

مدل‌سازی پراکنش تون چشم‌درشت (*Thunnus obesus* Lowe, 1839) در اقیانوس هند با استفاده از متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای

علی حقی وایقان^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۰)

چکیده

اطلاع از تأثیر محیط بر پراکنش آبزبان اقتصادی قدمی بنیادی در مدیریت اکوسیستم‌محور شیلات و در نهایت به‌عنوان یک رویکرد استاندارد در سیاست‌های مدیریتی به حساب می‌آید. تون چشم‌درشت (*Thunnus obesus*) از مهم‌ترین آبزبان در حال برداشت در اقیانوس هند است. مطالعه حاضر به بررسی ارتباط متغیرهای تأثیرگذار بر روی میزان صید و پراکنش تون چشم‌درشت صید شده توسط پرساینرهای ایرانی در اقیانوس هند با به‌کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM) و حداکثر آنتروپی (MaxEnt) و متغیرهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته است. نتایج بیانگر تأثیر متغیرهای زمانی و مکانی همراه با متغیرهای انرژی جنبشی ادی، ارتفاع سطح دریا، عمق لایه هم-دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای سطحی آب است. بیشترین مطلوبیت زیستگاهی حاصل از مدل حداکثر آنتروپی در عرض‌های ۰ تا ۵ درجه شمالی و جنوبی و به‌ویژه در ناحیه غربی اقیانوس هند و طول ۴۵ تا ۷۰ درجه شرقی مشاهده شد. تحقیق حاضر با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و تعیین مهم‌ترین فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر مناطق با مطلوبیت زیستگاهی بالا می‌تواند با افزایش کارایی صید به ناوگان پرساینرهای ایرانی در یافتن محل تجمع این گونه و در نهایت به مدیران شیلاتی کشور برای اجرای مدیریت اکوسیستم‌محور شیلاتی در آب‌های مورد بهره‌برداری از ذخایر مشترک اقیانوس هند کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تون چشم‌درشت، پراکنش، مدل‌سازی زیستگاه، مدیریت اکوسیستم

۱. گروه اکولوژی و مدیریت ذخایر آبزبان، پژوهشکده آرتمیا و آبی‌پروری، دانشگاه ارومیه، ارومیه.

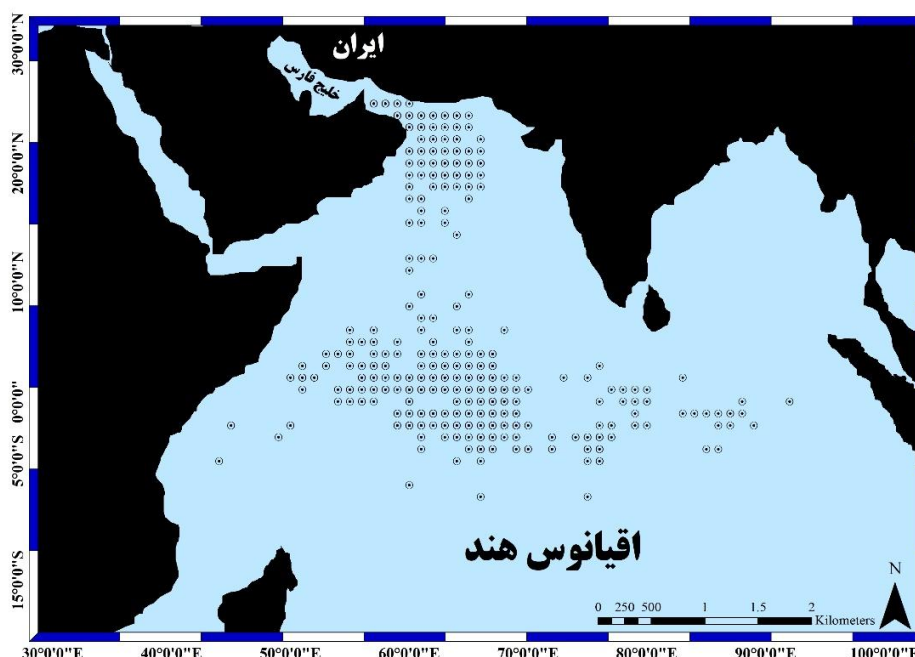
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.haghi@urmia.ac.ir

مقدمه

درجه حرارت (۵۱)، شوری (۳۱)، ارتفاع سطح آب دریا (۳۲)، غلظت کلروفیل آ (۴۴) و اکسیژن محلول (۵۱) اشاره کرد. از سوی دیگر مشخص شده تغییرات اقلیم نیز اثرات مهمی در ابعاد مختلف از جمله محدوده پراکنش و تحلیل کیفیت زیستگاه انواع سطح‌زیان درشت در مقیاس جهانی دارد (۱۲).

مدل‌سازی زیستگاه امروزه از جمله کاربردی‌ترین ابزارها برای رسیدن به مدیریت اکوسیستم‌محور شیلاتی (EBFM = Ecosystem Based Fishery Management) (۵) و (۲۱) معرفی شده و به‌طور عمده در بسیاری از گونه‌های اقیانوسی و دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۹ و ۳۰). این رویکرد به‌طور وسیع در مدیریت و ارزیابی گونه‌های مهم اقتصادی، ارزیابی‌های بوم‌شناسی و بازسازی ذخایر شیلاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های بررسی پراکنش گونه‌های دریایی و اقیانوسی امروزه با متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان با اهداف مختلف در حال استفاده است (۱۷، ۱۹، ۲۴، ۲۵ و ۲۹ و ۳۰). از این‌رو ترکیب مدل‌های پراکنش با تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در وقت و منابع مالی، در اجرای مدیریت اکوسیستم‌محور شیلاتی به‌ویژه در مورد تون‌ماهیان دارای ارزش تجاری به مدیران و تصمیم‌گیران کمک نماید. مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با پراکنش و صید تون‌ماهیان و سایر آبزیان با استفاده از متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در آب‌های اقیانوسی و دریایی در سراسر جهان (۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۳۰) و در آب‌های جنوب و شمال ایران (۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸) با استفاده از داده‌های صید و صیادی انجام شده، اما در خصوص تون چشم‌درشت در آب‌های جنوبی کشور مطالعه‌ای صورت نپذیرفته است. از این‌رو، در این مطالعه تلاش شده ارتباط بین صید تون چشم‌درشت با متغیرهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای که به‌نوعی بیانگر تغییرات سطحی آب اقیانوس‌ها هستند بررسی شود تا ضمن تعیین مناطق با پراکنش بالا، برنامه‌ریزی برای محل‌های برداشت از منابع دریایی مشترک و اجرای مدیریت اکوسیستم‌محور

تون‌ماهیان جزء تجاری‌ترین گونه‌های قابل استحصال در اقیانوس‌ها به‌ویژه خلیج فارس، دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند هستند. به‌دلیل اهمیت اقتصادی، اکولوژیک و اجتماعی تون‌ماهیان، بسیاری از محققان، شرکت‌های صیادی تجاری و مدیران در سطح کلان توجه ویژه‌ای به این گونه دارند (۱۷ و ۱۸). مهم‌ترین گروه از ذخایر سطح‌زیان درشت، که از منابع مهم اقتصادی مناطق جنوبی کشور محسوب می‌شوند تون‌ماهیان هستند که نیاز عمده کارخانجات کنسروسازی کشور را تأمین می‌کنند. در اقیانوس هند چهار گونه اصلی تون‌ماهیان شامل تون زردباله (*Thunnus albacares*)، هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*)، چشم‌درشت (*Thunnus obesus*) و آلباکور (*Thunnus alalunga*) اهمیت اقتصادی زیادی دارند که در این میان، تون چشم‌درشت به‌سبب کیفیت گوشت آن ارزش اقتصادی بالاتری دارد (۲۸)، به‌گونه‌ای که صید جهانی آن در سال ۲۰۱۸ به بیش از ۴۱۳ هزار تن رسیده است. تون چشم‌درشت در آب‌های حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای اقیانوس‌های آرام، اطلس و هند پراکنش دارد (۷ و ۳۷). صید تون‌ماهیان در آب‌های جنوب کشور توسط دو بخش ماهیگیری سنتی و صنعتی انجام می‌شود. معمولاً ناوگان‌های سنتی در تمام سال در آب‌های سرزمینی خلیج فارس و دریای عمان فعالیت می‌کنند و ناوگان‌های صنعتی، اگرچه در طول سال فعال هستند اما به‌طور غالب در ۶ ماهه اول سال در آب‌های دریای عمان و در ۶ ماهه دوم در آب‌های آزاد اقیانوس هند فعالیت صیادی دارند. این گونه در مقایسه با سایر گونه‌های سطح‌زی درشت در اعماق بیشتری زیست می‌کند و سرعت شنای بالایی نیز دارد (۸، ۱۳، ۲۲ و ۲۳). تون چشم‌درشت در طی شب در اعماق کمتر از ۵۰ متر و در طول روز تا اعماق ۵۰۰ متر نیز حضور دارد که این مهاجرت‌ها بیشتر برای جستجوی غذا، تنظیم دمای بدن و جبران کمبود اکسیژن است (۸، ۲۳ و ۳۳). مطالعات متعددی تأثیر قابل توجه فاکتورهای محیطی را بر پراکنش تون چشم‌درشت مشخص نموده است. از جمله این فاکتورها می‌توان به



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی مناطق تور ریزی پرساینرهای ایرانی در اقیانوس هند (رنگی در نسخه الکترونیکی)

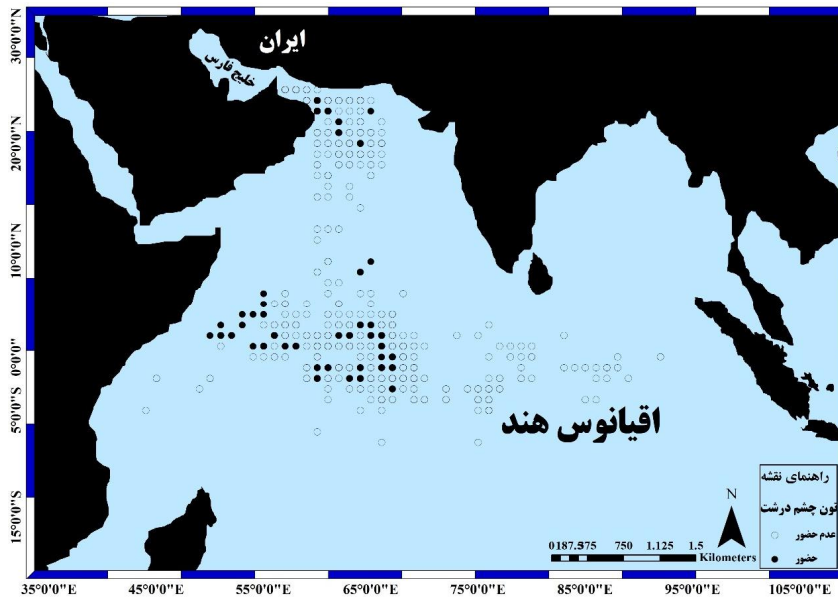
شیلاتی به صورت منطقه‌ای به مدیران شیلاتی کشور اطلاع‌رسانی شود. (FAO =Food and Agricultural Organization) و کمیسیون تون‌ماهیان اقیانوس هند (Indian Ocean Tuna Commission =IOTC) دریافت شد (شکل ۳).

در این مطالعه متغیرهای مورد بررسی به سه بخش متغیرهای زمانی (ماه و سال)، مکانی (طول و عرض جغرافیایی) و متغیرهای محیطی تقسیم شد. در مجموع از ۷ متغیر محیطی قابل تهیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که به‌طور رایج در پژوهش‌های اقیانوس‌شناسی شیلاتی و مدل‌سازی پراکنش استفاده می‌شود در این مطالعه استفاده شد (۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۴ و ۳۰). این متغیرهای محیطی از سنجنده‌های مختلف از جمله MODIS و NOAA در پایگاه مرکز داده ERDDAP (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>) و همچنین مرکز داده‌های آسیا-اقیانوسیه (<http://www.apdrc.soest.hawaii.edu>) استخراج شد. در ادامه داده‌های اخذشده با استفاده از برنامه MATLAB (Version R2015a) و IDL (Interactive Data Language; Version 7.0) خوانده شده و مقادیر عددی متغیرها استخراج شد. با توجه به متفاوت بودن دقت مکانی برخی متغیرها، همه آن‌ها

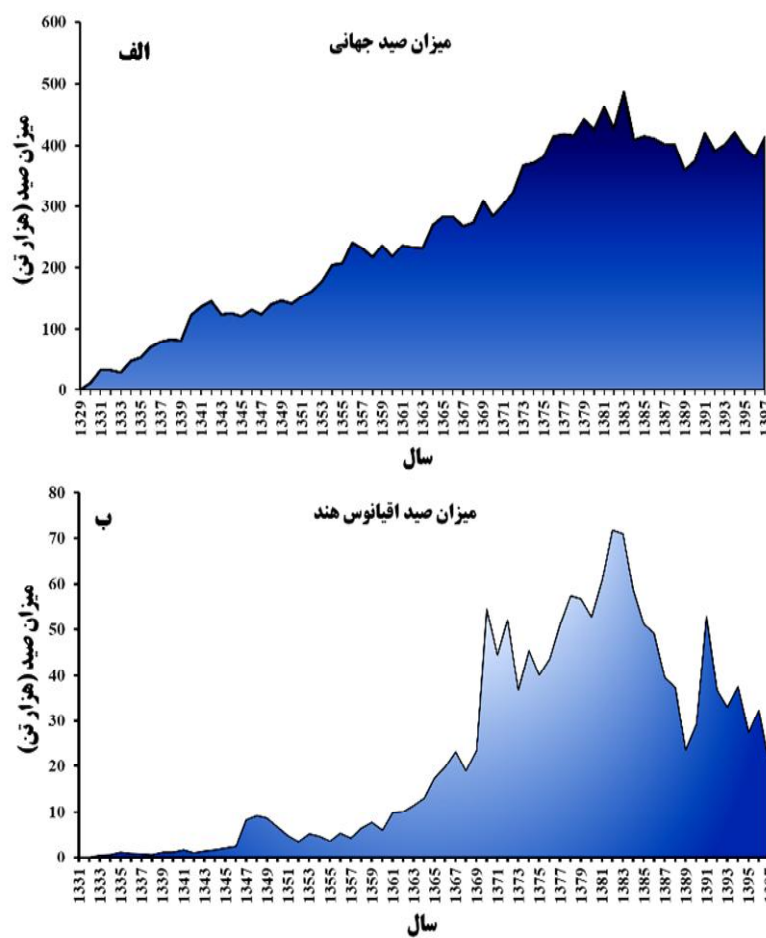
به صورت منطقه‌ای به مدیران شیلاتی کشور اطلاع‌رسانی شود.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر داده‌های صید پرساینرهای ایرانی طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ که به صورت ماهانه در کتابچه عملیات صید (Logbook) به ثبت رسیده از سازمان شیلات ایران جمع‌آوری شد. محدوده جغرافیایی صید شناورهای پرساینر در عرض‌های جغرافیایی بین ۸ درجه جنوبی تا ۲۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ تا ۹۳ درجه شرقی بوده است (شکل ۱). در مجموع تعداد ۱۱۵۰ موقعیت جغرافیایی توسط پرساینرها ثبت شده که در ۷۴ مورد از آنها صید موفق تون چشم‌درشت گزارش شده بود (شکل ۲). میزان صید استحصال شده به صورت کیلوگرم ثبت شده است. به منظور تعیین میزان صید به ازای واحد تلاش (CPUE = Catch Per Unit Effort)، میزان تلاش صیادی به صورت تور ریزی موفق در مدت‌زمان فعالیت صیادی (بر حسب روز) محاسبه و تعیین شد. داده‌های حاصل از صید جهانی و اقیانوس هند نیز به ترتیب از پایگاه داده‌های سازمان خوار و بار جهانی



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی صید تون چشم‌درشت توسط پرساینرهای ایرانی در اقیانوس هند (نقاط حضور به معنی صید موفق و نقاط عدم حضور به معنی صید ناموفق در هر بار تلاش صیادی است). (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. روند بلندمدت میزان صید تون چشم‌درشت در (الف) کل جهان و (ب) اقیانوس هند (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در بررسی صید تون چشم‌درشت

منبع اخذ داده	دقت مکانی	واحد/یکا	متغیر محیطی
https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMH1sstmday.html	۴km × ۴km	°C	دمای سطحی آب دریا (SST) ^۱
http://www.apdrc.soest.hawaii.edu	۱°×۱°	psu	شوری سطحی دریا (SSS) ^۲
http://www.apdrc.soest.hawaii.edu	۱°×۱°	m	عمق لایه مخلوط‌شونده (MLD) ^۳
http://www.apdrc.soest.hawaii.edu	۱°×۱°	cm	ارتفاع سطح دریا (SSH) ^۴
https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMH1chlamday.html	۴km × ۴km	mg m ⁻³	کلروفیل سطحی آب دریا (SSC) ^۵
http://www.apdrc.soest.hawaii.edu	۱°×۱°	cm ² s ⁻²	انرژی جنبشی ادی (EKE) ^۶
http://www.apdrc.soest.hawaii.edu	۱°×۱°	m	عمق لایه هم‌دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد (D20) ^۷

۱ Sea Surface Temperature ؛ ۲ Sea Surface Salinity ؛ ۳ Mixed Layer Depth ؛ ۴ Sea Surface Height ؛ ۵ Sea Surface Chlorophyll ؛ ۶ Eddy Kinetic Energy ؛ ۷ Depth of 20°C Isotherm

از معیار اطلاعات آکائیک (AIC) انجام شد، به طوری که کمترین میزان ارزش آکائیک (بیانگر کمترین خطا و بهترین مدل) و بالاترین درصد توضیح انحراف در مدل به‌عنوان تأثیرگذارترین متغیرها در نظر گرفته شد. همچنین در ادامه برای بررسی نقش متغیرهای محیطی، ترسیم مطلوبیت زیستگاهی و پیش‌بینی پراکنش تون چشم‌درشت از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt, version 3.4.1) (۱۱ و ۴۲) با استفاده از متغیرهای محیطی حاصل از نتایج مدل جمعی تعمیم‌یافته به منظور تخمین بهترین مناطق حضور و تعیین تأثیرگذارترین متغیرها استفاده شد. این مدل بر اساس پیش‌فرض ارائه شده در راهنمای مدل حداکثر آنتروپی تنظیم و اجرا شد (۱۱ و ۴۲).

نتایج

صید تون‌ماهیان توسط پرساینرهای ایرانی در بخش مرکزی (مناطق گرمسیری) و آب‌های دریای عرب متمرکز شده، اما صید تون چشم‌درشت بیشتر در نواحی گرمسیری و نیمه-گرمسیری متمرکز یافته است (شکل ۷). نتایج حاصل از مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان داد که متغیرهای زمانی (سال و ماه) و مکانی (عرض جغرافیایی) تأثیر زیادی بر پراکنش و میزان صید تون چشم‌درشت داشته‌اند (جدول ۲). نتایج بیانگر تغییرات میزان صید در ماه‌های مختلف است.

با دقت زمانی یک ماه و دقت مکانی ۱ درجه (با استفاده از میانگین ارزش‌های پیکسل‌های مجاور) هم‌سان‌سازی شد (جدول ۱).

برای بررسی و تعیین ارتباط میزان صید به ازای واحد تلاش با متغیرهای مورد بررسی، مدل جمعی تعمیم‌یافته (رابطه شماره ۱) (۲۰ و ۵۰) در برنامه R نسخه ۴,۰,۰ (۲۴/۰۴/۲۰۲۰) مورد استفاده قرار گرفت. مدل جمعی تعمیم‌یافته در واقع شکل غیرپارامتریک (غیرخطی) مدل جمعی خطی است. در این مدل برای فیت کردن (Fitting) از رگرسیون‌های Smoothing استفاده شد. رابطه شماره (۱)

$$g(\mu_i) = \mu + \sum_{j=1}^p f_j(X_i)$$

در رابطه شماره ۱، μ بیانگر صید به ازای واحد تلاش و یا حضور گونه، μ نشان‌دهنده عرض از مبدأ (Intercept)، f_j معادله Smoothing و X_i متغیرهای محیطی مورد استفاده است. در این مدل توزیع گوسی مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به بررسی داده‌ها و همچنین رفتار صیادی ناوگان پرساینرها، مدل جمعی تعمیم‌یافته طی دو مرحله اجرا شده و مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول، کل داده‌ها و سپس با توجه به اینکه بیشترین میزان صید در فصل سرد (نیمه دوم سال) اتفاق افتاده بود داده‌های فصل سرد در مدل نهایی به‌کار برده شد. در هر یک از مدل‌ها برازش و انتخاب مدل با استفاده

جدول ۲. نتایج آماری مدل جمعی تعمیم‌یافته پراکنش و میزان صید تون چشم‌درشت در ارتباط با کل داده‌ها

متغیر	باقیمانده درجه آزادی	باقیمانده انحراف	انحراف	درصد توضیح انحراف	سطح معنی‌داری	AIC	درصد توضیح AIC	ΔAIC
+Null	۱۱۴۹	۱۶۴	-	-	-	۳۶۷۵	--	۲۸۸/۲۴
+Year	۱۱۴۱	۱۵۷۵	۶۴/۵۸	۱۰/۶۴	***	۳۶۴۵	۱۱/۲۵	۲۵۸/۰۳
+Month	۱۱۳۰	۱۴۰۸	۱۶۷/۲۸	۲۷/۵۷	***	۳۵۳۹	۳۹/۸۷	۱۵/۹۶
+LAT	۱۱۰۰	۱۳۳۷	۷۱/۶۳	۱۱/۸۰	***	۳۵۳۸	۰/۰۱۳	۱۵۰/۹۳
+LON	۱۰۵۹	۱۲۰۱	۱۳۵/۵۷	۲۲/۳۴	***	۳۴۹۷	۱۵/۲۶	۱۰۹/۹۴
+SST	۱۰۵۸	۱۱۸۷	۱۴/۴۰	۲/۳۷	***	۳۴۸۶	۴/۴۲	۹۸/۰۷
+SSS	۱۰۵۴	۱۱۷۴	۱۲/۶۲	۲/۰۸	**	۳۴۷۹	۲/۵۸	۹۱/۱۵
+MLD	۱۰۴۷	۱۱۵۵	۱۹/۱۵	۳/۱۵	**	۳۴۷۱	۲/۷۰	۸۳/۹۰
+SSH	۱۰۴۴	۱۱۱۶	۳۸/۶۲	۶/۳۶	***	۳۴۳۸	۱۲/۴۸	۵۰/۳۸
+Chla	۱۰۴۳	۱۱۱۴	۱/۸۹	۰/۳۱	۱	۳۴۳۷	۰/۰۴	۵۰/۲۸
+EKE	۱۰۳۵	۱۰۷۲	۴۲/۴۲	۶/۹۹	***	۳۴۰۸	۱۰/۹۵	۲۰/۸۸
+D20	۱۰۲۲	۱۰۳۳	۳۸/۵۸	۶/۳۶	***	۳۳۸۷	۰/۴۳	۰
بهترین مدل	R-sq.(adj) = ۰/۲۹۵		توضیح انحراف = ۳۷٪					

معنی‌داری در سطح ۰ = ****؛ ۰/۰۰۱ = ***؛ ۰/۰۰۱ = **؛ ۰/۰۱ = *؛ ۰/۰۵ = ۰ و ۰/۱ = ۱

جنبشی ادی دارای تأثیر مثبت بوده و عمق هم‌دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد در اعماق بالاتر از ۱۲۰ متر اثر مطلوبی بر میزان صید به ازای واحد تلاش دارد. میانگین ماهانه متغیرهای محیطی در نیمه دوم سال بیانگر تغییرات متغیرهای محیطی در اقیانوس هند و به‌ویژه در مناطق مورد بهره‌برداری پرساینرهای ایرانی است (شکل ۵). درصد مشارکت (Percent contribution) و اهمیت جای‌گشت (Permutation importance) متغیرهای محیطی به-کار برده شده در مدل حداکثر آنتروپی بیانگر اهمیت زیاد متغیرهای انرژی جنبشی ادی، کلروفیل آ و ارتفاع سطح دریا در پراکنش تون چشم‌درشت در اقیانوس هند است. میزان سطح زیر منحنی (AUC = Area Under Curve) با به‌کارگیری مدل حداکثر آنتروپی، برای آموزش و تست مدل به‌ترتیب به مقدار ۰/۹۶۶ و ۰/۹۵۵ برآورد شد که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در پیش‌بینی پراکنش تون چشم‌درشت است (شکل ۶). نقشه مطلوبیت زیستگاهی حاصل از مدل حداکثر آنتروپی در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین مطلوبیت در عرض‌های ۰ تا ۵ درجه شمالی و جنوبی و به‌ویژه در ناحیه غربی اقیانوس هند واقع در آب‌های شرقی آفریقا (حوالی سومالی و کنیا) و طول

بیشترین میزان صید در ماه‌های فصل سرد اتفاق افتاد. این موضوع در مدل جمعی تعمیم‌یافته با ۲۷/۵۷ درصد در توضیح انحراف و ۳۹/۸۷ درصد در توضیح آکائیک (AIC) بیانگر نقش متغیر ماه (ماه‌های فصل سرد) بود (جدول ۲). طول جغرافیایی تأثیر به‌مراتب بیشتری را بر توضیح واریانس مدل نشان داد. از این‌رو در مناطق غربی اقیانوس هند در حوالی مناطق شرق آفریقا میزان حضور بیشتری اتفاق افتاده است. با به‌کارگیری داده‌های فصل سرد میزان توضیح انحراف کل مدل از ۳۷ درصد به ۵۰/۵ درصد افزایش یافت (جداول ۲ و ۳). در میان متغیرهای محیطی مورد استفاده، متغیرهای دمای سطحی آب (SST)، ارتفاع سطح دریا (SSH)، انرژی جنبشی ادی (EKE)، و عمق هم‌دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد (D20) به ترتیب بیشترین تأثیر را بر توضیح انحراف در مدل داشتند (جدول ۳). شکل ۴ نمودار تأثیر چهار متغیر محیطی اصلی حاصل از مدل جمعی تعمیم‌یافته بر میزان صید تون چشم‌درشت به ازای واحد تلاش را نشان می‌دهد. روند معادله مناسب مدل (fitted GAM function) در چهار متغیر اصلی نشان داد دمای مطلوب بین ۲۹ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، مقادیر مثبت ارتفاع سطح دریا و انرژی

جدول ۳. نتایج آماری مدل جمعی تعمیم‌یافته پراکنش و صید تون چشم‌درشت در ارتباط با فصل سرد (نیمه دوم سال)

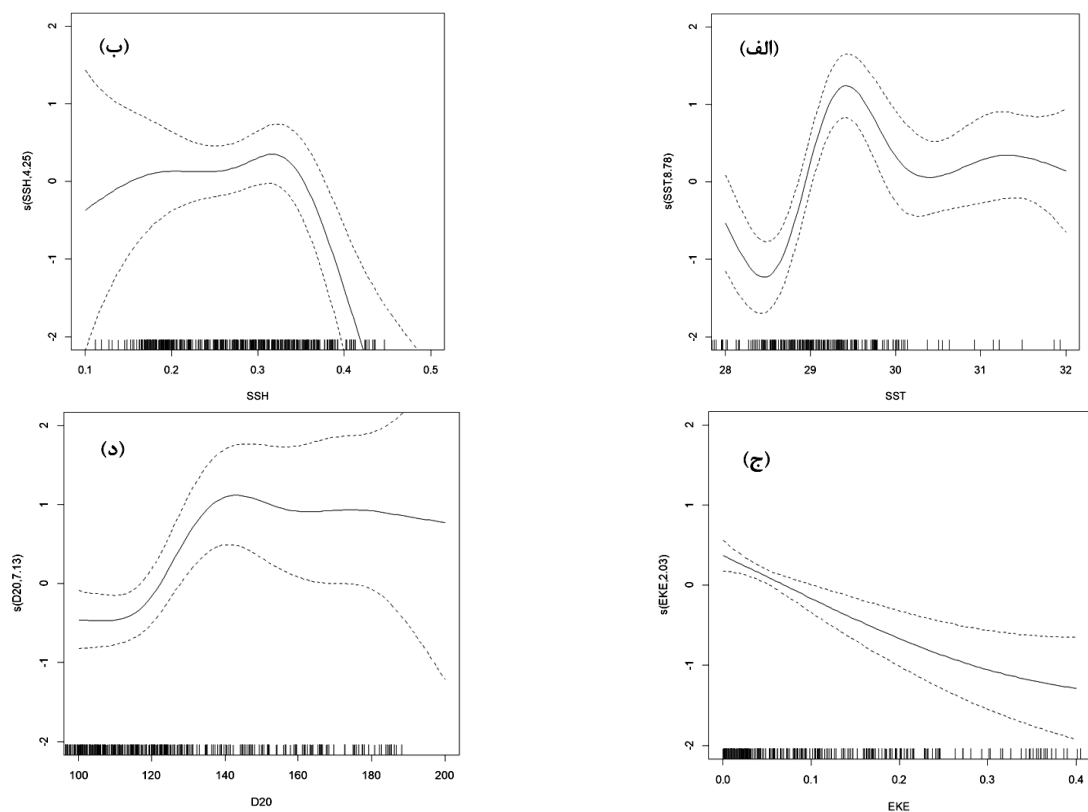
متغیر	باقیمانده درجه آزادی	باقیمانده انحراف	انحراف	درصد توضیح انحراف	سطح معنی‌داری	AIC	درصد توضیح AIC	ΔAIC
+Null	۵۵۷	۱۱۹۵	-	-	-	۲۰۱۲	--	۱۹۷/۱۸
+Year	۵۴۹	۹۸۷	۲۰۷/۲۵	۳۴/۳۵	***	۱۹۲۲	۳۶/۹۲	۱۰۶/۸۸
+Month	۵۴۴	۹۲۸	۵۹/۰۷	۹/۷۹	***	۱۸۹۷	۹/۹۸	۸۲/۴۷
+LAT	۵۲۳	۸۹۶	۳۲/۵۷	۵/۴۰	***	۱۹۱۹	۹/۰۳	۱۰۴/۵۵
+LON	۴۸۹	۷۸۰	۱۱۵/۹۳	۱۹/۲۱	***	۱۹۱۰	۳/۸۱	۹۵/۲۴
+SST	۴۸۰	۷۱۱	۶۹/۱۸	۱۱/۴۶	*	۱۸۷۶	۱۴/۲۱	۶۰/۴۹
+SSS	۴۷۴	۶۹۵	۱۶/۲۳	۲/۶۹	***	۱۸۷۲	۱/۲۷	۵۷/۳۸
+MLD	۴۷۷	۶۹۷	-۲/۸۵	-۰/۴۷	***	۱۸۷۰	۱/۱۱	۵۴/۶۶
+SSH	۴۶۹	۶۵۲	۴۵/۴۶	۷/۵۳	**	۱۸۴۶	۹/۸۷	۳۰/۵۱
+Chla	۴۶۷	۶۵۱	۰/۶۲	۰/۱۱	*	۱۸۴۷	۰/۶۵	۳۲/۱۱
+EKE	۴۶۳	۶۱۹	۳۱/۸۴	۵/۲۸	**	۱۸۲۸	۸/۰۲	۱۲/۴۹
+D20	۴۵۵	۵۹۱	۲۷/۹۹	۴/۶۴	**	۱۸۱۵	۵/۱۱	۰

توضیح انحراف = ۵۰/۵٪

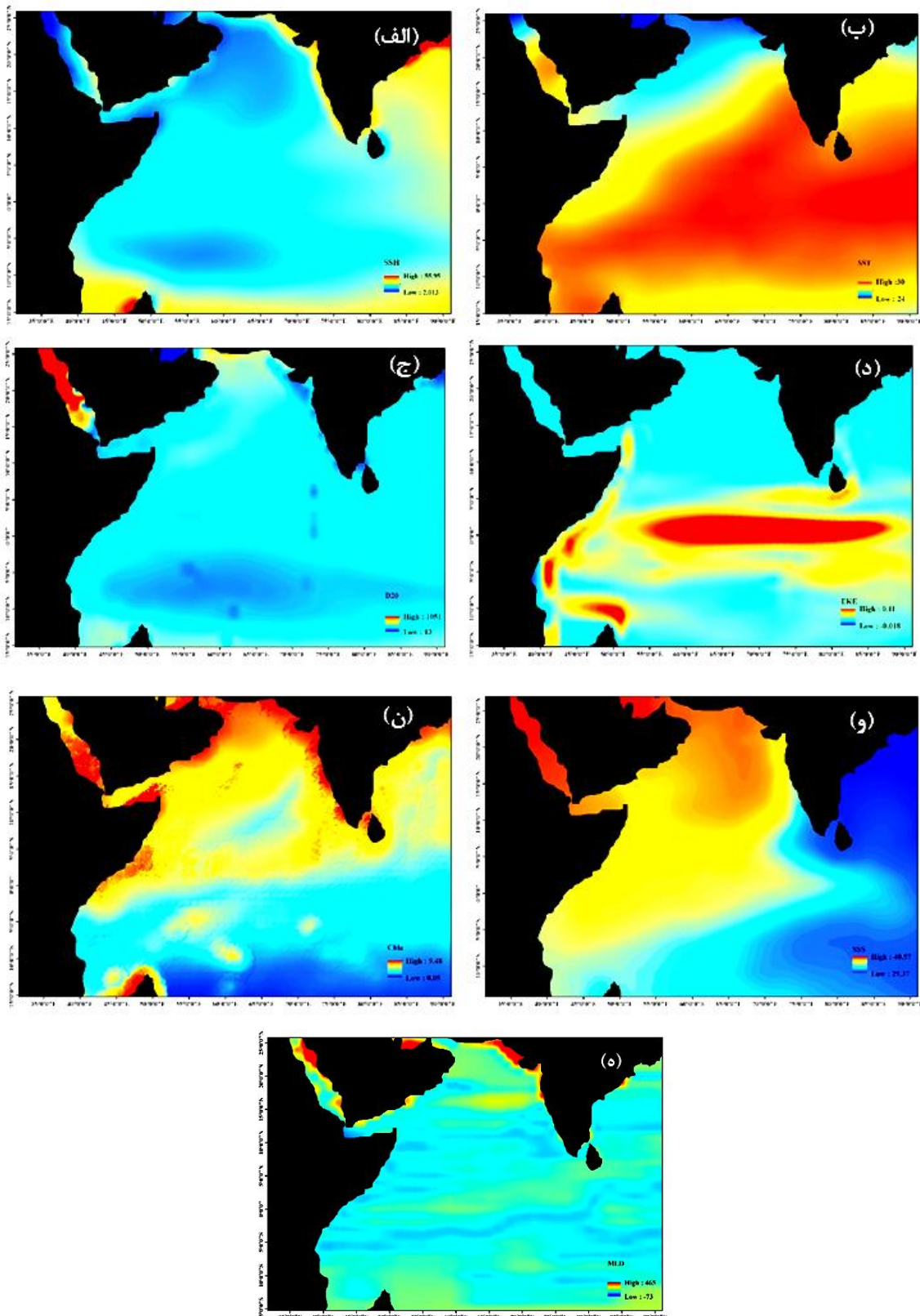
R-sq.(adj) = ۰/۴۰۱

بهترین مدل

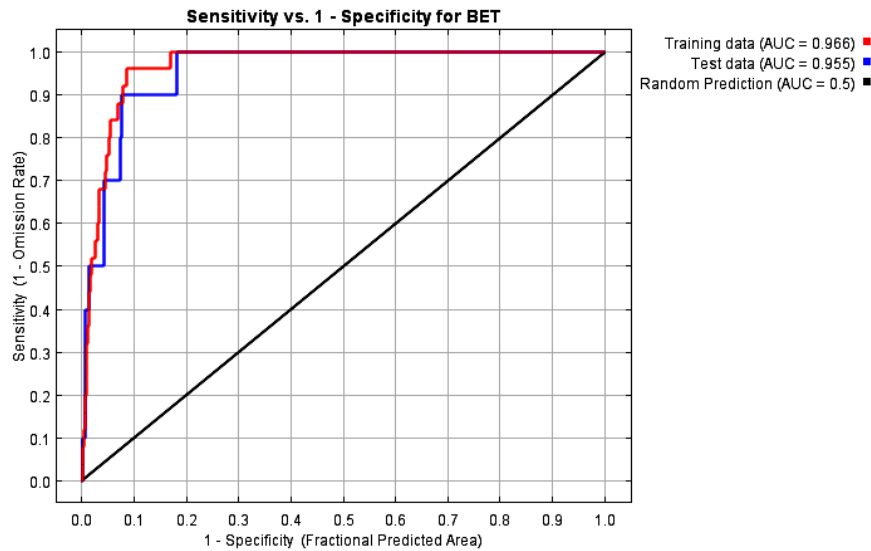
معنی‌داری در سطح = ۰/۰۰۰۱؛ *** = ۰/۰۰۱؛ ** = ۰/۰۱؛ * = ۰/۰۵؛ و ۰/۱ = ۱



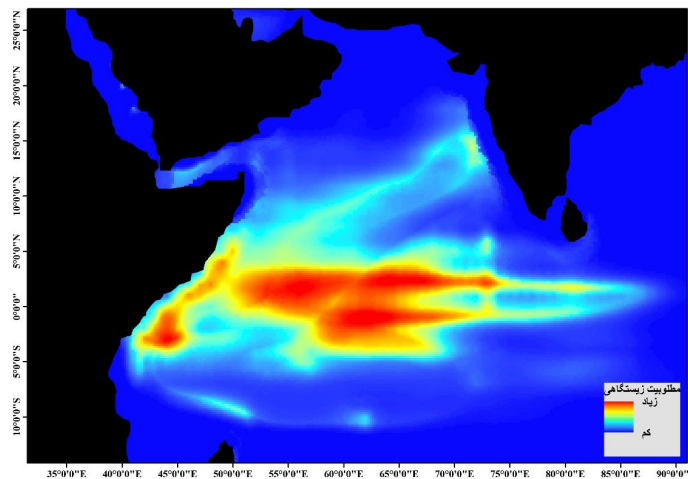
شکل ۴. نمودار تأثیر مهم‌ترین متغیرهای محیطی (الف) دمای سطحی آب دریا، (ب) ارتفاع سطح آب دریا، (ج) انرژی جنبشی ادی (EKE) و (د) عمق هم‌دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ارتباط با تون چشم‌درشت. خط تیره بیانگر معادله مناسب مدل (fitted GAM function) و خط نقطه‌چین بیانگر فاصله اطمینان ۹۵ درصد (95% confidence intervals) است.



شکل ۵. میانگین ماهانه مهم‌ترین متغیرهای محیطی (الف) دمای سطحی آب دریا، (ب) ارتفاع سطح آب دریا، (ج) انرژی جنبشی ادی (EKE)، (د) عمق هم‌دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، (و) کلروفیل سطحی آب و (ه) عمق لایه مخلوط‌شونده در نیمه دوم سال (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. سطح زیر منحنی تعیین‌شده برای آموزش (Training data) و تست داده‌ها (Test data) در مدل حداکثر آنتروپی (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۷. مطلوبیت زیستگاهی تون چشم‌درشت در ارتباط با متغیرهای محیطی به کار برده شده با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی (MaxEnt) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

سال ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی) در سطح جهان و اقیانوس هند روند کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۳). استحصال سطح‌زیان درشت با بهره‌گیری از ارتباطات پراکنش آنها با متغیرهای محیطی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای به‌طور چشمگیری در سطح جهان در حال گسترش است (۶، ۳۰، ۳۹، ۴۳ و ۴۵). در این مطالعه فاکتورهای زمانی (ماه) و مکانی (طول جغرافیایی) نقش قابل ملاحظه‌ای در پراکنش این گونه داشت.

۴۵ تا ۷۰ درجه شرقی مشاهده شد.

بحث

اطلاع از متغیرهای تأثیرگذار بر پراکنش آبزیان اقتصادی و محدوده پراکنش آنها می‌تواند به مدیران شیلات و محققان در بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و تعیین راهکارهای حفاظتی کمک کند. صید تون چشم‌درشت به‌عنوان یکی از منابع پروتئینی، از

جدول ۴. درصد مشارکت (Percent contribution) و اهمیت جای‌گشت (Permutation importance) متغیرهای محیطی حاصل از مدل

حداکثر آنتروپی (MaxEnt)

متغیر	درصد مشارکت	اهمیت جای‌گشت
EKE	۶۰/۲	۴/۳
Chla	۱۶/۴	۲۶
SSH	۱۱/۷	۴۰/۷
SSS	۷/۹	۱۰/۳
D20	۱/۵	۷/۷
SST	۱/۵	۸
MLD	۰/۸	۳

مختلف آب در پراکنش سطحی و عمقی تون چشم‌درشت در اقیانوس هند (۴۴)، آرام (۶) و اطلس (۲۳) مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر آن‌ها قابل توجه بوده است. از سوی دیگر عنوان شده بالغ‌ها به دلیل توانایی فیزیولوژیک در آبهای سردتر اعماق حضور بیشتری دارند (۱ و ۴۴). همچنین در مطالعه‌ای که توسط لان و همکاران (۲۳) بر روی تون چشم‌درشت با استفاده از متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در اقیانوس اطلس صورت گرفته مشخص شده که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار شامل عمق لایه هم‌دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد (D20)، دمای سطحی (SST) و ارتفاع سطح آب دریا (SSH) است. از این‌رو با توجه به اینکه مهاجرت عمودی تون چشم‌درشت به سبب محدودیت‌های فیزیولوژیک (۴) و دسترسی به غذا است (۳) و با عنایت به قرارگیری تون چشم‌درشت در اطراف لایه ترموکلاین و اینکه D20 معرف عمق لایه تشکیل ترموکلاین است (۵۲)، می‌توان اهمیت این متغیر را در پراکنش این گونه توجیه نمود. ارتفاع سطح آب دریا (SSH) و انرژی جنبشی ادی (EKE) می‌تواند معرف جریان‌ات دریایی و اقیانوسی باشد (۵۲) که در پراکنش عمودی و افقی تون‌ماهیان در اقیانوس‌ها مؤثر است (۱۹، ۳۰، ۳۸ و ۴۷)، در نتیجه می‌تواند در دسترسی به غذای شکارچیان به‌ویژه تون‌ماهیان از طریق انتقال مواد غذایی از اعماق و ایجاد لایه غنی از ژئوپلانکتون‌ها جهت استفاده سایر آبزیان مورد تغذیه توسط تون‌ماهیان، نقش کلیدی ایفا نماید (۳۶، ۳۸، ۴۰، ۴۷ و ۴۸). از دیگر عوامل تأثیرگذار بر پراکنش تون‌ماهیان مقدار کلروفیل آ است که

در مطالعات گذشته، فاکتورهای زمانی و مکانی به عنوان مهم‌ترین متغیرها در مطالعات پراکنش تون‌ماهیان (۱۷، ۱۸ و ۴۵) و همچنین در استانداردسازی صید به ازای واحد تلاش (CPUE) سطح‌زیان درشت (۲۳، ۳۴ و ۴۶) به‌کار برده شده است. نتایج نشان داد که تون چشم‌درشت بیشتر در عرض‌های جغرافیایی ۰ تا ۵ درجه شمالی و جنوبی و طول ۴۵ تا ۷۰ درجه شرقی حضور دارد که بیانگر تمایل این آبزیان به آب‌های گرمسیری است و از این‌رو کمتر به مناطق دیگر مهاجرت می‌کند. تأثیر عامل ماه صیادی که بیانگر میزان صید بیشتر در نیمه دوم سال (فصل سرد) است می‌تواند به دلیل فعالیت عمده صید تون چشم‌درشت توسط پرساینرها در نیمه دوم سال باشد (۹، ۱۷، ۱۸ و ۴۱). از سوی دیگر مشخص شده تون چشم‌درشت بیشتر در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و در فصول پاییز و زمستان صید می‌شود (۶، ۱۲ و ۲۳). در این مطالعه هفت متغیر محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت که در میان آن‌ها متغیرهای دمای سطحی آب (SST)، ارتفاع سطح دریا (SSH)، انرژی جنبشی ادی (EKE) و عمق هم‌دمایی ۲۰ درجه (D20) به نسبت سایر متغیرها در فصل سرد به ترتیب بیشترین تأثیر را بر توضیح انحراف مدل داشتند. در مدل حداکثر آنتروپی متغیرهای انرژی جنبشی ادی (EKE)، کلروفیل آ (Chla) و ارتفاع سطح دریا (SSH) نقش اصلی را داشتند. در تحقیقات متعددی به نقش متغیرهای محیطی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای اشاره شده است (۶، ۱۲، ۱۷، ۱۹ و ۳۹). در مطالعات گذشته نقش درجه حرارت سطحی و درجه حرارت اعماق

هدف (۴۹) و نهایتاً اتخاذ یک رویکرد استاندارد در سیاست های مدیریتی است (۲ و ۵۳)، مطالعات مشابه در ارتباط با سایر گونه‌های تجاری می‌تواند در این مسیر مورد توجه قرار گیرد. از سوی دیگر این قبیل مطالعات می‌تواند در استقرار مناطق حفاظت‌شده دریایی، تعیین محل و زمان مناسب صید و پایش وضعیت ذخایر آبزیان به مدیران شیلات کشور به میزان قابل توجهی کمک کند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از پژوهشکده آرتمیا و آبی‌پروری دانشگاه ارومیه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از سازمان شیلات ایران به‌ویژه دفتر صید و صیادی به‌خاطر تأمین داده‌ها سپاسگزاری می‌شود.

به‌نوعی بیانگر دسترسی به غذا به‌طور غیرمستقیم است (۲۴، ۲۶ و ۳۰). از این‌رو می‌توان بیان نمود متغیرهای محیطی در پراکنش تون چشم‌درشت دارای اهمیت قابل توجهی هستند که بهتر است در تحقیقات مدیریت ذخایر، پراکنش آبزیان و همچنین برنامه‌های حفاظتی توسط محققان و مدیران مورد توجه قرار گیرد. همچنین در مطالعات پراکنش تون ماهیان، نقش تغییرات اقلیم و برایندهای آن بر روی میزان نوسانات صید باید مورد توجه قرار گیرد. در این میان تأثیر تغییرات اقلیم بر روی نوسانات صید و پراکنش سطح‌زبان درشت مورد تأکید قرار گرفته که توصیه می‌شود در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد (۱۰، ۲۷ و ۳۵). بنابراین با توجه به اینکه اطلاع از تأثیر شرایط محیطی بر صید ماهی قدم بنیادی در مدیریت اکوسیستم‌محور شیلات و زیستگاه‌های مطلوب، تعیین محدوده پراکنش گونه

منابع مورد استفاده

1. Arrizabalaga, H., J. G. Pereira, F. Royer, B. Galuardi, N. Goni, I. Artetxe, I. Arregi and M. Lutcavage. 2008. Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) vertical movements in the Azores Islands determined with pop-up satellite archival tags. *Fisheries Oceanography* 17 (2): 74-83.
2. Austin, M. 2007. Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling* 200: 1-19.
3. Bertrand, A., F. X. Bard and E. Josse. 2002. Tuna food habits related to the micronekton distribution in French Polynesia. *Marine Biology* 140 (5): 1023-1037.
4. Brill, R. W., K. A. Bigelow, M. K. Musyl, K. A. Fritsches and E. J. Warrant. 2005. Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) behavior and physiology and their relevance to stock assessments and fishery biology. *Collective Volumes of Scientific Papers* 57 (2): 142-161.
5. Brodziak, J. and J. Link. 2002. Ecosystem-based fishery management: what is it and how can we do it? *Bulletin of Marine Science* 70 (2): 589-611.
6. Cai, L. N., L. L. Xu, D. L. Tang, W. Z. Shao, Y. Liu, J. C. Zuo and Q. Y. Ji. 2020. The effects of ocean temperature gradients on bigeye tuna (*Thunnus obesus*) distribution in the equatorial eastern Pacific Ocean. *Advances in Space Research* 65 (12): 2749-2760.
7. Chiang, H. C., C. C. Hsu, G. C. C. Wu, S. K. Chang and H. Y. Yang. 2008. Population structure of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean inferred from mitochondrial DNA. *Fisheries Research* 90 (1-3): 305-312.
8. Dagorn, L., P. Bach and E. Josse. 2000. Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry. *Marine Biology* 136 (2): 361-371.
9. Darvishi, M., S. Y. Paighambari, A. R. Ghorbani and F. Kaymaram. 2018. Population assessment and yield per recruit of long tail tuna (*Thunnus tonggol*) in Northern of the Persian Gulf and Oman Sea (Iran, Hormozgan Province). *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 17 (4): 776-789.
10. Dufour, F., H. Arrizabalaga, X. Irigoien and J. Santiago. 2010. Climate impacts on albacore and bluefin tunas migrations phenology and spatial distribution. *Progress in Oceanography* 86 (1): 283-290.
11. Elith, J., S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee and C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17 (1): 43-57.
12. Erauskin Extramiana, M., H. Arrizabalaga, A. J. Hobday, A. Cabré, L. Ibaibarriaga, I. Arregui, H. Murua and G. Chust. 2019. Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global Change Biology* 25 (6): 2043-2060.
13. Evans, K., A. Langley, N. P. Clear, P. Williams, T. Patterson, J. Sibert, J. Hampton and J. S. Gunn. 2008. Behaviour

- and habitat preferences of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and their influence on longline fishery catches in the western Coral Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65 (11): 2427-2443.
14. Haghi Vayghan, A., H. Poorbagher, H. Taheri Shahraiyini, H. Fazli and H. Nasrollahzadeh Saravi. 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.
 15. Haghi Vayghan, A., H. Fazli, R. Ghorbani, M. A. Lee and H. N. Saravi. 2015. Temporal habitat suitability modeling of Caspian shad (*Alosa spp.*) in the southern Caspian Sea. *Journal of Limnology* 75 (1): 210-223.
 16. Haghi Vayghan, A., R. Zarkami, R. Sadeghi and H. Fazli. 2016. Modeling habitat preferences of Caspian kutum, *Rutilus frisii kutum* (Kamensky, 1901)(Actinopterygii, Cypriniformes) in the Caspian Sea. *Hydrobiologia* 766 (1): 103-119.
 17. Haghi Vayghan, A., R. Ghorbani, S. Y. Peyghambari, M. A. Lee, D. M. Kaplan and B. A. Block. 2017. Relationship between yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution caught by Iranian purse seiners and environmental variables in the Indian Ocean. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 26 (1): 67-82.
 18. Haghi Vayghan, A., R. Ghorbani, Y. Peighambari, M. A. Lee, D. M. Kaplan and B. A. Block. 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.
 19. Haghi Vayghan, A., M. A. Lee, J. S. Weng, S. Mondal, C. T. Lin and Y. C. Wang. 2020. Multisatellite-based feeding habitat suitability modeling of Albacore Tuna in the Southern Atlantic Ocean. *Remote Sensing* 12 (16): 2515.
 20. Hastie, T. and R. Tibshirani. 1990. Generalized additive models. Chapman and Hall, London.
 21. Hilborn, R. 2011. Future directions in ecosystem based fisheries management: A personal perspective. *Fisheries Research* 108: 235-239.
 22. Lam, C. H., B. Galuardi and M. E. Lutcavage. 2014. Movements and oceanographic associations of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71 (10): 1529-1543.
 23. Lan, K. W., M. A. Lee, C. P. Chou and A. H. Vayghan. 2018. Association between the interannual variation in the oceanic environment and catch rates of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Atlantic Ocean. *Fisheries Oceanography* 27 (5): 395-407.
 24. Lan, K. W., T. Nishida, M. A. Lee, H. J. Lu, H. W. Huang, S. K. Chang and Y. C. Lan. 2012. Influence of the marine environment variability on the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catch rate by the Taiwanese longline fishery in the Arabian Sea, with special reference to the high catch in 2004. *Journal of Marine Science and Technology* 20 (5): 514-524.
 25. Lan, K. W., M. A. Lee, H. J. Lu, W. J. Shieh, W. K. Lin and S. C. Kao. 2011. Ocean variations associated with fishing conditions for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil* 68 (6): 1063-1071.
 26. Lan, K. W., T. Shimada, M. A. Lee, N. J. Su and Y. Chang. 2017. Using remote-sensing environmental and fishery data to map potential Yellowfin Tuna habitats in the Tropical Pacific Ocean. *Remote Sensing* 9 (5): 444.
 27. Last, P. R., W. T. White, D. C. Gledhill, A. J. Hobday, R. Brown, G. J. Edgar and G. Pecl. 2011. Long-term shifts in abundance and distribution of a temperate fish fauna: a response to climate change and fishing practices. *Global Ecology and Biogeography* 20 (1): 58-72.
 28. Lee, P. F., I. C. Chen and W. N. Tzeng. 2005. Spatial and temporal distribution patterns of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. *ZOOLOGICAL STUDIES-TAIPEI* 44 (2): 260.
 29. Lee, M. A., A. H. Vayghan, D. C. Liu and W. C. Yang. 2017. Potential and prospective seasonal distribution of hotspot habitat of albacore tuna (*thunnus alalunga*) in the South Indian Ocean using the satellite data. In: 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Fort Worth, Texas, USA. pp. 5747-5750.
 30. Lee, M. A., J. S. Weng, K. W. Lan, A. H. Vayghan, Y. C. Wang and J. W. Chan. 2020. Empirical habitat suitability model for immature albacore tuna in the North Pacific Ocean obtained using multisatellite remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing* 41 (15): 5819-5837.
 31. Liming, S., X. Liuxiong and C. Xinjun. 2004. Relationship between bigeye tuna vertical distribution and the temperature, salinity in the Central Atlantic Ocean. *Journal of Fishery Sciences of China* 11 (6): 561-566.
 32. Lumban-Gaol, J., R. R. Leben, S. Vignudelli, K. Mahapatra, Y. Okada, B. Nababan, M. Mei-Ling, K. Amri, R. E. Arhatin and M. Syahdan. 2015. Variability of satellite-derived sea surface height anomaly, and its relationship with Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch in the Eastern Indian Ocean. *European Journal of Remote Sensing* 48: 465-477.
 33. Matsumoto, T., T. Kitagawa and S. Kimura. 2013. Vertical behavior of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the northwestern Pacific Ocean based on archival tag data. *Fisheries Oceanography* 22 (3): 234-246.
 34. Maunder, M. N. and A. E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research* 70 (2-3 SPEC. ISS.): 141-159.

35. Merino, G., H. Arrizabalaga, I. Arregui, J. Santiago, H. Murua, A. Urtizberea, E. Andonegi, P. De Bruyn and L. T. Kell. 2019. Adaptation of North Atlantic Albacore fishery to climate change: yet another potential benefit of harvest control rules. *Frontiers in Marine Science* 6 (620).
36. Mugo, R., S. I. Saitoh, A. Nihira and T. Kuroyama. 2010. Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fisheries Oceanography* 19 (5): 382-396.
37. Musyl, M. K., R. W. Brill, C. H. Boggs, D. S. Curran, T. K. Kazama and M. P. Seki. 2003. Vertical movements of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) associated with islands, buoys, and seamounts near the main Hawaiian Islands from archival tagging data. *Fisheries Oceanography* 12 (3): 152-169.
38. Nieto, K., Y. Xu, S. L. H. Teo, S. McClatchie and J. Holmes. 2017. How important are coastal fronts to albacore tuna (*Thunnus alalunga*) habitat in the Northeast Pacific Ocean? *Progress in Oceanography* 150: 62-71.
39. Nimit, K., N. K. Masuluri, A. M. Berger, R. P. Bright, S. Prakash, U. TVS, S. K. T. P. Rohit, T. A. S. Ghosh and S. P. Varghese. 2020. Oceanographic preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in warm stratified oceans: a remote sensing approach. *International Journal of Remote Sensing* 41 (15): 5785-5805.
40. Olson, D. B., G. L. Hitchcock, A. J. Mariano, C. J. Ashjian, G. Peng, R.W. Nero and G. P. Podestá 1994. Life on the edge: marine life and fronts. *Oceanography* 7 (2): 52-60.
41. Parsa, M., E. Kamrani, M. Safaei, S. Y. Paighambari and T. Nishida. 2017. Length frequency, length-weight relationship and catch per unit of effort (CPUE) of Longtail tuna (*Thunnus tonggol*) and Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) caught by purse seine in Oman Sea. *Journal of Aquatic Ecology* 7 (2): 19-29.
42. Phillips, S. J., R. P. Anderson and R.E . Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
43. Sculley, M. L. and J. Brodziak. 2020. Quantifying the distribution of swordfish (*Xiphias gladius*) density in the Hawaii-based longline fishery. *Fisheries Research* 230: 105638.
44. Song, L., J. Zhou, Y. Zhou, T. Nishida, W. Jiang and J. Wang. 2009. Environmental preferences of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Indian Ocean: an application to a longline fishery. *Environmental Biology of Fishes* 85 (2): 153-171.
45. Su, N. J., C. H. Chang, Y. T. Hu, W. C. Chiang and C. T. Tseng. 2020. Modeling the spatial distribution of Swordfish (*Xiphias gladius*) using fishery and remote sensing data: approach and resolution. *Remote Sensing* 12 (6): 947.
46. Su, N. J., S. Z. Yeh, C. L. Sun, A. E. Punt, Y. Chen and S. P. Wang. 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): 235-246.
47. Syamsuddin, M., S. I. Saitoh, T. Hirawake, F. Syamsudin and M. Zainuddin. 2016. Interannual variation of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) hotspots in the eastern Indian Ocean off Java. *International Journal of Remote Sensing* 37 (9): 2087-2100.
48. Teo, S. L. H., A. M. Boustany and B. A. Block. 2007. Oceanographic preferences of Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, on their Gulf of Mexico breeding grounds. *Marine Biology* 152 (5): 1105-1119.
49. Thrush, S. F. and P. K. Dayton. 2010. What can ecology contribute to ecosystem-based management? *Annual Review of Marine Science* 2 (1): 419-441.
50. Wood, S. N. 2006. *Generalized Additive Models: an Introduction with R*. CRC Press: Boca Raton, FL.
51. Yang, S., J. Ma, Y. Wu, X. Fan, S. Jin and X. Chen. 2015. Relationship between temporal-spatial distribution of fishing grounds of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and thermocline characteristics in the Atlantic Ocean. *Acta Ecologica Sinica* 35 (3): 1-9.
52. Yu, L. 2003. Variability of the depth of the 20°C isotherm along 6°N in the Bay of Bengal: Its response to remote and local forcing and its relation to satellite SSH variability. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 50 (12-13): 2285-2304.
53. Zhang, P., L. Yang, X. F. Zhang, and Y. G. Tang. 2010. The present status and prospect on exploitation of tuna and squid fishery resources in South China Sea. *South China Fisheries Science* 6 (1): 68-74.

Distribution Modeling of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus* Lowe, 1839), Using Satellite Derived Environmental Variables in Indian Ocean

A. Haghi Vayghan^{1*}

(Received: September 20-2020; Accepted: November 10-2020)

Abstract

Understanding effects of environment on the distribution of economic fish is a fundamental step in the ecosystem-based management and ultimately a standard approach in management policies. Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) is one of the most important aquatic species harvested in the Indian Ocean. The present study investigated the association of different variables effecting the rate of catch and distribution of bigeye tuna, using generalized additive model (GAM) and maximum entropy (MaxEnt) and satellite derived environmental variables in the Indian Ocean. Results highlighted the importance of temporal and spatial variables along with the eddy kinetic energy, sea level height, depth of 20°C isotherm and sea surface temperature on the distribution of the species. The most suitable habitat predicted by MaxEnt model was observed around the latitudes of 0 to 5 degrees of north and south, mainly in the western part of the Indian Ocean and longitude of 45 to 70 degrees east. Using satellite data, the present study determined the important factors and suitable habitats for the species, which can be useful for Iranian fisheries managers to increase the fishing efficiency and implementing of ecosystem-based fisheries management in the shared exploited stocks of the Indian Ocean.

Keywords: Bigeye tuna, distribution, habitat modeling, ecosystem management

1. Department of Ecology & Aquatic stocks management, Artemia & Aquaculture Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran.

*: Corresponding Author, Email: a.haghi@urmia.ac.ir