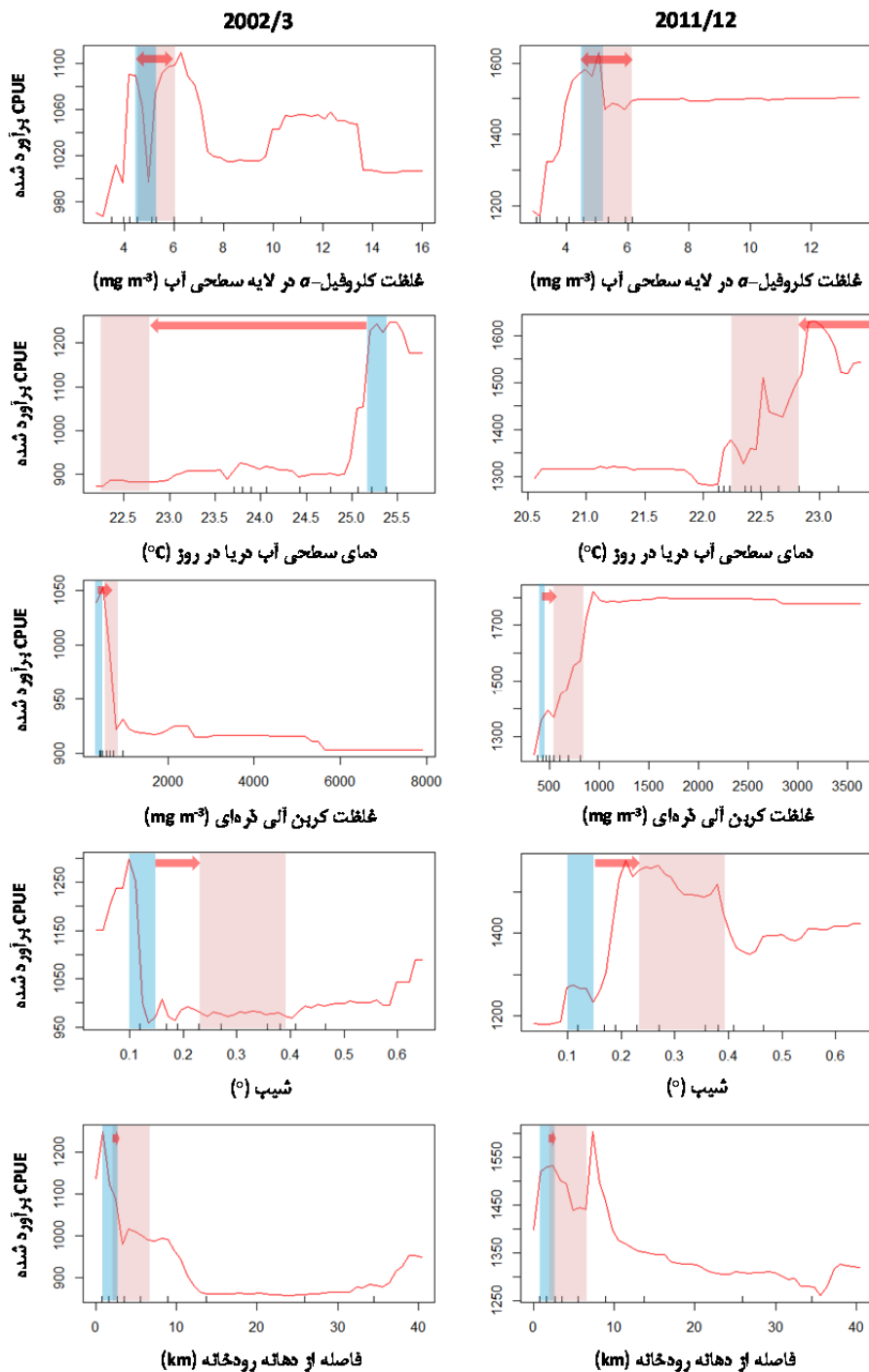


شکل ۱. مقادیر سهم اهمیت متغیرهای زیستگاهی (variable importance) در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲

بازه‌های بهینه از پارامترهای محیطی مورد بررسی در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲ به همراه روندهای مربوط به نمودارهای وابستگی نسبی حاصل از مدل‌های برازش یافته در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر بهینه برآورد شده برای *Chl-a* نشان دهنده گسترش بازه مورد ترجیح گونه در طول دوره زمانی ۱۰ ساله برای این متغیر بود، به طوری که از بازه $(\text{mg m}^{-3}) [4/5, 5/2]$ در ۲۰۰۲/۰۳ به بازه $(\text{mg m}^{-3}) [4/5, 6/1]$ بسط یافته است. بهینه دمایی محاسباتی در دوره‌های زمانی مورد بررسی، جابه‌جایی کامل بازه دمایی مورد ترجیح گونه از $^{\circ}\text{C} [25/2, 25/4]$ در ۲۰۰۲/۰۳ به $^{\circ}\text{C} [22/2, 22/8]$ در ۲۰۱۱/۱۲ را نشان داد. برای سه

پارامتر POC، شیب بستر و فاصله از دهانه رودخانه نیز بازه‌های بهینه حاصل از مدل‌ها نمایانگر جابه‌جایی‌های افزایشی بود؛ به طوری که علاوه بر افزایش مقادیر مورد ترجیح ماهی، گستره تغییرات مقادیر آن‌ها نیز بازه‌هایی وسیع‌تر را شامل می‌شد (برای POC: از $[۴۲۷, ۴۳۹] \text{ mg m}^{-3}$ به $[۵۲۸, ۷۹۹] \text{ mg m}^{-3}$ ؛ برای شیب بستر: از $[۰/۰۹, ۰/۱۵]^\circ$ به $[۰/۲۴, ۰/۳۹]^\circ$ ؛ برای فاصله از دهانه رودخانه: از $[۰/۷, ۲/۱] \text{ km}$ به $[۲/۱, ۶/۳] \text{ km}$).

برآورد‌های به‌دست‌آمده در رابطه با تغییرات در گستره و جهت آشیان اکولوژیک بهینه ماهی سفید بر مبنای پارامترهای مورد بررسی به‌وضوح نشان داد در نتیجه کاهش دمای سطحی آب در محدوده مورد مطالعه، تغییر کاهشی مشهودی در بهینه دمایی مورد ترجیح ماهی صورت گرفته که همراه با افزایش بازه مقادیر آن بوده است. این تغییر بهینه اکولوژیک دمایی تا حد زیادی ممکن است در نتیجه توانایی ماهی در تطابق با شرایط دمایی کاهشی در طول دوره ۱۰ ساله اتفاق افتاده باشد. برای دیگر پارامترهای تعریف‌کننده آشیان اکولوژیک بهینه برای این گونه، عمدتاً تغییرات افزایشی بازه بهینه همراه با توسعه دامنه مطلوب برای گونه اتفاق افتاده است؛ به شکلی که برای متغیرهای تولیدی شامل Chl-a و POC ترجیح ماهی بیشتر حضور در مکان‌های دارای مقادیر بیشتر Chl-a و POC بوده است. در ارتباط با دو عامل استاتیک محیطی شامل شیب بستر و فاصله از رودخانه نیز با توجه به ترجیح بیشتر ماهی روی فاصله‌های دورتر از نقاط ورودی رودخانه‌ای و همچنین نواحی با شیب بیشتر، می‌توان گفت که گونه مورد بررسی نواحی دارای ثبات هیدرودینامیک بالاتر و نوسان کمتر را مطلوب دانسته است. شایان ذکر است با در نظر گرفتن افزایش سهم تأثیر عامل دما در دوره ۱۰ ساله، تغییرات گستره بهینه دیگر پارامترها تحت تأثیر کاهش قابل ملاحظه دما در کل محدوده مورد مطالعه اتفاق افتاده و در صورتی که تغییرات دمایی به شکلی دیگر اتفاق می‌افتاد، احتمالاً بازه‌های بهینه دیگر عوامل نیز متفاوت از وضعیت به‌دست‌آمده در این مطالعه بود. وجود نوسانات زمانی در ارتباط با تأثیر عوامل محیطی و همچنین بازه‌های مطلوب آن‌ها در مطالعات معدودی گزارش شده است. در مطالعه معزی و همکاران (۲۰۲۴) تغییرات شرایط بهینه زیستگاهی برای گونه ماهی سفید در مقیاس ماهانه در طول دوره‌های صید مورد بررسی قرار گرفته و نوسانات مشهودی در ارتباط با شرایط بهینه گزارش شده که بیشتر به رفتار مهاجرتی ماهی نسبت داده شده است. باین‌حال، یافته‌های به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر مبتنی بر بررسی تغییرات شرایط اکولوژیک بهینه مورد ترجیح ماهی در طول یک دوره بلندمدت ۱۰ ساله بوده که براساس یافته‌ها، روندهای تطابقی گونه در توضیح آن محتمل‌تر است.



شکل ۲. نمودارهای وابستگی نسبی (pdp) و مقادیر بهینه از متغیرهای محیطی مورد بررسی در ارتباط با سطوح برآوردشده صید ماهی سفید (Estimated CPUE) در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲. کادراه‌های آبی رنگ و صورتی رنگ نشان‌دهنده بازه‌های بهینه متغیرهای محیطی برای ماهی به ترتیب در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲ هستند. فلش‌های قرمز رنگ تغییرات بازه‌های بهینه در طول دوره ۱۰ ساله را نشان می‌دهند.

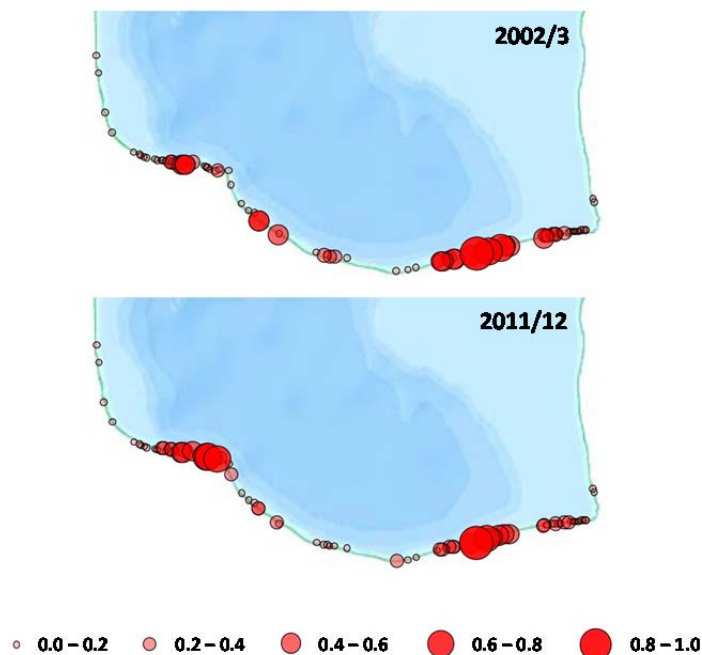
۲-۴. پراکنش مکانی شرایط بهینه اکولوژیک

بررسی شرایط بهینه آشیان اکولوژیک در نقاط صیدگاهی ماهی سفید در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲ (جدول ۲) نشان داد که هیچ‌یک از نقاط صیدگاهی با شرایط بهینه اکولوژیک در ۲۰۰۲/۳ (به تعداد ۱۴ نقطه) این وضعیت را تا دوره صید ۲۰۱۱/۱۲ حفظ نکرده و پس از گذشت دوره ۱۰ ساله از شرایط غیربهینه اکولوژیک برای گونه برخوردار شده‌اند. در مقابل، تعداد ۳۱ نقطه

صیدگاهی که در دوره صید ۲۰۰۲/۰۳ شرایط غیربهینه اکولوژیک برای ماهی سفید بر آن‌ها حاکم بوده، در دوره ۲۰۱۱/۱۲ از وضعیت بهینه اکولوژیک برخوردار شده‌اند. تعداد ۴۵ صیدگاه نیز شرایط غیربهینه اکولوژیک خود را در طول دوره ۱۰ساله حفظ کرده‌اند. پراکنش جغرافیایی نقاط صیدگاهی دارای شرایط بهینه و غیربهینه اکولوژیک برای ماهی سفید در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲ (شکل ۳) نشان داد که به‌رغم افزایش کلی تعداد نقاط دارای شرایط اکولوژیک بهینه، در طول دوره ۱۰ساله شرایط مطلوب گونه عمدتاً در گستره‌های صیدگاهی واقع در کرانه‌های شرقی و غربی از ساحل جنوبی خزر شکل گرفته است. این درحالی است که تعداد نقاط دارای شرایط بهینه اکولوژیک در آب‌های ساحلی شرقی در دوره صید ۲۰۱۱/۱۲ نسبت به دوره ۲۰۰۲/۰۳ کاهش یافته و تنزل وضعیت زیستگاهی در تعداد بیشتری از نقاط این ناحیه در طول دوره بلندمدت ۱۰ساله اتفاق افتاده است. تجزیه و تحلیل مکانی شرایط محیطی در گستره نقاط صیدگاهی ماهی سفید بیانگر آن است که در طول دوره زمانی مورد بررسی، شرایط اکولوژیک مطلوب برای ماهی در این نقاط دچار تغییر شده است. به‌رغم ثبات شرایط محیطی در ۵۰ درصد نواحی مورد بررسی که دارای وضعیت غیربهینه اکولوژیک بودند، جابه‌جایی مکانی و همچنین ارتقای تعداد نقاط دارای شرایط مطلوب و بهینه در این دوره رخ داده است. بررسی پراکنش مکانی این نقاط نیز نشان داد که نواحی دارای شرایط مطلوب در پایان این دوره بیشتر در مناطق ساحلی غربی دریای خزر واقع بوده‌اند؛ هرچند تعدادی از صیدگاه‌های بخش شرقی ساحلی نیز از چنین شرایطی برخوردار بوده‌اند. در مطالعات قبلی صورت گرفته در ارتباط با توزیع ماهی سفید و بررسی ترجیح زیستگاهی این گونه، آب‌های ساحلی و همچنین آب‌های دور از ساحل در امتداد بخش شرقی ساحل جنوبی خزر به‌عنوان نقاط داغ توزیع این گونه در طول زمان گزارش شده است (معزی و همکاران، ۲۰۲۴؛ معزی و همکاران، ۲۰۲۲؛ وایقان و همکاران، ۲۰۱۳) که تا حدودی همسو با بخشی از یافته‌های مطالعه حاضر است؛ اما شکل‌گیری شرایط بهینه اکولوژیک ماهی در بخش غربی ساحلی در این مطالعات مورد اشاره قرار نگرفته است. در مجموع، براساس یافته‌های حاضر می‌توان گفت در طول دوره ۱۰ساله مورد مطالعه، تغییرات مکانی قابل توجهی در ارتباط با وقوع آشیان اکولوژیک بهینه ماهی سفید در امتداد ساحل جنوبی خزر صورت گرفته است.

جدول ۲. تغییرات توزیع تعداد صیدگاه‌های دارای شرایط اکولوژیک بهینه و غیربهینه در طول دوره ۱۰ساله (فاصله بین دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲)

تعداد صیدگاه	نوع تغییر شرایط اکولوژیک
۰	بهینه ← بهینه
۱۴	بهینه ← غیربهینه
۳۱	غیربهینه ← بهینه
۴۵	غیربهینه ← غیربهینه



شکل ۳. توزیع جغرافیایی صیدگاه‌های ماهی سفید دارای شرایط بهینه و غیربهینه اکولوژیک در دوره‌های صید ۲۰۰۲/۳ و ۲۰۱۱/۱۲. دواير مكاني با مقدار بیشتر از ۰/۶ بیانگر صیدگاه‌های دارای شرایط اکولوژیک بهینه و دواير با مقادير کمتر از ۰/۶ نشان‌دهنده نقاط صیدگاهی دارای شرایط اکولوژیک غیربهینه هستند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر، تغییرات آشیان اکولوژیک ماهی سفید دریای خزر در طول یک دوره ۱۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات قابل توجهی در گستره پارامترهای محیطی مورد استفاده برای تعریف آشیان اکولوژیک این گونه در دوره زمانی مورد نظر اتفاق افتاده است. به‌دنبال کاهش معنی‌دار دمای سطحی آب دریا در نقاط صیدگاهی، بهینه‌دمايي مطلوب این گونه کاهش یافته، درحالی‌که برای دیگر متغیرهای محیطی شامل POC ، $Chl-a$ ، شیب بستر و فاصله از ورودی‌های رودخانه‌ای جابه‌جایی‌های افزایشی و همچنین توسعه بازه مطلوب برای ماهی رخ داده است. تجزیه و تحلیل مکانی پراکنش شرایط محیطی بهینه اکولوژیک برای این گونه در فاصله مقاطع زمانی مورد بررسی (دوره‌های صید ۲۰۰۲/۰۳ و ۲۰۱۱/۱۲) نشان‌دهنده تغییرات مکانی مشخص در نقاط صیدگاهی دارای شرایط بهینه برای این گونه بوده، به‌طوری‌که علاوه بر نقاط بهینه صیدگاهی در بخش شرقی ساحلی، بازه‌ای از نقاط صیدگاهی دارای شرایط بهینه در بخش‌های غربی ساحل جنوبی خزر در پایان دوره صید تشخیص داده شد. مجموعه یافته‌های حاصل از این مطالعه بیانگر تغییر قابل توجه آشیان اکولوژیک ماهی سفید در طول دوره زمانی مورد بررسی و همچنین پراکنش مکانی مربوط به آن در آب‌های جنوبی دریای خزر است. این یافته‌ها می‌تواند به شناخت بهتری از دینامیک محیطی تغییرات فراوانی و شرایط مطلوب زیستی گونه در گستره جنوبی خزر کمک نموده و در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مرتبط با بهره‌برداری و حفاظت از ذخایر ماهی سفید به‌عنوان یک گونه ارزشمند تجاری مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی بنیاد ملی نخبگان (طرح پسادکتری شهید چمران) و دانشگاه تهران انجام شده است.

References

- Afonso, P., McGinty, N. & Machete, M. (2014). Dynamics of whale shark occurrence at their fringe oceanic habitat. *PLoS One*, 9. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0102060>
- Breiman, I. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <http://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Buisson, L., Thuiller, W., Casajus, N. & Lek, S. (2010). Grenouillet G. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology*, 16(4), 1145-1157. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02000.x>
- Chen, S., Xiao, Y., Xiao, Z., Li, J. & Herrera-Ulloa, A. (2024a). Suitable habitat shifts and ecological niche overlay assessments among benthic *Oplegnathus* species in response to climate change. *Environmental Research*, 252, 119129. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119129>
- Chen, S., Xiao, Y., Xiao, Z., Ma, D., Li, J. & Herrera-Ulloa, A. (2024b). Prediction of suitable habitat shifts and assessment of ecological niche overlaps for three Tridentiger species with intertidal and subtidal characteristics under future climate changes. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115827. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115827>
- Cutler, D.R., Edwards, Jr. T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J. & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11), 2783-2792. <http://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- Eagderi, S., Mouludi-Saleh, A., Esmaeili, H. R., Sayyadzadeh, G. & Nasri, M. (2022). Freshwater lamprey and fishes of Iran: a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology*, 46(6), 500-522. <http://doi.org/10.55730/1300-0179.3104>
- Elith, J., Graham, H. C., Anderson, P. R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., ... & Zimmermann, E. N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. <http://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Esmaeili, H. R., Gholamhoseini, A., Mohammadian-Kalat, T. & Aliabadian, M. (2018). Predicted changes in climatic niche of Alburnus species (Teleosti: Cyprinidae) in Iran until 2050. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18, 995-1003. <http://doi.org/10.4194/1303-2712-v18-8-08>
- Esmaeili, H. R., Brian, W. C., Mehraban, H. R., Masoudi, M., Khaefi, R., Abbasi, K., Mostafavi, H. & Vatandoust, S. (2015). An updated checklist of fishes of the Caspian Sea basin of Iran with a note on their zoogeography. *Iranian Journal of Ichthyology*, 1(3), 152-184. <http://doi.org/10.22034/iji.v3.18>
- Fazli, H., Behrouz Khoshghalb, M. R., Tavakoli, M., Ghodrati Shojaei, H., Daryanabard, G. R. & Soleimani Roudi, A. (2021). Spatial distribution and diversity of commercial demersal fish species in the shelf waters of the Caspian Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 37(6), 857-867. <http://doi.org/10.1111/jai.14256>
- Fromentin, J. M. & Lopuszanski, D. (2014). Migration, residency, and homing of Bluefin tuna in the western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 71(3), 510-518. <http://doi.org/10.1093/icesjms/fst157>
- Froeschle, B. F., Stunz, G. W., Robillard, M. M. R., Williams, J. & Froeschke, J. T. (2013). A modeling and field approach to identify essential fish habitat for juvenile Bay Whiff (*Citharichthys spilopterus*) and southern Flounder (*Paralichthys lethostigma*) within the Aransas Bay Complex, TX. *Estuaries and Coasts*, 36(5), 881-892. <http://doi.org/10.1007/s12237-013-9600-9>
- Greenwell, B., Boehmke, B. & Cunningham, J. (2020). GBM Developers. gbm: Generalized Boosted Regression Models. R package version 2.1.8. <http://CRAN.R-project.org/packages=gbm>
- Griffiths, J. R., Kadin, M., Nascimento, F. J., Tamelander, T., Tornroos, A., Bonaglia, S., Bonsdorff, E., Bruchert, V., Gardmark, A., Jarnstrom, M. & Kotta, J. (2017). The importance of benthic-pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global Change Biology*, 23(6), 2179-2196. <http://doi.org/10.1111/gcb.13642>
- Guisan, A. & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [http://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](http://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Guisan, A., Tingley, A., Baumgartner, J. B., Naujokaitis-Lewis, I., Sutcliffe, P. R., Tulloch, A. L. T., Regan, T. J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G., Rhodes, J.R., Maggini, R., Setterfield, S. A., Elith, J., Schwartz, M. W., Wintle, B. A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M. R., Possingham, H. P. & Buckley, Y. M. (2013). Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16(12), 1424-1435. <http://doi.org/10.1111/ele.12189>

- Haghi Vayghan, A., Fazli, H., Ghorbani, R., Lee, M-A. & Nasrollahzadeh Saravi, H. (2016). Temporal habitat suitability modelling of Caspian Shad (*Alosa* spp.) in the southern Caspian Sea. *Journal of Limnology*. 2016; 75(1), 210-223. <http://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1215>
- He, M., Chen, L., Luo, G., Gu, X., Wang, G. & Ran, J. (2018). Suitable habitat prediction and overlap analysis of two sympatric species, giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) and Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in Liangshan Mautains. *Biodiversity Science*, 26(11), 1180-1189. <http://doi.org/10.17520/biods.2018167>
- Hua, C. Li. F., Zhu, Q., Zhu, G. & Meng, L. (2020). Habitat suitability of Pacific saury (*Cololabis saira*) based on a yield-density model and weighted analysis. *Fisheries Research*, 221, 105408. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105408>
- Jimenez-Valverde, A., Peterson, A.T., Soberon, J., Overton, J.M., Aragon, P. & Lobo, J. M. (2011). Use of niche models in invasive species risk assessments. *Biological Invasions*, 13, 2785-2797. <http://doi.org/10.1007/s10530-011-9963-4>
- Liaw, A. & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(3), 18-22.
- Luan, J., Zhang, C., Xu, B., Xue, Y. & Ren, Y. (2018). Modelling the spatial distribution of three Portunidae crabs in Haizhou Bay, China. *PLoS One*, 13(11), p.e0207457. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0207457>
- Melo-Merino, S. M., Reyes-Bonilla, H. & Lira-Noriega, H. (2020). Ecological niche models and species distribution models in marine environments: a literature review and spatial analysis of evidence. *Ecological Modelling*, 415, 108837. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108837>
- Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Feghhi, J., Dormann, C. F., Khorshidi Nergi, S. & Amiri, K. (2022). Modelling habitat preference of Caspian Kutum, *Rutilus Kutum*, using non-linear habitat suitability indices and generalized additive models. *Regional Studies in Marine science*, 55, 101715. <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102715>
- Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Feghhi, J., Dormann, C. F., Khorshidi Nergi, S. & Amiri, K. (2024). The importance of temporal scale in distribution modeling of migratory Caspian Kutum, *Rutilus frisii*. *Ecology and Evolution*, 14(9), e70259. <http://doi.org/10.1002/ece3.70259>
- Moore, C., Drazen, J. C., Radford, B. T., Kelly, C. & Newman, S. J. (2016). Improving essential fish habitat designation to support sustainable ecosystem-based fisheries management. *Marine Policy*, 69, 32-41. <http://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.021>
- Olaya-Marin, E. J., Martinez-Capel, F. & Vezza, P. (2013). A comparison of artificial neural networks and random forests to predict native fish species richness in Mediterranean rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 409, p07. <http://doi.org/10.1890/07-0539.1>
- Olsen, Z. (2019). Quantifying nursery habitat function: variation in habitat suitability linked to mortality and growth for juvenile Black Drum in a hypersaline estuary. *Marine and Coastal Fisheries*, 11(1), 86-96. <http://doi.org/10.1002/mcf2.10064>
- Parra, H. E., Pham, C. K., Menezes, G. M. & Rosa, A. (2017). Tempera F, Morato T. Predictive modeling of deep-sea fish distribution in the Azores. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 145, 49-60. <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.01.004>
- Perea-Blazquez, A., Davy, S. K. & Bell, J. J. (2012). Estimates of particulate organic carbon flowing from the pelagic environment to the benthos through sponge assemblages. *PLoS One*, 7(1), e29569. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0029569>
- Peterson, A. T. & Soberon, J. (2012). Species distribution modeling and ecological niche modelling: getting the concepts right. *Natureza and Conservacao*, 10(2), 102-107. <http://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Peterson, A. T., Soberon, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M. & Araujo, M. B. (2011). Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press.
- Peterson, A. T., Papes, M. & Soberon, J. (2015). Mechanistic and correlative models of ecological niches. *European Journal of Ecology*, 1(2), 28-38. <http://doi.org/10.1515/eje-2015-0014>
- Rabazanov, N. I., Orlov, A. M., Abdusamadov, A. S. & Barkhalov, R. M. (2019). Caspian Kutum *Rutilus Kutum*: A story of exploitation, survival, and revival. In Kruger, C.H.C. and Taylor, W.W. (eds.), From catastrophe to recovery: Stories of fishery management success. (pp: 485-508). American Fisheries Society. <http://doi.org/10.47886/9781934874554>

- Reznic, D. N., Losos, J. & Travis, J. (2019). From low to high gear: there has been a paradigm shift in our understanding of evolution. *Ecology Letters*, 22(2), 233-244. <http://doi.org/10.1111/ele.13189>
- Schming, M., Diogo, H., Serrao Santos, R. & Afonso, P. (2014). Assessing hotspots within hotspots to conserve biodiversity and support fisheries management. *Marine Ecology Progress Series*, 513, 187-199. <http://doi.org/10.3354/meps10924>.
- Szucs, M., Vahsen, M., Melbourne, B., Hoover, C., Weiss-Lehman, C. & Hufbauer, R. (2017). Rapid adaptive evolution in novel environments acts as an architect of population range expansion. *Proceedings of the National Academy of Science*, 114(51), 13501-13506. <http://doi.org/10.1073/pnas.1712934114>
- Vayghan, A. H., Poorbagher, H., Shahraini, H. T., Fazli, H., Saravi, H. N. (2013). Suitability indices and habitat suitability index model of Caspian Kutum (*Rutilus frisii Kutum*) in the southern Caspian Sea. *Aquatic Ecology*, 47(4), 441-451. <http://doi.org/10.1007/s10452-013-9457-9>
- Xhsng, Z., Xu, S., Capinha, C., Weterings, R. & Gao, T. (2019). Using species distribution model to predict the impact of climate change on the potential distribution of Japanese whiting *Sillago japonica*. *Ecological Indicators*, 104, 333-340. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.023>