Journal of Aquaculture Sciences 11(20): 152-162 (2023)
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

نشریه علوم آبزی‌پروری
دوره ۱۱، شماره ۲۰: ۱۵۲-۱۶۲ (۱۴۰۲)

بررسی پارامترهای مؤثر بر پیش‌بینی مقدار صید ماهی تن زردباله *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) در اقیانوس هند با سیستم فازی مبتنی بر قواعد

نرجس بختیاری[۱]، هادی پورباقر*[۱]، سهیل ایگدری[۱]، جهانگیر فقهی[۲]

[۱]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
[۲]گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳**

چکیده

برای ارتقاء وضعیت صید ناوگان صیادی ماهیان تن لازم است تا محل‌های مستعد صید این ماهیان مشخص گردد. از این‌رو، این مطالعه، به‌منظور پیش‌بینی قابلیت صید ماهی تن ماهی زرد در پنج سال آینده با استفاده از یک مدل سیستم فازی به‌اجرا درآمد. برای تعیین مکان پیش‌بینی شده برای بیشترین صید در منطقه ۵۱ اقیانوس هند، اطلاعات مربوط به تن ماهی زردباله اقیانوس هند از کمیسیون تن ماهی اقیانوس هند (IOTC) به‌دست آمد. مدل از پارامترهای محیطی سال ۲۰۰۵ و توزیع مکانی صید تن ماهی زرد در سال ۲۰۱۰ ساخته شد. مقدار صید در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد در حالی که پارامترهای محیطی سال ۲۰۰۵ به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. مدل با استفاده از ۷۰٪ از داده‌ها آموزش دیده شده و داده‌های باقیمانده برای تست استفاده شدند. کیفیت مدل با استفاده از ضریب توضیح و ریشه مجموع مربعات باقی‌مانده ارزیابی شد. به‌نظر می‌رسد که مدل قابلیت پیش‌بینی ضعیفی دارد و مدل‌های مبتنی بر قوانین فازی برای مدل‌سازی پیش‌بینی صید ماهی تن زردباله در اقیانوس هند توصیه نمی‌شود. با این حال، عمق لایه ایزوترم ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر محیطی در پیش‌بینی صید ماهی تن زردباله شناسایی شد.

کلید واژگان: سیستم فازی، مقدار صید، پیش‌بینی، اقیانوس هند، تن ماهی زردباله

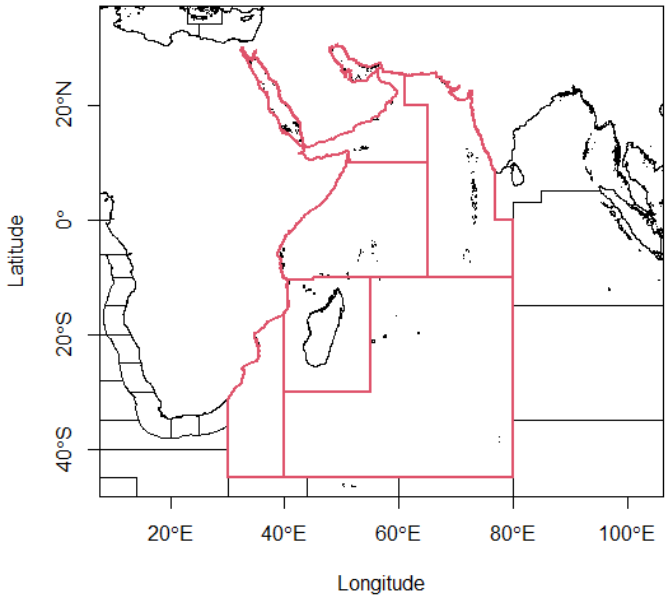
*نویسنده مسئول poorbagher@ut.ac.ir

مقدمه

استفاده از منابع اقیانوسی به‌همراه رشد سریع جمعیت در سواحل باعث تشدید تخریب سلامت اکوسیستم‌های دریایی شده است. منابع دریایی در سطح جهانی در نتیجه عدم مدیریت کافی در حال کاهش هستند، به‌طوری‌که امکان حفظ سلامت و بهره‌برداری پایدار از منابع را با خطر جدی مواجه می‌نماید (Davies *et al*., 2014). همچنین تغییرات اقلیمی به همراه بهره‌برداری‌های زیاد انسانی باعث تغییر در فراوانی، ساختار سنی و تغییر در توزیع و صید تن ماهیان ماهیان تجاری شده است (Last *et al*., 2011; Michael *et al*., 2017). اجرای صحیح مدیریت اکوسیستم محور شیلاتی نیازمند داشتن اطلاعات کافی به‌ویژه زیستگاه مطلوب گونه مورد هدف و تأثیر متغیرهای محیطی در میزان پراکندگی این گونه از تن ماهیان خواهد بود. علاوه بر این، اطلاع از میزان پراکنش تن ماهی زردباله و ارتباطات محیطی به‌همراه سایر شاخص‌های اکولوژیک برای حفاظت و مدیریت بهتر این گروه از تن ماهیان ضروری است. بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی کننده پراکنش جهت مطالعه و ارزیابی تن ماهی زردباله در زیستگاه آن به‌طور چشمگیری گسترش یافته است. این مدل‌ها به‌عنوان یک ابزار کارآمد در کمک به مدیران در امر مدیریت و حفاظت از اکوسیستم دارای نقاط قوت و ضعف نیز می‌باشند. پراکنش مکانی تن ماهی زردباله و استقرار آن‌ها در عرصه‌های زیستگاهی براساس دامنه بردباری به‌عوامل مختلف محیطی و ویژگی‌های اکولوژیک مناطق مورد بررسی بستگی دارد، بنابراین شناخت عوامل تأثیرگذار بر پراکنش مکانی می‌تواند در شناسایی میزان جمعیت و همچنین زیستگاه مکانی این دسته از آبزیان، کارآمد باشد. همچنین این امر به مدیریت، احیاء و توسعهٔ اکوسیستم‌های زیستگاهی در حال تخریب، کمک شایانی خواهد کرد (Setiawati *et al*., 2015). امروزه بکارگیری روش‌های آماری مناسب و مدل‌های پیش‌بینی توزیع به سرعت در بوم‌شناسی در حال توسعه می‌باشد (Jokar Arsanjani *et al*., 2013).

ماهی تن زردباله (*Thunnus albacares*) از خانواده تن ماهیان (Scombridae) راسته (Perciformes) می‌باشد (Borland and Bailey, 2019). طول این گونه حداکثر می‌تواند به ۱۹۵ سانتی‌متر برسد. این ماهی در سراسر دریای مکران پراکنش دارد. گیدر یا تن زردباله، مرغوب‌ترین گونه ماهی تن است که در آب‌های نیمه‌سطحی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری اقیانوس‌های سراسر جهان توزیع شده است.در جنوب ایران به آن جودر و گباب نیز گفته می‌شود. این نوع ماهی دارای بدن بسیار بزرگ است. از مشخصه‌های آن باله‌ها و پره‌های زردرنگ آن‌ها در وسط و نزدیک دم آن‌ها می باشد.خط آبی تیره بلندی از جلو تا نزدیک دم آن‌ها کشیده شده است. این ماهی در آب‌های ایران و بیش از ۱۶۰ کشور جهان زندگی می‌کند. ساکن آب‌های شور و لب شور دریایی در مناطق گرمسیری و گونه‌ای پلاژیک و اقیانوس رو می‌باشد که در اعماق ۱ تا ۲۵۰ متری دیده می‌شود. همچنین دارای ارزش اقتصادی زیادی است. این گونه جزء گونه‌های نزدیک به تهدید اتحادیه بین المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) است. سیستم‌های مبتنی بر قواعد فازی روش‌های شناخته شده‌ای در محاسبات نرم‌افزاری هستند. این روش‌ها برای حل مشکلاتی چون ناخطی بودن بکار می‌روند. به‌طور واضح‌تر برای دسته‌بندی و رگرسیون کاربرد دارند و در حیطه‌های مهندسی و علم مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Riza *et al*., 2015).

پیش‌بینی میزان صید سال‌های آتی با استفاده از داده‌های محیطی سال‌های اخیر امری مرسوم نیست. پیش‌بینی داده‌های صید می‌تواند به مدیران مربوطه در تصمیم‌گیری برای مدیریت موجودی ماهی، تعیین سقف صید و تخصیص منابع کمک نماید. با داشتن پیش‌بینی مقادیر صید، شاید بتوان روشی برای به‌حداکثر رساندن صید با کمترین آسیب به محیط‌زیست را نیز تعیین نمود. به کمک پیش‌بینی می‌توان اطلاعاتی در مورد صید بی‌رویه به‌دست آورد که جهت حفظ صنعت ماهیگیری پایدار بسیار ضروری است. علاوه بر این، این‌گونه پیش‌بینی‌ها در جهت آگاهی از وضعیت جمعیت ماهی، مانند تغییرات در تنوع گونه‌ها، توزیع اندازه و رشد، این اجازه را خواهد داد که قبل از پایان یافتن ذخایر ماهیگیری تصمیم‌های درستی اتخاذ شود. به‌طور کلی، دسترسی به پیش‌بینی داده‌های صید بیشترین منفعت را برای مدیریت صیادی خواهد داشت، در عین حال می‌تواند برای حفظ سلامت اقیانوس و زیستمندان آن مفید باشد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، بررسی عوامل محیطی مؤثر بر مقدار تن ماهیان در اقیانوس هند با رویکردی پیش‌بینی کننده است. همچنین عوامل محیطی مؤثر در پیش‌بینی مقدار صید ماهی تن در پنج سال آینده تعیین خواهد شد.



شکل ۱- تقسیم‌بندی فائو برای مناطق صیادی آب‌های جهان؛ منطقه ۵۱ دریایی با رنگ قرمز نشان داده شده است

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه محدوده آب‌های اقیانوس هند (مرزهای اقیانوس هند غربی منطقه اصلی ماهیگیری ۵۱) در شکل ۱ نشان داده شده است. تمام آب‌های دریایی اقیانوس هند غربی محدود به خطی که از سواحل جنوب شرقی هند در طول جغرافیایی ۷۷ درجه سانتی‌گراد شروع می‌شود، جایی که مرز بین ایالات کرالا و تامیل نادو در دریا به هم می‌رسد. از آنجا به سمت جنوب به استوا و از آنجا به شرق تا ۸۰ درجه و ۰۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و به سمت جنوب به عرض جغرافیایی ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

متغییرهای محیطی: در این مطالعه از متغیرهای سنجیده از راه دور استفاده شد، که توسط ماهواره‌های مختلف ثبت شده بودند و در پایگاه‌های داده به‌صورت برخط[1] در دسترس بودند. پارامترهای محیطی مورد استفاده برای مدل‌سازی عبارت بودند از غلظت کلروفیل آلفا، کربن معدنی و آلی محلول، بازتابش نور در ۶۴۵ نانومتر که به‌عنوان کدورت آب در نظر گرفته شد (Chen *et al.*, 2007)، ضخامت اُپتیک آئروسل در ۸۶۹ نانومتر، ضریب آنگستروم، دمای سطح آب در روز و شب، نابهنجاری سطح آب[2]، عمق لایه هم‌دمایی ۲۰°C سرعت باد در سطح (جدول ۱). دوره تناوب این متغیرها ماهانه بود و داده‌ها با فرمت Net CDF (nc) بودند. عمق لایه هم‌دمای ۲۰ °C به‌عنوان جانشینی برای عمق ترموکلاین در نظر گرفته شد (Mankad *et al.*, 2012).

مدل‌سازی مقدار صید با استفاده از سیستم فازی: در این مطالعه کلیه محاسبات و ترسیم نقشه‌ها با نرم‌افزار R4.0.1 (R Core Team, 2021) و پکیج frbs استفاده شدند و در بقیه این مطالعه از اشاره به آن خودداری شد. مقدار صید در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های محیطی سال ۲۰۰۵ به‌عنوان متغیر مستقل عنوان شدند. لایه‌های نابهنجاری آب دارای دوره تناوب روزانه بودند که میانگین ماهیانه آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت زیرا داده‌های صید ماهیانه ثبت شده بودند. بیشتر لایه‌های داده دارای رزلوشن ۰/۰۸۰ در ۰/۰۸۰ درجه بودند (Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019). از این‌رو رزلوشن نابهنجاری سطح آب، عمق لایه هم‌دمایی ۲۰ درجه و سرعت باد در سطح نیز با تابع Project Raster از بسته raster تغییر داده شد و به رزلوشن سایر لایه‌ها رسانده شدند. از روش سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه منطق استفاده شد (Riza *et al.*, 2015). بنابراین ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش[3] و باقی برای آزمودن سیستم فازی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی کیفیت مدل از ضریب تبیین و ریشه مجموع مربعات

[1]Online
[2]Sea level anomaly
[3]Training

جدول ۱- پارامترهای محیطی مورد استفاده برای برازش مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه تن ماهی زردباله در منطقه ۵۱ اقیانوس هند

متغیر	نام مخفف	واحد اندازه‌گیری	رزلوشن مکانی	منبع داده
غلظت کلروفیل آلفا	Chl	mg m^{-3}	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
کربن معدنی محلول	PIC	mol m^{-3}	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
کربن آلی محلول	POC	mg m^{-3}	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
بازتابش نور در ۶۴۵ نانومتر	X645	sr^{-1}	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
ضخامت اُپتیک آئروسل در ۸۶۹ nm	AOT869		0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
ضریب آنگستروم	Ac		0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
دمای سطح آب در روز	SSTD	C°	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
دمای سطح آب در شب	SSTN	C°	0.08°×0.08°	(NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, 2021)
نابهنجاری سطح آب	SLA	m	0.25°×0.25°	(Copernicus Climate Change Service Information, 2018)
عمق لایه هم دمایی ۲۰ °C	D20	m	1°×1°	(Copernicus Climate Change Service Information, 2021)
سرعت باد در سطح	SWS	m s^{-1}	0.625°×0.5°	(Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), 2015)

باقیمانده[4] استفاده شد (Kuhn and Johnson, 2013). همین دو معیار آخر برای داده‌های آزمودن مدل نیز استفاده شدند و اهمیت متغیرهای مستقل با استفاده از تابع varImp از بسته caret تعیین شد.

نتایج

۲۱ ناوگان از ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ مبادرت به صید از تن ماهیان نموده‌اند (جدول ۲ و شکل ۲). که بیشترین سال‌های فعالیت صیادی در درجه‌های اول تا سوم به‌ترتیب متعلق به مالدیو، فرانسه و اسپانیا بود (شکل ۳). ردیف ۱۵ از جدول زیر "موارد ذکر نشده" است همچنین داده‌های مربوط به صید تن ماهیان اقیانوس هند در دوره زمانی مورد مطالعه از کمیسیون تن اقیانوس هند[5] (IOTC) دریافت شد. این داده‌ها متعلق به منطقه صیادی ۵۱ می‌باشد. داده‌های مورد نظر شامل مختصات محل صید، مقدار صید گونه ماهی زردباله برحسب تن و میزان تلاش و نوع ادوات صیادی بودند. ناوگان‌هایی که به‌طور مستمر مبادرت به صید کردند، شامل اسپانیا، سیشل، فرانسه، ژاپن، استرالیا و مالدیو بودند که از داده‌های آن ناوگان‌ها استفاده گردید.

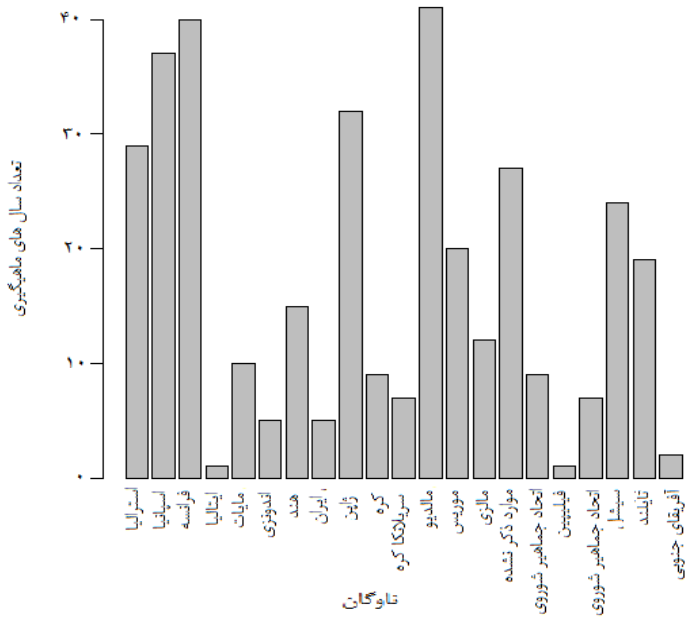
پراکنش مکانی مقدار صید تن زردباله: پراکنش مکانی مقدار صید صورت گرفته در سال ۲۰۱۰ توسط پنج ناوگان که در این تحقیق با داده‌های آن‌ها مدل‌سازی انجام شد که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. ناوگان‌های اسپانیا، سیشل و فرانسه دربیشترین وسعت از اقیانوس هند به صید پرداخته و ناوگان‌های مالدیو و ژاپن کمترین مساحت را مورد صید قرار دادند. ینابراین جهت مدل‌سازی از ناوگان‌هایی که در بیشتر وسعت از منطقه فعالیت و بالاترین مقدار صید را داشته‌اند با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی در سال‌های مورد تحقیق استفاده شد. داده‌های محیطی استفاده شده در مدل‌سازی در شکل ۵ ارائه شده است. بیشترین تغییراتی مکانی مربوط به داده‌های وزش باد و

[4]Root mean square error (RMSE)

[5]Indian Ocean Tuna Commission (IOTC)

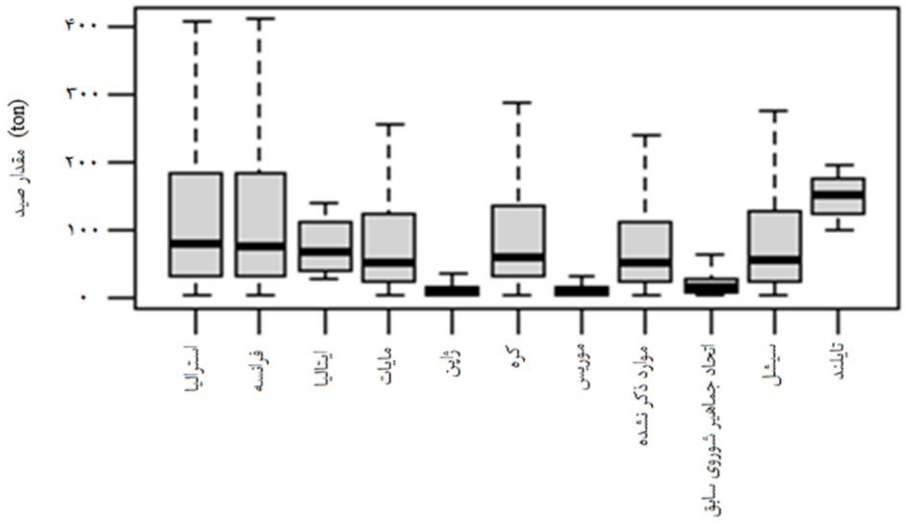
جدول ۲- ناوگان‌هایی که در طی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ مبادرت به صید تن ماهیان در اقیانوس هند نمودند

ردیف	نام ناوگان (کشور)	نام اختصاری
۱	استرالیا	AUS
۲	اسپانیا	EUESP
۳	فرانسه	EUFRA
۴	ایتالیا	EUITA
۵	مایات	EUMYT
۶	اندونزی	IDN
۷	هند	IND
۸	ایران	IRN
۹	ژاپن	JPN
۱۰	کره	KOR
۱۱	سری لانکا	LKA
۱۲	مالدیو	MDV
۱۳	موریس	MUS
۱۴	مالزی	MYS
۱۵	موارد ذکر نشده	NEIPS
۱۶	اتحاد جماهیر شوروی سابق	NEISU
۱۷	فیلیپین	PHL
۱۸	اتحاد جماهیر شوروی	SUN
۱۹	سیشل	SYC
۲۰	تایلند	THA
۲۱	آفریقای جنوبی	ZAF

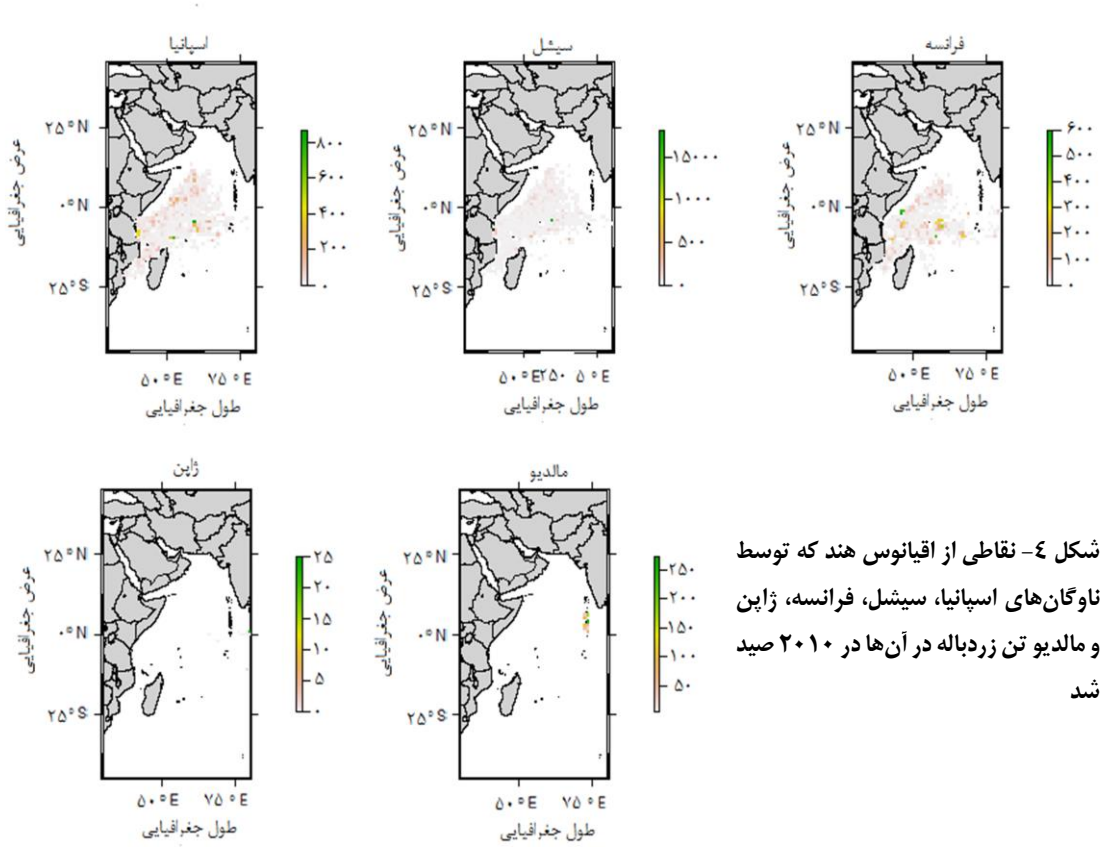


شکل ۲- تعداد سال‌هایی که ناوگان‌های مختلف از ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ مبادرت به صید تن ماهیان در اقیانوس هند نمودند

دمای سطحی آب بودند. نتیجه ارزیابی مدل برازش داده شده در **جدول ۳** ارائه شده است. این دو پارامتر ارزیابی مدل برای داده‌های آموزش و آزمودن مدل دارای مقادیر مشابهی بودند. اهمیت پارامترهای محیطی برای صید تن زرد باله در جدول ۴ گزارش شده است. براساس نتایج، مهمترین فاکتور D20 بود همچنین دمای سطحی آب در طول روز از کمترین اهمیت برخوردار بود.



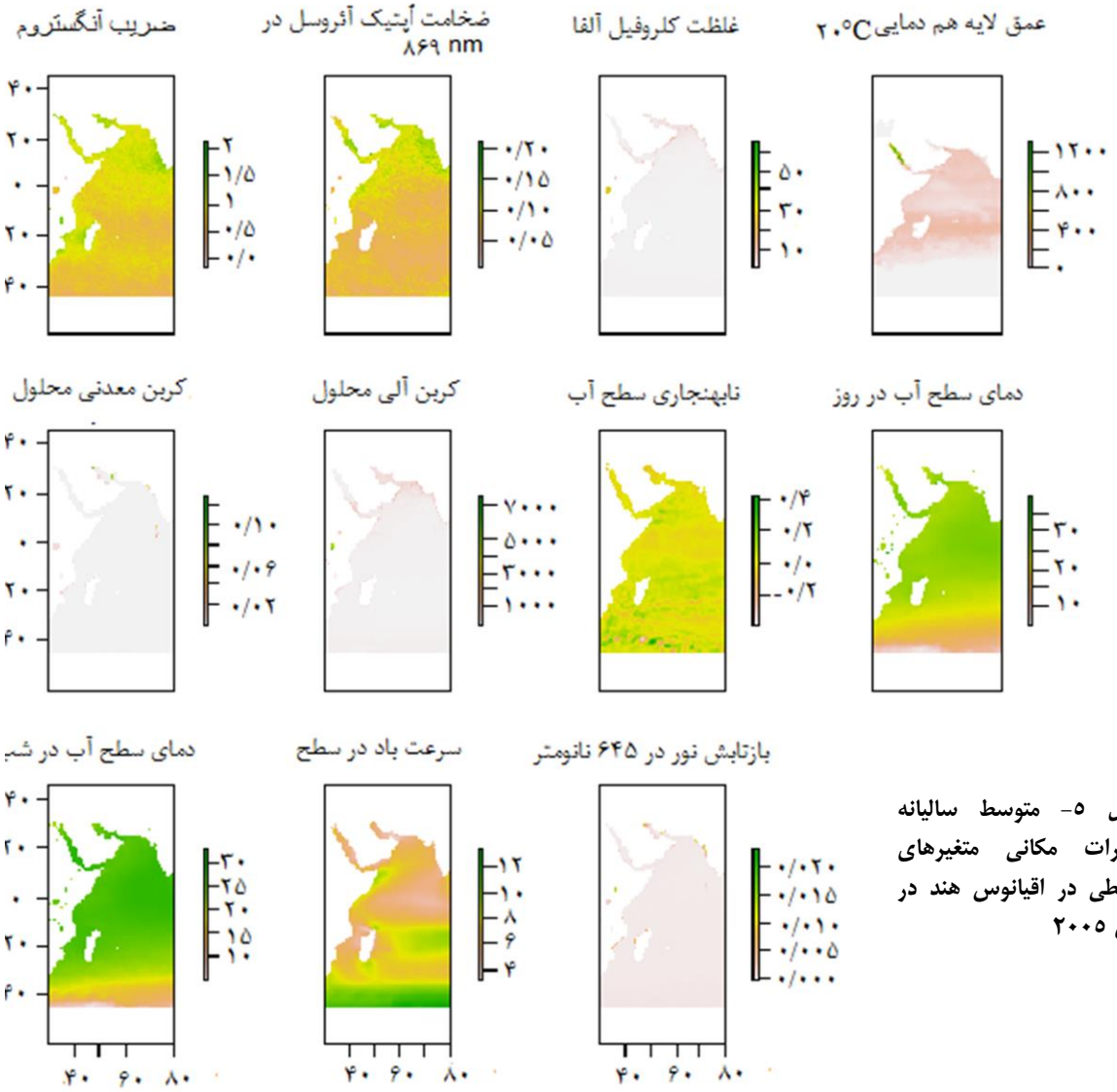
شکل ۳- مقدار صید تن زردباله توسط ناوگان‌های مختلف از ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰



شکل ٤- نقاطی از اقیانوس هند که توسط ناوگان‌های اسپانیا، سیشل، فرانسه، ژاپن و مالدیو تن زردباله در آن‌ها در ۲۰۱۰ صید شد

بحث

داشتن اطلاعات کافی در مورد مطالعه و ارتباطات محیطی و مقدار صید انجام شده و دیگر شاخصه‌های اکولوژیک در زمینه صید کارآمد، ضروری است. پیش‌بینی مقدار صید با استفاده از روش سیستم فازی یکی از روش‌های پیش‌بینی می‌باشد که سایر محققین نیز در این زمینه مطالعات داشته‌اند. برای مدیریت بهتر صید باید رویکرد بیش‌بینی مورد بررسی قرار گیرد. از این‌رو مطالعه حاضر سعی نمود تا با استفاده از داده‌های محیطی تهیه شده از طریق سنجش از راه دور ماهواره‌ای، پیش بینی مقدار صید ماهی تن زرد باله



شکل ۵- متوسط سالیانه تغییرات مکانی متغیرهای محیطی در اقیانوس هند در سال ۲۰۰۵

جدول ۳. ریشه میانگین مربع خطا و ضریب تبیین برای مدل برازش با داده‌های سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰

معیار ارزیابی	داده‌های آموزش	داده‌های آزمودن
RMSE	۶۲/۲۰۶۱	۶۰/۱۴۱۵
R^2	۰/۱۵۱۸	۰/۰۶۴۹

جدول ٤- اهمیت متغیرهای مستقل محیطی در مدل برازش داده شده با داده‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰

متغیر	اهمیت
عمق لایه هم‌دمایی ۲۰ °C	
نابهنجاری سطح آب	۱۴/۲۷۹
بازتابش نور در ۶۴۵ نانومتر	۱۰/۰۷۵
کربن معدنی محلول	۹/۰۸۲
سرعت باد در سطح	۸/۴۹۱
ضخامت اُپتیک آئروسل در ۸۶۹ nm	۷/۷۲۴
ضریب آنگستروم	۵/۸۶۹
غلظت کلروفیل آلفا	۳/۳۸۴
کربن آلی محلول	۳/۱۶۶
دمای سطح آب در شب	۲/۸۳۰
دمای سطح آب در روز	۰/۰۰۰

را برای پنج سال پس از زمان اخذ داده‌های محیطی مورد ارزیابی قرار دهد.

در مطالعه حاضر پیش‌بینی به‌دست آمده توسط سیستم فازی به معنی عملکرد ضعیف آن بود، که تا حدی هم به علت فاصله زمانی زیاد بین داده‌های مستقل و وابسته می‌باشد، اما روش بکار رفته می‌تواند دیدگاه‌هایی را در مورد رابطه بین عوامل محیطی و صید تن زردباله در اقیانوس هند ارائه دهد. سیستم‌های استنتاج فازی نوعی از هوش مصنوعی هستند که می‌توان از آن‌ها روابط پیچیده غیر خطی را مدل‌سازی کرد. در مورد تن ماهیان، فاکتورهایی چون عمق لایه هم‌دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان مهمترین پارامتر و دمای سطحی آب به‌عنوان کم اهمیت‌ترین پارامتر شناخته شدند. با وجود این پیش‌بینی ضعیف، این مطالعه عوامل مهمتر یا کم اهمیت‌تر را از یکدیگر باز شناخت و تا حدی با آنچه مطالعات دیگر گزارش کرده‌اند، تطابق دارد (Riza *et al*., 2015). سیستم فازی ممکن است بیانگراین باشد که بین پارمترهای محیطی و مقدار صید رابطه‌ای غیر خطی وجود دارد. ممکن است با بررسی روش‌های دیگر مدل‌سازی به نتایج بهتری دست یافت که برای بخش مدیریت مورد استفاده قرار می‌گیرد. از موارد دیگری که می‌تواند برای عملکرد سیستم فازی بکار رفته ذکر نمود پارامترهای محیطی معرفی شده به مدل به‌عنوان متغیرهای مستقل است. اضافه نمودن یا تغییر پارامترهای جدید ممکن است به مدلی بهتر منجر شود که می‌تواند موضوع مطالعات آتی باشد. استفاده از روش‌های پیش‌بینی برای تعیین یا حدس در مورد مقادیر آتی صید در علوم شیلاتی مرسوم نیست. اما رویکرد بکار رفته در مطالعه حاضر می‌تواند روشی نوآورانه برای مدیریت شیلات محسوب شود و شایسته است تا به آن پرداخته شود. زیرا سیستم غیر خطی بکار رفته در مطالعه حاضر ممکن است روابطی را بین متغیرهای محیطی و میزان صید پیدا نماید که توسط آمار سنتی قابل کشف نباشد. در ضمن سیستم استنتاج فازی می‌تواند برای مواقعی که داده زیادی در دسترس نیست یا دارای عدم قطعیت است، بکار رود چیزی که در مورد داده‌های صیادی به‌صورت مکرر پیش می‌آید بنابرین باز مزیت استفاده از روش مورد استفاده مورد تأکید قرار می‌گیرد.

استفاده از داده‌های سنجش از راه دور ماهواره‌ای به‌همراه سیستم استنتاج فازی دارای مزایای از جمله موارد زیر است: اول اینکه داده‌های یا رزلوشن بالا مورد استفاده قرار گرفت و در واقع ارزیابی پهنه وسیع اقیانوس هند میسر شد. این نوع بررسی‌ها امکان بررسی‌های وسیعی را می‌دهد که با روشی دیگر شاید قابل انجام نباشد.علاوه بر این، استفاده از تسهیلات ناشی از سنجش از راه دور می‌تواند کمکی برای کمبود داده یا نمونه‌گیری‌های اندک یا نمونه‌گیری‌هایی باشد که در سطح یک اقیانوس میسر نیست. یقیناً تصویر ارائه شده با داده‌های سنجش از راه دور ماهواره‌ای می‌تواند در کاهش خطا مؤثر باشد. مزیت دیگر استفاده از داده‌های سنجش از راه دور ماهواره‌ای این است که می‌توان متغیرهای را اندازه‌گیری کرد که شاید با روشهای سنتی در مقیاس وسیع قابل اندازه‌گیری نباشد. مثلا اندازه‌گیری کلروفیل آلفا پر هزینه بوده و امکانات بودجه‌ای اجازه اندازه‌گیری متعدد آن‌را نمی‌دهد.

مدل‌های پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های آبزیان، مطالعاتی هستند که با داشتن داده‌های با قابلیت اطمینان بالا می‌توانند از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری کرده و انجام تحقیقات اکولوژیک را مقرون به صرف نماید (Salas-Eljatib *et al*., 2018). مدل بررسی میزان پراکنش تن ماهی زردباله در نواحی مختلف اقیانوسی براساس شرایط محیطی بر گرفته از تصاویر ماهواره‌ای جهت اهداف مختلف (بررسی میزان صید) در آن ناحیه بوده که دیگر محققین نیز از روش‌های مشابه برای اهداف خود استفاده نموده‌اند (Lee *et al*., 2020). سایر محققان نیز با هدف جلوگیری از برداشت بیش از حد منابع از مدل مقدار صید با استفاده از زنجیره مارکوف استفاده کردند (Chen *et al*., 2013). فاکتورهای زیادی در میزان پراکنش تن ماهیان اقیانوس هند تأثیرگذار بوده که همین عوامل باعث شده که در نقاط مختلفی از منطقه ۵۱ اقیانوس هند مقدار صید با توجه به فراوانی بیشتر گونه تن ماهیان زردباله روند افزایشی و در سایر نواحی مقدار صید بسیار پایینی انجام شود در حالی که براساس مختصات جغرافیایی و نقاط UTM موجود در این ناحیه (۵۱) پراکنش در فواصل مختلف بسیار متفاوت می‌باشد که در این تحقیق با توجه به اطلاعات ماهواره‌ای برگرفته از ناسا و همچنین مقدار صید انجام گرفته توسط ناوگان در سال‌های مختلف در منطقه ۵۱ اقیانوس هند و انجام مدل‌سازی مقدار صید، مدیریت صحیح پیش‌بینی مقدار صید در سال‌های آینده را آسان‌تر خواهد کرد. تاجایی که تحقیقات

متفاوتی به نقش متغیرهای مختلف خصوصاً متغیرهای محیطی در پراکنش تن ماهیان اقیانوس هند اشاره دارد (Nimit *et al*., 2020).

لزوم بکارگیری تکنیک‌های پیش‌بینی مقدار صید را می‌توان به‌عنوان چالش پیش‌روی برای مدیریت تمامی اکوسیستم‌های دریایی عنوان کرد. در حقیقت تغییرات محیطی از جمله آب و هوایی یک چالش نوظهور برای مدیریت پایدار صید تن ماهیان است که در این تحقیق جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی بیشترین پراکنش تن ماهی زردباله این اطلاعات ضرورتی بیش از پیش یافته است. با این حال، اطلاعات دقیق در مورد اثر تغییرات محیطی و تأثیر آن بر منابع دریایی در اقیانوس هند، بسیار ناچیز است (Hoyle, 2018). شاخص‌های تغییرات اقلیمی و اقیانوسی بررسی شده نیز بیانگر اثرات مشخصی بر روی میزان صید در ابعاد مکانی–زمانی در سایر گونه‌های تون ماهیان می‌باشد (Lan *et al*., 2013). بنابراین در راستای بهره‌برداری پایدار و مسئولانه و مدیریت ذخایر این گونه از آبزیان با استفاده از این تحقیقاتی نظیر مطالعه حاضر می‌توان پیش‌بینی نمود که بیشترین ذخایر آبزیان در کدام منطقه و در چه زمانی در حال کاهش و یا افزایش می باشد. هرچند گشت‌های تحقیقاتی ارزیابی ذخایر در پهنه آب‌های اقیانوسی به‌منظور مدیریت ذخایر در اختیار سازمان شیلات قرار می‌گیرد اما تاکنون روند تغییرات پراکنش ذخایر آبزیان به‌صورت یک الگوی دقیق ترسیم نشده که مشخص گردد گونه‌های مهم تجاری و غیر تجاری در طی یک دوره چند ساله در چه عمق خاصی و در چه منطقه‌ای از غرب اقیانوس هند کمترین و بیشترین میزان پراکنش را خواهند داشت که در این تحقیق با استفاده از روش مدسازی فازی این مسئله مشخص شده و قابل برنامه‌ریزی و مدیریت خواهد بود (Karimpour *et al*., 2013).

با توجه به پراکنش تن ماهیان زردباله در این ناحیه و اهمیت این گونه‌ها در زنجیره اقتصادی، ضرورت بررسی تحلیل شاخص‌های وضعیت ذخیره این گونه از تن ماهیان موضوعی بسیار مهم می‌باشد که با بررسی اطلاعات و آمار مقدار صید در چند سال مختلف و استفاده از مدل‌سازی و روش‌های نوظهور خصوصاً روش‌های پیش‌بینی صید می‌تواند کمک بزرگی در جهت مدیریت و جلوگیری از برداشت غیر مجاز این گونه از تن ماهیان اقیانوس هند در منطقه مورد مطالعه باشد.

منابع

Borland M.E., Bailey M. 2019. A tale of two standards: A case study of the Fair Trade USA certified Maluku handline yellowfin tuna (Thunnus albacares) fishery. *Marine Policy* 100, 353-360.

Chen C.F., Son N.T., Chang N. Bin, Chen C.R., Chang L.Y., Valdez M., Centeno G., Thompson C.A., Aceituno J.L. 2013. Multi-decadal mangrove forest change detection and prediction in Honduras, Central America, with landsat imagery and a markov chain model. *Remote Sensing* 5(12), 6408–6426.

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), 207-220.

Davies T.K., Mees C.C., Milner-Gulland E. 2014. The past, present and future use of drifting fish aggregating devices (FADs) in the Indian Ocean. *Marine Policy* 45, 163-170.

Erauskin-Extramiana M., Arrizabalaga H., Hobday A. J., Cabré A., Ibaibarriaga L., Arregui I., Chust G. 2019. Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global Change Biology* 25(6), 2043-2060.

FAO 2020. FAO Major Fishing Areas Indian Ocean, Western (Major Fishing Area 51). Retrieved from http://www.fao.org/fishery/area/Area51/en.

Hoyle S.D. 2018. Indian Ocean tropical tuna regional scaling factors that allow for seasonality and cell areas: IOTC-2018-WPM09-13. Indian Ocean Tuna Commission, 9th Working Party.

Jokar Arsanjani J., Helbich M., Kainz W., Darvishi Boloorani A. 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion, International Journal of Applied Earth *Observation and Geoinformation* 21, 265-275.

Karimpour M., Harlioglu M.M., Khanipour A.A., Abdolmalaki S., Aksu Ö. 2013. Present status of fisheries in Iran. *Journal of Fisheries Sciences* 7(2), 161-177.

Kuhn M., Johnson K. 2013. Applied predictive modeling. Springer. 600 p.

Lan K.W., Evans K., Lee M.A. 2013. Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climate Change*, 1-15.

Last P.R., White W.T., Gledhill D.C., Hobday A.J., Pecl G. 2011. Long-term shifts in abundance and distribution of a temperate Fish fauna: a response to climate change and fishing practices. *Global Ecology and Biogeograph*y 20(1), 58-72.

Lee M.A., Weng J.S., Lan K.W., Vayghan A.H., Wang Y.C., Chan J.W. 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.

Mankad B. M., Sharma R., Pal P.K., Basu S. 2012. Estimating depth of the 20°C isotherm from sea level in the Arabian Sea. *Remote Sensing Letters* 3(5), 413-421.

Michael P.E., Wilcox C., Tuck G.N., Hobdayb A.J., Struttona P.G. 2017. Japanese and Taiwanese pelagic longline fleet dynamics and the impacts of climate change in the southern Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 140(2), 242-250.

Nimit K., Masuluri N.K., Berger A.M., Bright R.P., Prakash S., TVS U., Kumaar S., Rohit P., AT., Ghosh S., Varghese S.P. 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.

R Core Team.2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Https://www.R-project.org.

Riza L.S., Bergmeir C.N., Herrera F., Benítez Sánchez J.M. 2015. frbs: Fuzzy rule-based systems for classification and regression in R. Journal of Statistical Software 65(6), 1-30.

Salas-Eljatib C., Fuentes-Ramirez A., Gregoire T.G., Altamirano A., Yaitul V. 2018. A study on the effects of unbalanced data when fitting logistic regression models in ecology. *Ecological Indicators* 85: 502-508.

Setiawati M.D., Sambah A.B., Miura F., Tanaka T., As-syakur A.R. 2015. Characterization of bigeye tuna habitat in the Southern Waters off Java–Bali using remote sensing data. *Advances in Space Research* 55: 732-746.

Journal of Aquaculture Sciences Vol. 11, No 20, 152-162
Print ISSN: 2322-5351
www.aquaculturesciences.ir

Investigating the effective parameters on predicting the catch of Yellowfin tuna *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) in the Indian Ocean using a rule-based fuzzy system

Narjes Bakhtiari[1], Hadi Poorbagher[1*], Soheil Eagderi[1], Jahangir Feghhi[2]

[1]Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
[2]Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding author: poorbagher@ut.ac.ir

Received: 25. Jun.2023 **Accepted: 25. Aug.2023**

Abstract

To improve the catch status of tuna fishing fleets, it is necessary to identify suitable fishing grounds for these fish. Therefore, this study aimed to predict the catchability of yellowfin tuna over the next five years using a rule-based fuzzy system model. To determine the predicted location for the highest catch in the Indian Ocean region 51, data on Indian Ocean yellowfin tuna were obtained from the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC). The model was constructed using environmental parameters from 2005 and the spatial distribution of yellowfin tuna catches in 2010. The catch amount in 2010 was considered as the dependent variable, while the environmental parameters from 2005 were considered as independent variables. The model was trained using 70% of the data and the remaining data was used for testing. The quality of the model was evaluated using the coefficient of determination and the root mean square error. The study found that the model had poor predictive ability and that rule-based fuzzy models are not recommended for predicting yellowfin tuna catches in the Indian Ocean. However, the isotherm layer depth of 20 °C was identified as the most important environmental parameter in predicting yellowfin tuna catches.

Keywords: Fuzzy System, Catch, Prediction, Indian Ocean, Yellowfin Tuna