

(OPEN ACCESS)

Evaluation of commercial bony fish habitat suitability index based on CPUE data and fishing effort along the south coasts of Caspian Sea, Mazandaran province

Seyed Yasser Abdullahtabar Divkolaie^{*1}, Rasoul Ghorbani²,
Seyed Aliakbar Hedayati³, Hasan Fazli⁴, Abdolazim Fazel⁵

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Aquatic Ecology, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: cetacea399@gmail.com
2. Professor, Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rasulghorbani@gmail.com
3. Professor, Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: marinebiology1@gmail.com
4. Associate Prof., Caspian Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran. E-mail: hn_fazli@yahoo.com
5. Research Assistant Prof., Golestan Inland Waters Research Center, Gorgan, Iran. E-mail: a.fazel58@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 09.14.2024

Revised: 09.18.2024

Accepted: 09.21.2024

Keywords:

Catch Per Unit Effort (CPUE),
Commercial bony fishes of
the Caspian Sea,
Fishing effort,
Habitat Suitability Index (HSI)

ABSTRACT

Background and Objectives: Understanding the distribution of commercially important species of the Caspian Sea is very important for their proper management and protection. Habitat Suitability Index (HSI) modeling is a valuable tool in the environment to achieve this goal, and this method can be used to describe the relationship between the abundance of species and ecological variables in order to estimate the desirability of certain habitats. The activity of fishing cooperatives (called the Pareh) is one of the important activities in the fishing regions of Iranian coastal waters. Awareness of their performance can be effective in deciding to monitor and modelling forecasting catches taking into account both the interests of the stakeholders and the marine ecosystem.

Materials and Methods: To investigate habitat shifts and fishing activity distribution, HSI models were developed using the Geometric Mean Method (GMM) based on fisheries data and environmental variables including chlorophyll-a, sea surface temperature (SST), minimum relative humidity, wind speed, and wind direction. Fish abundance data (CPUE and fishing effort) were sourced from the Iranian Fisheries Organization for the years 2006, 2012, and 2019 in Mazandaran Province. Environmental data were derived from MODIS sensors (Terra and Aqua satellites) and included monthly means from 2001 to 2019. Wind and humidity data were obtained from the Iranian Meteorological Organization. GIS tools were used for spatial analysis and visualization.

Results: Optimal environmental ranges in the SI models were defined as values with suitability scores > 0.6. For chlorophyll-a, optimal ranges were 5.5-6.5 mg/m³ (2006, 2012) and 3.5-4.5 mg/m³ (2019). SST optimal ranges were 11.5-17.5 °C and 13.5-16.5 °C in earlier years, and >14 °C in

2019. Minimum humidity showed optimal ranges above 67 mg/L (2006), 67-71 mg/L (2012), and 65-70 mg/L (2019). Wind speed and direction showed variability across years, with optimal speeds <11 m/s (2006) and 9-13 m/s (2019), and optimal wind directions ranging from 200° to 325° in various periods. By comparing the HSI models based on CPUE and fishing effort, it was found that the optimal habitat range ($HSI > 0.6$) in the HSI-CPUE model during the three study periods (2006, 2012, and 2019) covered approximately 19%, 25% and 24% of the area, respectively. The corresponding mean CPUE values were 685, 203, and 298 tons. In contrast, the HSI Effort model showed wider optimal ranges of approximately 52%, 42%, and 40% for the same years, with mean CPUE values of 401, 186, and 184 tons, respectively.

Conclusion: The integration of HSI models based on both fishing effort and CPUE provides a more comprehensive assessment of optimal habitats for Caspian bony fish. Spatial analysis using GIS maps revealed that prime fishing grounds, corresponding to higher HSI values, are consistently located between longitudes 52°E and 53°E along the Mazandaran coastline

Cite this article: Abdullahtabar Divkolaie, Seyed Yasser, Ghorbani, Rasoul, Hedayati, Seyed Aliakbar, Fazli, Hasan, Fazel, Abdolazim. 2025. Evaluation of commercial bony fish habitat suitability index based on CPUE data and fishing effort along the south coasts of Caspian Sea, Mazandaran province. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 14 (3), 167-181.



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2024.22794.1905

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه ماهیان استخوانی تجاری در طول سواحل جنوبی دریای خزر بر پایه داده‌های CPUE و تلاش صیادی، محدوده استان مازندران

سید یاسر عبدالله تبار دیوکلایی^{۱*}، رسول قربانی^۲، سید علی اکبر هدایتی^۳، حسن فضلی^۴، عبدالعظیم فاضل^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: cetacea399@gmail.com
۲. استاد گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rasulghorbani@gmail.com
۳. استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: marinebiology1@gmail.com
۴. دانشیار، سازمان آموزش و تحقیقات وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی آبزیان دریای خزر، ساری، ایران. رایانامه: hn_fazli@yahoo.com
۵. استادیار، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی، گرگان، ایران. رایانامه: a.fazel58@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: شناخت پراکنش گونه‌های تجاری مهم دریای خزر برای مدیریت مناسب و حفاظت از آن‌ها اهمیت زیادی دارد. مدل‌سازی شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) ابزاری ارزشمند در محیط زیست برای دستیابی به این هدف می‌باشد و این روش می‌تواند برای توصیف رابطه بین فراوانی گونه‌ها و متغیرهای اکولوژیکی به منظور برآورد مطلوبیت زیستگاه‌های خاص مورد استفاده قرار گیرد. فعالیت شرکت‌های تعاونی پره ماهیان استخوانی از جمله فعالیت‌های مهم بخش شیلات در آب‌های ایران بوده و آگاهی از عملکرد آن‌ها می‌تواند در تصمیم‌گیری، نحوه نظارت و پیش‌بینی محیط زیست محل فعالیت آن‌ها با در نظر گرفتن منافع ذینفعان و اکوسیستم دریایی مؤثر واقع شود.
واژه‌های کلیدی: تلاش صیادی، شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI)، صید در واحد تلاش CPUE، ماهیان استخوانی تجاری دریای خزر،	مواد و روش‌ها: در این مطالعه، برای شناسایی تغییرات زیستگاه و تغییرات در توزیع فعالیت ماهیگیری با استفاده از داده‌های شیلاتی و متغیرهای محیطی (کلروفیل a، SST، کمینه رطوبت، سرعت باد، سمت باد) با استفاده از روش میانگین هندسی (GMM) مدل‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI) با داده‌های محیطی را توسعه دادیم. در این پژوهش، از داده‌های شیلاتی سازمان شیلات ایران برای سال‌های بهره‌برداری (۱۳۸۵-۱۳۹۱-۱۳۹۸) در استان مازندران به عنوان شاخص‌های فراوانی ماهیان تجاری دریای خزر، صید در واحد تلاش صیادی

(CPUE) و تلاش صیادی طی ماه‌های فصل صید استفاده گردید. جمع‌آوری اطلاعات محیطی و سایر متغیرهای دریایی شامل دمای سطح دریا (SST)، کلروفیل a از داده‌های سنجش از دور سنجنده مودیس از ماهواره ترا و آکوا به صورت میانگین ماهانه از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ صورت گرفت. سایر عوامل محیطی شامل سرعت باد، سمت باد و رطوبت از سازمان هواشناسی دریافت شد. به منظور تهیه نقشه شبکه‌ای برای متوسط ماهانه و سالانه پارامترهای مورد بررسی و تجزیه و تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار GIS استفاده گردید. زیستگاه ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران با HSI براساس فراوانی صید در واحد تلاش (CPUE) و تلاش صیادی مدلسازی گردید.

یافته‌ها: محدوده بهینه همه متغیرهای محیطی در مدل‌های SI بالاتر از ۰/۶ در نظر گرفته شد. محدوده بهینه برای کلروفیل a در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ در دامنه ۶/۵-۵/۵ میلی گرم بر مترمکعب و در سال ۱۳۹۸ در دامنه ۴/۵-۳/۵ میلی گرم بر مترمکعب در مدل SI Effort به دست آمد. برای درجه حرارت سطحی آب دریا محدوده بهینه در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ در مدل SI Effort به ترتیب در ۱۱/۵-۱۷/۵ و ۱۳/۵-۱۶/۵ درجه سانتی گراد بود؛ ولی در سال ۱۳۹۸ در مدل SI CPUE محدوده بالاتر از ۱۴ درجه سانتی گراد به دست آمد. برای متغیر میانگین کمینه رطوبت محدوده بهینه این متغیر برای سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ در مدل SI Effort به ترتیب بالاتر از ۶۷، ۶۷-۷۱ و ۶۵-۷۰ میلی گرم در لیتر به دست آمد. برای متغیر حداکثر سرعت باد محدوده بهینه این متغیر در سال ۱۳۸۵ برای مدل SI Effort کم‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه و در سال ۱۳۹۸ برای مدل SI CPUE ۱۳-۹ متر بر ثانیه می باشد. برای سال ۱۳۹۱ محدوده بهینه‌ای برای دو مدل حاصل نشد. برای میانگین حداکثر سمت باد. محدوده بهینه این متغیر در دوره‌های زمانی برای مدل SI Effort در محدوده ۲۰۰-۳۲۵ متغیر می‌باشد. در مقایسه مدل‌های HSI CPUE و HSI effort محدوده بهینه (بالاتر از ۰/۶) در مدل HSI CPUE در سه دوره زمانی مختلف (۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸)، به ترتیب حدود ۱۹، ۲۵ و ۲۴ درصد و میانگین CPUE به ترتیب ۶۸۵، ۲۰۳ و ۲۹۸ تن محاسبه شد. در حالی که در مدل HSI effort محدوده بهینه در سه سال مورد مطالعه فوق حدود ۵۲، ۴۲ و ۴۰ درصد و میانگین CPUE به ترتیب ۴۰۱، ۱۸۶ و ۱۸۴ تن به دست آمد.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج نشان می‌دهد ترکیب دو مدل، HIS مبتنی بر تلاش صیادی و HSI مبتنی بر CPUE با یکدیگر در تعریف زیستگاه‌های بهینه برای ماهیان استخوانی دریای خزر بهتر عمل می‌کند. با بررسی و انطباق ماهانه نقشه‌های GIS با میزان صید ماهیان استخوانی در طول نوار ساحلی در استان مازندران در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۵، زیستگاه‌های بهینه (یعنی منطقه‌ای با HSI بالا) برای ماهیان تجاری دریای خزر از E ۵۳° تا ۵۲° در امتداد جهت طولی می‌باشد.

استناد: عبدالله تبار دیوکلایی، سید یاسر، قربانی، رسول، هدایتی، سید علی اکبر، فضلی، حسن، فاضل، عبدالعظیم (۱۴۰۴). ارزیابی شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه ماهیان استخوانی تجاری در طول سواحل جنوبی دریای خزر بر پایه داده‌های CPUE و تلاش صیادی، محدوده استان مازندران. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۴ (۳)، ۱۶۷-۱۸۱.

Doi: 10.22069/japu.2024.22794.1905



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

آگاهی از پراکنش ماهی‌های تجاری دریایی، به دلیل ارزش غذایی، اقتصادی و اجتماعی بسیار زیاد آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. منابع دریایی در سطح جهانی در نتیجه عدم مدیریت کافی در حال کاهش هستند، به طوری که امکان حفظ ذخیره و بهره‌برداری پایدار از آن را با خطر مواجه می‌نماید (۱). بهره‌برداری، ارزیابی و مدیریت صید مبتنی بر اکوسیستم به طور قابل توجهی در جهان پذیرفته شده است (۲). حفاظت از زیستگاه ماهی بخش مهمی از رویکردهای مبتنی بر اکوسیستم برای مدیریت شیلات است. به طور کلی ماهی‌ها در معرض ترکیبی پیچیده از شرایط غیر زنده (مانند دما، شوری، عمق لایه مخلوط شونده، اکسیژن، اسیدی شدن) و شرایط زنده (تغییر توزیع، ترکیب گونه‌ها و فراوانی شکارچیان و طعمه‌ها) قرار می‌گیرند و پیش بینی پاسخ‌ها را دشوار می‌کند. درک اثر شرایط محیطی بر میزان صید ماهی یک گام اساسی در جهت مدیریت شیلات مبتنی بر اکوسیستم است که به طور چشم‌گیری به یک رویکرد استاندارد در سیاست مدیریت تبدیل می‌شود تقاضا برای منابع و پیشرفت‌های فناوری، سرعت تعرض‌های انسانی را حتی در دورترین محیط‌های دریایی به میزان زیادی تسریع کرده است (۳). امروزه بیش‌تر منابع آبی با افزایش تخریب، از بین رفتن زیستگاه، عدم انسجام در سیاست‌های علوم آبی، تحقیقات مدیریت محور ناکافی، ضعیف یا عدم وجود کنترل و نظارت طولانی مدت، فقدان برنامه‌ریزی استراتژیک و مدون برای کاربری‌های مختلف مواجه می‌باشند (۴). پیوند بین مدیریت، حاکمیت و سلامت اکوسیستم با ماهیت در حال تحول مدیریت شیلات برای شناخت گسترده در رویکرد بر پایه اکوسیستم منعکس شده است (۲). مدیریت شیلات مبتنی بر اکوسیستم (EBFM) برای حرکتی فراتر از مدیریت تک‌گونه‌ای با ترکیب ملاحظات اکوسیستم برای استفاده پایدار از منابع

دریایی توسعه داده شده است (۵). در واقع، EBFM یک رویکرد مبتنی بر مکان است؛ تا یک رویکرد مبتنی بر گونه که با ترکیب ملاحظات اکوسیستم برای استفاده پایدار از منابع دریایی توسعه داده شد (۵). زیستگاه ماهی یک عنصر ضروری برای مدیریت شیلات بر پایه اکوسیستم است (۶). نیازمندی‌های زیستگاهی غالباً به صورت ویژگی‌های غیرزیستی یک محیط تعریف می‌شوند که جهت بقا و ماندگاری افراد یا جمعیت‌ها ضروری هستند (۷). تغییرات پارامترهای زیستگاهی در گستره اکوسیستم‌های آبی تغییراتی در الگوهای توزیع فراوانی، تنوع و غنای گونه‌ای جوامع آبزیان سبب شده و مطالعه ویژگی‌های زیستگاهی به عنوان عوامل هم تأثیرگذار بر تغییرات تنوع زیستی، از اهمیت زیادی برخوردار است (۸ و ۹). مدل‌سازی اغلب برای ارزیابی اثرات زیستگاه در سطح جمعیت به دلیل محدودیت در رویکردهای تجربی استفاده می‌شود (۱۰). مدل‌های مطلوبیت زیستگاه عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه گونه را شناسایی و مطلوبیت هر بخش را برای گونه تعیین می‌کند. نتایج این مدل‌ها که در قالب نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه ارائه می‌شوند و کمک بسیاری در تعیین اولویت‌های حفاظتی و افزایش کارآمدی برنامه‌ریزی‌های حفاظتی می‌کند. بهره‌برداری از ذخایر دریای خزر به ویژه ماهیان استخوانی، علاوه بر تأمین بخش مهمی پروتئین مورد نیاز جامعه از نظر ایجاد اشتغال و درآمدزایی نقش مهمی در اقتصاد استان‌های شمالی کشور ایفا می‌نماید. در طی یک دهه گذشته صید ماهیان استخوانی در آب‌های جنوبی دریای خزر روند کاهشی داشته که صید بی‌رویه، آلودگی ناشی از افزایش فعالیت انسانی و تخریب زیستگاه‌های آن‌ها از دلایل اصلی آن می‌باشد (۱۱).

مدل HSI^۱ به طور گسترده برای پیش‌بینی توزیع مکانی- زمانی زیستگاه‌های مناسب برای گونه‌های

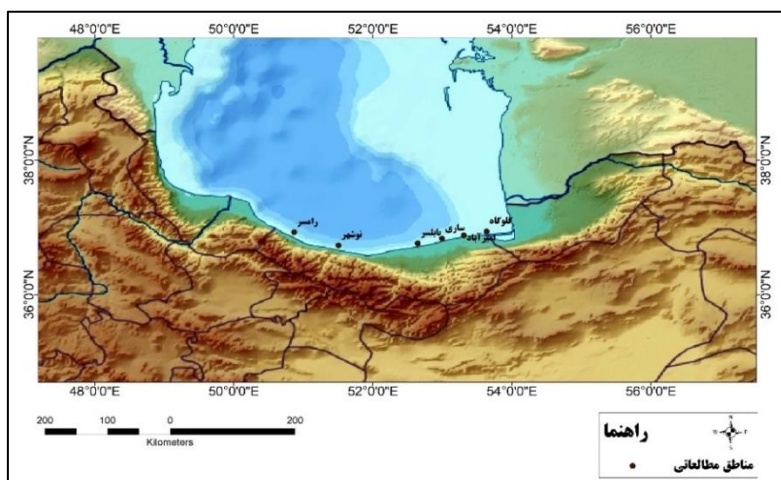
1- Habitat Suitability Index (HSI)

شیلات، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و مطالعات بازسازی زیست‌محیطی استفاده می‌شود (۱۴).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش محدوده مورد مطالعه بخش جنوبی دریای خزر، سواحل استان مازندران در عرض جغرافیایی ۵۰-۵۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۳۷ درجه شرقی می‌باشد که به ۶ منطقه تقسیم گردید. (شکل ۱).

ماهی‌های با عمر طولانی و کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲). مدل HSI با یک یا چند متغیر محیطی که تأثیرات قابل‌توجهی بر توزیع گونه‌ها یا جمعیت دارند، توسعه داده می‌شود. تلاش صیادی، به عنوان شاخصی از وقوع یا در دسترس بودن ماهی در ارزیابی شاخص‌های مناسب زیستگاهی استفاده می‌شود (۱۳). مدل شاخص تناسب زیستگاه (HSI) به‌طور گسترده‌ای به عنوان یک ابزار در مدیریت



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه در سواحل جنوبی دریای خزر در استان مازندران.

Figure 1. Map of the study area along the south coasts of the Caspian Sea in Mazandaran Province.

دریای خزر (ماهی سفید، کپور و کفال) در استان مازندران استفاده گردید. سپس عملکرد مدل‌های HSI مبتنی بر CPUE و مدل‌های HSI مبتنی بر تلاش صیادی در شناسایی زیستگاه‌های بهینه برای این ماهیان مقایسه گردید.

برای محاسبه پراکنش گونه‌ای، از داده‌های ثبت شده روزانه صید و تلاش صیادی در شرکت‌های تعاونی صیادی پره استان مازندران مستقر در سواحل جنوبی دریای خزر طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ استفاده گردید. به منظور تعیین میزان صید به ازای واحد تلاش صیادی (CPUE) از رابطه زیر استفاده شد (۱۵).

جمع‌آوری داده‌ها: فصل صید مجاز ماهیان استخوانی در آب‌های ایرانی دریای خزر همه ساله از مهرماه آغاز شده و پس از ۶ ماه در فروردین ماه سال بعد به پایان می‌رسد. عملیات پره‌کشی توسط تعاونی‌های صیادی پره از ۷ صبح و تا ۹ شب ادامه دارد. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۶ منطقه مورد مطالعه میانگین صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) و تلاش صیادی منطقه‌ای طی ماه‌های فصل صید (مهر- فروردین سال بعد) برای سال‌های بهره‌برداری (۱۳۸۵-۱۳۸۶، ۱۳۸۶-۱۳۸۷، ۱۳۸۷-۱۳۸۸، ۱۳۸۸-۱۳۸۹، ۱۳۸۹-۱۳۹۰، ۱۳۹۰-۱۳۹۱، ۱۳۹۱-۱۳۹۲، ۱۳۹۲-۱۳۹۳، ۱۳۹۳-۱۳۹۴، ۱۳۹۴-۱۳۹۵، ۱۳۹۵-۱۳۹۶، ۱۳۹۶-۱۳۹۷، ۱۳۹۷-۱۳۹۸، ۱۳۹۸-۱۳۹۹) از داده‌های شیلاتی سازمان شیلات ایران به عنوان شاخص‌های فراوانی ماهیان تجاری

$$\text{تعداد دفعات پره‌کشی} / (\text{kg}) \text{ مقدار صید} = \text{CPUE (kg seine}^{-1}\text{)} \quad (۱)$$

نسبت به متغیرهای محیطی از روش رگرسیون Spline smooth به عنوان یک تابع غیر خطی استفاده شد. در نهایت جهت استانداردسازی و یافتن شاخص مطلوبیت (SI) از رابطه زیر استفاده گردید.

$$SI = \frac{Y_{fit} - \min Y_{fit}}{\max Y_{fit} - \min Y_{fit}} \quad (2)$$

که در آن، Y_{fit} مقدار پیش‌بینی شده CPUE یا تلاش صیادی است، $\min Y_{fit}$ و $\max Y_{fit}$ به ترتیب حداقل و حداکثر تمام CPUE های یا تلاش‌های صیادی پیش‌بینی شده می‌باشند. محدوده بهینه برای هر متغیر محیطی مربوط به مقادیر SI بالاتر از ۰/۶ در نظر گرفته شد (۱۳). در نهایت برای ترسیم نمودار SI آن متغیر، از میانگین هر یک از طبقه‌ها استفاده گردید (۱۳).

مدل‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه (HSI): دو مدل HSI (مدل HSI_{CPUE} و مدل HSI_{Effort}) توسعه یافت عملکرد این دو مدل در شناسایی زیستگاه‌های بهینه برای ماهیان تجاری دریای خزر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. مقادیر SI مشتق شده از هر متغیر در مدل تجربی HSI ترکیب شدند. برای مدل تجربی HSI از مدل میانگین هندسی GMM (۲۴) استفاده گردید.

$$HSI_{GMM} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n SI_i} \quad (3)$$

نتایج

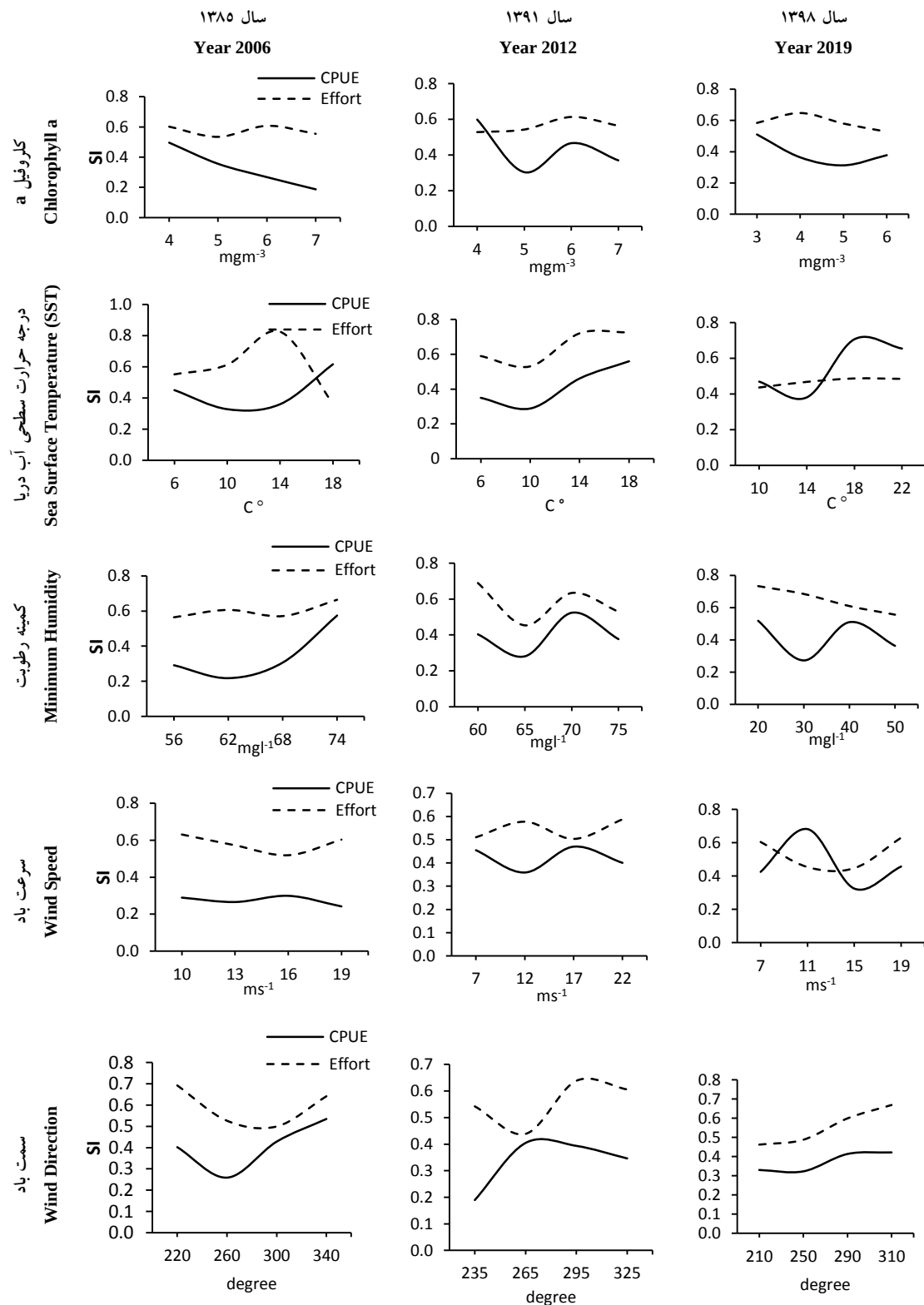
میانگین متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و متغیرهای هواشناسی به صورت ماهانه محاسبه گردیدند. در طی این پژوهش از سال ۱۳۹۸-۱۳۸۰ در استان مازندران بیش‌ترین میزان صید در سال ۱۳۸۵، گرم‌ترین دمای هوا ثبتی در سال ۱۳۹۱ و سال ۱۳۹۸ با یک دور زمانی معین انتخاب گردید.

داده‌های ماهواره‌ای و محیطی: جمع‌آوری اطلاعات محیطی و سایر متغیرهای دریایی شامل دمای سطح دریا (SST)، کلروفیل a از داده‌های سنجنش از دور سنجنده مودیس^۱ از ماهواره ترا^۲ و آکوآ^۳ به صورت میانگین ماهانه از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۸ صورت گرفت. سایر عوامل محیطی شامل سرعت باد، سمت باد و رطوبت از سازمان هواشناسی دریافت شد. به منظور تهیه نقشه شبکه‌ای برای متوسط ماهانه و سالانه پارامترهای مورد بررسی و تجزیه و تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار GIS استفاده گردید. جهت برخی از آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS 27 استفاده گردید. با شناسایی زیستگاه‌های بهینه، بهترین مناطقی جهت عملیات صید و صیادی با دید اکوسیستم محور در نوار ساحلی با بهره‌گیری از داده‌های بلندمدت در کنار به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای جانمایی تا مناطق با مطلوبیت بالا به همراه تغییرات گذشته و آینده به مدیران تصمیم گیرنده شیلاتی ارائه گردد.

محاسبه شاخص مطلوبیت^۴ (SI): میانگین CPUE و تلاش صیادی به دست آمده برای هریک از مناطق ۶ گانه براساس هر یک از متغیرهای محیطی بر اساس رابطه ۱ در تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی بعدی استفاده شد. CPUE (۱۶، ۱۷ و ۱۸) و تلاش صیادی (۱۹، ۲۰ و ۲۱) در برخی از مطالعات به عنوان شاخصی از وقوع ماهی در نظر گرفته شد. سپس در هر طبقه هریک از شاخص‌های فراوانی CPUE یا تلاش صیادی به صورت منطقه‌ای در هر ماه دسته‌بندی و بر بیش‌ترین مقدار آن طبقه تقسیم گردیدند تا در هر طبقه SI هر یک از مناطق ۶ گانه در هر ماه به دست آید.

جهت ترسیم روند پاسخ CPUE و تلاش صیادی

- 1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
- 2- Terra Satellite
- 3- Aqua Satellite
- 4- Suitability Index (SI)



شکل ۲- مدل‌های شاخص مطلوبیت (SI) ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ بر مبنای صید در واحد تلاش صیادی (SI_{CPUE}) و تلاش صیادی (SI_{Effort}) در پاسخ به متغیر محیطی کلروفیل a، SST، کمینه رطوبت، سرعت باد، سمت باد.

Figure 2. Suitability Index (SI) models of commercial fish species in the Caspian Sea, Mazandaran Province, during the years 2006, 2012, and 2019, based on Catch Per Unit Effort (SI-CPUE) and Fishing Effort (SI-Effort), in response to environmental variables including chlorophyll-a concentration, Sea Surface Temperature (SST), minimum humidity, wind speed, and wind direction.

جدول ۱- شاخص مطلوبیت مدل‌های SI_{CPUE} و SI_{Effort} ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸.
Table 1. Habitat Suitability Index (SI) values for SI_{CPUE} and SI_{Effort} models of Caspian commercial bony fishes in Mazandaran province for the years 2006, 2012, and 2019.

SI_{Effort}				SI_{CPUE}							
سال ۱۳۹۸		سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۸۵		سال ۱۳۹۸		سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۸۵	
Year 2006		Year 2012		Year 2019		Year 2006		Year 2012		Year 2019	
کم‌ترین	Max	کم‌ترین	Max	کم‌ترین	Max	کم‌ترین	Max	کم‌ترین	Max	کم‌ترین	Max
0.53	0.65	0.53	0.61	0.53	0.61	0.31	0.51	0.30	0.6	0.19	0.50
0.44	0.49	0.53	0.73	0.36	0.83	0.38	0.71	0.29	0.56	0.33	0.62
0.34	0.66	0.45	0.69	0.57	0.66	0.31	0.46	0.28	0.52	0.22	0.57
0.32	0.64	0.51	0.61	0.55	0.64	0.29	0.50	0.24	0.60	0.28	0.67
0.46	0.67	0.44	0.64	0.50	0.69	0.32	0.42	0.19	0.40	0.26	0.53
کلروفیل a Chlorophyll a SST کمینه رطوبت Min. Humidity سرعت باد Wind Speed سمت باد Wind Direction											

بیش‌ترین و کم‌ترین SI_{CPUE} ۶۲/۵-۷۲/۵ میلی‌گرم در لیتر و برای SI_{Effort} ۶۱/۰-۷۲/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. محدوده بهینه این متغیر برای سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ در مدل SI_{Effort} به ترتیب بالاتر از ۶۷، ۶۷-۷۱ و ۶۵-۷۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. برای متغیر حداکثر سرعت باد بیش‌ترین و کم‌ترین SI_{CPUE} در محدوده ۱۱/۰-۱۸/۵ متر بر ثانیه و برای SI_{Effort} ۱۱/۰-۱۴/۵ متر بر ثانیه حاصل شد. محدوده بهینه این متغیر در سال ۱۳۸۵ برای مدل SI_{Effort} کم‌تر از ۱۱ متر بر ثانیه و در سال ۱۳۹۸ برای مدل SI_{CPUE} ۹-۱۳ متر بر ثانیه می‌باشد. برای سال ۱۳۹۱ محدوده بهینه‌ای برای دو مدل حاصل نشد. برای میانگین حداکثر سمت باد بیش‌ترین و کم‌ترین SI_{CPUE} در محدوده ۲۳۵-۳۴۰ درجه و برای SI_{Effort} در ۱۷۵-۲۷۰ درجه می‌باشد. محدوده بهینه این متغیر در دوره‌های زمانی برای مدل SI_{Effort} در محدوده ۲۰۰-۳۲۵ متغیر می‌باشد (شکل ۲؛ جدول ۲).

محدوده بهینه همه متغیرهای محیطی در مدل‌های SI بالاتر از ۰/۶ در نظر گرفته شد. از این‌رو، برای کلروفیل a بیش‌ترین و کم‌ترین SI_{CPUE} و SI_{Effort} به ترتیب در محدوده ۴/۰-۵/۲ و ۳/۷۵-۷/۰ میلی‌گرم بر مترمکعب حاصل شد. محدوده بهینه برای کلروفیل a در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ در دامنه ۵/۵-۶/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب و در سال ۱۳۹۸ در دامنه ۳/۵-۴/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب در مدل SI_{Effort} به دست آمد. برای درجه حرارت سطحی آب دریا بالاترین و کم‌ترین SI_{CPUE} در محدوده دمایی ۱۱/۵-۱۴/۰ درجه سانتی‌گراد و برای SI_{Effort} در محدوده ۱۴/۵-۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید. محدوده بهینه درجه حرارت سطحی آب دریا در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ در مدل SI_{Effort} به ترتیب در ۱۱/۵-۱۷/۵ و ۱۳/۵-۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد بود؛ ولی در سال ۱۳۹۸ در مدل SI_{CPUE} در محدوده بالاتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. برای متغیر میانگین کمینه رطوبت

جدول ۲- لایه‌بندی شاخص مطلوبیت زیستگاه ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران برای مدل‌های HSI_{CPUE} و HSI_{Effort} برای هر طبقه در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸.

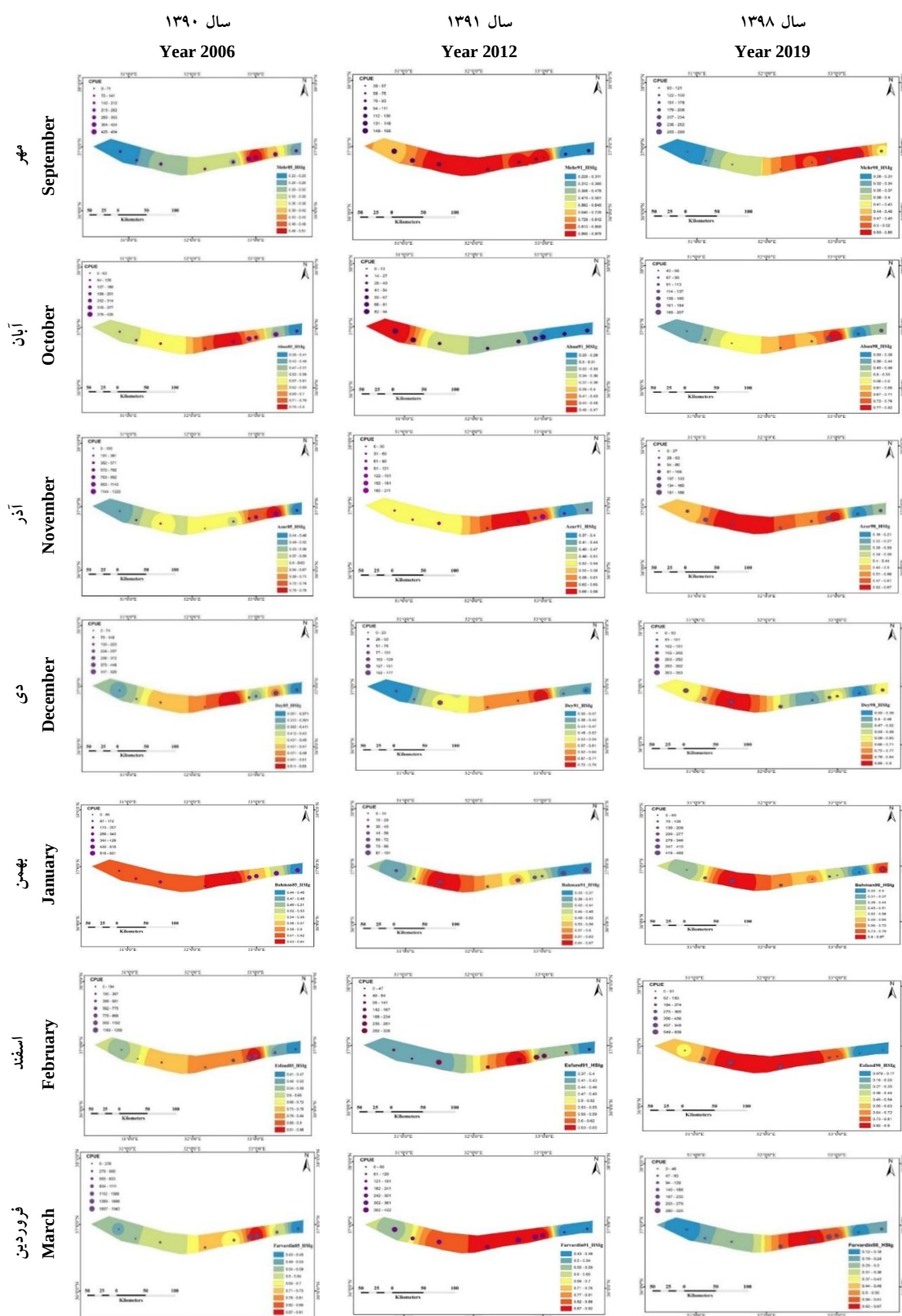
Table 2. Layered classification of HSI values for CPUE and Effort models (percentage and mean CPUE) for the years 2006, 2012, and 2019.

for the years 2006, 2012, and 2019.												
SI _{Effort}						SI _{CPUE}						
سال ۱۳۹۸		سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۸۵		سال ۱۳۹۸		سال ۱۳۹۱		سال ۱۳۸۵		
Year 2019		Year 2012		Year 2006		Year 2019		Year 2012		Year 2006		
میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	میانگین	درصد	HSI
CPUE	از کل	CPUE	از کل	CPUE	از کل	CPUE	از کل	CPUE	از کل	CPUE	از کل	
Mean	% of	Mean	% of	Mean	% of	Mean	% of	Mean	% of	Mean	% of	
CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	
71.5	9.0		0.0	288.8	0.6	46.3	3.3	39.3	1.5	121.7	12.5	0-0.1
128.8	12.6	90.3	4.1	276.6	5.0	75.2	19.1	58.1	17.9	193.5	25.8	0.1-0.2
155.7	11.6	101.4	10.8	261.6	3.8	112.4	20.6	76.4	21.5	339.3	12.3	0.2-0.3
146.4	6.5	84.1	12.9	432.6	11.5	135.0	15.4	83.4	15.6	397.8	16.9	0.3-0.4
137.8	10.6	71.1	14.5	427.1	17.5	147.8	8.6	97.7	13.3	426.0	9.5	0.4-0.5
248.1	10.2	68.4	16.2	452.3	9.5	230.0	9.3	122.8	5.2	483.6	4.2	0.5-0.6
179.7	10.8	89.2	10.2	419.0	11.7	215.5	4.1	154.4	5.0	532.8	2.6	0.6-0.7
150.4	8.1	108.9	10.8	306.4	16.7	244.8	4.3	209.4	4.8	640.3	2.2	0.7-0.8
173.7	7.3	287.8	4.9	401.3	9.1	336.8	3.7	153.7	3.3	482.1	2.2	0.8-0.9
233.2	13.2	259.5	15.5	477.3	14.5	393.0	11.5	296.1	11.9	1083.2	11.7	0.9-1

حدود ۴۸ درصد با میانگین $CPUE$ ۳۵۷ تن، سال ۱۳۹۱ حدود ۵۹ درصد با میانگین $CPUE$ ۸۳ تن و در سال ۱۳۹۸ حدود ۶۰ درصد با میانگین $CPUE$ ۱۴۸ تن می‌باشد. محدوده بهینه در مدل SI_{CPUE} درصد کمتر ولی میانگین $CPUE$ بالاتری نسبت به مدل SI_{Effort} نشان می‌دهد در نتیجه مدل HSI_{Effort} تمایل دارد محدوده زیستگاه‌های بهینه را بیش از حد برآورد کند و تغییرات $CPUE$ را در توزیع فضایی زیستگاه‌های بهینه کمتر برآورد کند (شکل ۲).

مدل‌های SI_{CPUE} و SI_{Effort} با استفاده از درون‌یابی روش معکوس وزنی فاصله‌ای IDW در نرم‌افزار (Arc GIS 10.8) در طول فصل صید برای سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ بر اساس داده‌های محیطی تولید شدند (شکل ۳).

مقایسه مدل‌های HSI_{CPUE} و HSI_{Effort} : محدوده بهینه (بالاتر از ۰/۶) در مدل HSI_{CPUE} در دوره‌های زمانی (۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸)، به ترتیب حدود ۱۹ درصد با میانگین $CPUE$ ۶۸۵ تن، ۲۵ درصد با میانگین $CPUE$ ۲۰۳ تن و حدود ۲۴ درصد با میانگین $CPUE$ ۲۹۸ تن بود. در حالی که در محدوده کمتر از ۰/۶ سال ۱۳۸۵ حدود ۸۱ درصد با میانگین $CPUE$ ۳۲۷ تن، سال ۹۱ حدود ۷۵ درصد با میانگین $CPUE$ ۸۰ تن و سال ۱۳۹۸ حدود ۷۶ درصد با میانگین $CPUE$ ۱۲۴ تن محاسبه گردید. در مدل HSI_{Effort} محدوده بهینه در سال ۱۳۸۵ حدود ۵۲ درصد با میانگین $CPUE$ ۴۰۱ تن، سال ۱۳۹۱ حدود ۴۲ درصد با میانگین $CPUE$ ۱۸۶ تن و سال ۱۳۹۸ حدود ۴۰ درصد با میانگین ۱۸۴ تن می‌باشد در صورتی که در محدوده کمتر از ۰/۶ سال ۱۳۸۵



شکل ۳- توزیع مکانی- زمانی، مدل تجربی HSI (مدل میانگین هندسی GMM) ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران.

Figure 3. Spatiotemporal distribution and empirical HSI model (Geometric Mean Model – GMM) of commercial fish species in the Caspian Sea, Mazandaran Province.

بررسی روابط بین مقادیر صید و HSI نشان داد که در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۸ بیش‌تر صیدها در مناطقی اتفاق می‌افتد که مقادیر HSI بالایی را به همراه داشتند. ولی در سال ۱۳۹۱ بین میزان صید و نقشه HSI انطباق ندارد. در همین راستا، منطقه بهینه برای ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران از E ۵۳۰ تا ۵۲۰ در امتداد جهت طولی بود (شکل ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مباحث مهم در رابطه با ورودی‌های مدل، بررسی سطوح همبستگی و هم خطی بین متغیرهاست به‌طوری‌که پارامترهای دارای همبستگی یا هم خطی زیاد را به‌صورت هم‌زمان نباید در ساختار یک مدل مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه از ۵ متغیر محیطی کلروفیل a، SST، کمینه رطوبت، حداکثر سرعت باد و سمت باد برای توزیع پراکنش ماهیان دریای خزر استفاده شده است این متغیرهای از بین ۲۰ متغیر محیطی که بر اساس مطالعات مختلف بر پراکنش ماهیان دریای خزر تأثیرگذار بوده و ضریب همبستگی آن‌ها ($r > 0.7$) انتخاب شده‌اند (۲۵). نقشه‌های مقادیر فصلی HSI در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ نشان داد که مناطق بهینه در ماه‌های مختلف فصل صید متفاوت می‌باشد که دلیل آن به میزان صید گونه‌های متفاوت این مطالعه در طول فصل صید بستگی دارد. به‌طور کلی میزان صید ماهیان استخوانی در دریای خزر طی دو دهه گذشته روند کاهشی داشته که این امر می‌تواند دلیل تفاوت مناطق بهینه در یک ماه به‌خصوص در سال‌های مختلف باشد. در برخی از مطالعات؛ زیستگاه‌های بهینه مشتق شده از HSI effort خوش‌بینانه‌تر از سایر مدل‌ها بود (۱۳، ۲۶ و ۲۷). توزیع زمانی- مکانی تلاش صیادی معمولاً نشان‌دهنده سطح تمرکز ادوات صیادی بوده و بیانگر این واقعیت است که صیادان از میزان صید خود در یک منطقه ماهیگیری راضی هستند (۲۸). بنابراین،

منطقه‌ای با تلاش صیادی بیش‌تر می‌تواند نشان‌دهنده فراوانی بالای صید در منطقه باشد. در این موارد، تلاش صیادی ممکن است شاخص فراوانی بهتری نسبت به CPUE باشد (۲۳).

مطالعات اندکی که در خصوص مطلوبیت زیستگاه گونه‌های مختلف ماهیان دریای خزر صورت گرفته و بیش‌تر بر پایه داده‌های ترال تحقیقاتی بوده است (۱۶ و ۱۷). داده‌های مطالعه حاضر، از تعاونی‌های صیادی پره استان مازندران که عملیات صیادی آن‌ها در یک محدوده جغرافیایی و عمقی مشخصی صورت می‌گیرد؛ جمع‌آوری شده که این امر می‌تواند بر نحوه عملکرد مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه تأثیرگذار باشد. به‌طور مثال در طول فصل صید در ماه‌هایی میزان صید ناچیز می‌باشد؛ علی‌رغم صید کم، صیادان به‌صورت روزانه و در ساعت‌های مشخص اقدام به عملیات صیادی می‌کنند. بنابراین، این امر منجر به افزایش شاخص تلاش صیادی می‌گردد و HSI effort مطلوبیت زیستگاه را بیش از حد برآورد می‌کند. موضوع دیگر این است که صیادان اصولاً ترجیح می‌دهند در منطقه‌ای صید نمایند که در آن‌جا سود بیش‌تری کسب کنند و در صورت راضی نبودن از منطقه صید یا اعتقاد به بهبود روند صید در صورت تغییر محل بلافاصله محل عملیات صیادی خود را تغییر می‌دهند؛ در این حالت، CPUE احتمالاً بالاتر از سطح معینی باقی می‌ماند که ماهیگیران قادر به کسب سود هستند. این بدان معناست که CPUE ممکن است متناسب با کاهش جمعیت کاهش نیابد (۱۳). و ممکن است با کاهش جمعیت افزایش یا ثابت بماند (۲۹). بنابراین، سوءگیری منفی در تعیین زیستگاه‌های بهینه دارد. در صورتی‌که در تعاونی‌های صیادی پره دریای خزر محدوده صید هر تعاونی مشخص است و به‌منظور جلوگیری از تداخل با عملیات پره‌کشی تعاونی‌های صیادی مجاور، عملیات صیادی در محدوده تعیین شده

در طول فصل صید در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۵ نتیجه‌گیری گردید، زیستگاه‌های بهینه ماهانه به‌وضوح در امتداد جهت طولی در ماه‌های مختلف فصل صید تغییر می‌کنند. براین اساس منطقه بهینه برای ماهیان تجاری دریای خزر در استان مازندران از ۵۲ تا ۵۳ درجه شرقی می‌باشد. با توجه به این‌که اولین قدم در جهت مدیریت اکوسیستم محور شیلاتی دانش کافی در حوزه آن اکوسیستم و به‌ویژه پراکنش آن گونه در ارتباط با متغیرهای محیطی است؛ چنین اطلاعاتی می‌تواند به مدیران شیلاتی در شناسایی زیستگاه‌های کلیدی ماهیان تجاری دریای خزر کمک کند تا برنامه‌ریزی لازم در جهت مدیریت تعاونی‌های صیادی پره استان به‌منظور کاهش تلاش صیادی و بهره‌برداری پایدار مؤثر فراهم نماید.

هر تعاونی صورت می‌گیرد که این موضوع تا حدود زیادی سوءگیری منفی CPUE را در مدل HSI CPUE برطرف می‌کند. در این مطالعه به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری مدل ترکیبی HSI CPUE و HSI effort در تجزیه و تحلیل زیستگاه گونه‌های دریای خزر کارآمد باشد.

انتخاب نوع و تعداد متغیرهای محیطی برای گنجاندن در مدل‌سازی HSI در شناسایی موفقیت‌آمیز زیستگاه‌های بهینه حیاتی است. گنجاندن متغیرهای محیطی که در تأثیرگذاری بر پراکنش مکانی ماهی بی‌اهمیت هستند و یا گنجاندن متغیرهای بیش از حد ممکن است نتایج مدل‌سازی HSI را مخدوش کند و این نوع مدل‌ها اغلب با پارامترهای کمتر بهتر عمل می‌کند (۳۰).

با بررسی نقشه‌های GIS زیستگاه‌های بهینه (یعنی منطقه‌ای با HSI بالا) برای ماهیان تجاری دریای خزر

منابع

1. Pickens, B. A., Carroll, R., & Taylor, J. C. (2021). Predicting the Distribution of Penaeid Shrimp Reveals Linkages Between Estuarine and Offshore Marine Habitats. *Estuaries and Coasts*. 44, 2265-2278.
2. FAO. (2003). Fisheries Management 2. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2. Rome.
3. Ramirez-Llodra, E., Tyler, P. A., Baker, M. C., Bergstad, O. A., Clark, M. R., Escobar, E., Levin, L. A., Menot, L., Rowden, A. A., Smith, C. R., & Van Dover, C. L. (2011). Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PLoS One* 6 (8), e22588. DOI: 10.1371/journal.pone.
4. Garcia, S. M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T., & Lasserre, G. (2003). The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. *FAO Fisheries Technical Paper*, 443. 71.
5. Trochta, J. T., Pons, M., Rudd, M. B., & Krigbaum, M. (2018). Ecosystem-based fisheries management: Perception on definitions, implementations and aspirations. *PLOS ONE*. 13(1).
6. Minns, C. K. (1997). Quantifying “no net loss” of productivity of fish habitats. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 2463-2473.
7. Armstrong, J. D., Kemp, P. S., Kennedy, G. J. A., Ladle, M., & Milner, N. J. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*. 62(2), 143-170.
8. Moore, C. H., Van Niel, K., & Harvey, E. S. (2011). The effect of landscape composition and configuration on the spatial distribution of temperate demersal fish. *Ecography*. 34(3), 425-435.
9. Ferrari, R., Gonzalez-Rivero, M., & Mumby, P. J. (2012). Size matters in competition between corals and macroalgae. *Marine Ecology Progress Series*. 467, 77-88.

10. Lipcius, R. N., Eggleston, D. B., Fodrie, F. J., van der Meer, J., Rose, K. A., Vasconcelos, R. P., van de Wolfshaar, K. E. (2019). Modeling quantitative value of habitats for marine and estuarine populations. *Frontiers in Marine Science*. 6, 280.
11. Fazli, H., Afraei Bandpei, M. A., Pourgholam, R., & Roohi, A. (2013). Long-term changes in fecundity of the Kutum, *Rutilus frisii kutum* Kamensky, 1901, in the Caspian Sea (*Osteichthyes: Cyprinidae*). *Zool. Middle East*. 59 (1), 51-58.
12. Chang, Y. J., Sun, C. L., Chen, Y., Yeh, S. Z., DiNardo, G., & Su, N. J. (2013). Modelling the impacts of environmental variation on the habitat suitability of swordfish, *Xiphias gladius*, in the equatorial Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*. 70(5), 1000-1012.
13. Tian, S. Q., Chen, X. J., Chen, Y., Xu, L. X., & Dai, X. J. (2009). Evaluating habitat suitability indices derived from CPUE and fishing effort data for *Ommastrephes bartramii* in the northwestern Pacific Ocean. *Fisheries*.
14. Maddock, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology*. 41, 373-391.
15. Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). Introduction To Tropical Fish Stock assessment, Vol 1. FAO Fisheries Technical Paper, Rome.
16. Haghi Vayghan, A., Poorbagher, H., Taheri Shahraiyni, H., Fazli, H., & Nasrollahzadeh Saravi, H. (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.
17. Haghi Vayghan, A., Zarkami, R., Sadeghi, R., & Fazli, H. (2016). Modeling habitat preferences of Caspian kutum, *Rutilus frisii kutum* (Kamensky, 1901) (*Actinopterygii, Cypriniformes*) in the Caspian Sea. *Hydrobiologia*. 766(1), 103-119.
18. Moëzzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., Fegghi, J., Dormann, C. F., Nergi, S. K., & 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*, 56, 102715.
19. Andrade, H. A., & Garcia, A. E. (1999). Skipjack tuna in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. *Fish. Oceanogr*. 8, 245-254.
20. Wei, Y., Xinjun, Ch., Yang, Zh., & Qian, Y. (2019). Habitat suitability modelling revealing environmental-driven abundance variability and geographical distribution shift of winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean, *ICES Journal of Marine Science*, 76(6), 1722-1735.
21. Yu, J., Wen, L., Liu, S., Zhang, H., & Fang, Z. (2024). Habitat Suitability of the Squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in Northern Indian Ocean Based on Different Weights. *Fishes*. 9 (3).
22. Fei, Y., Yang, S., Huang, M., Wu, X., Yang, Z., Zhao, J., Tang, F., Fan, W., & Yuan, S. (2003). Evaluating Suitability of Fishing Areas for Squid-Jigging Vessels in the Northwest Pacific Ocean Derived from AIS Data. *Fishes*, 8(10), 530.
23. Swain, D. P., & Wade, E. J. (2003). Spatial distribution of catch and effort in a fishery for snow crab (*Chionoecetes opilio*): tests of predictions of the ideal free distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60, 897-909.
24. Chen, X., Tian, S., Chen, Y., & Liu, B. (2010). A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*, 108, 1-14.
25. Schickele, A., Leroy, B., Beaugrand, G., Goberville, E., Hattab, T., Francour, P. & Raybaud, V. (2020). Modelling European small pelagic fish distribution: Methodological insights. *Ecological Modelling*, 416, p.108902.

26. Fan, W. (2004). A study on application of satellite remote sensing in marine fishingground analysis and fishing condition forecasting-a case of *Ommastrephes bartramii* fisheries in northwest Pacific Ocean. Ph.D. Thesis. East China Normal University, 132 p. [In Chinese]
27. Chen, X. J., & Tian, S. Q. (2005). Ground and surface temperature for *Ommastrephes bartramii* in the Northwestern Pacific Ocean. *Per. O. Univ. China*. 35, 101-107. [In Chinese]
28. Pedro, B. M. (2006). Fishing effort analysis and its potential to evaluate stock size. *Rev. Fish. Sci.* 14, 369-393.
29. Mackinson, S., Sumaila, U. R., & Pitcher, T. J. (1997). Bioeconomics and catchability: fish and fishers behaviour during stock collapse. *Fish. Res.* 31, 11-17.
30. Terrel, J. W. (1984). Biological Report 85 (6). In: Proceedings of the Workshop: Fish Habitat Suitability Index Models, US Fish and Wildlife Service.

