

Time Series Modelling of the Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) Catch Using SARIMA Model

Received: 2023.10.03

Accepted: 2024.02.13

Fateh Moëzzi,^{1*} Hadi Poorbagher,¹ Soheil Eagderi,¹ Jahangir Feghhi²

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

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) is one of the most important bony fish species of the Caspian Sea and has high conservation and commercial value. There were decreasing trends in its catch levels in the last years. Identifying temporal trends of its catch could help adopt proper plans to maintain the stocks of this important species and achieve sustainable exploitation goals. In the present study, we conducted a time-series analysis for catch data of the species over a decadal period.

Material and Methods: The commercial catch data of Caspian Kutum, over the seine net fishing points of the northern coastal regions of Iran during catch seasons 2002/03 to 2011/12, were used as catch-per-unit-of-effort (CPUE). A 5-point moving average of CPUE was used to distinguish the fishing points as optimum (with normalized CPUEs ≥ 0.6) and non-optimum (with normalized CPUEs < 0.6) fishing locations. Time series modeling was conducted using the seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model based on seasonal 3-month intervals. The performance and predictive ability of the models were assessed using a set of indices, including Akaike's information criteria (AIC), Bayesian information criterion (BIC), root mean squared error (RMSE), normalized root mean squared error (nRMSE), mean absolute error (MAE), normalized mean absolute error (nMAE) and the Pearson correlation coefficient (r). CPUE trends over the five years of 2013 to 2017 were predicted using the best-fitted SARIMA models.

Results and Discussion: Five optimum (HR) and six non-optimum ranges (CR) were identified over the whole fishing points range (WR). The fitted SARIMA models based on the whole data of all fishing locations as well as classified optimum and non-optimum ranges of fishing locations did not have significant non-seasonal autoregressive and moving average components, indicating no increasing nor decreasing trends for CPUE over the study period, while for some of the ranges of fishing points, there were significant autoregressive and moving average components with clear seasonal increasing trends. The overall trend of CPUEs showed mainly an increase from 2002 to 2006, and then after relatively constant levels, there were decreases from 2009 to 2013. The obtained predictions from the models for data sets having sudden temporal fluctuations were less accurate. In contrast, higher accuracy levels of predictions and trends were observed for fish catch time series with no sudden alterations in CPUE levels over the studied period. Most of the obtained predictions for 2013-2017 similarly presented stationary fluctuation trends with apparent seasonal increases in CPUEs.

Conclusion: Time-series modeling for *R. frisii* using the SARIMA method mainly indicated clear increasing seasonal trends without any general trend of change over the whole fishing points. The simplicity of the obtained models considering the obtained seasonal and non-seasonal components could be explained by the short time frame and the low number of data points. However, spatial classification of fishing points resulted in more detailed models and higher recognition potential of them. The findings of this research could lead to a better understanding of the temporal trends in catch levels of Caspian Kutum and use them by fisheries managers to adopt efficient management plans regarding the available stocks of this species in the future.

Keywords: Catch-per-unit-of-effort, Caspian Sea, Kutum, SARIMA, Time-series analysis

How to cite this article:
Moëzzi, F., Poorbagher, H.,
Eagderi, S. and Feghhi, J.,
2024. Time Series
Modelling of the Caspian
Kutum (*Rutilus frisii*) Catch
Using SARIMA Model.
Environ. Sci. 22(2): 273-288

* Corresponding Author Email Address: moezifateh@ut.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1343



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

مدل‌سازی سری زمانی صید ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus frisii*) با استفاده از مدل SARIMA



تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

فاتح معزی^{۱*}، هادی پورباقر^۱، سهیل ایگدیری^۱، جهانگیر فقهی^۲

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: ماهی سفید (*Rutilus frisii*) مهمترین گونه اقتصادی ماهیان استخوانی دریای خزر است که از ارزش حفاظتی و تجاری بالایی برخوردار می‌باشد. در سال‌های اخیر میزان صید این گونه روندی کاهشی را نشان داده است. شناخت الگوهای زمانی موجود در مقادیر صید این ماهی می‌تواند در اتخاذ برنامه‌های مناسب برای حفظ ذخایر و بهره‌برداری پایدار مؤثر واقع شود. بدین منظور در مطالعه حاضر به مدل‌سازی سری‌های زمانی صید این گونه در طول یک دوره ۱۰ ساله پرداخته شد.

^۱گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲گروه مهندسی جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مواد و روش‌ها: داده‌های صید تجاری ماهی سفید به صورت صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) در بازه زمانی فصول صید ۲۰۰۲/۳ تا ۲۰۱۱/۱۲ در صیدگاه‌های پره ساحلی در شمال ایران مورد استفاده قرار گرفت. میانگین متحرک مکانی ۵-نقطه‌ای جهت تفکیک نقاط صید در بازه‌های ایتیمم (مقادیر CPUE نرمال شده $\leq 0/6$) و غیرایتیمم (مقادیر CPUE نرمال شده $> 0/6$) بکار گرفته شد. از مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه فصلی (SARIMA) بر مبنای فواصل فصلی سه ماهه جهت مدل‌سازی سری‌های زمانی داده‌های صید استفاده گردید. مجموعه‌ای از شاخص‌ها شامل معیار اطلاعاتی آکایکه (AIC)، معیار اطلاعاتی بیژین (BIC)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای مطلق نرمال شده (nMAE) و ضریب همبستگی پیرسون (r) جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها و دقت پیش‌بینی‌های حاصل از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. روند تغییرات میزان صید در طول دوره پنج ساله ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ نیز با استفاده از مدل‌های SARIMA با بهترین عملکرد برای بازه‌های صیدگاهی پیش‌بینی شد.

نتایج و بحث: در مجموعه نقاط صیدگاهی (WR)، پنج بازه ایتیمم (HR) و شش بازه غیرایتیمم (CR) تشخیص داده شد. مدل‌های سری زمانی SARIMA برازش یافته بر مبنای داده‌های کل صیدگاه‌ها و داده‌های تفکیک شده برای بازه‌های ایتیمم و غیرایتیمم، فاقد مؤلفه‌های معنی‌دار خودهمبسته و میانگین متحرک برای تغییرات غیرفصلی بودند به‌طوری‌که هیچ روند کاهشی یا افزایشی مشخصی برای مقادیر CPUE وجود نداشت، در حالیکه در برخی از بازه‌های نقاط صید مؤلفه‌های معنی‌دار خودهمبسته و میانگین متحرک در ارتباط با نوسانات فصلی ثابت افزایشی مشاهده شد. روند کلی صید در بیشتر بازه‌های صیدگاهی نشان‌دهنده افزایش مقادیر CPUE از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ و سپس روند کاهشی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بود. در سری‌های زمانی دارای نوسانات ناگهانی، برآوردهای بدست آمده از دقت کمتری برخوردار بودند، اما بازه‌های صیدگاهی فاقد نوسانات ناگهانی در داده‌ها، بیشترین سطوح دقت برآوردها و پیش‌بینی روندها را نشان دادند. بیشتر پیش‌بینی‌های بدست آمده برای دوره زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ نیز تغییرات ایستایی کلی همراه با روندهای فصلی افزایشی مشابه را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: مدل‌سازی سری‌های زمانی صید ماهی سفید (*R. frisii*) دریای خزر با استفاده از مدل SARIMA بیانگر وجود الگوهای فصلی افزایشی مشهود و عدم نوسانات کلی در گستره زمانی مورد مطالعه برای تمامی نواحی صیدگاهی بود. سادگی مدل‌های بدست آمده بر اساس مؤلفه‌های فصلی و غیرفصلی، عمدتاً ناشی از بازه زمانی کوتاه و تعداد کم مشاهدات بوده است، هر چند تفکیک مکانی نواحی صید به مدل‌هایی نسبتاً دقیق‌تر و قابلیت تشخیص بهتر منتج گردید. یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌تواند در شناخت بهتر روندهای تغییرات زمانی سطوح صید ماهی سفید و بکارگیری آن توسط مدیران شیلاتی جهت اتخاذ برنامه‌های مدیریتی کارآمد در ارتباط با ذخایر این گونه در آینده مفید واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل سری زمانی، دریای خزر، صید در واحد تلاش صیادی، ماهی سفید، SARIMA

استناد به این مقاله: معزی، ف.، ه.

پورباقر، س.، ایگدیری و ج. فقهی.

۱۴۰۳. مدل‌سازی سری زمانی صید

ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus*

frisii) با استفاده از مدل

SARIMA فصلنامه علوم محیطی.

۲۸۸-۲۷۳ (۲): ۲۲

* Corresponding Author Email Address: moezifateh@ut.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1343



مقدمه

زمانی داده قابل برازش بوده (Holmes, 2001; Ives *et al.*, 2010) و عملکرد آن‌ها مبتنی بر توصیف خودهمبستگی موجود در داده‌ها می‌باشد (Hyndman and Athanasopoulos, 2014; Ward *et al.*, 2014). فرض مورد استفاده در این مدل‌ها، ایستایی بودن داده‌ها و ثبات واریانس آن‌ها در طول زمان است. با وجود عدم تحقق فرض‌های مدل-های (S)ARIMA در بیشتر موارد برای داده‌های صیادی، امکان انجام تفاضل‌گیری و یا تغییرشکل داده‌ها، بویژه به منظور به دست آوردن روندهای فصلی، جهت رفع این محدودیت‌ها وجود دارد (Box *et al.*, 2013). سری‌های زمانی داده دارای یک روند بلندمدت و یک روند فصلی تناسب خوبی با مدل SARIMA خواهند داشت (Box *et al.*, 2013).

مدل‌های (S)ARIMA ساده‌ترین مدل‌های سری زمانی مورد استفاده در برازش و پیش‌بینی داده‌های تک متغیره هستند. این مدل‌ها در ارائه پیش‌بینی‌های سالانه و ماهانه برای مجموعه‌های داده صیادی مورد ارزیابی قرار گرفته و عملکرد بسیار مناسبی را در مقایسه با بسیاری از مدل‌های چندمتغیره نشان داده‌اند (Prista *et al.*, 2011). نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بیانگر قابلیت بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات فراوانی ذخایر شیلاتی (Freeman and Kirkwood, 1995; Stergiou *et al.*, 1997; Becerra-Munoz *et al.*, 2003; Georgakarakos *et al.*, 2006; Koutroumanidis *et al.*, 2006) و همچنین برآوردهای صید یا صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) برای صیادی-های تجاری (Czerwinski *et al.*, 2007; Maravelias and Tsitsika, 2014; Coro *et al.*, 2016; Selvaraj *et al.*, 2020; Nagano and Yamamura, 2023) می‌باشد.

ماهی سفید (*Rutilus frisii*, Nordmann, 1840) یکی از گونه-های بومی حوضه دریای خزر و متعلق به خانواده Leuciscidae می‌باشد (Eagderi *et al.*, 2022). محدوده پراکنش این گونه در دریای خزر عمدتاً گستره آب‌های ساحلی غربی و جنوبی از دهانه رودخانه ترک در بخش شمالی دریا تا دهانه رودخانه

پیش‌بینی سطوح صیادی ماهیان یکی از اجزای اساسی در مدیریت ذخایر شیلاتی محسوب می‌گردد که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را جهت برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی کارآمد فراهم سازد (Stergiou and Christou, 2008; Makridakis *et al.*, 1996). امروزه تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی داده‌های صیادی نقش مهمی در بررسی‌های مربوط به نوسانات جمعیت‌های گونه‌های آبی در پاسخ به فعالیت‌های ماهیگیری و همچنین شرایط محیطی ایفا می‌کنند. مدل‌های توسعه‌یافته مورد استفاده در این راستا قادر هستند تا پیش‌بینی‌های کارکردی دقیقی را از میزان برداشت‌های سالانه صیادی‌های آب‌های ساحلی فراهم سازند (Stergiou *et al.*, 1997). این امکان برای محققین شیلاتی فراهم است تا با استفاده از رویکردهای مدلسازی سری زمانی در شرایطی که داده‌ها به شکل پیوسته به‌روز می‌شوند، میزان صید تجاری را در سال‌های آینده پیش‌بینی نمایند (Czerwinski *et al.*, 2007). در مواردی که به دلیل فقر اطلاعاتی امکان بکارگیری مدل‌های کمی مبتنی بر شاخص‌های زیست‌شناختی یک ذخیره شیلاتی و همچنین آماره‌های پویایی ناوگان‌های صیادی وجود ندارد، استفاده از مدل‌های آماری سری زمانی غالباً در مطالعات ترجیح داده می‌شود (Ward *et al.*, 2014). رویکردهای متنوعی در پیش‌بینی میزان صید شیلاتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که بطور کلی در چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند (Farmer and Froeschke, 2015): (۱) استفاده از مقادیر صید سال‌های قبل؛ (۲) مدل‌های پویایی جمعیت؛ (۳) مدل‌های رگرسیونی مبتنی بر همبستگی؛ و (۴) مدل‌های سری زمانی.

مدل‌های سری زمانی از روش‌های پرکاربرد و در عین حال ساده از نظر مفهومی به شمار می‌روند. این مدل‌ها فرآیندهای تصادفی ایجادکننده روندهای دوره‌ای در طول زمان را معرفی می‌کنند (Raman *et al.*, 2019). مدل میانگین متحرک خود-همبسته یکپارچه^۱، ARIMA، و نسخه فصلی توسعه‌یافته آن، SARIMA^۲، تنها با استفاده از اطلاعات موجود در سری‌های

توجه به اطلاعات در دسترس پرداخته است. در این راستا، امکان شناخت الگوهای فصلی تغییرات میزان صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) در مجموعه کل نقاط صیدگاهی و همچنین برای بازه‌های تفکیک‌شده صیدگاهی دارای میزان صید اپتیمم و غیراپتیمم با استفاده از مدل‌های SARIMA و پیش‌بینی تغییرات آنها در آینده پرداخته شد.

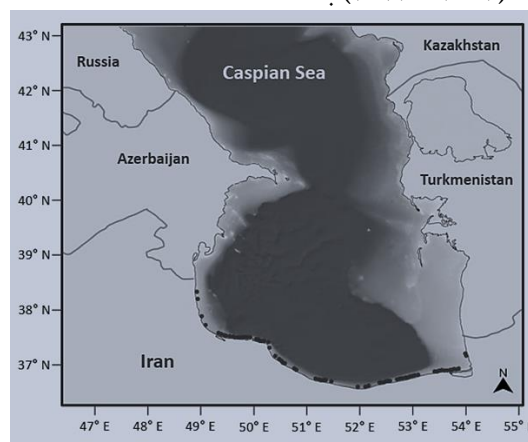
مواد و روش‌ها

داده‌های صیادی

فصل صید ماهیان استخوانی دریای خزر از مهر ماه (سپتامبر) هر سال آغاز شده و تا ماه فروردین (آوریل) سال بعد ادامه می‌یابد. با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های صید ماهیان استخوانی در سال‌های اخیر، تنها داده‌های صید ماهی سفید برای فصول صید ۲۰۰۲/۳ تا ۲۰۱۱/۱۲ در تعداد ۹۰ صیدگاه پره ساحلی در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان (شکل ۱) از سازمان شیلات ایران بدست آمد و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. جهت استاندارد بودن داده‌های مورد استفاده، مقادیر صید در واحد تلاش صیادی^۴ (CPUE) برای ایستگاه‌ها در طول دوره‌های زمانی ماهیانه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$CPUE (kg \cdot seine^{-1} \cdot hour^{-1}) = \quad (1)$$

$$\frac{\text{زیتوده صید (kg)}}{\text{زمان تورکشی} \times \text{تعداد تور پره (hour)}}$$



شکل ۱- پراکنش نقاط صیدگاهی ماهیان استخوانی در امتداد ساحل جنوبی دریای خزر. نقاط سیاه رنگ نشان دهنده محل صیدگاه‌ها می‌باشند.

Fig. 1- The distribution of bony fish catching points along the southern coast of the Caspian Sea. Black dots indicate the locations of fishing points

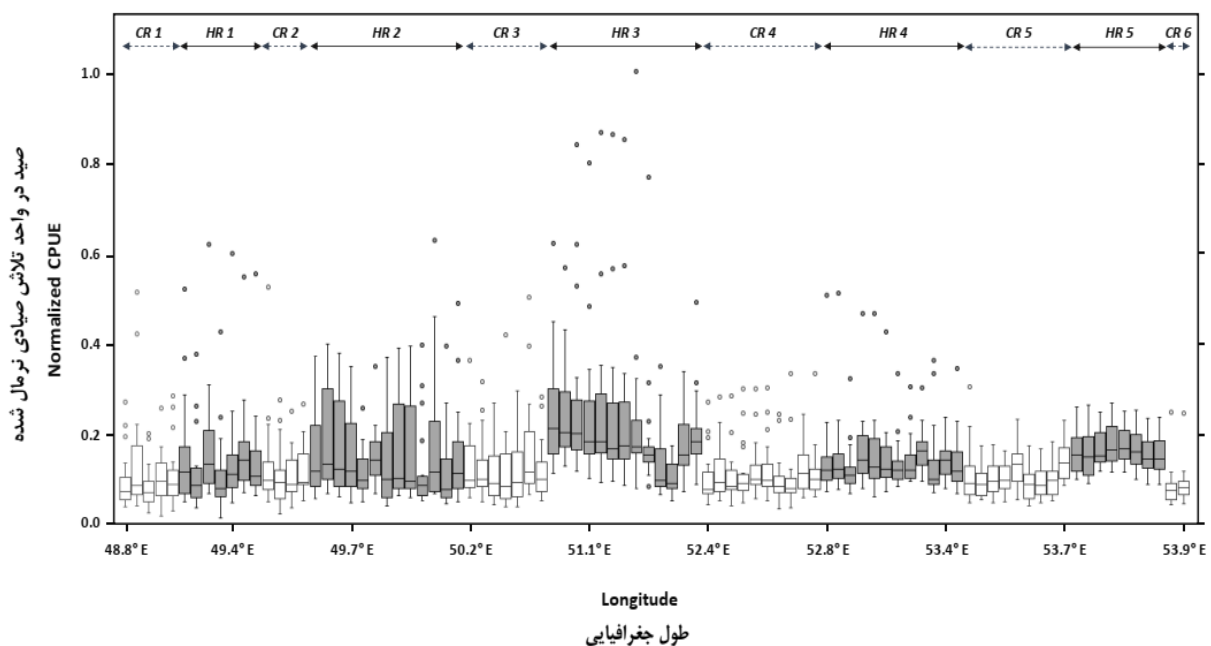
طول تمامی فصول صید بود. در ادامه میانگین مقادیر CPUE نرمال شده برای هر صیدگاه در طول تمامی دوره‌های صید محاسبه گردید و سپس به منظور هموارسازی الگوی مکانی این مقادیر در امتداد نقاط صیدگاهی ساحلی از روش میانگین متحرک پنج نقطه‌ای استفاده گردید. در نهایت، صیدگاه‌هایی که مقدار میانگین متحرک آن‌ها برابر یا بیشتر از $0/6$ بود، به‌عنوان صیدگاه‌های ایتیمم و صیدگاه‌های با مقدار میانگین کمتر از $0/6$ ، به‌عنوان صیدگاه‌های غیرایتیمم تعیین شدند. بر این اساس، پنج بازه ایتیمم (HR) و شش بازه غیرایتیمم (CR) پیوسته از صیدگاه‌ها در امتداد نقاط صید ساحلی تفکیک گردید (شکل ۲) که در مدل‌سازی‌های سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گرفتند.

تعیین بازه‌های ایتیمم و غیرایتیمم صیدگاهی

به منظور تفکیک بازه‌های صیدگاهی ایتیمم و غیرایتیمم، در ابتدا میانگین CPUE برای ماه‌های هر فصل صید محاسبه گردید. سپس این مقادیر با استفاده از رابطه زیر استانداردسازی شدند:

$$CPUE_{niy} = \frac{CPUE_{iy} - CPUE_{min}}{CPUE_{max} - CPUE_{min}} \quad (2)$$

که $CPUE_{norm}$ مقدار CPUE نرمال شده برای صیدگاه i در فصل صید j ؛ $CPUE_{iy}$ مقدار CPUE برای صیدگاه i در فصل صید y ؛ و $CPUE_{min}$ و $CPUE_{max}$ نیز به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر CPUE در مجموعه نقاط صیدگاهی و در



شکل ۲- بازه‌های صیدگاهی ایتیمم (HR) و غیرایتیمم (CR) ماهی سفید در امتداد نقاط صیدگاهی ساحلی بر مبنای مقادیر فصلی میانگین نرمال شده.

Fig. 2- The optimum (HR) and non-optimum (CR) ranges of fishing points for the Caspian Kutum along the coastal fishing points based on the normalized seasonal mean CPUEs

SARIMA (p,d,q) (P,D,Q) که به صورت کلی SARIMA نشان داده می‌شوند که دارای دو بخش فصلی (p,d,q) و غیرفصلی (P,D,Q) هستند. برای هر یک از این بخش‌ها، مؤلفه خودهمبسته^۵ (AR) شامل p و P ، بیانگر اثرات با تأخیر مشاهدات قبلی، مؤلفه یکپارچه^۶ (I) شامل d و D ،

مدل‌های سری زمانی SARIMA

به منظور بررسی امکان استفاده از مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی CPUE ماهی سفید و وجود الگوهای فصلی در میزان صید، از مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه فصلی (SARIMA) استفاده شد. مدل‌های

نشان‌دهنده روند زمانی، و مؤلفه میانگین متحرک^۷ (MA) شامل q و Q ، بیانگر تأثیر با تأخیر شوک‌های تصادفی قبلی (یا به عبارت دیگر خطای قبلی) است. در مجموع، مؤلفه‌های AR و MA توصیف‌کننده خودهمبستگی سری زمانی بوده و مؤلفه I نیز بیانگر تفاضل‌گیری موردنیاز جهت تحقق حالت ایستایی در سری زمانی می‌باشد.

با توجه به اینکه در طول دوره سالانه، داده‌های CPUE تنها برای هفت ماه در دسترس بود، از میانگین‌های ماهانه فصلی CPUE جهت برازش مدل‌های SARIMA استفاده شد. به منظور بررسی روندهای تغییرات زمانی داده‌های CPUE در طول ۱۰ فصل صید متوالی (از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۲)، مجموعه‌های داده برای کل گستره نقاط صیدگاهی و همچنین به صورت مجزا برای بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم صیدگاه‌ها آماده‌سازی شد تا امکان مقایسه سری‌های زمانی این بازه‌ها و همچنین برآوردهای محدود آن‌ها در آینده وجود داشته باشد. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk مورد بررسی قرار گرفت. در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها از تابع $boxcoxnc$ (version 2.7; Asar *et al.*, بسته AID (2017) در محیط نرم‌افزار R جهت تغییرشکل داده‌ها استفاده شد.

برازش مدل‌های SARIMA با استفاده از بسته‌های $tseries$ (version 0.10-51; Trapletti and Hornik, forecast (version 8.17.0; Hyndman *et al.*, و 2022) صورت گرفت. تعیین بهترین ترکیب پارامترهای مدل SARIMA با بکارگیری تابع $auto.arima$ از بسته $forecast$ صورت گرفت. به دلیل کوتاه بودن دامنه زمانی داده‌ها، از تفکیک سری‌های زمانی در مجموعه‌های داده آموزش و آزمون استفاده نشد. برای هر مجموعه، بهترین مدل بر مبنای مقادیر شاخص‌های AIC ، BIC ، $RMSE$ ، MAE ، $nMAE$ و همچنین همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده CPUE (ضریب همبستگی پیرسون (r)) تعیین گردید. روند تغییرات

احتمالی مقادیر CPUE برای کل مجموعه صیدگاه‌ها و همچنین بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم با استفاده از مدل‌های SARIMA بدست آمده برای مدت پنج دوره سالانه (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷) پیش‌بینی شد. سطوح خود-همبستگی در مقادیر باقیمانده مدل‌ها با استفاده از آزمون $Ljung-Box$ test سنجش شد و نرمال بودن توزیع آن‌ها نیز بررسی گردید.

نتایج و بحث

در این مطالعه، مدل‌های SARIMA برای مجموعه کل صیدگاه‌ها (WR) و همچنین بازه‌های اپتیمم (HR) و غیراپتیمم (CR) تعیین‌شده از آن‌ها برازش داده شد (جدول ۱). مدل SARIMA مربوط به کل صیدگاه‌ها (WR) فاقد مؤلفه معنی‌دار خودهمبسته فصلی (sar) و غیرفصلی (ar) و همچنین مؤلفه‌های میانگین متحرک فصلی (sma) و غیرفصلی (ma) بود. در این مدل تنها از تفاضل‌گیری مرتبه اول ($D = 1$) در اجزای فصلی استفاده شد. در مدل‌های SARIMA برآمده از بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم، عمدتاً از تفاضل‌گیری مرتبه اول ($D = 1$) جهت ایستایی کردن داده‌ها در اجزای فصلی استفاده گردید. در مدل مربوط به بازه اپتیمم اول (HR1) تنها مؤلفه‌های خودهمبسته مرتبه اول (sar1) و دوم (sar2) معنی‌دار بوده و در برازش این مدل نیازی به تفاضل‌گیری جهت ایستایی کردن داده‌ها نبود. مؤلفه خودهمبسته فصلی در مدل‌های مربوط به بازه‌های (sar2 = ۰/۲۱۶)؛ (sar1 = -۰/۲۵۶)؛ HR4 (sar1 = -۰/۲۹۶)؛ sar2 = -۰/۸۰۵ و CR1 (sar1 = -۰/۵۹۱) و CR2 معنی‌دار بود. دو مدل مربوط به HR3 و CR4 نیز فاقد مؤلفه‌های معنی‌دار خودهمبسته و میانگین متحرک فصلی و غیرفصلی بودند. مؤلفه میانگین متحرک فصلی نیز تنها در مدل‌های HR2 (sma1 = -۰/۷۲۶)؛ HR5 (sma1 = -۰/۴۳۱)؛ CR3 (sma1 = -۰/۷۴۱) و CR5 (sma1 = -۰/۵۱۹) معنی‌دار بود. برای اجزای غیرفصلی، تنها در مدل‌های

شده‌اند (Stergiou *et al.*, 1997; Georgakarakos *et al.*, 2006). این مدل‌ها به خوبی برای آنالیز سری‌های زمانی شیلاتی با نوسانات بین‌فصلی اندک به ویژه برای گونه‌های کفزی یا دمرسال با طول عمر زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Lloret *et al.*, 2000). با توجه به طول عمر ماهی سفید که به طور متوسط هشت تا نه سال گزارش شده است (Afraei Bandpei *et al.*, 2011) و همچنین نبود نوسانات بین‌فصلی مشخص در سری‌های زمانی مورد استفاده، می‌بایست این مدل‌ها به خوبی تغییرات موجود در داده‌ها را تشخیص داده باشند. با این وجود، عامل بسیار مهم در مدل‌سازی سری‌های زمانی، طول دوره زمانی تحت پوشش داده‌های مورد استفاده می‌باشد (Farmer and Froeschke, 2015). دوره‌های زمانی کوتاه مورد بررسی در قالب سری‌های زمانی می‌تواند توانایی این مدل‌ها را در پرداختن به اثرات فرآیندهای ایجاد تغییرات در نتیجه وجود تعداد کم مشاهدات به شکلی نامطلوب تحت تأثیر قرار دهد (Fogarty and Miller, 2004; Hyndman and Kostenko, 2007). همچنین، وجود نوسانات ناگهانی در داده‌های سری زمانی کوتاه‌مدت، قابلیت مدل را در شناسایی مؤلفه‌های زمانی تغییرات کاهش می‌دهد (Chatfield, 1993). از این رو تعیین دقیق مؤلفه‌های مدل‌های SARIMA برآزش یافته بر اساس مجموعه داده‌های دارای تعداد مشاهدات اندک تا حدودی دشوار و دور از انتظار است (Hyndman and Kostenko, 2007) و معمولاً برای چنین مجموعه‌های داده سری زمانی مدل‌هایی با اجزای بسیار ساده به دست خواهد آمد (Shitan *et al.*, 2008; Prista *et al.*, 2011; Selvaraj *et al.*, 2020; Makwinja *et al.*, 2021). به این ترتیب، عدم وجود ضرایب معنی‌دار مشخص برای مدل‌های SARIMA به دست آمده در مطالعه حاضر را می‌توان به محدود بودن بازه زمانی و تعداد کم مشاهدات داده‌های مورد استفاده نسبت داد.

SARIMA برای بازه اپتیمم HR4 و بازه غیراپتیمم CR5 به ترتیب مؤلفه میانگین متحرک ($ma1 = 0/227$) و مؤلفه خودهمبسته مرتبه اول ($ar1 = 0/127$) معنی‌دار بودند. بررسی نتایج آزمون Ljung-Box برای باقیمانده‌های مدل‌ها نیز نشان‌دهنده استقلال باقیمانده‌های مدل ($P > 0/05$) (یا به عبارتی عدم همبستگی بین آن‌ها) بود که نشان از پایداری مدل دارد. مدل‌های SARIMA برآزش‌یافته، الگوهای متفاوتی را برای سری‌های زمانی برآمده از بازه‌های صیدگاهی مختلف به دست دادند. برآزش مدل SARIMA برای محدوده کل صیدگاه‌ها، علی‌رغم قابلیت قابل توجه مدل در برآورد روندهای تغییرات در مقایسه با داده‌های واقعی، منتج به ساده‌ترین مجموعه پارامترهای مدل گردید که فاقد مؤلفه‌های غیرفصلی معنی‌دار بوند و در بخش فصلی مدل نیز تنها از تفاضل‌گیری مرتبه اول بدون وجود اجزای خودهمبسته و میانگین متحرک استفاده شده بود. این یافته تا حد زیادی ناشی از میانگین‌گیری داده‌ها برای کل نقاط صیدگاهی است به طوری‌که نوسانات و واریانس CPUE موجود در بازه‌های مکانی تفکیک شده از نظر میزان صید (بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم) در این مدل تا حد زیادی نمایان نشده است. این در حالی است که مدل‌های SARIMA حاصل از بازه‌های تفکیک شده تا حد زیادی روندهای تغییرات زمانی نسبتاً متفاوتی را از نظر مکانی نشان دادند. بر اساس نتایج، بازه‌های تغییرات مقادیر CPUE (بویژه مقادیر حداکثر آن) و تغییرات آن‌ها در طول فصول صید در گستره‌های صیدگاهی اپتیمم و غیراپتیمم، متفاوت بوده و تفاوت‌ها بطور مشخص در مؤلفه‌های بدست آمده برای مدل‌ها مشخص است. بنابراین می‌توان گفت که تفکیک مکانی نقاط صیدگاهی می‌تواند به تشخیص بهتر مشخصه‌های تغییرات زمانی موجود در داده‌ها بیانجامد. مدل‌های SARIMA به‌عنوان مدل‌هایی با قابلیت بالا در تشخیص روندهای زمانی نهفته در داده‌های دارای نوسانات فصلی قابل توجه شناخته

جدول ۱- مدل های SARIMA(p,d,q) (P,D,Q)₄ برازش یافته برای سری های زمانی مربوط به کل نقاط صیادی (WR)، و بازه های اپتیمم (HR) و غیر اپتیمم (CR) از نقاط صیادی

Table 1. fitted SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)₄ models for time series of all fishing points (WR), and optimum (HR) and non-optimum (CR) ranges of fishing points

ناحیه Area	SARIMA	Parameters					Ljung-Box (P-value)
		ar ₁	ma ₁	sar ₁	sar ₂	sma ₁	
WR	(0,0,0) (0,1,0) ₄	-	-	-	-	-	0.790
HR1	(0,0,0) (2,0,0) ₄	-	-	0.279	0.305	-	0.982
HR2	(0,0,0) (0,1,1) ₄	-	-	-	-	-0.726	0.978
HR3	(0,0,0) (0,1,0) ₄	-	-	-	-	-	0.327
HR4	(0,0,1) (2,1,0) ₄	-	0.227	-0.256	0.216	-	0.866
HR5	(0,0,0) (0,1,1) ₄	-	-	-	-	-0.431	0.925
CR1	(0,0,0) (2,1,0) ₄	-	-	-0.805	-0.296	-	0.934
CR2	(0,0,0) (1,1,0) ₄	-	-	-0.591	-	-	0.650
CR3	(0,0,0) (0,1,1) ₄	-	-	-	-	-0.741	0.563
CR4	(0,0,0) (0,1,0) ₄	-	-	-	-	-	0.673
CR5	(1,0,0) (0,1,1) ₄	0.127	-	-	-	-0.519	0.974
CR6	(0,0,0) (0,1,0) ₄	-	-	-	-	-	0.409

برآورد شده و مقادیر واقعی نیز متعلق به مدل های HR5، CR4 و CR5 بود.

الگوهای بدست آمده در سری های زمانی داده های اصلی، داده های برآورد شده و پیش بینی های بدست آمده از مدل های SARIMA برای یک دوره پنج ساله از فصول صید (با تناوب فصلی سه ماهه) در شکل های ۳ تا ۵ نشان داده شده اند. در هیچ یک از موارد الگوی کاهشی یا افزایشی مشخصی برای سری های زمانی مشاهده نشد و به طور کلی یک روند زنگوله ای با افزایش مقادیر حداکثر CPUE در سال های میانی دوره مطالعاتی (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰) برای بیشتر بازه های صیدگاهی مشاهده گردید و پس از آن مجدداً یک روند نزولی در مقادیر حداکثر وجود داشت. اکثر پیش بینی های به دست آمده برای دوره پنج ساله (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷) نیز تا حدودی روندهای ایستایی نسبتاً ثابت با الگوهای فصلی مشهود را برای CPUE نشان دادند.

مقادیر شاخص های مربوط به عملکرد پیش بینی بهترین مدل های SARIMA انتخاب شده برای کل نقاط صیدگاهی و بازه های اپتیمم و غیر اپتیمم در جدول ۲ ارائه شده است. بهترین مدل بدست آمده برای کل محدوده صیدگاهی مورد مطالعه از عملکرد ضعیفی در مقایسه با دیگر مدل ها برخوردار بود. کمترین خطای برآورد (بیشترین دقت پیش بینی) مدل ها برای مدل مربوط به بازه اپتیمم پنجم (HR5) با داشتن کمترین مقادیر $nRMSE = 0/103$ و $nMAE = 0/062$ = همچنین بیشترین سطح همبستگی $r = 0/94$ نیز برای مدل مربوط به بازه اپتیمم پنجم (HR5) بدست آمد. در مقابل، ضعیف ترین عملکرد پیش بینی مدل ها نیز با داشتن بالاترین مقادیر $nRMSE$ و $nMAE$ و کمترین سطوح ضریب همبستگی (r) متعلق به مدل های مربوط به بازه اپتیمم اول (HR1) و بازه غیر اپتیمم دوم (CR2) بود. بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر

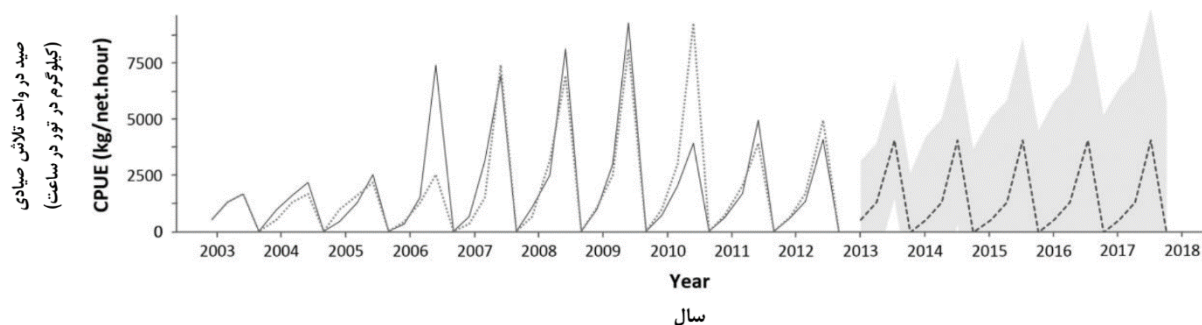
جدول ۲- مقایسه بهترین مدل‌های SARIMA برازش یافته برای کل نقاط صیادی (WR) و بازه‌های اپتیمم (HR) و غیراپتیمم (CR) از نقاط صیادی

Table 2. Comparison of best fitted SARIMA models for all fishing points (WR), and optimum (HR) and non-optimum (CR) fishing locations

ناحیه Area	شاخص‌های دقت						
	AIC	BIC	RMSE (kg/sein.hour)	nRMSE	MAE (kg/sein.hour)	nMAE	r
WR	621.8	623.3	1257.24	0.135	584.13	0.063	0.86
HR1	743.8	750.6	2347.4	0.154	1083.9	0.081	0.52
HR2	617.1	620.2	1098.4	0.143	486.2	0.064	0.77
HR3	713.5	715.1	4491.1	0.148	2086.9	0.062	0.78
HR4	640.1	646.4	1472.1	0.136	875.3	0.071	0.81
HR5	581.2	584.3	687.5	0.103	413.3	0.062	0.94
CR1	613.3	618.1	1018.4	0.149	448.7	0.065	0.80
CR2	600.4	603.6	887.4	0.180	427.9	0.086	0.62
CR3	622.1	625.3	1175.6	0.181	501.6	0.077	0.69
CR4	599.0	600.6	916.3	0.134	484.4	0.071	0.87
CR5	574.5	579.2	605.4	0.122	353.8	0.072	0.86
CR6	589.2	590.7	798.9	0.135	406.0	0.068	0.84

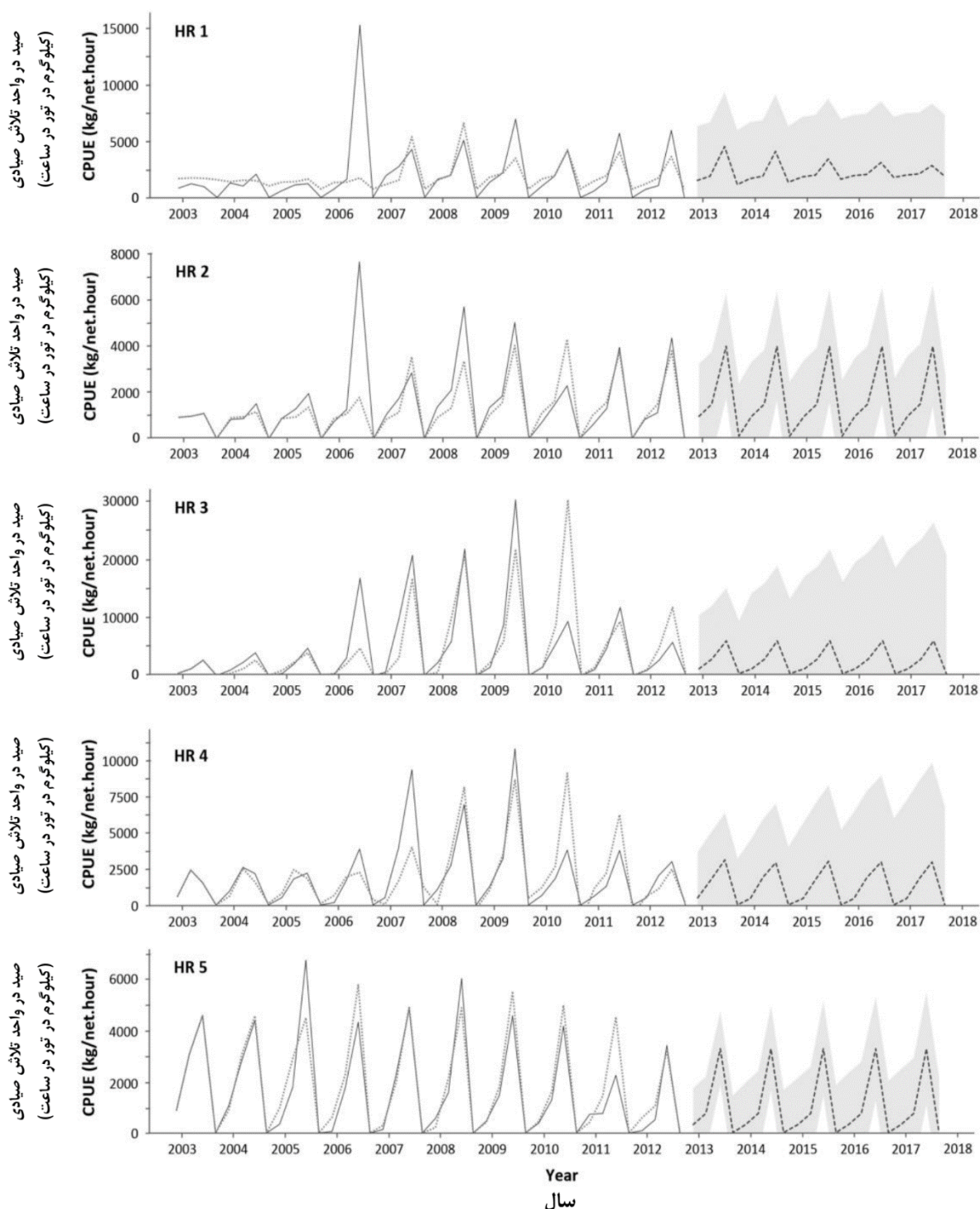
(AIC: معیار اطلاعاتی Akaike؛ BIC: معیار اطلاعاتی بیژن؛ RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا؛ nRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده؛ MAE: میانگین خطای مطلق؛ nMAE: میانگین خطای مطلق نرمال شده؛ r: ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده)

AIC: Akaike's information criterion; BIC: Bayesian information criterion; RMSE: root mean square error; nRMSE: normalized root mean square error; MAE: mean absolute error; nMAE: normalized mean absolute error; r: Pearson's correlation coefficient



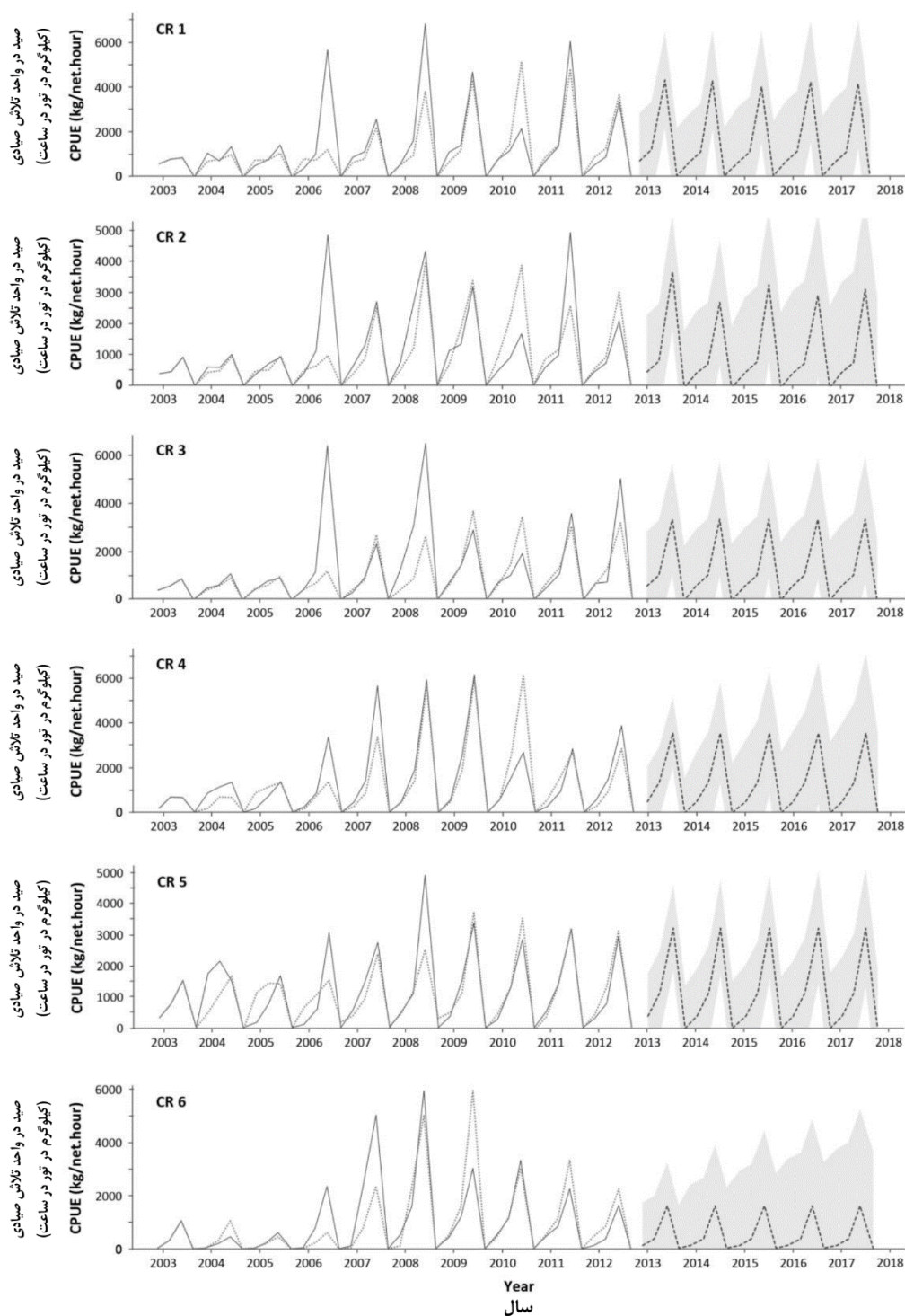
شکل ۳- سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) مشاهداتی و برآورد شده برای ماهی سفید در مجموعه تمامی نقاط صیدگاهی (WR). پارامترهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است. بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲: خط پیوسته: سری زمانی مشاهداتی؛ خط نقطه-چین: سری زمانی برآورد شده مدل؛ بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷: خط بریده: سری زمانی پیش‌بینی شده؛ ناحیه خاکستری رنگ: فاصله اطمینان ۹۵٪ مثبت برای پیش‌بینی‌ها)

Fig. 3- Observed and estimated time series of catch per unit of effort (CPUE) for the Caspian Kutum for all the fishing points (WR). Model parameters are presented in Table 1. For the period of 2002-2012: solid line: observed time series; dashed line: estimated time series; for the period of 2013-2017: dashed line: predicted time series; gray zone: 95% confidence levels of predictions



شکل ۴- سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) مشاهداتی و برآورد شده برای ماهی سفید در بازه‌های اپتیمم (HR) از نقاط صیدگاهی. پارامترهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است. بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲: خط پیوسته: سری زمانی مشاهداتی؛ خط بریده: سری زمانی برآورد شده مدل؛ بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷: خط بریده: سری زمانی پیش‌بینی شده؛ ناحیه خاکستری رنگ: فاصله اطمینان ۹۵٪ مثبت برای پیش‌بینی‌ها)

Fig. 4- Observed and estimated time series of catch per unit of effort (CPUE) for the Caspian Kutum for the optimum ranges (HR) of fishing points. Model parameters are presented in Table 1. For the period of 2002-2012: solid line: observed time series; dashed line: estimated time series; for the period of 2013-2017: dashed line: predicted time series; gray zone: 95% confidence levels of predictions



شکل ۵- سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) مشاهداتی و برآورد شده برای ماهی سفید در بازه‌های غیراپتیمم (CR) از نقاط صیدگاهی. پارامترهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است. بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲: خط پیوسته: سری زمانی مشاهداتی؛ خط بریده: سری زمانی برآورد شده مدل؛ بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷: خط بریده: سری زمانی پیش‌بینی شده؛ ناحیه خاکستری رنگ: فاصله اطمینان ۹۵٪ مثبت برای پیش‌بینی‌ها)

Fig. 5- Observed and estimated time series of catch per unit of effort (CPUE) for the Caspian Kutum for the non-optimum ranges (CR) of fishing points. Model parameters are presented in Table 1. For the period of 2002-2012: solid line: observed time series; dashed line: estimated time series; for the period of 2013-2017: dashed line: predicted time series; gray zone: 95% confidence levels of predictions

می‌تواند همراه با افزایش مقدار CPUE بوده و همچنین منتج به یک الگوی کاهشی در میزان صید در آینده در نتیجه تقلیل ذخیره ماهی گردد (Karimzadeh et al., 2010; Makwinja et al., 2021). همچنین دستیابی به روندهای متفاوت در سری‌های زمانی داده می‌تواند نمایان‌کننده سطوح متفاوت ثبات شرایط محیطی در محدوده‌های جغرافیایی متفاوت مورد مطالعه باشد (Yadava et al., 2021). به این ترتیب، مجموعه عوامل مورد اشاره می‌تواند تعیین‌کننده وجود الگوهای ایستای کلی در سری‌های زمانی مورد بررسی باشد به طوریکه روند تغییرات افزایشی یا کاهشی بین سالانه کلی در یافته‌های بدست آمده وجود نداشته است.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) برای ماهی سفید (*R. frisianus*) بر مبنای داده‌های فصلی با بکارگیری مدل SARIMA منتج به مدل‌های گردید که عمدتاً معرف وجود اجزای فصلی تغییرات زمانی با روند افزایشی و فاقد مؤلفه‌های تغییرات غیرفصلی بودند. سادگی این مدل‌ها بر اساس بازه زمانی کوتاه و تعداد پایین مشاهدات قابل تفسیر بود، هر چند که تفکیک مکانی داده‌ها بر اساس نواحی اپتیمم و غیراپتیمم صیدگاهی منجر به تشخیص بهتر و دقیق‌تر اجزای تغییرات زمانی گردید. پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های به دست آمده برای تمامی مجموعه‌های داده (کل صیدگاه‌ها و نواحی اپتیمم و غیراپتیمم) الگوهای فصلی مشخص درون یک الگوی ایستایی کلی را در ادامه بازه زمانی مورد مطالعه بدست دادند که افزایش یا کاهش قابل توجه تغییرات صید این گونه را در آینده نشان نداد. یافته‌های حاصل از این تحقیق می‌تواند در شناخت بهتر نوسانات زمانی سطوح صیادی برای گونه ماهی سفید جهت مدیریت مناسب‌تر آن در آینده مفید و کمک‌کننده باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تهران انجام شده است.

شاخص‌های مربوط به ارزیابی عملکرد و پیش‌بینی مدل‌ها نیز نشان داد که در سری‌های زمانی دارای نوسانات ناگهانی (از جمله HR1، CR1 و CR2)، دقت برآوردها کمتر بوده است. در مقابل در بازه‌های فاقد نوسانات ناگهانی در داده‌ها (HR4، HR5، CR5) بهترین سطوح دقت برآورد و پیش‌بینی روندها (بر مبنای مقادیر nMAE، nRMSE و ضریب رگرسیون r) بدست آمد. بررسی انطباق الگوهای واقعی تغییرات صید و روندهای برآوردشده (شکل‌ها ۳ تا ۵) مدل‌ها نیز با نتایج عددی بدست آمده همخوانی دارد. وجود روندهای نزدیک و منطبق بین داده‌های واقعی و برآوردشده در مطالعات دیگر نیز در تایید عملکرد کلی مدل‌های ARIMA (S) در پردازش سری‌های زمانی محدود مورد اشاره قرار گرفته است (Tsitsika et al., 2007; Selvaraj et al., 2020).

با توجه به عدم امکان دسترسی به داده‌های واقعی این سال‌ها امکان ارزیابی پیش‌بینی‌های مدل وجود ندارد. با این حال، با در نظر گرفتن گستره زمانی محدود مورد بررسی و سادگی اجزای مدل‌های به دست آمده، چنین روندهایی از تغییرات دور از انتظار نیست (Prista et al., 2011; Yadava et al., 2021). تا بحال مطالعه‌ای در ارتباط با سری‌های زمانی تغییرات صید ماهی سفید انجام نشده است. وضعیت پیش‌بینی مشابهی در مطالعه Amiri et al. (2018) که روندهای تغییرات زمانی داده‌های صید ماهی کیلکا را در دریای خزر در طول دوره زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۵ با استفاده از مدل SARIMA مورد بررسی قرار داده بودند، گزارش شده است. نتایج پیش‌بینی‌های آن‌ها نیز بازه‌هایی از تغییرات نسبتاً ثابت و فاقد روندهای افزایشی یا کاهشی را در آینده نشان داد، هر چند که الگوهای فصلی مشخصی در آن‌ها وجود داشت. مدل‌های خانواده (S) ARIMA مدل‌هایی تک‌متغیره مبتنی بر واریانس موجود در داده‌ها در نتیجه عوامل مؤثر بر میزان صید هستند (Gutiérrez-Estrada et al., 2007). سری‌های زمانی بدست آمده برای CPUE می‌تواند منعکس‌کننده الگوهای کلی فراوانی گونه و نوسانات صید باشد (Maynou et al., 2003). در برخی از مطالعات اشاره شده که افزایش مقطعی تلاش صیادی

- ³ Stationarity
⁴ Catch per unit of effort: CPUE
⁵ Autoregressive component
⁶ Integrated component
⁷ Moving average component

References

Abdolhay, H.A., Daud, S.K., Rezvani, S., Pourkazemi, M., Siraj, S.S., Laloei, F., Javanmard, A. and Hassanzadeh Saber, M., 2012. Population genetic structure of Mahi Sefid (*Rutilus frisii kutum*) in the of South Caspian Sea: Implications for fishery management. Iranian Journal of Animal Biosystematics. 8(1), 15-26. Doi: 10.22067/IJAB.V8I1.25567

Afraei Bandpei, M.A., Abdolmaleki, Sh., Najafpour, Sh., Bani, A., Pourgholam, R., Nasrolahzadeh, H. and Fazli, H., 2011. The environmental effect on spawning time, length at maturity and fecundity of Kutum (*Rutilus frisii kutum*, Kamensky. 1901) in southern part of Caspian Sea, Iran. Iranica Journal of Energy and Environment. 2(4), 374-381.

Amiri, K., Shabanipour, N. and Eagderi, S., 2017. Using kriging and co-kriging to predict distributional areas of Kilka species (*Clupeonella* spp.) in the southern Caspian Sea. International Journal of Aquatic Biology. 5(2), 108-113. Doi: 10.22034/ijab.v5i2.309

Asar, Ö., Ilk, O. and Dag, O., 2017. Estimating Box-Cox power transformation parameter via goodness-of-fit tests. Communications in Statistics-Simulation and Computation. 46(1), 91-105. Doi: 10.1080/03610918.2014.957839

Becerra-Muñoz, S., Buelna-Osben, H.R. and Catalán-Romero, J.M., 2003. Spatial patterns of ARIMA modeled rates of change of atherinids (*Chirostoma* spp.) and goodeid *Chapalichthys encaustus* from Lake Chapala, México. Ecological Modelling. 165(2-3), 237-250. Doi: 10.1016/S0304-3800(03)00073-5

Box, G.E., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. and Ljung, G.M., 2015. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley and Sons. Doi: 10.4236/cs.2016.710283

Chatfield, C., 1993. Calculating interval forecasts. Journal of Business and Economic Statistics. 11(2), 121-135. Doi: 10.1080/07350015.1993.10509938

Coro, G., Large, S., Magliozzi, C. and Pagano, P., 2016. Analysing and forecasting fisheries time series: purse seine in Indian Ocean as a case study. ICES Journal of Marine Science. 73(10), 2552-2571. Doi: 10.1093/icesjms/fsw131

Czerwinski, I.A., Gutierrez-Estrada, J.C. and Hernando-Casal, J.A., 2007. Short-term forecasting of halibut CPUE: Linear and non-linear univariate approaches. Fisheries Research. 86(2-3), 120-128. Doi: 10.1016/j.fishres.2007.05.006

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Autoregressive integrated moving average: ARIMA
² Seasonal autoregressive integrated moving average: SARIMA

منابع

Eagderi, S., Mouludi-saleh, A., Esmaceli, H.R., Sayyadzadeh, G. and Nasri, M., 2022. Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. Turkish Journal of Zoology. 46(6), 500-522. Doi: 10.55730/1300-0179.3104

Esmaceli, H.R., Babai, S., Gholamifard, A., Pazira, A. and Gholamhosseini, A., 2015. Fishes of the Persis region of Iran: an updated checklist and ichthyogeography. Iranian Journal of Ichthyology. 2(3), 201-223.

Farmer, N.A. and Froeschke, J.T., 2015. Forecasting for recreational fisheries management: what's the catch? North American Journal of Fisheries Management. 35(4), 720-735. Doi: 10.22034/iji.v2i3.84

Fazli, H., Zhang, C.I., Hay, D.E. and Lee, C.W., 2009. Stock assessment and management implications of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis*) in Iranian waters of the Caspian Sea. Fisheries Research. 100(2), 103-108. Doi: 10.1016/j.fishres.2009.06.018

Fogarty, M.J. and Miller, T.J., 2004. Impact of a change in reporting systems in the Maryland blue crab fishery. Fisheries Research. 68(1-3), 37-43. Doi: 10.1016/j.fishres.2004.02.006

Freeman, S.N. and Kirkwood, G.P., 1995. On a structural time series method for estimating stock biomass and recruitment from catch and effort data. Fisheries Research. 22(1-2), 77-98. Doi: 10.1016/0165-7836(94)00304-F

Georgakarakos, S., Koutsoubas, D. and Valavanis, V., 2006. Time series analysis and forecasting techniques applied on loliginid and ommastrephid landings in Greek waters. Fisheries Research. 78(1), 55-71. Doi: 10.1016/j.fishres.2005.12.003

Ghani Nejhad, D., Moghim, M., Abdolmaleki, Sh. and Sayad Borani, M., 2000. Evaluation of bony fish stocks in the Caspian Sea at 1999 to 2000. Iranian Fisheries Research Centre of Guilan, Bandar Anzali. 98 p. (in Persian).

Ghasemi, M., Zamani, H., Hosseini, S.M., Karsidani, S.H. and Bergmann, S.M., 2014. Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*) as a host for spring viraemia of carp virus. Veterinary Microbiology. 170(3-4), 408-413. Doi: 10.1016/j.vetmic.2014.02.032

Gutiérrez-Estrada, J.C., Silva, C., Yáñez, E., Rodríguez, N. and Pulido-Calvo, I., 2007. Monthly catch forecasting of anchovy *Engraulis*

- ringens* in the north area of Chile: non-linear univariate approach. *Fisheries Research*. 86(2-3), 188-200. Doi: 10.1016/j.fishres.2007.06.004
- Holmes, E.E., 2001. Estimating risks in declining populations with poor data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 98(9), 5072-5077. Doi: 10.1073/pnas.081055898
- Hyndman, R., Athanasopoulos, G., Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild, M., Petropoulos, F., Razbash, S., Wang, E. and Yasmeeen, F., 2022. forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.21.
- Hyndman, R.J. and Athanasopoulos, G., 2014. *Forecasting: principles and practice*. OTexts [only textbook]. Available: <https://www.otexts.org/fpp>. (May 2015).
- Hyndman, R.J. and Kostenko, A.V., 2007. Minimum sample size requirements for seasonal forecasting models. *Foresight*. 6, 12-15.
- Ives, A.R., Abbott, K.C. and Ziebarth, N.L., 2010. Analysis of ecological time series with ARMA (p, q) models. *Ecology*. 91(3), 858-871. Doi:10.1890/09-0442.1
- Karimzadeh, G., Gabrielyan, B. and Fazli, H., 2010. Population dynamics and biological characteristics of kilka species (Pisces: Clupeidae) in the southeastern coast of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 9(3), 422-433. Doi: 20.1001.1.15622916.2010.9.3.5.1
- Koutroumanidis, T., Iliadis, L. and Sylaios, G.K., 2006. Time-series modeling of fishery landings using ARIMA models and Fuzzy Expected Intervals software. *Environmental Modelling and Software*. 21(12), 1711-1721. Doi: 10.1016/j.envsoft.2005.09.001
- Lloret, J., Lleonart, J. and Solé, I., 2000. Time series modelling of landings in Northwest Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*. 57(1), 171-184. Doi: 10.1006/jmsc.2000.0570
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C. and Hyndman, R.J., 2008. *Forecasting methods and applications*. Wiley, New York. Doi: 10.2307/2581936
- Makwinja, R., Mengistou, S., Kaunda, E., Alemiew, T., Phiri, T.B., Kosamu, I.B.M. and Kaonga, C.C., 2021. Modeling of Lake Malombe annual fish landings and catch per unit effort (CPUE). *Forecasting*. 3(1), 39-55. Doi: 10.3390/forecast3010004
- Maravelias, C.D. and Tsitsika, E.V., 2014. Fishers' targeting behaviour in Mediterranean: does vessel size matter? *Fisheries Management and Ecology*. 21(1), 68-74. Doi: 10.1111/fme.12053
- Maynou, F., Demestre, M. and Sánchez, P., 2003. Analysis of catch per unit effort by multivariate analysis and generalised linear models for deep-water crustacean fisheries off Barcelona (NW Mediterranean). *Fisheries Research*. 65(1-3), 257-269. Doi: 10.1016/j.fishres.2003.09.018
- Nagano, K., and Yamamura, O., 2023. Predicting catch of Giant Pacific octopus *Enteroctopus dofleini* in the Tsugaru Strait using a machine learning approach. *Fisheries Research*. 261, 106622. Doi: 10.1016/j.fishres.2023.106622
- Prista, N., Diawara, N., Costa, M.J. and Jones, C.M., 2011. Use of SARIMA models to assess data-poor fisheries: a case study with a sciaenid fishery off Portugal. *Fishery Bulletin*, 109(2).
- Rabazanov, N.I., Orlov, A.M., Abdusamadov, A.S., Barkhalov, R.M. and Akhmedkhanov, K.M., 2019. Caspian Kutum *Rutilus kutum*: a long story of exploitation, survival, and revival. From catastrophe to recovery: stories of fishery management success. *American Fisheries Society*, Bethesda, 485-508. Doi: 10.47886/9781934874554
- Raman, R.K., Suresh, V.R., Mohanty, S.K., Bhatta, K.S., Karna, S.K., Mohanty, B.P. and Das, B.K., 2019. Influence of seasonality, salinity and temperature on catch trend of *Penaeus indicus* H. Milne-Edwards, 1837 in a coastal lagoon, India. *Indian Journal of Fisheries*. 66(1), 34-42. Doi: 10.21077/ijf.2019.66.1.76413-05
- Selvaraj, J.J., Arunachalam, V., Coronado-Franco, K.V., Romero-Orjuela, L.V. and Ramírez-Yara, Y.N., 2020. Time-series modeling of fishery landings in the Colombian Pacific Ocean using an ARIMA model. *Regional Studies in Marine Science*. 39, 101477. Doi: 10.1016/j.rsma.2020.101477
- Shitan, M., Wee, P.M.J., Chin, L.Y. and Siew, L.Y., 2008. Arima and integrated arfima models for forecasting annual demersal and pelagic marine fish production in malaysia. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*. 2(2), 41-54.
- Stergiou, K.I. and Christou, E.D., 1996. Modelling and forecasting annual fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods. *Fisheries Research*. 25(2), 105-138. Doi: 10.1016/0165-7836(95)00389-4
- Stergiou, K.I., Christou, E.D. and Petrakis, G., 1997. Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods. *Fisheries Research*. 29(1), 55-95. Doi: 10.1016/S0165-7836(96)00482-1
- Trapletti, A and Hornik, K., 2022. tseries: Time Series Analysis and Computational Finance. R package version 0.10-51
- Tsitsika, E.V., Maravelias, C.D. and Haralabous, J., 2007. Modeling and forecasting pelagic fish production using univariate and multivariate ARIMA models. *Fisheries Science*. 73, 979-988.

Doi: 10.1111/j.1444-2906.2007.01426.x

Ward, E.J., Holmes, E.E., Thorson, J.T. and Collen, B., 2014. Complexity is costly: a meta-analysis of parametric and non-parametric methods for short-term population forecasting. *Oikos*. 123(6), 652-661. Doi: 10.1111/j.1600-0706.2014.00916.x

Yadav, A.K., Borah, S., Das, K.K., Raman, R.K., Das, P. and Das, B.K., 2022. Modeling of Hilsa

(*Tenualosa ilisha*) landings in the lower stretch of Brahmaputra River (Assam, India) under time series framework. *Science Asia*. 48(3), 367-372. Doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2023.042



*This page is intentionally
left blank.*