

مقاله علمی - پژوهشی:

مدل سازی پراکنش ماهی تون هوور (*Thunnus tonggol* Bleeker, 1851) با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته و داده‌های سنجش از دور در آبهای دریای عمان

آرزو وهاب نژاد^{۱*}، سید امین الله تقوی مطلق^۱، علی سالارپوری^۲

*avn9400@gmail.com

- ۱- موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
 ۲- پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰

چکیده

برای انجام این مطالعه، از داده‌های صید شناورهای پراسایر ایرانی که در دوره سه ساله (۹۸-۱۳۹۶) گله‌های آزاد تون ماهیان را در آبهای دریای عمان صید می‌کردند، استفاده شد. آزمون تحلیل کاهشی (RDA) و مدل جمعی تعمیم یافته (GAM) برای تعیین مطلوبیت زیستگاه ماهی هوور (*Thunnus tonggol*) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS و HYCOM مورد استفاده قرار گرفت. آنالیز کاهشی نشان داد که عرض جغرافیایی، دمای سطحی آب دریا، سرعت جریان‌های دریایی و شوری سطحی آب متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش و تراکم ماهی هوور در هر زیستگاه می‌باشند. نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه بر اساس لایه اطلاعاتی احتمال حضور استخراج گردیدند. ۲۳-۲۵ درجه عرض شمالی و ۶۰-۵۷ درجه طول شرقی زیستگاه‌های مطلوب ماهی هوور می‌باشند که با تراکم بالا در این مناطق پراکنش دارند و بیانگر تمایل زیست این گونه، در منطقه فلات قاره و آبهای کرانه‌ای است. در سمت شرق دریای عمان از منطقه بریس تا خلیج گواتر، از مطلوبیت زیستگاه این گونه کاسته می‌شود. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد که متغیرهای غلظت کلروفیل-a و ارتفاع سطح دریا (SSH) گرچه از نظر آماری معنی‌دار هستند، اما در کنترل حضور و فراوانی ماهی هوور در منطقه از اهمیت ثانویه برخوردارند.

لغات کلیدی: ماهی هوور، زیستگاه مطلوب، روش آنالیز کاهشی، مدل جمعی تعمیم‌یافته، دریای عمان

*نویسنده مسئول

مقدمه

رابطه بین ماهی و محیط آن بسیار پیچیده است، زیرا این رابطه اولاً به شرایط فیزیولوژیک ماهیان، تغذیه، تولید مثل، مهاجرت‌ها و ... بستگی دارد. به‌علاوه، رابطه ساده یک ماهی با هر یک از متغیرهای محیطی، هرگز از روابط متقابل و تأثیر سایر متغیرهای محیطی و برخی از جنبه‌های زیستی ماهی مجزا نمی‌باشد. مطالعات مختلف نشان دادند که تون ماهیان دامنه پراکنش وسیعی دارند و با تغییر در الگوی پراکنش و زیستگاه خود، نسبت به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند (Morrell and James, 2008; Zuur et al., 2009). یکی از مفاهیم اساسی در برگزیده رویکرد زیست بومی مدیریت ماهیگیری، این است که مناطق جغرافیایی مختلف دارای ظرفیت تولیدات زیستی متفاوتی هستند و به همین دلیل باید از طریق به‌کارگیری دانش و مدیریت صید مانع از صید بی‌رویه در هر زیستگاه شد (Mugo and Saitoh, 2020). از این‌رو، با آنالیز مطلوبیت زیستگاه هر گونه می‌توان مناطق پراکنش و تراکم گونه مورد نظر که پایداری جمعیت آن گونه را حمایت می‌کند، تشخیص داد. ناهمگونی خصوصیات فیزیکی محیط زیست پلاژیک و تحرک زیاد ماهیان سطح‌زی، باعث می‌شود تا پراکنش این ماهیان عمدتاً در مناطقی متمرکز گردد که شرایط مناسب‌تری را برای آنها فراهم آورد (Laurel et al., 2007; Morrell and James, 2008). رفتار زیستی ماهی هور با سایر تون ماهیان متفاوت است به‌طوری‌که بالاتر از فلات قاره حرکت نمی‌کند و آبهای کرانه‌ای را ترجیح می‌دهد. همچنین در طول روز برعکس سایر تون ماهیان به اعماق پایین‌تر مهاجرت نمی‌کند و هنگام شب به سطح آب می‌آید. به‌نظر می‌رسد که این نوع مهاجرت، به علت نقص در کیسه‌شنای این گونه باشد که عمق‌های کمتر از ۲۰۰ متر را ترجیح می‌دهد (Griffiths, 2020).

استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور نشان داده‌اند که از پتانسیل خوبی برای حمایت مدیریت ماهیگیری جهانی و بهره‌برداری از گونه‌های دریایی برخوردارند. هر دو تغییرات محیطی بلندمدت و کوتاه‌مدت، اغلب در الگوهای ماهواره‌ای مشتق شده از متغیرهای اقیانوس‌شناسی مانند

دمای اقیانوس و تولیدات اولیه منعکس می‌شوند (Orúe et al., 2020). آنالیزهای مشترک از داده‌های ماهواره‌ای و بیولوژیک دوره‌های زمانی می‌تواند برای شناسایی تغییرات زیستگاه و تأثیر آنها بر مهاجرت، اندازه یا میزان بازگشت شیلاتی تون‌ماهیان و نیز کمک به تنظیم حداکثر صید و حفظ منابع ماهیگیری مورد استفاده قرار گیرند (Zuur et al., 2009).

ایران جزو ۳۲ کشور عضو کمیسیون تون ماهیان اقیانوس هند بوده و سهم ایران از صید تون ماهیان در غرب اقیانوس هند حدود ۲۱ درصد و از کل اقیانوس هند حدود ۱۵ درصد می‌باشد. تعداد شناورهای ایرانی ثبت شده در کمیسیون تون ماهیان اقیانوس هند (IOTC)، ۱۳۱۲ فروند است که ۱۸ درصد از کل تعداد شناورهای مجاز فعال در اقیانوس هند می‌باشند. سهم شناورهای صنعتی در این میزان استحصال به دلیل کارایی کم این شناورها، در نتیجه نبود اطلاعات کافی در خصوص محل حضور گونه‌های هدف و نیز تعداد کم این شناورها نسبت به میزان برداشت مذکور ناچیز است.

میزان صید ماهی هور (*Thunnus tonggol*) در سال ۲۰۱۹ در آبهای اقیانوس هند ۱۰۷۰۸۸ تن و متوسط صید در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۵ برابر ۱۳۳۸۷۲ تن محاسبه شد و سقف مجاز برداشت این گونه در محدود ۱۵۱۰۰۰-۹۹۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۹ اعلام گردید (Dan, 2020). اما نرخ بهره‌برداری (E¹) در سال‌های اخیر به علت کاهش فراوانی ماهی هور افزایش داشته و بدان معناست که سطح پایداری ذخیره این گونه تحت تأثیر قرار گرفته است (Moazzam, 2020). طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۵ بالاترین میزان صید هور در اقیانوس هند متعلق به ایران در حدود ۴۳ درصد بوده و پس از آن اندونزی (۱۸درصد)، عمان (۱۲درصد) و پاکستان (۱۲درصد) قرار داشتند که از این میزان ۷۳ درصد صید متعلق به ابزار گوشگیر و ۷ درصد مربوط به صید از طریق پرسیان بوده است (Moazzam, 2020). ماهی هور یکی از مهم‌ترین گونه‌های تون ماهیان در حال برداشت در

¹ Exploration rate

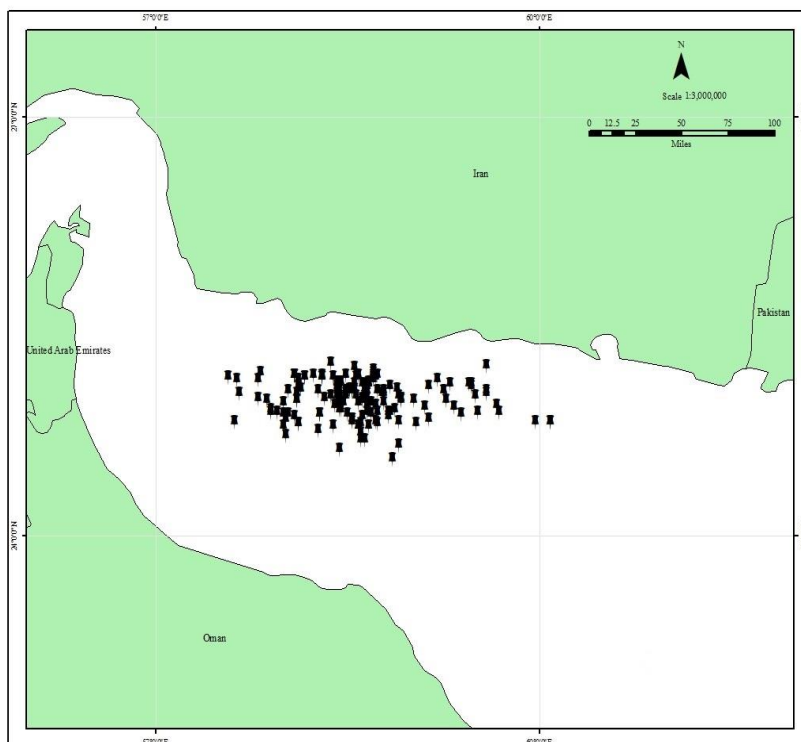
آب دریا، سرعت جریان‌های دریایی و شوری سطحی آب) با میزان پراکنش و تراکم ماهی هورر طراحی شد تا بتوان با استفاده از نتایج آن صیادان را برای صید در آن مناطق هدایت کرد.

مواد و روش کار

در این تحقیق از داده‌های صید ۵ شناور پرساین به نام‌های آزادگان، هورر ۱، ۲، ۳ و پارسیان شیلا که عمدتاً گله‌های آزاد تون ماهیان را هدف صید قرار می‌دهند، استفاده شد. این داده‌ها به صورت ماهانه طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۶ در کتابچه عملیات صید ثبت شده بودند. از حدود ۱۱۳۸ موقعیت تور ریزی ثبت شده به‌وسیله شناورهای پرساینر، ۱۴۷ تور ریزی متعلق به ماهی هورر بوده است، محدوده جغرافیایی صید ماهی هورر به‌وسیله شناورهای پرساینر در آب‌های ایرانی دریای عمان در شکل ۱ نشان داده شده است.

آب‌های جنوب کشور محسوب می‌شود و متوسط رشد سالانه این گونه طی نزدیک به دو دهه (۹۵-۱۳۷۶) ۶ درصد بوده است (تقوی مطلق، ۱۳۹۷). آمار صید ماهی هورر در آب‌های ایران از ۱۷۸۷۲ تن در سال ۱۳۷۶ به ۴۸۴۵۱ تن در سال ۱۳۹۸ رسیده، البته میزان صید طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۴ کاهش یافته است (Iran National Report, 2020).

مطالعات متعددی بر رابطه بین صید موفق و فاکتورهای محیطی و نیز ابزار و ادوات صید پرساین انجام گرفته که در واقع، شناسایی مناطق بالقوه ماهیگیری از طریق آنها انجام گرفته است (Jiang *et al.*, 2005; Hosseini *et al.*, 2011; Grande *et al.*, 2016; Hagi Vayghan *et al.*, 2017; Griffiths, 2020; Orúe *et al.*, 2020). تحقیق حاضر بر همین مبنا و در راستای استخراج ارتباط بین فاکتورهای محیطی (عرض جغرافیایی، دمای سطحی



شکل ۱: نقشه موقعیت صید تون ماهیان توسط شناورهای پرساینر (۹۸-۱۳۹۴)
Figure 1: Map of tuna fishing position by pursiner fishing vessel (2015-2019)

منابع ماهواره‌ای استخراج داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. برای استخراج مقدار دما، شوری و کلروفیل a از تصاویر ماهواره‌ای در نقاط برداشت شده دریایی از ۳ منبع به شرح جدول ۱ استفاده شده است.

به منظور تعیین میزان صید به ازاء واحد تلاش صیادی (CPUE)، میزان صید بر هر تورکشی در روز از طریق معادله ذیل محاسبه شد (Karakulak, 2004):

$$CPUE = \frac{Catch}{Effort}$$

معادله ۱

Catch = مقدار صید هر گونه (تن)، Effort = تلاش صیادی

جدول ۱: مشخصات ماهواره‌های استخراج پارامترهای محیطی در دریای عمان
Table 1: characteristics of satellites extracting environmental parameters in the Oman Sea

نحوه پردازش	وضوح زمانی	واحد	وضوح مکانی	منبع داندود/ سنجنده یا مدل	پارامتر مؤثر
MATLAB ^d	Daily	°C	500 m 2.5 Minutes 0.08 Degree	MODIS ^a Aqua/Terra GCOM ^b HYCOM ^c	دمای سطحی آب (SST) ^۱
MATLAB	Daily	Psu	500 m 0.08 Degree	MODIS Aqua/Terra HYCOM	شوری سطحی آب ^۲
MATLAB	Daily	mg/m ³	500 m 2.5 Minutes 0.08 Degree mg/m ³	MODIS Aqua/Terra GCOM HYCOM	غلظت کلروفیل a- (Chl-a) ^۳
MATLAB	Daily	mg cm ⁻³	500 m	MODIS Aqua/Terra	کربن آلی محلول (POC) ^۴
MATLAB	Daily	cm/s	0.08 Degree	HYCOM	سرعت جریانات دریایی ^۵
MATLAB	Weekly	cm	0.08 Degree	HYCOM	ارتفاع سطحی آب (SSH) ^۶

^aMODIS Aqua/Terra: NASA Ocean Color Web

^bGCOM: (Global Change Observation Mission) is a freely available software that is showd long-term observation of Earth environmental

^cHYCOM :Hybrid Coordinate Ocean Model provides access to near real time global ocean prediction web

^dMATLAB is a registered software of Mathworks Inc. Version 5.2.0

¹ Sea Surface Temperature

² Salinity

³ Chlorophyll-a concentration

⁴ Particulate organic carbon

⁵ Sea Surface Current Velocities

⁶ Sea Surface Height

حضور ماهی هوور برای همه سلول های شبکه در منطقه مورد بررسی محاسبه شد:

$$\text{معادله (۳)} \quad e^{g(x)} = \text{احتمال حضور ماهی هوور}$$

$g(x)$ = معادله رگرسیون حاصل از مدل جمعی تعمیم یافته می باشد. با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته، مقادیر احتمال حضور (دامنه صفر الی یک) برای هر ایستگاه محاسبه شد. داده های احتمال حضور، به صورت فرمت مناسب برای استفاده در GIS به عنوان یک لایه اطلاعاتی پردازش و آماده شد (Valavanis et al., 2008). با استفاده از نرم افزار Arc GIS10 و با به کارگیری ابزار "Spatial analysis" و تکنیک درون یابی وزن دهی معکوس فاصله^۲، نقشه های مطلوبیت زیستگاه بر اساس لایه اطلاعاتی احتمال حضور استخراج گردید (معادله ۴). معکوس فاصله یک روش وزن دهی متوسط است که در آن داده ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره های شبکه بندی شده، طبق معادله ذیل وزن دهی می شوند (Booth and Booth, 2000):

$$\text{معادله ۴} \quad Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

W_i = فاصله i امین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین $Z(x)$ ، Z_i = مقدار متغیر مشاهده شده، n = تعداد نقاط مجاور

بعد از برازش مدل ها، پیش بینی احتمال مطلوبیت زیستگاه برای ماهی هوور در منطقه مورد بررسی به صورت نقشه های مطلوبیت زیستگاه ماهی ارائه گردید (Valavanis et al., 2008). آنالیزهای انجام رگرسیون (GAM) و تحلیل کاهشی (RDA)، در محیط نرم افزار R و بسته های آماری مرتبط شامل mgcv (v1. 8-34; Wood, 2011) و vegan (Version 2.5-7.) انجام شد.

نتایج

ترکیب گونه ای صید تون ماهیان به وسیله شناورهای پرساین در آبهای دریای عمان نشان می دهد در سال های

نتایج آنالیز تحلیل کاهشی^۱ به صورت یک نمودار همبستگی ارائه شد که متغیرهای پاسخ و اکتشافی را نشان می دهد. طول و زاویه در نمودار همبستگی بیانگر همبستگی های بین متغیرهای پاسخ و محیطی و نیز بین خود متغیرهای پاسخ و متغیرهای محیطی می باشد. محدودیت این روش، فرض خطی بودن پاسخ گونه ها به شیب تغییرات محیطی است. از این رو، از لگاریتم تغییر یافته $\ln(x)$ برای خطی کردن بیشتر متغیرهای اکتشافی استفاده شد (Kleyer et al., 2012).

نتایج تحلیل های چند متغیره به عنوان یک تحلیل توضیحی قبل از مدل سازی جمعی تعمیم یافته (GAM) استفاده می شوند (Valavanis et al., 2008). از این رو، هدف از به کار بردن مدل جمعی تعمیم یافته، به حداکثر رساندن کیفیت پیش بینی متغیر وابسته، کشف روابط غیرخطی و غیریکنواخت بین متغیر پاسخ و مجموعه متغیرهای توضیحی است. در مدل های جمعی تعمیم یافته، بسط مدل های تعمیم یافته را به صورت معادله (۲) بیان می کنند:

$$\text{معادله ۲} \quad g(x) = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(x_j)$$

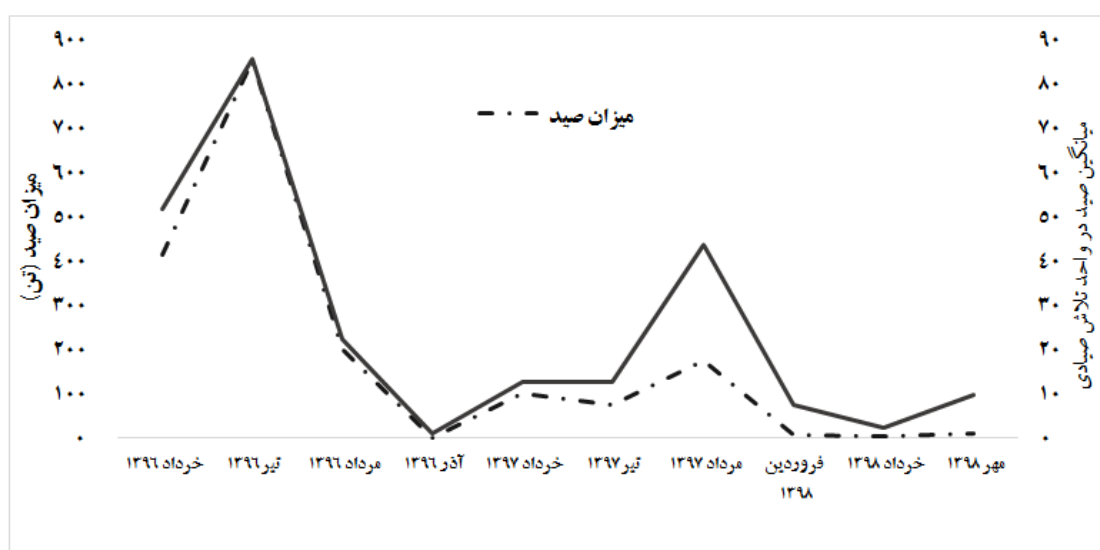
در اینجا α عرض از مبدأ و بیانگر حضور گونه یا صید به ازاء واحد تلاش می باشد و در آن فرض می شود f_j ها توابعی نامعلوم و هموارند. به طور خاص از روی داده ها با استفاده از تکنیک پیشرفته هموارساز نمودار پراکنش برآورد می شود. بنابراین، به جای این که منحنی پاسخ با اشکال موجود در کلاس پارامتری محدود شود، مدل جمعی تعمیم یافته اجازه می دهد که داده ها، شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند. این توابع قابلیت جمع پذیری دارند. از آنجایی که اثر هر متغیر به صورت جداگانه بیان می شود، هر تابع می تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ به صورت جداگانه بررسی شود (Hastie and Tibshirani, 1990). برای مدل نهایی، مقادیر برازش و ضرایب برای هر متغیر در معادله $e^{g(x)}$ قرار داده شد (معادله ۳) و احتمال وقوع

² - Inverse distance weighted

¹ Redundancy analysis

میزان صید با ۱ تن در آذر ماه سال ۱۳۹۶ همراه بوده است. در سال ۱۳۹۷ بالاترین مقدار شاخص فراوانی صید بر واحد تلاش برحسب تورریزی در مرداد ماه با ۱۷۵ تن در هر تور ریزی و کمترین در خرداد ماه با ۱۲ تن در هر تور ریزی ثبت شده است در سال ۱۳۹۸ بالاترین مقدار شاخص فراوانی صید بر واحد تلاش برحسب تورریزی در مهرماه با ۱۰ تن در هر تورریزی کمترین مقدار در خرداد ماه با ۲/۵ تن در هر تورریزی به‌دست آمد (شکل ۲).

۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۲۶ درصد، ۲۸ درصد و ۱۳ درصد از ترکیب گونه‌های مورد هدف صید شناورهای پرساینر را ماهی هوور تشکیل داده است. شاخص فراوانی صید بر واحد تلاش برحسب تورریزی برای ماهی هوور در نیمه اول هر سال (ماه‌های خرداد، تیر و مرداد) در آبهای ایرانی دریای عمان نسبتاً بالا می‌باشد. بالاترین مقدار صید بر واحد تلاش بر حسب تورریزی برای ماهی هوور در تیرماه سال ۱۳۹۶ با ۸۵۵ تن در هر تورریزی و کمترین



شکل ۲: مقایسه صید و میزان صید بر واحد تلاش صیادی در ماه‌های مختلف برای ماهی هوور در دریای عمان (۱۳۹۶-۹۸)

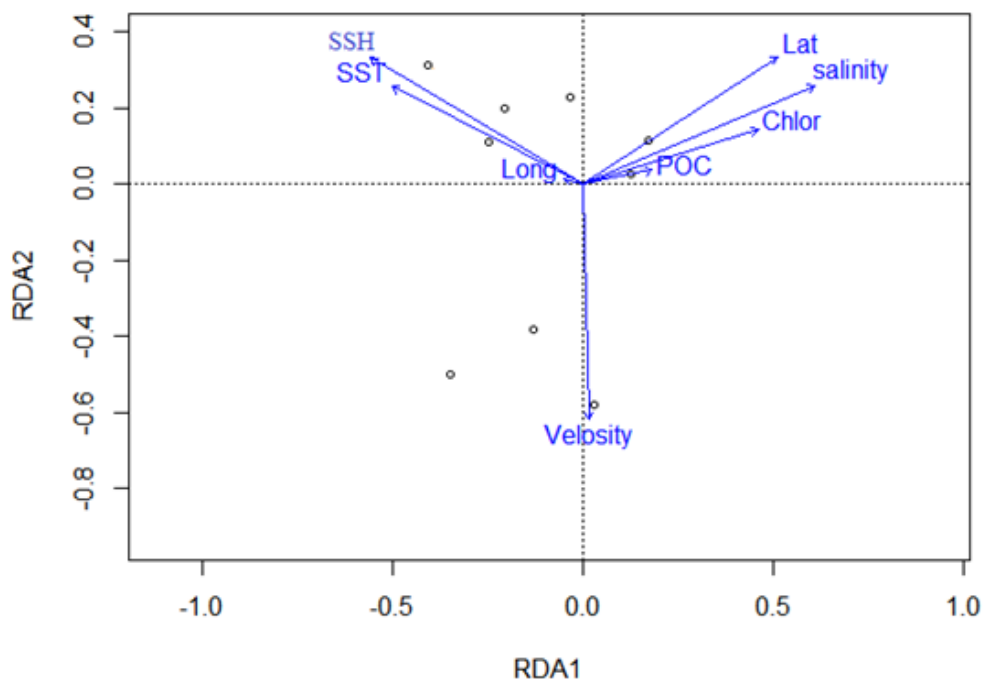
Figure 2: Comparison of catch and catch per unit of fishing effort in different months for Longtail tuna in the Oman Sea (2017-2019)

جغرافیایی، کلروفیل a و کربن آلی محلول مهم‌ترین متغیرها در محور اول می‌باشند. طول جغرافیایی، ارتفاع دریا، شوری سطح آب و درجه حرارت سطحی آب مهم‌ترین متغیرها در محور دوم بودند. اولین محور ۴۷ درصد از واریانس تجمعی روابط بین گونه-محیط را به‌خود اختصاص داده است که در محور چهارم واریانس تجمعی به ۱۰۰ درصد می‌رسید. در اولین محور، همبستگی بین گونه-محیط زیست ۰/۴۶ محاسبه شد درحالی‌که در محور دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۰/۴۴، ۰/۱۸ و ۰/۱۹ به‌دست آمد.

از مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برای بررسی روابط غیر خطی بین متغیرهای پاسخ و توصیفی استفاده شد. ارتباط میزان حضور ماهی هوور (۱- حضور و ۰- عدم حضور) با متغیرهای محیطی برای منطقه دریای عمان مورد بررسی و آنالیز شد و سپس برای پیش‌بینی احتمال حضور ماهی هوور در مقیاس شبکه‌های محیطی ۳ مایل مربع استفاده شدند. مقادیر p-value حاصل از آزمون مونت کارلو بیانگر معنی‌دار بودن روش آنالیز تحلیل کاهشی نیز برای محور اول و محور دوم بود (جدول ۲). شکل ۳ نشان‌دهنده تغییرات شاخص محیطی است که حضور ماهی هوور تحت تاثیر اولین و دومین محور بود. شوری سطح آب، عرض

جدول ۲: همبستگی تحلیل کاهشی ماهی-محیط و آزمون مونت کارلو برای محورها

Table 2: Species–environment RDA correlations and Monte Carlo tests of significance of axes				
محور اول	محور دوم	محور سوم	محور چهارم	
۰/۰۳۸	۰/۰۱۸۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۸	مقادیر ویژه
۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۱۸	۰/۱۹	همبستگی گونه-محیط زیست
۳۵	۶۲	۸۴	۱۰۰	درصد واریانس تجمعی داده‌های گونه
۴۷	۶۵	۸۹	۱۰۰	درصد واریانس تجمعی رابطه گونه-محیط
جمع همه مقادیر ویژه: ۰/۳۹				
جمع مقادیر ویژه همه محورها: ۰/۰۵				
آزمون مونت کارلو (۱۰۰۰ تکرار)		F-ratio	p-value	
اولین محور		۱۶/۵۱	۰/۰۰۱	Eigenvalue=۰/۰۳۸
همه محورها		۰/۳۲	۰/۰۰۱	Residual = ۱۴۲



شکل ۳: نمودار همبستگی تحلیل کاهشی: متغیرهای محیط شامل: LAT: عرض جغرافیایی، LON: طول جغرافیایی، SST: دمای سطح آب- (لگاریتم طبیعی)؛ POC کربن آلی محلول (لگاریتم طبیعی)؛ SSH ارتفاع دریا (لگاریتم طبیعی)؛ Chl-a کلروفیل (لگاریتم طبیعی)؛ Salinity شوری سطحی دریا (لگاریتم طبیعی)؛ Velocity سرعت جریانات (لگاریتم طبیعی)

Figure 3: Redundancy Analysis (RDA) illustrating the relationship between environmental variables LAT, LON, SST, POC, SSH, Chl-a, Salinity and Velocity (natural log).

سرعت جریانات دریایی از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش این گونه هستند.

در شکل ۴ مؤلفه‌های هموارسازی برای متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش ماهی هوور در منطقه‌ی مورد مطالعه

گزینه‌ی متغیرها با استفاده از تابع گاوسی در مدل GAM انجام گرفت (جدول ۳). نتایج بیانگر این مطلب است که در مدل GAM برای ماهی هوور، متغیرهای عرض جغرافیایی، دمای سطحی آب، شوری سطحی دریا و

افزایش و سپس روند کاهشی دارد. سرعت جریان‌های دریایی چهارمین متغیر مؤثر در دریای عمان برای ماهی هوور بود که در دامنه ۸۹-۶۴ سانتی‌متر بر ثانیه قرار داشته و اثر معنی‌دار و مثبت با حضور ماهی هوور داشت. ارتفاع سطحی دریا و کلروفیل a متغیرهای بودند که اثر آنها در این مدل معنی‌دار نبود ($p < 0.1$) و اثر کمتری بر احتمال حضور ماهی هوور نشان داد. همچنین نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه ماهی هوور با استفاده از مدل GAM تولید و در کلاس کم (-0.05) الی زیاد (0.17) طبقه‌بندی گردید (شکل ۵).

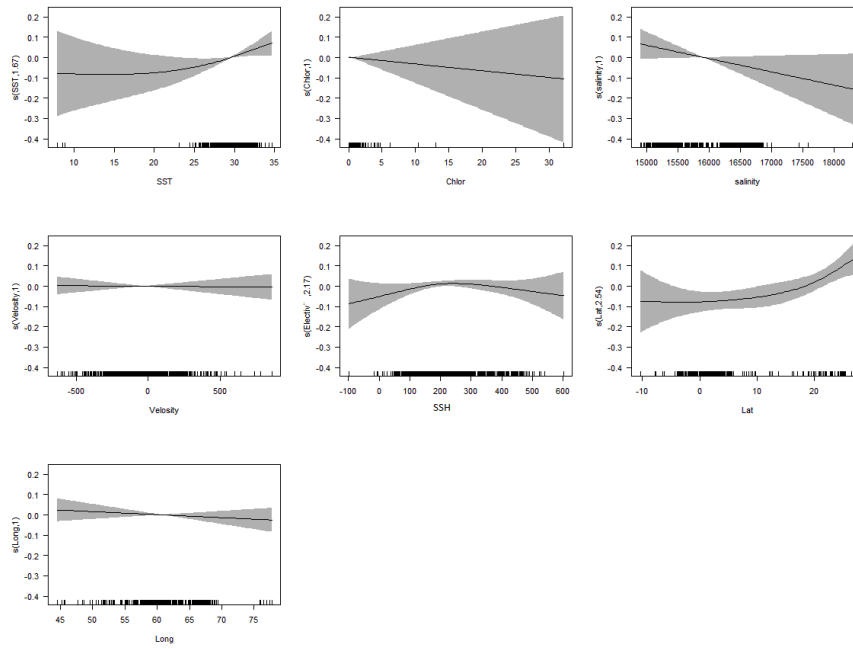
نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود عرض جغرافیایی در محدوده ۲۵-۲۳ درجه اثر مثبت را با حضور گونه نشان می‌دهد. دمای سطحی آب دومین متغیر توصیفی مهم بود که در دامنه ۳۳-۲۵ درجه سانتی‌گراد دارای اثر مثبت و قوی بر حضور ماهی هوور را نشان می‌دهد. متغیر شوری سطحی آب، سومین متغیر مهم بود که در دامنه ۳۶/۱-۳۵/۹ psu اثر منفی بر حضور ماهی هوور نشان می‌دهد. شوری سطحی آب با حضور گونه ابتدا

جدول ۳: نتایج برازش (اهمیت نسبی و درجه آزادی) مدل جمعی تعمیم‌یافته برای ماهی هوور

Table 3: Relative importance and degree of freedom of generalized additive models for Longtail tuna

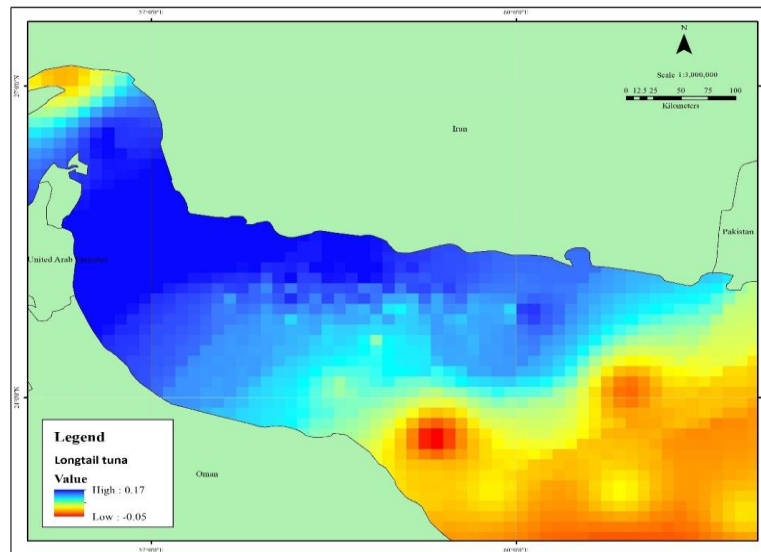
Gaussian		تابع
	identity	تابع پیوند ^۱
	۰/۰۴۹۶	ضریب تعیین تعدیل شده (r^2 Adjusted)
	٪۹/۱۵	Deviance explained (%)
	۰/۰۳۴	GCV score
	۳۷۷/۲۶	معیار ارزیابی (AIC)
p-value	Edf	کوواریانس
$p < 0.001$	۱/۶۷۳	درجه حرارات سطحی (SST)
$p < 0.1$	۱/۰۰۰	کلروفیل (Chl-a)
$p < 0.001$	۱/۰۰۰	شوری سطحی آب (Salinity)
$p < 0.1$	۱/۰۰۰	سرعت جریان‌های دریایی (Velocity)
$p < 0.1$	۲/۱۷۴	ارتفاع سطحی آب (SSH)
$p < 0.001$	۲/۵۴۱	عرض جغرافیایی (Lat)
$p < 0.1$	۱/۰۰۰	طول جغرافیایی (Long)

¹ Link function



شکل ۴: رابطه معنی دار متغیرهای محیطی با میزان حضور ماهی هوور با استفاده از مدل GAM (همه سال ها ادغام شده اند). خط تیره بیانگر معادله مناسب برازش شده و هاشور طوسی بیانگر فاصله اطمینان ۹۵ درصدی می باشد.

Figure 4: GAM plots for Longtail tuna presence (all years all zones combined) showing the effect of every environmental variable on fish presence. The dashed line represents fitted GAM function and grey band is a 95% credible interval computed



شکل ۵: نقشه پیش بینی حضور ماهی هوور در آبهای دریای عمان در مدل GAM
Figure 5: Spatial prediction with GAM for Longtail tuna presence in the Oman sea

بحث

بررسی سهم صید ابزار مختلف صید تون ماهیان در آبهای جنوب کشور نشان می‌دهد که همچنان تورهای گوشگیر به عنوان ابزار صید غالب (بیش از ۹۰ درصد صید کل تون ماهیان) در منطقه می‌باشند که در این میان استفاده از ابزارهای صید پرساین و نیز در سال‌های اخیر، لانگ لاین (رشته قلاب های طوبل) به‌ویژه در آبهای ساحلی چابهار، سهم اندکی در میزان صید تون ماهیان تخلیه شده دارند. ماهی هوور عمدتاً با شناورهای گوشگیر و به میزان کمتر با پرساینرها صید می‌شوند، اما با توجه به اینکه موقعیت مکانی دقیق شناورهای گوشگیر در دریای عمان ثبت نمی‌گردد، لذا نمی‌توان تجزیه و تحلیلی از وضعیت زیستگاه مطلوب آنها داشت. در سال ۱۳۹۸ صید هوور به روش گوشگیر و پرساین به ترتیب ۴۸ هزار تن و ۴۶۷ تن ثبت شده است (Iran National Report, 2020).

بررسی میزان صید ماهانه شناورهای پرساین طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۴ حاکی از آن است که گونه‌های هوور، گیدر و هوور مسقطی عمدتاً از اواخر خرداد ماه لغایت پایان مهر ماه در معرض صید قرار می‌گیرند و عموماً برای صید این گروه از ماهیان هیچ نوع توقف یا محدودیت زمانی رسمی صید پیش بینی نشده است. علاوه بر آن، یک اوج صید کوچک‌تر در زمستان (دی ماه) و قبل از اوج اصلی دیده می‌شود که این روند هر ساله تکرار می‌گردد (وهاب نژاد، ۱۴۰۰). عمده ترکیب صید شناورهای ایرانی پرساین در آبهای انحصاری-اقتصادی ایران در دریای عمان ماهی هوور در فصل‌های بهار و تابستان بوده است که به دلیل وجود مانسون در تابستان، صید ناوگان گوشگیر حداقل یا متوقف می‌گردد و پرساین‌ها فعال هستند.

نتایج این مطالعه نشان داد، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش ماهی هوور عرض جغرافیایی، دمای سطحی آب، سرعت جریان‌های دریایی و شوری آب است. نتایج مطالعات حقی وایقان و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که متغیرهای زمانی مانند ماه صیادی، متغیر مکانی، شوری سطحی آب دریا، عمق لایه مخلوط شونده و نیز دمای سطحی آب از جمله عوامل مؤثر بر پراکنش ماهی هوور می‌باشد.

نظر به اینکه گونه‌های هدف پرساینرها عمدتاً ماهی گیدر می‌باشد و بر اساس نتایج داده‌های موجود، فاکتورهای مکانی مانند عرض جغرافیایی به عنوان اولین و مهم‌ترین متغیر توصیفی در پیش‌بینی شاخص مطلوبیت زیستگاه نشان داده شد. عرض جغرافیایی در مختصات ۲۵-۲۳ درجه، می‌تواند به عنوان مرز یا منطقه‌ای که بیشترین حضور ماهی هوور را نشان دهد، معرفی شود و بیانگر تمایل این آبزیان به آبهای گرمسیری می‌باشد. از این‌رو، کمتر به سایر مناطق مهاجرت می‌کند. فاکتورهای مکانی (مختصات جغرافیایی) نقش قابل ملاحظه‌ای در پراکنش گونه‌های تون ماهیان دارد که در مطالعات مختلف (Morrell and James, 2008; Erauskin-Extramiana et al., 2019; Orúe et al., 2020) نشان داده شده است. نتایج این بررسی با مطالعه حقی وایقان و همکاران (۱۳۹۹) "تعیین شاخص‌های مطلوبیت زیستگاه ماهی هوور" تا حدودی تطبیق داشت. تحقیق حاضر منطقه پراکنش و تراکم بالای تون هوور را از منطقه میناب در استان هرمزگان تا خلیج چابهار در استان سیستان و بلوچستان به دلیل مطلوبیت بالای زیستگاهی پیش‌بینی کرده و از خلیج چابهار به سمت شرق دریای عمان را با مطلوبیت زیستگاه ماهی متوسط برای ماهی هوور تخمین زده است. اما در تحقیق حقی وایقان و همکاران (۱۳۹۹) با مدل حداکثر آنتروپی تنها مناطق بریس تا گواتر را به عنوان زیستگاه‌های با مطلوبیت بالا برای این گونه بیان کرده است.

دمای سطحی آب دریا در محدوده ۲۵-۳۳ درجه سانتی‌گراد و سرعت جریان‌های دریایی در دامنه ۶۴-۸۹ سانتی‌متر بر ثانیه را می‌توان به ترتیب به عنوان دومین و سومین متغیر مؤثر بر پراکنش و تراکم ماهی هوور در آبهای مناطق مورد مطالعه نام برد. این متغیرها در پراکنش عمودی و افقی تون ماهیان در اقیانوس‌ها مؤثر هستند (Zuur et al., 2009; Alabia et al., 2016; Griffiths, 2020). در نتیجه، می‌توانند در دسترسی به غذای شکارچینی مانند تون ماهیان از طریق انتقال مواد غذایی از اعماق و ایجاد لایه غنی از زئوپلانکتون‌ها، نقش کلیدی ایفاء نمایند.

با توجه به درجه حرارت بالا در آبهای کرانه‌ای دریای عمان و تبخیر زیاد در این مناطق، میزان شوری نسبت به آبهای اقیانوس هند بالاتر است (بحری و خسروی، ۱۳۹۹). از سوی دیگر، با توجه به محدوده مناسب متغیرهای اصلی مطلوبیت زیستگاه در آبهای استان سیستان و بلوچستان، حضور ماهی هوور در محدوده شوری ۳۵/۹-۳۶/۱ psu و دمای سطحی ۲۵-۳۳ درجه به نسبت سایر مناطق بیشتر بوده است که می‌توان گفت آبهای دریای عمان به‌خصوص آبهای مناطق میناب و جاسک مناطق مستعد حضور ماهی و تراکم هوور است. سراسر منطقه دریای عمان، آبهای سطحی از نقطه نظر اکسیژن در حد اشباع است. اما مقادیر آن متأثر از میزان درجه حرارت و شوری می‌باشد. کمترین مقادیر دمای سطح آب منطقه دریای عمان مربوط به ماه‌های فصل زمستان (کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد) به دلیل عقب نشینی بادهای موسمی در این فصل است که باعث کاهش درجه حرارت و کاهش دمای آب شده است (قاضی و همکاران، ۱۴۰۰). این عوامل می‌توانند محدود کننده حضور و تراکم ماهی هوور در فصل زمستان محسوب شوند. همچنین بررسی رژیم غذایی ماهی هوور حاکی از تنوع پایین طعمه‌ها و عمدتاً شامل آبزیان پلاژیک ریز در سطوح اولیه غذایی (Griffiths *et al.*, 2007) و سخت‌پوستان ریز و ماهیان پلاژیک است (درویشی و همکاران، ۱۳۸۲) که در مقایسه با سایر تون ماهیان گرمسیری متفاوت است. می‌توان نتیجه گرفت که به علت در دسترس بودن طعمه‌ها، بالا بودن کدورت آب در مناطق ساحلی نسبت به مناطق اقیانوسی، حضور در زمان مانسون، بالا بودن درجه حرارت سطحی و شوری آب در منطقه دریای عمان، ماهی هوور نسبت به سایر تون ماهیان در برابر تغییرات محیطی تحمل بیشتری خواهد داشت.

طبق بررسی‌های صورت گرفته اثر غلظت کلروفیل-a در میزان پراکنش و تراکم ماهی هوور در مقایسه با درجه حرارت سطحی و ارتفاع سطحی دریا بسیار ناچیز است که احتمالاً به دلیل قرار گرفتن موقعیت تور پراسین در آبهای الیگوتروف با مقدار کم تولیدات اولیه خالص است (Yen *et al.*, 2016) ($NPP < 500 \text{ mgC m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). در بسیاری از ماه‌های مورد بررسی در این تحقیق مانند

مطالعات انجام شده Griffiths (۲۰۲۰) با استفاده از اطلاعات تگ‌گذاری، عمق مطلوب زیست برای ماهی هوور در آبهای ساحلی حداکثر ۹۰ متر و دمای سطحی آب مطلوب در دامنه ۲۳-۲۸ درجه سانتی‌گراد بیان کرده است. این مطالعه تأکید دارد که حضور ماهی هوور در آبهای کم عمق و عدم مهاجرت عمودی، به طور قابل‌توجهی با عادات رفتاری سایر گونه‌های تون ماهیان متفاوت است که می‌تواند به دلیل عدم تکامل در کیسه شنای آنها باشد. نتایج مطالعات انجام شده این فرضیه که این گونه دارای توزیع و پراکنش نسبی تقریباً منحصربه‌فردی است، تأیید می‌کند (Yesaki, 1994). نقص کیسه شنا در ماهی هوور توانایی جستجو کردن برای طعمه را برای آنها محدود می‌کند و باعث می‌شود از شکار در اعماق دریا اجتناب کند و بیشتر ترجیح دهد در آبهای اپی‌پلاژیک زیست کند تا بتواند حرارت بدن را برای تسهیل در شیرجه‌های بعدی تنظیم نماید (Griffiths *et al.*, 2020).

ماهی هوور می‌تواند صدها کیلومتر طی هفته حرکت کند و یک حرکت فصلی قوی از ماهی هوور هم‌زمان با گسترش جریان جنوب استرالیا شرقی (EAC) بین ماه‌های فوریه و می مشاهده شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد، به طور غیرقابل‌انتظاری تمام ماهیانی که علامت‌گذاری شده بودند، در فصل تابستان و پاییز به دنبال افزایش سرعت جریان‌ات و دمای سطحی آب به سمت شمال مهاجرت داشته‌اند که می‌تواند: ۱- به دلیل ویژگی جریان‌ات و تسهیل حرکت آنها و ۲- رفتار ذاتی آنها برای مهاجرت به مناطق تخم‌ریزی در آبهای شرق استرالیا باشد (Archer *et al.*, 2017). زیرا در فصل تخم‌ریزی (می تا آگوست) به تنها محل تخم‌ریزی گونه‌ها در آبهای شرق استرالیا رسیده‌اند (Griffiths *et al.*, 2020). هنگامی که در آن منطقه درجه حرارت سطحی آب دریا به ۲۷-۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. به رغم مطالعات متعدد که تأثیر جریان‌ات دریایی را بر حرکت فصلی و پراکنش تون ماهیان اقیانوسی نشان می‌دهد، مطالعات اندکی بر تأثیر جریان‌ات بر رفتار تون ماهیان مناطق نرتیک صورت گرفته است (Syahailatua *et al.*, 2011).

قبل از زمان ممنوعیت صید در ماه‌های خرداد لغایت مرداد ماه، هر ساله فعالیت ماهیگیری را متوقف می‌کنند (Moazzam, 2020)، کما اینکه مشابه این پیشنهاد در مدیریت صید تون باله آبی در شرق استرالیا به روش لانگ‌لاین با هدف کاهش صید اتفاقی این گونه با موفقیت انجام شده است.

تشکر و قدردانی

از معاونت صید و بنادر ماهیگیری سازمان شیلات ایران برای در اختیار قرار دادن داده‌های سری‌های زمانی صید صنعتی تون ماهیان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- بحری، ع. و خسروی، ی.، ۱۳۹۹. بررسی روند بلند مدت تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریای عمان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۸): ۲۱۷-۱۹۹.
- پارسا، م.، کامرانی، ا.، صفائی، ص.، پیغمبری، ی. و نیشیدا، ت.، ۱۳۹۶. بررسی فراوانی طولی، رابطه طول-وزن و صید به ازای واحد تلاش ماهی هوور معمولی (*Thunnus tonggol*) و گیدر (*Thunnus albacares*) در صید به روش پرس‌ساین در دریای عمان. مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۷(۲): ۲۹-۱۹.
- تقوی مطلق، س.ا.، ۱۳۹۷. ماهیان اقتصادی خلیج فارس و دریای عمان و پیش‌بینی برداشت پایدار از ذخایر آنها. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور. ۶۶۰ صفحه.
- حقی وایقان، ع.، کنگرلویی، آ. و کیمرام، ف.، ۱۳۹۹. ارتباط برخی متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای با شاخص صید بر واحد تلاش (CPUE) ماهی هوور معمولی (*Thunnus tonggol* Bleeker) (1851 در آب‌های دریای عمان. مجله علمی شیلات ایران، ۲۹: ۸۵-۹۶.
- درویشی، م.، بهزادی، س. و سالارپور، ع.، ۱۳۸۲. تخم‌ریزی، همآوری و تغذیه ماهی هوور (*Thunnus tonggol*) در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان

تیر، مرداد، مهر و آبان طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۶، مقدار کلروفیل به‌وسیله سنجنده مودیس ثبت نشده بود که این احتمال وجود دارد که مقدار کلروفیل سطح آب بسیار ناچیز بوده است که قابل ثبت و اندازه‌گیری با سنجنده مودیس نبوده است و با توجه به صید بالا در این ماه‌ها می‌توان گفت که کلروفیل در بخش‌های عمیق‌تر بوده است و داده‌های ماهواره‌ای که از سطح آب به‌دست می‌آیند، نتوانسته‌اند میزان کلروفیل را در منطقه اندازه بگیرند که این نتیجه‌گیری با مطالعات انجام شده در بررسی کلروفیل آب در نیوزلند مطابقت داشت (Jiang et al., 2005).

نتایج تحقیق نشان از بالا بودن شاخص صید بر واحد تلاش در ماه‌های تیر و مرداد در آب‌های ایرانی دریای عمان هم‌زمان با آغاز فصل تخم‌ریزی این ماهی داشت به‌طوری‌که در مطالعه درویشی و همکاران (۱۳۸۲) مشاهده گردید، زمان اصلی تخم‌ریزی در تابستان با اوج آن در مرداد ماه می‌باشد. مطالعه پارسا و همکاران (۱۳۹۶) مشخص کرد که حدود ۳۴ درصد از ماهیان هوور صید شده از طریق شناورهای پرساینر، بین ماه‌های تیر و مرداد سال ۱۳۹۴ در آب‌های ایرانی دریای عمان، نابالغ بوده و فرصتی برای تخم‌ریزی نداشته‌اند.

برای صید تون ماهیان هیچ نوع توقف یا محدودیت زمانی رسمی صید در آب‌های جنوب کشور تاکنون پیش‌بینی نشده است. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، مناطق زیستگاهی با مطلوبیت بالای گسترده در دریای عمان برای هوور وجود دارد، اما با در نظر گرفتن میل ذاتی ماهی هوور برای زیستن در آب‌های کم‌عمق‌تر و در ناحیه فلات قاره (منطقه نریتیک) پیشنهاد داده می‌شود که برای مناطق زیستگاهی مطلوب ماهی هوور محدودیت‌های مکانی و زمانی صید با هدف کاهش فشار صیادی در نظر گرفته شود. در آب‌های پاکستان کاهش سالانه صید ماهی هوور را به عواملی از قبیل در دسترس نبودن این ماهی در آب‌های شمال دریای عرب، پایین بودن قیمت این ماهی، بالابودن ارتفاع سطحی دریا (SSH)، دمای سطحی بالای دریا (SST) و نیز بلوم عروس دریایی گونه (*Crambionella orsini*) (مختصات جغرافیایی ۱۹-۱۷ درجه شمالی) ارتباط داده‌اند که موجب شده است صیادان

- Grande, M., Murua, H., Zudaire, I., Arsenault-Pernet, E., Pernet, F. and Bodin, N., 2016.** Energy Allocation Strategy of Skipjack Tuna *Katsuwonus Pelamis* During Their Reproductive Cycle. *Journal of Fish Biology*, 89: 2434-2448. DOI:10.1111/jfb.13125
- Griffiths, S.P., Fry, G.C., Manson, F.J. and Pillans, R.D., 2007.** Feeding Dynamics, Consumption Rates And Daily Ration Of Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) In Australian Waters, With Emphasis on The Consumption of Commercially Important Prawns. *Marine And Freshwater Research*, 58: 376-397. DOI:10.1071/MF06197
- Griffiths, S.P., 2020.** Restricted Vertical and Cross-Shelf Movements of Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) As Determined By Pop-Up Satellite Archival Tags. *Marine Biology*, 167: 1-12. DOI:10.1007/s00227-020-03733-7
- Haghi Vayghan, A., Ghorbani, R., Peyghambari, S., Lee, M., Kaplan, D. and Block, B., 2017.** Relationship Between Yellowfin Tuna (*Thunnus Albacares*) Distribution Caught by Iranian Purse Seiners and Environmental Variables in The Indian Ocean. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*:26 (1) :67-82.
- Hastie, T. and Tibshirani, R., 1990.** Exploring The Nature Of Covariate Effects In The Proportional Hazards Model. *Biometrics*, 1005-1016.
- (محدوده استان هرمزگان). پژوهش و سازندگی، ۱۶: ۷۰
- قاضی، ا.، بیدختی، ع. و ذوالجودی، م.، ۱۴۰۰. مطالعه وارونگی‌های دما و شوری در آب‌های دریای عمان. نشریه علمی پژوهشی اقیانوس‌شناسی، ۱۲: ۱۷-۲۷.
- وهاب نژاد، آ.، ۱۴۰۰.** بررسی امکان استفاده از سنجش از دور برای برآورد پراکنش تون ماهیان در آب‌های دریای عمان- فاز نخست: مطالعاتی. گزارش نهایی موسسه تحقیقات علوم شیلاتی، ۱۱۷ صفحه.
- Alabia, I.D., Saitoh, S.I., Igarashi, H., Ishikawa, Y., Usui, N., Kamachi, M., Awaji, T. and Seito, M., 2016.** Ensemble Squid Habitat Model Using Three-Dimensional Ocean Data. *ICES Journal of Marine Science*, 73: 1863-1874. DOI:10.1093/icesjms/fsw075
- Archer, M.R., Roughan, M., Keating, S.R. and Schaeffer, A., 2017.** On The Variability of The East Australian Current: Jet Structure, Meandering, and Influence On Shelf Circulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122: 8464-8481. DOI:10.1002/2017JC013097
- Booth, R.E. and Booth, B., 2000.** Using Arcgis 3D Analyst: GIS By ESRI, Esri Press.
- Dan, F., 2020.** Assessment of Indian Ocean Longtail Tuna (*Thunnus Tonggol*) Using Data-Limited Methods. IOTC-2020-WPNT10-13,16
- Erauskin-Extramiana, M., Arrizabalaga, H., Hobday, A. J., Cabré, A., Ibaibarriaga, L., Arregui, I., Murua, H. and Chust, G., 2019.** Large-Scale Distribution of Tuna Species in a Warming Ocean. *Global Change Biology*, 25: 2043-2060. DOI:10.1111/gcb.14630

- Hosseini, S.A., Lee, C.W., Kim, H.S., Lee, J. and Lee, G.H., 2011.** The Sinking Performance of The Tuna Purse Seine Gear With Large-Meshed Panels Using Numerical Method. *Fisheries Science*, 77: 503-520.
- Iran National Report, 2020.** Iran Islamic Republic of National Report To The Scientific Committee Of The Indian Ocean Tuna Commission. 20th Meeting of The IOTC Scientific Committee, Mahé, Seychelles, 2020.
- Jiang, L.B., Xu, L.X. and Huang, J.L., 2005.** Relationship Between Vertical Distribution Of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) and Water Temperature In Indian Ocean. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 14 (3): 333–336
- Karakulak, F.S., 2004.** Catch and Effort Of The Bluefin Tuna Purse-Seine Fishery in Turkish Waters. *Fisheries Research*, 68: 361-366. DOI: 10.1016/S0165-7836(04)00071-2
- Kleyer, M., Dray, S., Bello, F., Leps, J., Pakeman, R.J., Strauss, B., Thuiller, W. and Lavorel, S., 2012.** Assessing Species and Community Functional Responses To Environmental Gradients: Which Multivariate Methods? *Journal of Vegetation Science*, 23: 805-821. DOI:10.1111/j.1654-1103.2012.01402.x
- Laurel, B., Stoner, A., Ryer, C., Hurst, T. and Abookire, A., 2007.** Comparative Habitat Associations In Juvenile Pacific Cod and Other Gadids Using Seines, Baited Cameras and Laboratory Techniques. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351: 42-55. DOI: 10.1016/j.jembe.2007.06.005
- Moazzam, M., 2020.,** Status Of Neritic Tuna In Pakistan With Special Reference to Longtail Tuna. Tenth Session of IOTC Working Party On Neritic Tuna (WPNT10) July, 6-8.
- Morrell, L.J. and James, R., 2008.** Mechanisms For Aggregation In Animals: Rule Success Depends On Ecological Variables. *Behavioral Ecology*, 19: 193-201.
- Mugo, R. and Saitoh, S.I., 2020.** Ensemble Modelling Of Skipjack Tuna) Katsuwonus Pelamis) Habitats In The Western North Pacific Using Satellite Remotely Sensed Data; A Comparative Analysis Using Machine-Learning Models. *Remote Sensing*, 12: 2591. DOI:10.3390/rs12162591
- Orúe, B., Pennino, M.G., Lopez, J., Moreno, G., Santiago, J., Ramos, L. and Murua, H., 2020.** Seasonal Distribution of Tuna and Non-Tuna Species Associated With Drifting Fish Aggregating Devices (Dfads) In The Western Indian Ocean Using Fishery-Independent Data. *Frontiers In Marine Science*, 7: 441. DOI:10.3389/fmars.2020.00441
- Syahailatua, A., Roughan, M. and Suthers, I.M., 2011.** Characteristic Ichthyoplankton Taxa in The Separation Zone Of The East Australian Current: Larval Assemblages as Tracers Of Coastal Mixing. *Deep Sea*

Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 58: 678-690.

Valavanis, V.D., Pierce, G.J., Zuur, A.F., Palialexis, A., Saveliev, A., Katara, I. and Wang, J., 2008. Modelling Of Essential Fish Habitat Based on Remote Sensing, Spatial Analysis and GIS. *Essential Fish Habitat Mapping in The Mediterranean*, 5-20. DOI: 10.1007/s10750-008-9493-y

Yen, K.W., Su, N.J., Teemari, T., Lee, M.A. and Lu, H.J., 2016. Predicting the catch potential of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean under different climate

change scenarios. *Journal of Marine Science Technology*. 24, 1053–1062. DOI:10.6119/JMST-016-0713-1.

Yesaki, M., 1994., A Review Of The Biology and Fisheries for Longtail Tuna (*Thunnus Tonggol*) in The Indo-Pacific Region. FAO Fisheries Technical Paper, 336: 370-387.

Zuur, A., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A. and Smith, G.M., 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology With R, Springer Science & Business Media. Journal of Statistical Software November 2009, Volume 32, Book Review 1. DOI: 10.18637/jss.v032.b01.

Modeling distribution of *Thunnus tonggol* Bleeker, 1851 in the waters of the Oman Sea using the Generalized Additive Model and Remote sensing data

Vahabnezhad A.^{1*}; Taghavimotlagh S.A.¹; Salarpouri A.²

*Avn9400@gmail.com

1-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2-Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bandar Abbas, Iran

Abstract

This study uses data of 5 Iranian industrial purse seiners that fish on free school tuna species in the Oman Sea. The catch data from 2015 to 2019 in the Oman Sea waters were used. The essential fish habitat of *Thunnus tonggol* was modeled using Satellite remote sensing (HYCOM. and MODIS). Redundancy analysis (RDA) was applied to provide a preliminary view of relationships between fish presence/absence and environmental variables, followed by the application of the Generalized Additive Model (GAM). According to GAM the presence/absence of *T. tonggol* is related to Latitude, Sea Surface Temperature (SST), Sea surface current velocity, and sea surface salinity (SSS). EFH maps were generated using GAM model based on the probability of the presence of *T. tonggol*. Latitude 23N to 25N degrees and longitude 57E to 60 E degrees are the preferred habitats of *T. tonggol* that are distributed in high density in these areas and indicate the habitat of this species in the continental shelf and coastal waters. Based on the analysis the distribution and density of *T. tonggol* on the east side of the Oman Sea Iranian waters, from Beris to Gwatar Bay, could be neglectable. Based on the results of the present study, it seems that, although, the relationship between chlorophyll-a concentration, sea surface height (SSH) and distribution, of *T. tonggol* is statistically significant, still the Latitude, Sea Surface Temperature (SST), Sea surface current velocity, and Sea surface salinity (SSS) are the most important factors affecting the abundance of this species in the region.

Keywords: Essential fish habitat, Redundancy analysis, Generalized Additive Model, *Thunnus tonggol*, Oman Sea

*Corresponding author