

(OPEN ACCESS)

## Analyzing the distribution pattern of the Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Persian Gulf during 2002-2013

Hadi Poorbagher<sup>1</sup>, Soheil Eagderi<sup>\*2</sup>, Fateh Moezzi<sup>3</sup>

1. Professor, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [hpoorbagher@ut.ac.ir](mailto:hpoorbagher@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [soheil.eagderi@ut.ac.ir](mailto:soheil.eagderi@ut.ac.ir)
3. Post Doctoral Scholar, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [fmoezi.fateh@gmail.com](mailto:fmoezi.fateh@gmail.com)

| Article Info                                                                                                 | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article type:</b><br>Full Length Research Paper                                                           | <b>Background and Objectives:</b> Skipjack tuna ( <i>Katsuwonus pelamis</i> ) is considered to be among the commercially important species in the Persian Gulf waters. Understanding the distribution patterns of this migratory species is important for the effective management of its stocks. Point pattern analysis is an important statistical method used to examine the spatial pattern of tuna patterns and can be utilized to verify whether this pattern is random, clustered, or uniform. This knowledge is crucial for the sustainable management of fisheries and the conservation of marine ecosystems since it can be utilized in the identification of critical habitats, the management of fisheries grounds and the development of conservation plans. Additionally, this research can be utilized in refining knowledge of the overall health of marine ecosystems and species interactions that can ultimately lead to tuna populations and other marine species being conserved. Therefore, the current research attempted to model the distribution patterns of this fish using logistic regression-based modeling. |
| <b>Article history:</b><br>Received: 01.02.2024<br>Revised: 02.18.2024<br>Accepted: 03.29.2024               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Keywords:</b><br><i>F</i> function,<br>Logistic regression,<br>Modelling,<br>Spatio-temporal distribution |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                              | <b>Materials and Methods:</b> Due to the unavailability of proper information, remote sensing data for 2002-2013 were employed. In this study, data regarding the occurrence of skipjack tuna ( <i>Katsuwonus pelamis</i> ) were collected from the GBIF database for the years 2002-2013. To identify environmental conditions that are influencing the occurrence of the species, related environmental attributes were retrieved from MODIS satellite data from the AQUA satellite. These parameters were reflectance at various wavelengths, temperature, chlorophyll concentration and environmental conditions. Logistic regression was employed for fitting the occurrence of the tuna and to prevent overfitting, 75% of data were used for training and 25% for testing the model. Performance of the models was evaluated by the AUC (Area under the roc curve), and sensitivity and specificity values were also calculated. Additionally, the pattern of tuna presence points was also subjected to the <i>F</i> function of spatstat package to determine if the point pattern was clustered, random, or uniform.             |
|                                                                                                              | <b>Results:</b> The conducted models showed favorable fit ( $AUC > 0.786$ ). The environmental factors most affecting the description of the tuna distribution were: particulate organic carbon (48.76%), daytime sea surface                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

---

temperature (42.36%) and inorganic particulate carbon (39.17%). Future points of presence as projected by the models showed spatial variability in the Persian Gulf over the years considered. But offshore areas were identified as being highly potential for occurrence of the species. The F function revealed that skipjack tuna distributed in a clustered pattern in the Persian Gulf for the majority of years, but also revealed a random pattern for the years 2004, 2005 and 2007.

**Conclusion:** This study illustrated that in cases where data for a region of general distribution under consideration are not sufficient, species presence probability modeling and using the F function are good enough to take into account distribution patterns. The study also illustrated that skipjack tuna often takes a grouped distribution, which demonstrates that it doesn't randomly occur in the Persian Gulf. The findings of this study can be utilized to give a clearer image of the condition of skipjack tuna distribution and assist in developing more effective management programs for its stocks.

---

Cite this article: Poorbagher, Hadi, Eagderi, Soheil, Moezzi, Fateh. 2025. Analyzing the distribution pattern of the Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Persian Gulf during 2002-2013. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 14 (1), 143-159.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2024.22058.1843

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در خلیج فارس بین سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۳

هادی پورباقر<sup>۱</sup>، سهیل ایگدری<sup>۲\*</sup>، فاتح معزی<sup>۳</sup>

۱. استاد شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [hpoorbagher@ut.ac.ir](mailto:hpoorbagher@ut.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [soheil.eagderi@ut.ac.ir](mailto:soheil.eagderi@ut.ac.ir)

۳. پژوهشگر پسا دکتری گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [fmoezi.fateh@gmail.com](mailto:fmoezi.fateh@gmail.com)

| چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | اطلاعات مقاله                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>سابقه و هدف:</b> ماهی هوور مسقطی (<i>Katsuwonus pelamis</i>) یکی از گونه‌های ارزشمند تجاری در آب‌های خلیج فارس محسوب می‌شود. شناخت الگوهای توزیع این گونه مهاجر برای مدیریت مناسب ذخایر آن دارای اهمیت است. تحلیل الگوی نقطه‌ای یک روش آماری مهم است که برای بررسی توزیع فضایی الگوهای ماهی تن استفاده می‌شود و می‌تواند به تعیین این‌که آیا این توزیع تصادفی، خوشه‌ای یا یکنواخت است، کمک کند. درک این الگوها برای مدیریت پایدار شیلات و حفظ اکوسیستم‌های دریایی بسیار حیاتی است، زیرا می‌تواند به شناسایی زیستگاه‌های بحرانی، تنظیم مناطق صید و توسعه استراتژی‌های حفاظتی کمک کند. همچنین، این تحلیل می‌تواند به درک سلامت کلی اکوسیستم‌های دریایی و تعاملات بین گونه‌ها کمک کند و در نهایت به حفظ جمعیت‌های ماهی تن و سایر موجودات دریایی منجر شود. از این‌رو، در مطالعه حاضر به بررسی الگوهای توزیع این ماهی با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر رگرسیون لجستیک پرداخته شد.</p> | <p><b>نوع مقاله:</b><br/>مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۲/۱۰/۱۲<br/><b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۲/۱۱/۲۹<br/><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۰۱/۱۰</p> <p><b>واژه‌های کلیدی:</b><br/>تایع <math>F</math>،<br/>توزیع مکانی- زمانی،<br/>رگرسیون لجستیک،<br/>مدلسازی</p> |
| <p><b>مواد و روش‌ها:</b> به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، داده‌های سنجش از دور مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه، داده‌های مربوط به حضور ماهی هوور مسقطی (<i>Katsuwonus pelamis</i>) از پایگاه داده GBIF برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ جمع‌آوری شد و به منظور شناسایی عوامل محیطی مؤثر بر حضور این گونه، متغیرهای محیطی مرتبط از تصاویر اسپکترورادایومتر MODIS ماهواره AQUA استخراج گردید. این متغیرها شامل بازتابش طول موج‌های مختلف، دما، غلظت کلروفیل و سایر پارامترهای محیطی بودند. برای مدلسازی حضور ماهی، از رگرسیون لجستیک استفاده شد و به‌منظور جلوگیری از بیش‌برازش، ۷۵ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد برای آزمون مدل به‌کار رفت. کارایی</p>                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

مدل‌ها با استفاده از مقدار AUC (مساحت زیر منحنی ROC) ارزیابی شد و مقادیر حساسیت و اختصاصیت نیز محاسبه گردید. به‌علاوه، الگوی نقاط حضور ماهی با استفاده از تابع F در بسته spatstat تحلیل گردید تا مشخص شود که توزیع نقاط به صورت خوشه‌ای، تصادفی یا منظم است.

**یافته‌ها:** مدل‌های برازش‌یافته از عملکرد مناسبی ( $AUC > 0.786$ ) برخوردار بودند. متغیرهای محیطی دارای بیش‌ترین سهم اهمیت در توضیح پراکنش ماهی عبارت بودند از: کربن ذره‌ای آلی ( $48.76\%$  درصد)، دمای سطح دریا در روز ( $42.36\%$  درصد) و کربن ذره‌ای غیرآلی ( $39.17\%$  درصد). نقاط حضور پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌ها برای این گونه نشان‌دهنده وجود تغییرات مکانی در خلیج فارس در طول سال‌های مورد بررسی بود. با این حال، مناطق دور از ساحل محل‌های دارای احتمال بالای حضور این گونه را شامل می‌شدند. تابع  $F$  نشان داد که در تعداد زیادی از سال‌ها، ماهی هوور مسقطی از یک توزیع خوشه‌ای در خلیج فارس برخوردار بود، هر چند یک الگوی توزیع تصادفی نیز در سال‌های  $2004$ ،  $2005$  و  $2007$  به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** مطالعه حاضر نشان داد در شرایط عدم دسترسی به داده‌های کافی برای یک منطقه پراکنش گسترده مورد بررسی، مدلسازی احتمال حضور یک گونه و تابع F می‌تواند به شکلی کاربردی در بررسی الگوهای توزیع مورد استفاده قرار گیرد. مطالعه حاضر هم‌چنین نشان داد که ماهی تن هوور مسقطی در اغلب موارد از توزیع خوشه‌ای پیروی نماید و از این رو به‌طور تصادفی در خلیج فارس پراکنده نیست. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در شناخت دقیق‌تر وضعیت پراکنش هوور مسقطی و دستیابی به برنامه‌های مدیریت مناسب‌تر ذخایر آن مفید باشد.

استناد: پورباقر، هادی، ایگدري، سهیل، معزی، فاتح (۱۴۰۴). تجزیه و تحلیل الگوی پراکنش ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در خلیج فارس بین سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۳. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۴ (۱)، ۱۵۹-۱۴۳.

DOI: 10.22069/japu.2024.22058.1843



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

عوامل متعددی ذخایر منابع آبی در محیط‌های آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیاز رو به رشد به صید منابع دریایی منجر به تحمیل فشار قابل‌توجهی بر ذخایر آبزیان مصرفی شده است. هم‌چنین بروز تغییرات اقلیمی از دیگر عوامل مهم اثرگذار بر توزیع گونه‌ای و تغییرات اکوسیستمی در محیط‌های دریایی به شمار می‌رود (۱) که نگرانی‌های فزاینده‌ای را به دنبال داشته است (۲). تغییرات اکوسیستمی با منشأ انسانی مانند بهره‌برداری بی‌رویه، آلودگی‌ها، تخریب زیستگاه‌ها و از دست رفتن تنوع زیستی نیز تا حد زیادی میزان حساسیت اکوسیستم‌های دریایی را نسبت به تغییرات طبیعی افزایش داده است (۳). بروز چنین تغییرات نامطلوبی می‌تواند با اثرگذاری بر شرایط فیزیولوژیک موجودات و پراکنش مکانی آن‌ها، پیامدهای غیرمستقیمی را بر تولیدکنندگی و ساختار اکوسیستمی به همراه داشته باشد و فعالیت‌های شیلاتی را نیز به شکل نامناسبی تحت تأثیر قرار دهد (۴). از این‌رو، تشخیص الگوهای غالب و درک فرآیندهای مؤثر بر نوسانات جمعیت‌های آبزیان در ارتباط با شرایط محیطی در مقیاس‌های مختلف جغرافیایی (جهانی، منطقه‌ای و محلی) مبنای مدیریت پایدار اکوسیستمی محیط‌های آبی و منابع آبزیان محسوب شده و دارای اهمیت می‌باشد (۵، ۶).

مدل‌های توزیع گونه‌ای و روش‌های مشابه مدل‌سازی مکانی در طول دو دهه گذشته با توجه به رشد داده‌های زمین- مکانی در دسترس و افزایش ظرفیت محاسباتی و توسعه تکنیک‌های نوین مدل‌سازی، از اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای در مطالعات اکولوژیک توزیع گونه‌ای آبزیان برخوردار بوده‌اند (۷). از مدل‌های توزیع گونه‌ای در ارزیابی‌های مکانی و مدیریت گونه‌های تجاری و دارای اهمیت و هم‌چنین پیش‌بینی تغییرات مکانی- زمانی قابل وقوع

در آینده در نتیجه برنامه‌های بهره‌برداری، اثرات تغییرات اقلیمی و یا سایر عوامل استرس‌زای انسانی بر اکوسیستم‌های دریایی استفاده می‌گردد (۸، ۹). این مدل‌ها با برقراری ارتباط بین حضور گونه‌ها، فراوانی آن‌ها و سایر معیارهای مربوط به شرایط محیطی و اثرات خودهمبستگی مکانی یا مکانی- زمانی (۱۰) قادرند تا پیش‌بینی‌های آماری قابل‌قبولی را برای نقاطی که پیش‌تر نمونه‌برداری نشده‌اند، ارائه دهند (۱۱، ۱۲). یافته‌های حاصل از چنین مدل‌هایی می‌تواند در تسهیل شناخت نقاط داغ حضور گونه‌ها از طریق به‌کارگیری برآوردهای مکانی قابل اطمینان و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی گونه‌ها و زیستگاه‌ها بسیار مؤثر باشد (۱۳، ۱۴).

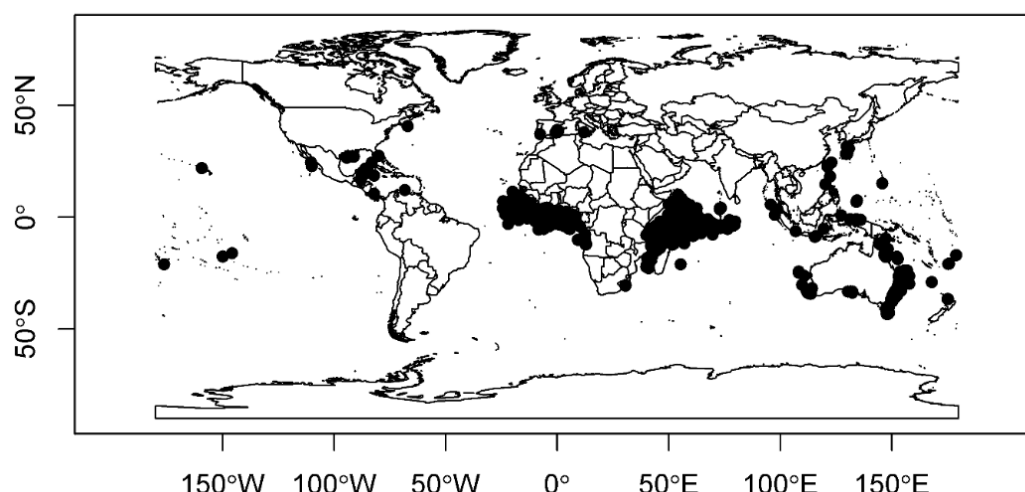
ماهی تون هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) Linnaeus, 1758 از جمله مهم‌ترین تون‌ماهیان ساکن در سراسر اقیانوس‌های آرام، اطلس و هند در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری محسوب می‌گردد (۱۵، ۱۶). این ماهی در مقایسه با دیگر گونه‌های تون‌ماهیان در زمان کوتاه‌تری به بلوغ رسیده و از توان تولیدمثلی بالاتری برخوردار است (۱۷). هم‌چنین طول دوره زندگی این گونه کوتاه بوده و معمولاً در سال‌های چهارم تا پنجم زندگی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. رفتار مهاجرت هوور مسقطی بسیار قابل‌توجه است و تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله جریان‌ات اقیانوسی، دما، شوری، میزان تولید و دسترسی به غذا و اکسیژن محلول قرار دارد (۱۸، ۱۹). ماهی هوور مسقطی از اهمیت تجاری بالایی در دنیا برخوردار است. این گونه در میان ۱۰ گونه ماهی دارای بیش‌ترین میزان صید جهانی قرار دارد (۲۰). هوور مسقطی حدود نیمی از سطوح صید تون‌ماهیان در مناطق گرمسیری اقیانوس هند را با میزان بیش از ۳۱۵ هزار تن در سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داده است (۲۱). کشور ایران نیز یکی از کشورهای اصلی

## مواد و روش‌ها

**تهیه داده:** داده‌های مربوط به نقاط حضور ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) از پایگاه داده GBIF (Global Biodiversity Information Facility) (۳۱) برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ به دست آمد (شکل ۱). داده‌های تعدادی از متغیرهای محیطی نیز به عنوان عوامل پیش‌بین بالقوه حضور گونه از تصاویر اسپکترورادیومتر تصویربرداری با رزولوشن متوسط (MODIS) ماهواره AQUA سازمان NASA در بازه زمانی مورد بررسی استخراج گردید. این متغیرهای محیطی عبارت بودند از: بازتابش طول موج ۶۴۵ نانومتر ( $r645, sr^{-1}$ ) به عنوان کدورت آب (۳۲)، نمای آنگستروم آئروسول ( $443, sr^{-1}$ ) تا ۹۶۵ نانومتر، ضخامت اپتیک آئروسول در ۸۶۹ نانومتر ( $a443, sr^{-1}$ )، کربن ذره‌ای آلی ( $POC, mg/m^3$ ) و غیرآلی ( $PIC, mol/m^3$ )، تابش فعال فتوسنتزی ( $PAR, Einstein/m^2.day$ )، جذب نور توسط فیتوپلانکتون در ۴۴۳ نانومتر ( $PHY, m^{-1}$ )، دمای سطح دریا در روز ( $SSTD, ^\circ C$ ) و شب ( $SSTN, ^\circ C$ )، و غلظت کلروفیل آلفا ( $CHL, mg/m^3$ ). داده‌های سنجش از دور در مقیاس سالانه با فرمت nc به فرمت رستر تبدیل شده و روی هم‌گذاری شدند. سپس، برای هر سال، مقادیر داده‌های محیطی مربوط به مختصات محل‌های حضور ماهی برداشت گردید. با در نظر گرفتن کم‌ترین و بیش‌ترین عرض جغرافیایی نقاط حضور گونه، داده‌های محیطی در تعدادی نقاط برابر با تعداد نقاط حضور گونه به‌صورت تصادفی به عنوان محل‌های عدم حضور ماهی، برداشت گردید. تعداد نقاط حضور و عدم حضور برابر تعیین گردید؛ زیرا عدم توازن در تعداد این نقاط می‌تواند پیش‌بینی مدل‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۳۳).

صیدکننده این ماهی در دنیا به شمار می‌رود. در ایران، میانگین صید سالانه هوور مسقطی در آب‌های جنوب کشور حدود ۳۷ هزار تن گزارش شده است که معادل ۲۰ درصد از صید کل تون ماهیان را شامل می‌گردد (Statistical Yearbook of the Fisheries Organization, 2004-2017).

مطالعات معدودی توزیع تون‌ماهیان تجاری در آب‌های جنوب ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند (۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰). با توجه به سهم ماهی تون هوور مسقطی از صید تون ماهیان جنوب کشور و اهمیت اقتصادی آن، و همچنین عدم وجود اطلاعات کافی در رابطه با سطوح صید این ماهی و الگوهای تغییرات زمانی-مکانی مربوط به آن در طول سال‌های گذشته، حصول شناخت کافی در ارتباط با توزیع مکانی مرتبط با تغییرات شرایط محیطی در آب‌های خلیج فارس برای این گونه و در نظر گرفتن پیامدهای آن بر رفتارهای مهاجرتی ماهی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی موجود (از جمله رشد و تولیدمثل) و متعاقباً فراوانی و صیدپذیری و مدیریت پایدار ذخایر از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده و ضروری به نظر می‌رسد. هدف از مطالعه حاضر بررسی گستره‌های احتمالی حضور و عدم حضور ماهی هوور مسقطی (*K. pelamis*) و همچنین ارزیابی الگوهای توزیع و نوسانات زمانی و مکانی مربوط به آن در آب‌های خلیج فارس در طول یک دوره زمانی ۱۰ ساله (سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳) بود. بدین منظور، از مدلسازی ارتباطات بین حضور و عدم حضور این گونه در سایر محیط‌های آبی با متغیرهای زیستگاهی (با به کارگیری داده‌های سنجش از دور و مدل رگرسیون لجستیک) جهت پیش‌بینی حضور احتمالی ماهی در آب‌های خلیج فارس استفاده شد.



شکل ۱- نقاط حضور ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در آب‌های اقیانوسی جهان که از سال ۲۰۰۲ ثبت شده است (Global Biodiversity Information Facility (GBIF), 2020).

Figure 1. Presence points of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the world's oceanic waters recorded since 2002 (Global Biodiversity Information Facility (GBIF), 2020).

داده‌های اولیه (که برای آموزش مدل استفاده نشده بود) صورت گرفت و مساحت زیر منحنی ROC گزارش گردید. همچنین مقادیر حساسیت<sup>۳</sup> و اختصاصیت<sup>۴</sup> برای مدل‌ها محاسبه شد (۳۳). مقدار حساسیت عبارت است از نسبت تعداد نمونه‌های دارای رخداد موردنظر (در اینجا حضور ماهی هوور) و پیش‌بینی‌شده به عنوان نقاط دارای رخداد به تعداد کل نقاط دارای رخداد موردنظر. مقدار اختصاصیت عبارت است از نسبت تعداد نمونه فاقد رخداد موردنظر و پیش‌بینی شده به عنوان فاقد رخداد به تعداد کل نقاط فاقد رخداد موردنظر. نقاط حضور و عدم حضور در پیش‌بینی‌های صورت گرفته به ترتیب با ۱ و ۰ نشان داده شدند. به علت تعداد اندک داده‌ها بعد از سال ۲۰۱۳، امکان مدلسازی برای این سال‌ها وجود نداشت. تمامی محاسبات و ترسیم نمودارها با استفاده از بسته‌های caret و dismo در نرم‌افزار R (3.4.1) انجام شد.

مدلسازی و پیش‌بینی: مدلسازی اثرات پارامترهای محیطی بر حضور یا عدم حضور ماهی با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد. از آنجایی که مختصات نقاط حضور ماهی هوور در خلیج فارس گزارش نشده بود، از این روش مدلسازی برای پیش‌بینی محل‌های حضور گونه استفاده گردید. به منظور پرهیز از بیش‌برازش<sup>۱</sup> مدل‌ها از درستی‌نمایی متقابل مونت کارلو استفاده شد به این صورت که ابتدا به طور تصادفی ۷۵ درصد از داده‌ها برای آموزش مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت و بقیه داده‌ها جهت آزمون مدل به کار گرفته شد. این روند به تعداد ۲۵ بار جهت برازش مدل‌های رگرسیون لجستیک تکرار گردید. کارایی مدل‌های برازش یافته بر اساس مقدار AUC<sup>۲</sup> (سطح زیر منحنی ROC) مورد ارزیابی قرار گرفت و میانگین مقادیر آن به عنوان مقدار AUC نهایی تعیین شد. جهت تست کردن مدل نیز از مقدار AUC استفاده گردید به این ترتیب که پیش‌بینی مدل روی

3- Sensitivity  
4- Specificity

1- Over-fitting  
2- Area under the receiver operating characteristic (ROC) curve

آنالیز الگوی نقطه: جهت بررسی الگوی نقاط حضور ماهی از تابع  $F$  استفاده شد (۳۴). این تابع توزیع تمام فواصل نقاط از یک نقطه اختیاری در سطح را تا نزدیک‌ترین رخداد مربوط به خود اندازه‌گیری می‌کند. مقدار مورد انتظار توسط تابع  $F$  از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$F(r) = 1 - \exp(-\lambda \pi r^2)$$

که در آن،  $\lambda$  میزان تراکم یا متوسط تعداد رخدادهای در واحد سطح و  $r$  فاصله می‌باشد. برای تعیین الگوی نقاط از تابع  $envelope$  در بسته  $spatstat$  استفاده گردید. در استفاده از این تابع نموداری نمایش داده می‌شود که دارای یک محدوده اریب می‌باشد. در صورتی که خط  $\hat{F}(r)$  مشاهداتی زیر این محدوده باشد، توزیع رخدادهای (در اینجا حضور ماهی هور) به‌صورت خوشه‌ای<sup>۱</sup> است، در صورتی که این خط درون محدوده قرار گیرد، توزیع تصادفی<sup>۲</sup> بوده و اگر بالای محدوده واقع گردد، توزیع منظم<sup>۳</sup> می‌باشد. در مطالعه حاضر، ۴۸ مقدار برای  $r$  (از ۰ تا ۰/۲۳۵)، هر یک به فاصله ۰/۰۰۵ از یکدیگر) در تابع  $envelope$  قرار داده شد.

### نتایج

شاخص‌های عملکرد مدل‌های رگرسیون لجستیک برازش یافته مربوط به شناخت و پیش‌بینی حضور ماهی هور مسقطی (جدول ۱) بیانگر عملکرد بسیار مناسب این مدل‌ها بود. مقادیر AUC به‌دست آمده در مراحل آموزش و آزمون مدل‌ها بیشتر از مقدار ۰/۷۶۸ بود که قابلیت بالای این مدل‌ها را در تشخیص

و پیش‌بینی نقاط حضور ماهی نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار سطح زیر نمودار ROC برای داده‌های آموزش مربوط به مدل‌های برازش‌یافته برای داده‌های سال‌های ۲۰۰۶ (۰/۹۲۵) و ۲۰۱۱ (۰/۹۲۴)، و کم‌ترین مقدار متعلق به سال ۲۰۰۵ (۰/۷۶۸) بود. بالاترین مقادیر AUC در مرحله پیش‌بینی با استفاده از داده‌های آزمون نیز مربوط به مدل‌های سال‌های ۲۰۰۴ (۱/۰۰۰)، ۲۰۱۱ (۰/۹۴۴) و ۲۰۰۶ (۰/۹۲۲) و کم‌ترین مقدار متعلق به مدل سال ۲۰۰۹ (۰/۷۹۸) بود. بیش‌ترین مقادیر حساسیت مدل‌ها برای مدل‌های سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۰۶ به ترتیب با مقادیر ۰/۸۴۳ و ۰/۸۲۳ به‌دست آمد و کم‌ترین سطح حساسیت نیز متعلق به مدل سال ۲۰۰۹ (۰/۶۴۸) بود. بیش‌ترین کم‌ترین مقدار اختصاصیت مدل‌های رگرسیون لجستیک نیز به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۶ (۰/۹۴۱) و ۲۰۰۹ (۰/۸۱۴) محاسبه گردید.

متغیرهای محیطی دارای بیش‌ترین تأثیر در توضیح نقاط حضور ماهی به ترتیب عبارتند بودند از کربن آلی ذره‌ای (POC: ۴۸/۷۶)، دمای سطح دریا در روز (SSTD: ۴۲/۳۶) و کربن ذره‌ای غیرآلی (PIC: ۳۹/۱۷) (جدول ۲).

1- Cluster  
2- Random  
3- Regular

جدول ۱- شاخص‌های عملکرد مدل‌های رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی حضور ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳.

**Table 1. Performance metrics of logistic regression models for predicting the presence of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the years 2002 to 2013.**

| سال<br>Year | AUC داده‌های آموزش مدل<br>AUC of training data | AUC داده‌های آزمون مدل<br>AUC of testing data | حساسیت<br>Sensitivity | اختصاصیت<br>Specificity |
|-------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 2002        | 0.878                                          | 0.890                                         | 0.800                 | 0.816                   |
| 2003        | 0.874                                          | 0.906                                         | 0.822                 | 0.828                   |
| 2004        | 0.786                                          | 1.000                                         | 0.690                 | 0.840                   |
| 2005        | 0.768                                          | 0.909                                         | 0.690                 | 0.840                   |
| 2006        | 0.925                                          | 0.922                                         | 0.823                 | 0.941                   |
| 2007        | 0.888                                          | 0.876                                         | 0.787                 | 0.862                   |
| 2008        | 0.878                                          | 0.861                                         | 0.751                 | 0.905                   |
| 2009        | 0.778                                          | 0.798                                         | 0.648                 | 0.814                   |
| 2010        | 0.911                                          | 0.914                                         | 0.814                 | 0.878                   |
| 2011        | 0.924                                          | 0.944                                         | 0.843                 | 0.848                   |
| 2012        | 0.800                                          | 0.810                                         | 0.699                 | 0.892                   |
| 2013        | 0.798                                          | 0.800                                         | 0.688                 | 0.857                   |

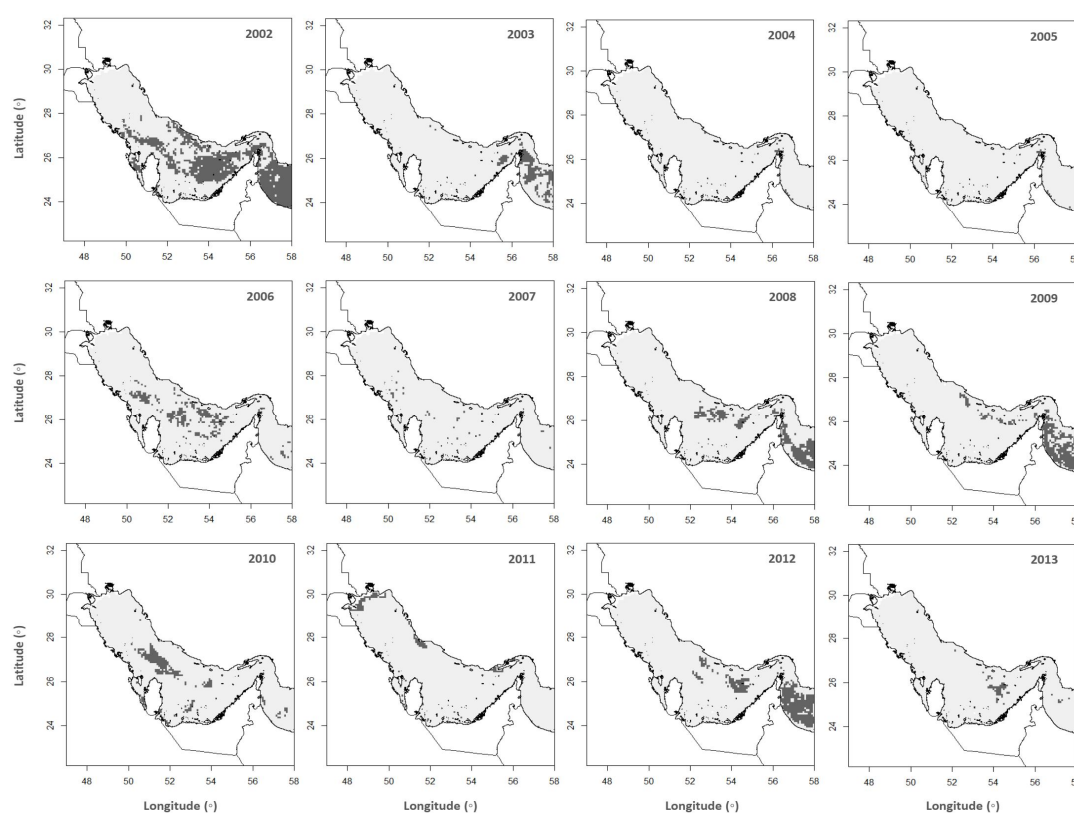
جدول ۲- مقادیر میانگین اهمیت متغیرهای محیطی در مدل‌های رگرسیون لجستیک برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳.

**Table 2. Mean importance values of environmental variables in logistic regression models for the years 2002 to 2013.**

| میانگین سطح اهمیت (درصد)<br>Average of importance | متغیر محیطی<br>Environmental parameters                                      |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 48.76                                             | کربن ذره‌ای آلی (POC)<br>Particulate organic carbon                          |
| 42.36                                             | دمای سطح دریا در روز (SSTD)<br>Sea surface temperature during the day (SSTD) |
| 39.17                                             | کربن ذره‌ای غیرآلی (PIC)<br>Particulate inorganic carbon (PIC)               |
| PIC31.93                                          | جذب نور توسط فیتوپلانکتون (PHY)<br>Light absorption by phytoplankton (Phy)   |
| 28.21                                             | تابش فعال فتوسنتزی (PAR)<br>Photo synthetically active radiation (PIR)       |
| 27.14                                             | دمای سطح دریا در شب (SSTN)                                                   |
| 24.80                                             | بازتاب طول موج ۶۴۵ نانومتر (r645)<br>Reflection of 645 nm (r645)             |
| 24.61                                             | نمای آنگستروم آئروسول (a443)<br>Aerosol angstrom exponent (a443)             |
| 21.11                                             | عمق اپتیک آئروسول (a869)<br>Aerosol optical depth at 869                     |
| 19.26                                             | غلظت کلروفیل آلفا (CHL)<br>Chlorophyll a concentration (CHL)                 |

مورد مطالعه به‌دست آمد. با این وجود، در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲، افزایش محدودی در نقاط حضور ماهی هوور عمدتاً در مناطق دور از ساحل و به صورت لکه‌هایی پراکنده در خلیج فارس مشاهده گردید. در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ نیز تعداد نقاط حضور این ماهی در بخش غربی دریای عمان نزدیک به تنگه هرمز در مقایسه با دیگر سال‌ها بیش‌تر بود.

نقشه‌های به‌دست آمده مربوط به توزیع ماهی هوور مسقطی در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ (شکل ۲) نشان‌دهنده وجود تغییرات زمانی بین سالانه و تغییرات مکانی در گستره‌های حضور این گونه در آب‌های خلیج فارس و تا حدودی دریای عمان بود. بیش‌ترین گستره از نقاط حضور پیش‌بینی‌شده در سال ۲۰۰۲ مشاهده گردید و پس از آن کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در تعداد نقاط حضور در محدوده

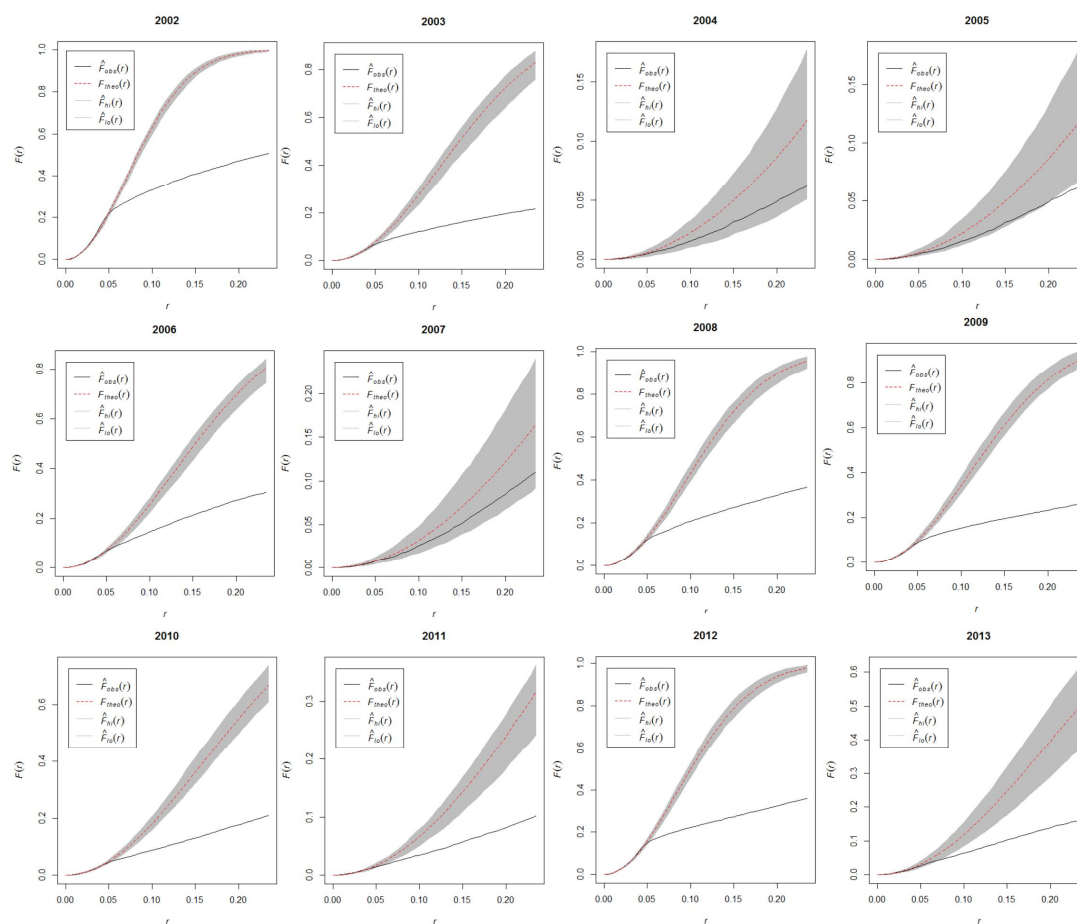


شکل ۲- توزیع مکانی پیش‌بینی‌شده برای ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در آب‌های خلیج فارس در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳.

Figure 2. Predicted spatial distribution of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the waters of the Persian Gulf from 2002 to 2013.

نقاط حضور ماهی هوور در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ از الگوی خوشه‌ای پیروی کرده و در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ نیز الگوی توزیع نقاط حضور این گونه بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده، تصادفی بوده است.

منحنی‌های به دست آمده برای سطوح قابل انتظار تابع  $F$  و حدود اطمینان ۹۶ درصد آن و نیز مقادیر آن برای داده‌های مشاهداتی حضور ماهی هوور مسقطی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ (شکل ۳) نشان داد که در تعداد بیش‌تر سال‌های مورد بررسی، توزیع نقاط حضور ماهی غیرتصادفی بوده است. پراکنش



شکل ۳- مقادیر مورد انتظار و مشاهداتی تابع  $F$  برای نقاط پیش‌بینی شده حضور ماهی هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) در خلیج فارس در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳. ناحیه خاکستری رنگ نشان‌دهنده حدود اطمینان ۹۶ درصد برای مقادیر مورد انتظار تابع  $F$  می‌باشد.

**Figure 3.** Expected and observed values of the  $F$  function for the predicted presence points of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Persian Gulf from 2002 to 2013. The gray area represents the 96% confidence limits for the expected values of the  $F$  function.

قابل توجه این گونه در صید تون‌ماهیان توسط ناوگان‌های صیادی ایرانی در آب‌های جنوب کشور در سال‌های اخیر، مطالعات انگشت‌شماری تنها به بررسی ویژگی‌های زیستی ماهیان صیدشده و ذخایر مورد بهره‌برداری (۱۷) و الگوهای پراکنش برخی دیگر از گونه‌های تون ماهیان (۲۴) پرداخته‌اند. از این جهت، با توجه به فقدان اطلاعات مربوط به پراکنش ماهی هوور مسقطی در آب‌های خلیج فارس، شبیه‌سازی و پیش‌بینی پراکنش احتمالی این گونه مبتنی بر مدل‌سازی ارتباطات حضور ماهی و شرایط محیطی ثبت شده در سایر نقاط دنیا در مطالعه حاضر انجام گرفته و

### بحث

ماهی تون هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) یکی از مهم‌ترین تون‌ماهیان دارای ارزش تجاری در سراسر جهان به حساب می‌آید. مطالعات زیادی پراکنش این گونه را در نقاط مختلف بر مبنای جنبه‌های زیست‌شناختی، اکولوژیکی و تأثیرپذیری از نوسانات اقلیمی مورد بررسی قرار داده‌اند (۱۸، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹). در بیش‌تر این پژوهش‌ها، داده‌های حاصل از فعالیت‌های صیادی تجاری به منظور تجزیه و تحلیل تجمعات این گونه و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود سهم

اطلاعات به‌دست آمده مبنایی برای درک نوسانات توزیع مکانی نواحی مطلوب زیستگاهی برای این گونه در طول سال‌های گذشته را فراهم نموده است. مدل رگرسیون لجستیک یکی از تکنیک‌های مدل‌سازی پرکاربرد در مطالعات توزیع گونه‌ای با استفاده از داده‌های حضور و داده‌های حضور-عدم حضور ماهیان به شمار می‌رود که از کارایی قابل‌توجهی در شناخت و پراکنش گونه‌ها با استفاده از این نوع داده‌ها در مقایسه با سایر روش‌های نوین مدل‌سازی توزیع گونه‌ای حتی تکنیک‌های نوین یادگیری ماشین برخوردار است (۴۰، ۴۱). در مطالعه حاضر، به‌طورکلی مدل‌های رگرسیون لجستیک برازش یافته عملکرد قابل‌قبولی را برای داده‌های آموزش و آزمون مدل‌ها نشان دادند. با این‌حال، عملکرد ضعیف‌تر مدل‌ها در برخی از سال‌های دوره زمانی مورد مطالعه می‌تواند نشأت گرفته از تعداد نقاط داده موجود و مورد استفاده در فرآیند مدل‌سازی بوده باشد. در مدل‌سازی با استفاده از داده‌های حضور و عدم حضور، تعداد نقاط بیش‌تر در مجموعه داده می‌تواند قابلیت شناخت و پیش‌بینی مدل را کاهش داده و منتج به مقادیر کم‌تر AUC مربوط به پیش‌بینی‌های مدل گردد. این موضوع در مطالعات دیگر نیز مورد اشاره قرار گرفته است (۴۱، ۴۲). در حقیقت تعداد نقاط حضور کم‌تر بیانگر گستره جغرافیایی محدودتر مربوط به توزیع گونه می‌باشد و به عبارتی با محدودکردن شرایط مورد ترجیح حضور گونه، افزایش دقت پیش‌بینی‌ها همراه با افزایش مقادیر AUC مدل‌ها را در پی خواهد داشت (۴۱). این وضعیت برای مدل‌های برازش‌یافته در مطالعه حاضر نیز مشاهده گردید، به‌طوری‌که مدل‌های دارای عملکرد ضعیف‌تر و مقادیر AUC کم‌تر، محدوده‌های گسترده‌تری از نقاط حضور ماهی را پیش‌بینی کرده‌اند.

در این مطالعه متغیرهای کربن ذره‌ای آلی (POC) و غیرآلی (PIC) و دمای سطح دریا در روز (SSTD) به عنوان مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر پراکنش ماهی هوور مسقطی تشخیص داده شدند. POC و PIC به عنوان عوامل محیطی مرتبط با افزایش توان تولیدکنندگی در محیط‌های آبی معرفی شده‌اند (۴۲) به‌طوری‌که به شکل قابل‌توجهی افزایش سطوح آن‌ها در آب با افزایش تولید ثانویه در ارتباط است (۴۳). همچنین، تغییر شرایط فیزیکی محیط آبی در نتیجه افزایش مقادیر PIC در مطالعات گزارش شده است (۴۴ و ۴۵). دمای سطحی آب نیز به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی تعیین‌کننده حضور و فراوانی ماهیان مختلف در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (۴۶). مطالعات انجام شده پیرامون بررسی عوامل اثرگذار بر توزیع تون‌ماهیان عوامل مختلفی را به عنوان پارامترهای اصلی اثرگذار بر پراکنش آن‌ها معرفی کرده‌اند. در مطالعه قیطان‌پور و همکاران (۲۵)، کربن غیرآلی ذره‌ای به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر توزیع ماهی شیر در خلیج فارس به واسطه تأثیر آن در کنترل تولید فیتوپلانکتونی گزارش شده است. حقی‌وایقان و همکاران (۲۳) تولید اولیه خالص، دما و شوری سطحی آب را به همراه عمق لایه مخلوط‌شونده دارای بیش‌ترین تأثیر بر پراکنش هوور مسقطی در اقیانوس هند دانسته‌اند. عامل دما نیز در مطالعات انجام شده توسط پوتری و همکاران (۴۷)، ین و لو (۴۸) و موگو و همکاران (۴۹) به عنوان یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده توزیع ماهی هوور مسقطی بیان شده است. تفاوت‌های موجود در متغیرهای اصلی گزارش شده تا حد زیادی ممکن است ناشی از مجموعه پارامترهای محیطی مورد استفاده در تجزیه و تحلیل مدل‌سازی توزیع گونه بوده باشد. همچنین تفاوت در تکنیک مدل‌سازی مورد استفاده در مطالعات صورت گرفته نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل وجود تفاوت‌های مورد اشاره باشد.

نتایج به دست آمده در این مطالعه برای پراکنش مکانی ماهی هوور مسقطی (*K. pelamis*) طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان داد که محدوده‌های مناسب حضور این گونه از نظر محل و گستره حضور در آب‌های خلیج فارس دارای تغییرات مکانی قابل‌توجهی بوده است به طوری که در برخی سال‌ها از جمله سال ۲۰۰۲، شرایط مناسبی جهت حضور این گونه در گستره وسیع‌تری از خلیج فارس فراهم بوده است، اما پس از آن محدوده مناسب پراکنش این ماهی کاهش یافته و تنها در برخی از سال‌ها (۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲) افزایش اندکی در تعداد نقاط حضور پیش‌بینی شده است. این وضعیت در رابطه با بخش غربی دریای عمان در نزدیکی تنگه هرمز نیز وجود داشته است. در مجموع، بر اساس نقشه‌های شبیه‌سازی شده، بیش‌ترین محدوده توزیع پیش‌بینی شده در نواحی میانی خلیج فارس وجود داشته که گستره‌های آبی دور از ساحل را در بر می‌گرفته است. با این حال، بیش‌ترین تمرکز و ثبات نقاط حضور در مناطق میانی خلیج فارس نزدیک به تنگه هرمز پیش‌بینی شده است. از طرف دیگر، یافته‌های حاصل از بررسی الگوهای توزیع نقاط پراکنش ماهی نشان داد که در بیش‌تر سال‌های مورد مطالعه که عملکرد مدل‌های رگرسیون لجستیک نیز برای این سال‌ها بهتر بوده، نقاط حضور ماهی از یک الگوی خوشه‌ای پیروی کرده است. وجود چنین الگویی بیانگر مطلوبیت مکانی و وجود شرایط مورد ترجیح ماهی در گستره‌های مشخص از آب‌های خلیج فارس می‌باشد. تجمعات مکانی گونه‌ها غالباً ناشی از دو فرآیند اصلی ارتباطات زیستگاهی و محدودیت‌های پراکنش هستند. ارتباطات گونه- زیستگاه یک فرآیند مبتنی بر مفهوم آشیان اکولوژیک است که می‌تواند به تجمعات گونه‌ای در گستره‌های گرادیان‌های مکانی محیطی

بسط داده شود (۵۰، ۵۱). مطالعات متعدد انجام شده در ارتباط با توزیع مکانی- زمانی ماهی تون هوور مسقطی اهمیت بالای دو عامل زمان و مکان را در تعیین پراکنش این گونه مورد اشاره قرار داده‌اند (۲۳، ۵۲، ۵۳). با در نظر گرفتن رفتار مهاجرتی این گونه جهت دستیابی به محیط‌های فراهم‌کننده شرایط اپتیمم زیست- فیزیکی (۵۳)، مجموعه شرایط محیطی مناسب جهت دستیابی به بالاترین بازده رفتار جستجو و دسترسی به غذا به عنوان مطلوب‌ترین شرایط زیستگاهی و مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده توزیع این گونه شناخته شده است (۲، ۵۳، ۵۴). بنابراین، می‌توان گفت نوسانات مکانی- زمانی توزیع ماهی هوور بیش‌تر به طور غیرمستقیم تابع میزان طعمه‌های غذایی در دسترس برای این گونه دارای رفتار مهاجرتی تغذیه‌ای فعال می‌باشد که در محدوده‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر نیز مشاهده گردید. با این وجود، در برخی از مطالعات اشاره شده است که بیش‌ترین میزان صید این گونه در آب‌های نزدیک به ساحل به دست آمده که همسو با نواحی حضور پیش‌بینی شده در مطالعه حاضر از نظر نزدیکی به ساحل نیست. چنین تناقضی ممکن است ناشی از تفاوت در خصوصیات منطقه مطالعاتی، نوع داده‌های مورد استفاده و یا چهارچوب مدلسازی انتخاب شده و پیش‌بینی‌های به دست آمده باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

مجموعه یافته‌های به دست آمده در این مطالعه نشان داد که با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و داده‌های مربوط به حضور ماهی تون هوور مسقطی (*K. pelamis*) در دیگر نقاط دنیا و ارتباطات آن‌ها با شرایط محیطی می‌توان مناطق حضور این گونه را در محیط‌های فاقد اطلاعات تاریخیچه حضور یا صید آن مانند خلیج فارس، با دقت قابل‌توجهی شبیه‌سازی و

هرمز را شامل می‌شد. همچنین، بررسی‌های مربوط به الگوهای توزیع نقاط، نشان‌دهنده عدم توزیع اتفاقی نقاط پیش‌بینی شده و پیروی آن‌ها از الگوی توزیع خوشه‌ای بوده که بیانگر گستره‌های زیستگاهی مورد ترجیح ماهی در این آب‌ها بوده است.

پیش‌بینی نمود. الگوهای پراکنش به‌دست آمده نشان‌دهنده وجود تغییرات مکانی و زمانی در نقاط مستعد حضور این گونه در طول دوره زمانی مورد بررسی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ بود. مناطق حضور پیش‌بینی‌شده برای این گونه نواحی میانی خلیج فارس در محدوده آب‌های دور از ساحل و نزدیک به تنگه

## منابع

1. Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and fisheries*. 10 (3), 235-251.
2. Dueri, S., Bopp, L., & Maury, O. (2014). Projecting the impacts of climate change on skipjack tuna abundance and spatial distribution. *Global change biology*. 20 (3), 742-53.
3. Perry, R. I., Cury, P., Brander, K., Jennings, S., Möllmann, C., & Planque, B. (2010). Sensitivity of marine systems to climate and fishing: concepts, issues and management responses. *Journal of Marine Systems*. 79 (3-4), 427-435.
4. Brander, K. M. (2007). Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104 (50), 19709-19714.
5. Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*. 79 (3-4), 389-402.
6. Sumaila, U. R., Cheung, W. W., Lam, V. W., Pauly, D., & Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature climate change*. 1 (9), 449-456.
7. Moezzi, F., Poorbagher, H., Eagderi, S., & Fegghi, J. (2023). Comparing the performance of generalized linear model (GLM) and random forest (RF) models in predicting catch distribution of Caspian Kutum (*Rutilus frisii*). *Journal of Fisheries*. 76 (1), 27-38. [In Persian]
8. 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.
9. Li, G., Cao, J., Zou, X., Chen, X., & Runnebaum, J. (2016). Modeling habitat suitability index for Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the South East Pacific. *Fisheries Research*. 178, 47-60.
10. Costa, T. L., Pennino, M. G., & Mendes, L. F. (2017). Identifying ecological barriers in marine environment: The case study of *Dasyatis marianae*. *Marine environmental research*. 125, 1-9.
11. Martínez-Minaya, J., Cameletti, M., Conesa, D., & Pennino, M. G. (2018). Species distribution modeling: a statistical review with focus in spatio-temporal issues. *Stochastic environmental research and risk assessment*. 32, 3227-44.
12. Moore, C., Drazen, J. C., Radford, B. T., Kelley, C., & Newman, S.J. (2016). Improving essential fish habitat designation to support sustainable ecosystem-based fisheries management. *Marine Policy*. 69, 32-41.
13. Colloca, F., Bartolino, V., Lasinio, G. J., Maiorano, L., Sartor, P., & Ardizzone, G. (2009). Identifying fish nurseries using density and persistence measures. *Marine Ecology Progress Series*. 381, 287-96.
14. Robinson, C. L., Proudfoot, B., Rooper, C. N., & Bertram, D. F. (2021). Comparison of spatial distribution

- models to predict subtidal burying habitat of the forage fish *Ammodytes personatus* in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 31 (10), 2855-69.
15. Grande, M., Murua, H., Zudaire, I., Goni, N., & Bodin, N. (2014). Reproductive timing and reproductive capacity of the Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western Indian Ocean. *Fisheries Research*. 156, 14-22.
  16. Arai, T., Kotake, A., Kayama, S., Ogura, M., & Watanabe, Y. (2005). Movements and life history patterns of the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western Pacific, as revealed by otolith Sr: Ca ratios. *JMBA-Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 85 (5), 1211-1216.
  17. Hosseini, S. A., Mirzaei, M. R., Azhang, B., & Enayati, S. (2017). Spawning pattern of Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in Oman Sea. *Shil*. 5 (3), 111-118. [In Persian]
  18. Mugo, R., Saitoh, S. I., Nihira, A., & Kuroyama, T. (2010). Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fisheries Oceanography*. 19 (5), 382-96.
  19. Zainuddin, M. (2009). Estimating total allowable catch and mapping potential pelagic fishing ground in Selayar waters using AQUA/MODIS satellite imagery. *Journal of Torani*. 19 (1), 36-42.
  20. FAO. (2009). Aquaculture Department Food and Agriculture Organization of the United Nations, The state of world fisheries and aquaculture 2008.
  21. IOTC. (2013). Report of the Sixteenth Session of the IOTC Scientific Committee. 2-6 December, Busan, Republic of Korea, Indian Ocean Tuna Commission. 312p.
  22. Ghaitaranpour, M., Poorbagher, H., Eagderi, S., & Fegghi, J. (2019). Modelling the spatial distribution of the yellowfin tuna, *Thunnus Albacares* in the Persian Gulf using a fuzzy rule-based classification. *International Journal of Aquatic Biology*. 7 (6), 351-6.
  23. Haghi Vayghan, A., Ghorbani, R., Lee, M. A., Kaplan, D. M., & Block, B. A. (2018). Association between Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) distribution caught by Iranian purse seiners and environmental variables in the Indian Ocean. *Journal of Applied Ichthyological Research*. 6 (1), 1-20. [In Persian]
  24. Ensafi, N., Rayegani, B., Saeedpour, B., & Kaymaram, F. (2023). The feasible study of spatial and temporal distribution patterns of Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Oman Sea using Remote Sensing Data. *Journal of Fisheries*. 76 (1), 89-101. [In Persian]
  25. Ghaitaranpour, M., Poorbagher, H., & Eagderi, S. (In Press). Modelling the spatial distribution of Narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*; Lacepede 1800) in the Persian Gulf using logistic regression. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. Available online. [In Persian]
  26. Putri, A. R. S., Zainuddin, M., Musbir, M., Mustapha, M. A., Hidayat, R., & Putri, R. S. (2021). Spatial distribution of potential fishing grounds for skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the Makassar Strait, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 14 (3), 1171-1180.
  27. Putri, A. R., Zainuddin, M., & Putri, R. S. (2018). Effect of climate change on the distribution of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* catch in the Bone Gulf, Indonesia, during the southeast monsoon. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 11 (2), 439-451.
  28. Hermawan, M., Rahaditya, I. W. G., Nugraha, E., Kusumo, T. E., Basith, A., Murtiyoso, B., & Purwanto, Y. (2023). Distribution of sea surface temperature and its effect on the *Katsuwonus pelamis* caught by pole and liner in the

- Savu Sea, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 16 (5), 2648-2659.
29. Yen, K. W., Wang, G., & Lu, H. J. (2017). Evaluating habitat suitability and relative abundance of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific during various El Niño events. *Ocean & Coastal Management*. 139, 153-160.
30. Kiyofuji, H., Aoki, Y., Kinoshita, J., Okamoto, S., Masujima, M., Matsumoto, T., Fujioka, K., Ogata, R., Nakao, T., Sugimoto, N., & Kitagawa, T. (2019). Northward migration dynamics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with the lower thermal limit in the western Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*. 175, 55-67.
31. Global Biodiversity Information Facility. (2017). GBIF Occurrence Download doi:10.15468/dl.8mazkn accessed via GBIF.org on. Retrieved 17 Nov 2017.
32. Chen, Z., Hu, C., & Muller-Karger, F. (2007). Monitoring turbidity in Tampa Bay using MODIS/Aqua 250-m imagery. *Remote sensing of Environment*. 109 (2), 207-20.
33. Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). Applied predictive modeling. New York: Springer.
34. Bivand, R. S., Pebesma, E. J., Gómez-Rubio, V., & Pebesma, E. J. (2008). Applied spatial data analysis with R. New York: Springer.
35. Zainuddin, M., Nelwan, A., Farhum, S. A., Hajar, M. A., & Kurnia, M. (2013). Characterizing potential fishing zone of skipjack tuna during the southeast monsoon in the Bone Bay-Flores Sea using remotely sensed oceanographic data. 4 (1), 259-266.
36. Muhling, B. A., Liu, Y., Lee, S. K., Lamkin, J. T., Roffer, M. A., Muller-Karger, F., & Walter, J. F. (2015). Potential impact of climate change on the Intra-Americas Sea: Part 2. Implications for Atlantic bluefin tuna and skipjack tuna adult and larval habitats. *Journal of Marine Systems*. 148, 1-3.
37. Phillips, J. S., Gupta, A. S., Senina, I., van Sebille, E., Lange, M., Lehodey, P., Hampton, J., & Nicol, S. (2018). An individual-based model of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) movement in the tropical Pacific ocean. *Progress in Oceanography*. 164, 63-74.
38. Putri, A. R., Zainuddin, M., & Putri, R. S. (2018). Effect of climate change on the distribution of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* catch in the Bone Gulf, Indonesia, during the southeast monsoon. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 11 (2), 439-451.
39. Kiyofuji, H., Aoki, Y., Kinoshita, J., Okamoto, S., Masujima, M., Matsumoto, T., Fujioka, K., Ogata, R., Nakao, T., Sugimoto, N., & Kitagawa, T. (2019). Northward migration dynamics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with the lower thermal limit in the western Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*. 175, 55-67.
40. Erasquin-Extramiana, M., Arrizabalaga, H., Hobday, A. J., Cabré, A., Ibaibarriaga, L., Arregui, I., Murua, H., & Chust, G. (2019). Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global change biology*. 25 (6), 2043-60.
41. Heikkinen, R. K., Marmion, M., & Luoto, M. (2012). Does the interpolation accuracy of species distribution models come at the expense of transferability? *Ecography*. 35 (3), 276-288.
42. Griffiths, J. R., Kadin, M., Nascimento, F. J., Tamelander, T., Törnroos, A., Bonaglia, S., Bonsdorff, E., Brüchert, V., Gårdmark, A., Järnström, 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.
43. Kutti, T., Ervik, A., & Høisæter, T. (2008). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. III.

- Linking deposition rates of organic matter and benthic productivity. *Aquaculture*, 282 (1-4), 47-53.
44. Mitchell, C., Hu, C., Bowler, B., Drapeau, D., & Balch, W. M. (2017). Estimating particulate inorganic carbon concentrations of the global ocean from ocean color measurements using a reflectance difference approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122 (11), 8707-8720.
  45. Hopkins, J., Henson, S. A., Poulton, A. J., & Balch, W. M. (2019). Regional characteristics of the temporal variability in the global particulate inorganic carbon inventory. *Global Biogeochemical Cycles*, 33 (11), 1328-1338.
  46. 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.
  47. Putri, A. R. S., Zainuddin, M., Musbir, M., Mustapha, M. A., Hidayat, R., & Putri, R. S. (2021). Spatial distribution of potential fishing grounds for skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the Makassar Strait, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 14 (3), 1171-1180.
  48. Yen, K. W., & Lu, H. J. (2016). Spatial-temporal variations in primary productivity and population dynamics of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western and central Pacific Ocean. *Fisheries science*, 82, 563-571.
  49. Mugo, R., Saitoh, S. I., Nihira, A., & Kuroyama, T. (2010). Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fisheries Oceanography*, 19 (5), 382-396.
  50. Huang, J., & Frimpong, E. A. (2015). Using historical atlas data to develop high-resolution distribution models of freshwater fishes. *PLoS One*, 10 (6), e0129995.
  51. Pritt, J. J., & Frimpong, E. A. (2010). Quantitative determination of rarity of freshwater fishes and implications for imperiled-species designations. *Conservation Biology*, 24 (5), 1249-58.
  52. Comita, L. S., Condit, R., & Hubbell, S. P. (2007). Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*, 95 (3), 482-492.
  53. Wiegand, T., Gunatilleke, S., & Gunatilleke, N. (2007). Species associations in a heterogeneous Sri Lankan dipterocarp forest. *The American Naturalist*, 170 (4), E77-95.
  54. Su, N. J., Yeh, S. Z., Sun, C. L., Punt, A. E., Chen, Y., & Wang, S. P. (2008). Standardizing catch and effort data of the Taiwanese distant-water longline fishery in the western and central Pacific Ocean for bigeye tuna, *Thunnus obesus*. *Fisheries Research*, 90 (1-3), 235-46.

