

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

مدل SARIMA

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

^۱ گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

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

سابقه و هدف: شناسایی الگوهای زمانی نوسانات میزان صید ماهیان و استفاده از آن‌ها در پیش‌بینی روندهای تغییرات جمعیتی آن‌ها در آینده یکی از ابزارهای کاربردی در مدیریت ذخایر شیلاتی به شمار می‌رود. ماهی سفید (*Rutilus frisii*) مهم‌ترین گونه اقتصادی ماهیان استخوانی دریای خزر است که از ارزش حفاظتی و تجاری بالایی برخوردار می‌باشد. با این حال، در سال‌های اخیر میزان صید آن روندی کاهشی را نشان داده است. شناخت روندهای زمانی موجود در مقادیر صید این گونه می‌تواند در اتخاذ برنامه‌های مناسب در راستای حفظ ذخایر و بهره‌برداری پایدار از این گونه مؤثر واقع شود. بدین منظور در مطالعه حاضر به مدلسازی سری‌های زمانی صید این گونه در طول یک دوره ۱۰ ساله پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: داده‌های صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) ماهی سفید 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-قطعه‌ای جهت تفکیک نقاط صید در بازه‌های اپتیمم (مقادیر CPUE نرمال شده $\leq 0/6$) و غیراپتیمم (مقادیر CPUE نرمال شده $> 0/6$) به کار گرفته شد. از مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه فصلی (SARIMA) بر مبنای فواصل فصلی ۳ ماهه جهت مدلسازی سری‌های زمانی داده‌های صید استفاده گردید. مجموعه‌ای از شاخص‌ها شامل AIC، BIC، RMSE، nRMSE، MAE و nMAE و ضریب همبستگی پیرسون جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها و دقت پیش‌بینی‌های حاصل از آنها مورد استفاده قرار گرفتند. روند تغییرات میزان صید در طول دوره ۵ ساله ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ نیز با استفاده از مدل‌های SARIMA با بهترین عملکرد برای بازه‌های صیدگاهی پیش‌بینی شد.

نتایج و بحث: مدل‌های سری زمانی SARIMA برآزش یافته بر مبنای داده‌های کل صیدگاه‌ها و داده‌های تفکیک شده برای بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم، فاقد مؤلفه‌های معنی‌دار خودهمبسته و میانگین متحرک برای تغییرات غیرفصلی بودند به طوری که هیچ روند کاهشی یا افزایشی مشخص برای مقادیر CPUE وجود نداشت، در حالی که در برخی از بازه‌های نقاط صید مؤلفه‌های معنی‌دار خودهمبسته و میانگین متحرک در ارتباط با نوسانات فصلی ثابت افزایشی مشاهده شد. روند کلی مقادیر صید در بیشتر بازه‌های صیدگاهی نشان‌دهنده افزایش مقادیر CPUE از

* Corresponding Author. Email Address: fmoenzi.fateh@gmail.com

سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ و سپس روند کاهشی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ بود. تفکیک مکانی نقاط صیدگاهی در قالب بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم، منتج به مدل‌های با قابلیت عملکردی بهتر و شناخت دقیق‌تر مؤلفه‌های تغییرات زمانی CPUE در مقایسه به مدل حاصل از مجموعه کل نقاط صیدگاهی گردید. بیشتر پیش‌بینی‌های حاصل برای دوره زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ نیز الگوهای تغییرات ایستایی کلی همراه با روندهای فصلی افزایشی مشابه را نشان دادند.

نتیجه‌گیری: مدل‌سازی سری‌های زمانی صید ماهی سفید (*R. frisii*) با استفاده از مدل SARIMA عمدتاً بیانگر وجود الگوهای فصلی افزایشی مشهود و عدم نوسانات کلی در گستره زمانی مورد مطالعه برای تمامی نواحی صیدگاهی بود. سادگی مدل‌های به دست آمده بر اساس مؤلفه‌های فصلی و غیرفصلی، تا حد زیادی 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.

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

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 1996; Makridakis *et al.*, 2008). 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 به طور 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 خودهمبسته یکپارچه[‡]، ARIMA، و نسخه فصلی توسعه‌یافته آن، SARIMA[‡]، تنها با استفاده از اطلاعات موجود در سری‌های زمانی داده قابل برآزش 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 مدل‌های SARIMA(S) در بیشتر موارد برای داده‌های صیادی، امکان انجام تفاضل‌گیری و یا تغییرشکل داده‌ها، به ویژه 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).

† Autoregressive integrated moving average: ARIMA

‡ Seasonal autoregressive integrated moving average: SARIMA

§ Stationarity

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-Muñoz *et al.*, 2003; Georgakarakos *et al.*, 2006; Koutroumanidis *et al.*, 2006) و همچنین برآوردهای صید یا صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) برای صیادی‌های تجاری (Czerwinski *et al.*, 2007; Maravelias and Tsitsika, 2014; Coro *et al.*, 2016; Selvaraj *et al.*, 2020; Nagano and Yamamura, 2023) می‌باشد.

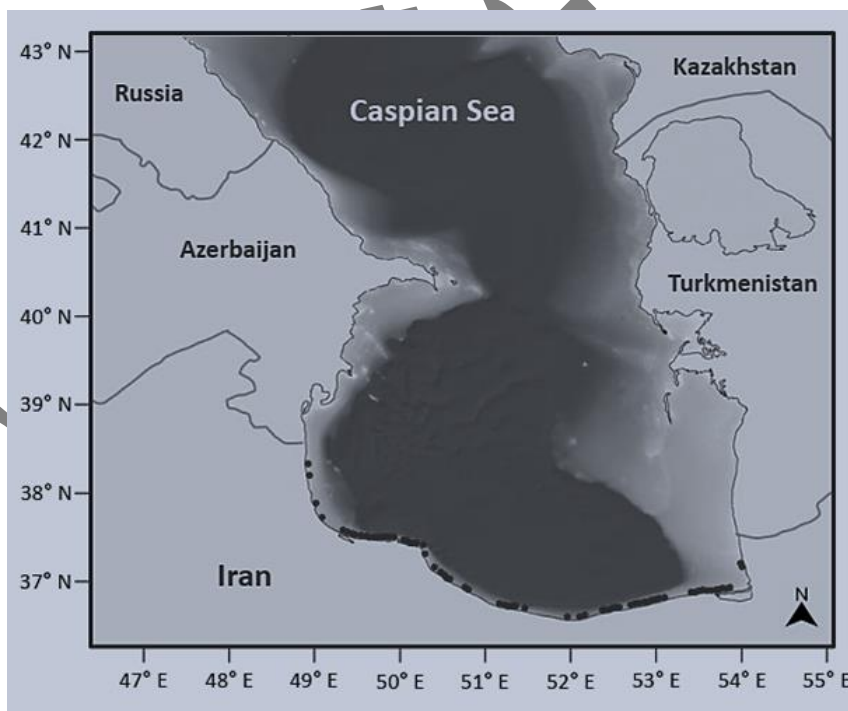
ماهی سفید (*Rutilus frisii*, Nordmann, 1840) یکی از گونه‌های بومی حوضه دریای خزر و متعلق به خانواده Leuciscidae می‌باشد (Eagderi *et al.*, 2022). محدوده پراکنش این گونه در دریای خزر عمدتاً گستره آب‌های ساحلی غربی و جنوبی از دهانه رودخانه ترک در بخش شمالی دریا تا دهانه رودخانه اترک در شرق را در برمی‌گیرد (Rabazanov *et al.*, 2019). این گونه به عنوان یک گونه دارای ارزش تجاری و حفاظتی بیش از ۷۰٪ از کل صید سالانه ماهیان استخوانی را در آب‌های ایرانی دریای خزر به خود اختصاص داده است (Abdolhay *et al.*, 2012; Ghasemi *et al.*, 2015; Esmaeili *et al.*, 2014). صید ماهی سفید توسط تعاونی‌های صیادی تور پره در امتداد نواحی ساحلی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان انجام می‌شود. با وجود انجام برنامه‌های تکثیر مصنوعی و رهاسازی بچه‌ماهیان انگشت‌قد توسط سازمان شیلات ایران (۱۴۰ تا ۴۰۰ میلیون قطعه در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹؛ IFO (2013)، علی‌رغم برخی موارد افزایش مقطعی در میزان صید این ماهی، نوسانات کاهشی قابل توجهی در طول دو دهه گذشته گزارش شده است که به فعالیت‌های صیادی بی‌رویه، آلودگی آب‌ها و تنزل زیستگاه‌های تخم‌ریزی رودخانه‌ای این گونه نسبت داده شده است (Ghani Nejad *et al.*, 2000; Fazli *et al.*, 2009; Rabazanov *et al.*, 2019). با توجه به این روند کاهشی صید ماهی سفید، برنامه‌ریزی مناسب و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مؤثر جهت دستیابی شرایط بهره‌برداری پایدار و یا بازسازی ذخایر این گونه نیازمند شناخت مناسب از تغییرات کمی جمعیت‌های این گونه در درازمدت و پیش‌بینی احتمالی تغییرات آن در آینده می‌باشد. از این‌رو، مطالعه حاضر به مدلسازی تغییرات زمانی مقادیر صید به دست آمده برای ماهی سفید در طول یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲) با 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 ۲۰۰۱۱/۱۲ در تعداد ۹۰ صیدگاه پره ساحلی در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان (شکل ۱) از سازمان شیلات ایران به دست آمد و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. جهت استاندارد بودن داده‌های مورد استفاده، مقادیر صید در واحد تلاش صیادی** (CPUE) برای ایستگاه‌ها در طول دوره‌های زمانی ماهیانه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$CPUE (kg \cdot seine^{-1} \cdot hour^{-1}) = \frac{\text{زیتوده صید (kg)}}{\text{زمان تورکشی (hour) \times \text{تعداد تور پره}} \quad (1)$$



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

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

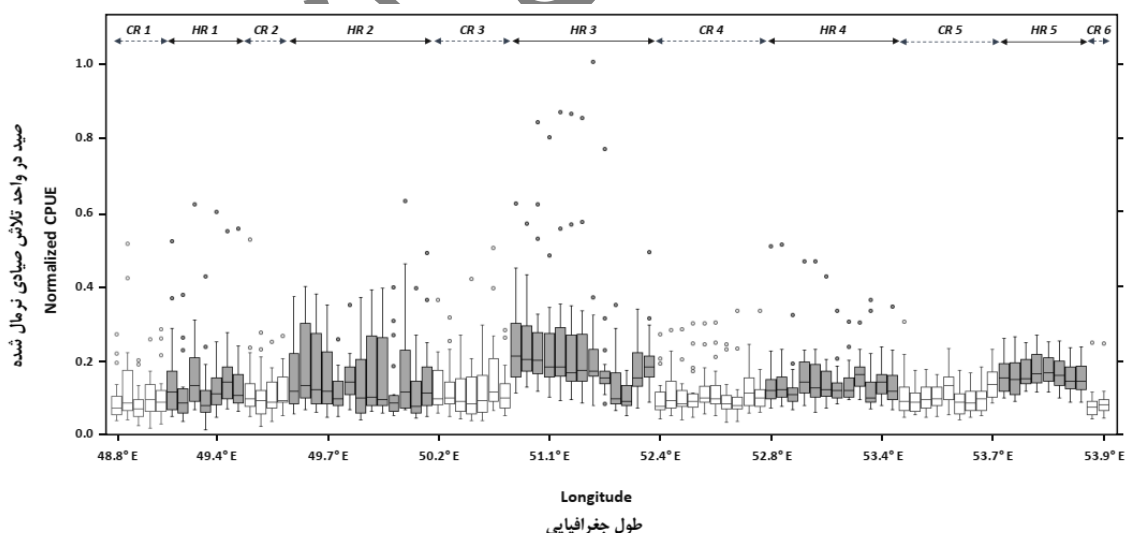
** Catch per unit of effort: CPUE

تعیین بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم صیدگاهی

به منظور تفکیک بازه‌های صیدگاهی اپتیمم و غیراپتیمم، 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 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 ۵ نقطه‌ای استفاده گردید. در نهایت، صیدگاه‌هایی که مقدار میانگین متحرک آنها برابر یا بیشتر از ۰/۶ بود، به عنوان صیدگاه‌های اپتیمم و صیدگاه‌های با مقدار میانگین کمتر از ۰/۶، به عنوان صیدگاه‌های غیراپتیمم تعیین شدند. بر این اساس، ۵ بازه اپتیمم و ۶ بازه غیراپتیمم پیوسته از صیدگاه‌ها در امتداد نقاط صید ساحلی تفکیک گردید (شکل ۲) که در مدلسازی‌های سری‌های زمانی مورد استفاده قرار گرفتند.



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

Figure 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.

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 SARIMA که به صورت کلی $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$ 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^{††} (AR) شامل p و P ، بیان‌گر اثرات با تأخیر مشاهدات قبلی، مؤلفه یکپارچه^{†††} (I) شامل d و D ، نشان‌دهنده روند زمانی، و مؤلفه میانگین متحرک^{††††} (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 ۷ 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 $boxcoxnc$ از بسته $Asar$ (version 2.7; AID (et al., 2017) در محیط نرم‌افزار R جهت تغییر شکل داده‌ها استفاده شد.

برازش مدل‌های SARIMA با استفاده از بسته‌های $tseries$ (version 0.10-51; Trapletti and Hornik, 2022) و $forecast$ (version 8.17.0; Hyndman et al., 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 ، $RMSE$ ، $nRMSE$ ، MAE و $nMAE$ و همچنین همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده CPUE (ضریب همبستگی اسپیرمن (r)) تعیین گردید. روند تغییرات احتمالی مقادیر CPUE برای کل مجموعه صیدگاه‌ها و همچنین بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم با استفاده از مدل‌های SARIMA به دست آمده برای مدت ۵ دوره سالانه (۲۰۱۳

†† Autoregressive component

††† Integrated component

†††† Moving average component

تا ۲۰۱۷) پیش‌بینی شد. سطوح خودهمبستگی 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) تعیین شده 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 (HR4 (sar1 = -0/256; sar2 = -0/216), CR1 (sar1 = -0/805; sar2 = -0/296), و CR2 (sar1 = -0/591) 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 = -0/726), HR5 (sma1 = -0/431), CR3 (sma1 = -0/741) و CR5 (sma1 = -0/519) معنی‌دار بود. برای اجزای غیرفصلی، تنها در مدل‌های 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 برازش‌یافته الگوهای متفاوتی را برای سری‌های زمانی برآمده از بازه‌های صیدگاهی مختلف به دست دادند. برازش 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 بودند 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 طوری که 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 (به ویژه مقادیر حداکثر آن) و تغییرات آن‌ها در طول فصول صید در گستره‌های صیدگاهی اپتیمم و غیراپتیمم، متفاوت بوده و تفاوت‌ها به طور مشخص در مؤلفه‌های به دست 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 به عنوان مدلی با قابلیت بالا در تشخیص روندهای زمانی نهفته در داده‌های دارای نوسانات فصلی قابل توجه شناخته شده‌اند (Stergiou et al., 1997; Georgakarakos et al., 2006). این مدل‌ها به خوبی برای آنالیز سری‌های زمانی شیلاتی با نوسانات بین فصلی 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 ۸ تا ۹ سال گزارش شده است (Afraei Bandpei et al., 2011) و همچنین نبود نوسانات بین فصلی 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 Hyndman and Kostenko, 2007; Miller, 2004). 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 مدلی 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.

جدول ۱- مدل‌های SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)₄ برازش یافته برای سری‌های زمانی مربوط به کل نقاط صیادی (WR)، و بازه‌های اپتیمم (HR) و غیراپتیمم (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

مقادیر شاخص‌های مربوط به عملکرد پیش‌بینی بهترین مدل‌های SARIMA انتخاب شده برای کل نقاط صیدگاهی و بازه‌های اپتیمم و غیراپتیمم در جدول ۲ ارائه شده است. بهترین مدل به دست آمده برای کل محدوده صیدگاهی مورد مطالعه از عملکرد ضعیفی در مقایسه با دیگر مدل‌ها برخوردار بود. کمترین خطای برآورد (بیشترین دقت پیش‌بینی) مدل‌ها برای مدل مربوط به بازه اپتیمم پنجم (HR5) با داشتن کمترین مقادیر $nRMSE = 0/103$ و $nMAE = 0/062$ به دست آمد. همچنین بیشترین سطح همبستگی ($r = 0/94$) نیز برای مدل مربوط به بازه اپتیمم پنجم (HR5) به دست آمد. در مقابل، ضعیف‌ترین عملکرد پیش‌بینی مدل‌ها نیز با داشتن بالاترین مقادیر $nRMSE$ و $nMAE$ و کمترین سطوح ضریب همبستگی (r) متعلق به مدل‌های مربوط به بازه اپتیمم اول (HR1) و بازه غیراپتیمم دوم (CR2) بود. بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی نیز متعلق به مدل‌های HR5، CR4 و CR5 بود.

الگوهای به دست آمده در سری‌های زمانی داده‌های اصلی، داده‌های برآوردشده و پیش‌بینی‌های به‌دست آمده از مدل‌های SARIMA برای یک دوره پنج‌ساله از فصول صید (با تناوب فصلی ۳ ماهه) در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده‌اند. در هیچ یک از موارد الگوی کاهشی یا افزایشی مشخصی برای سری‌های زمانی مشاهده نشد و به طور کلی یک روند زنگوله‌ای با افزایش مقادیر حداکثر CPUE در سال‌های میانی دوره مطالعاتی (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰) برای بیشتر بازه‌های صیدگاهی مشاهده گردید و پس از آن مجدداً یک روند نزولی در مقادیر حداکثر وجود داشت. اکثر پیش‌بینی‌های 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.

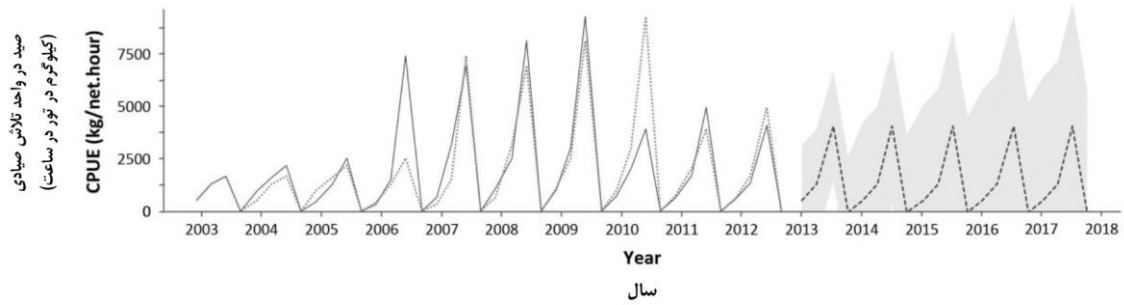
جدول ۲. مقایسه بهترین مدل‌های SARIMA برازش یافته برای کل نقاط صیادی (WR) و بازه‌های اپتیمم (HR) و غیراپتیمم (CR) از نقاط صیادی.

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

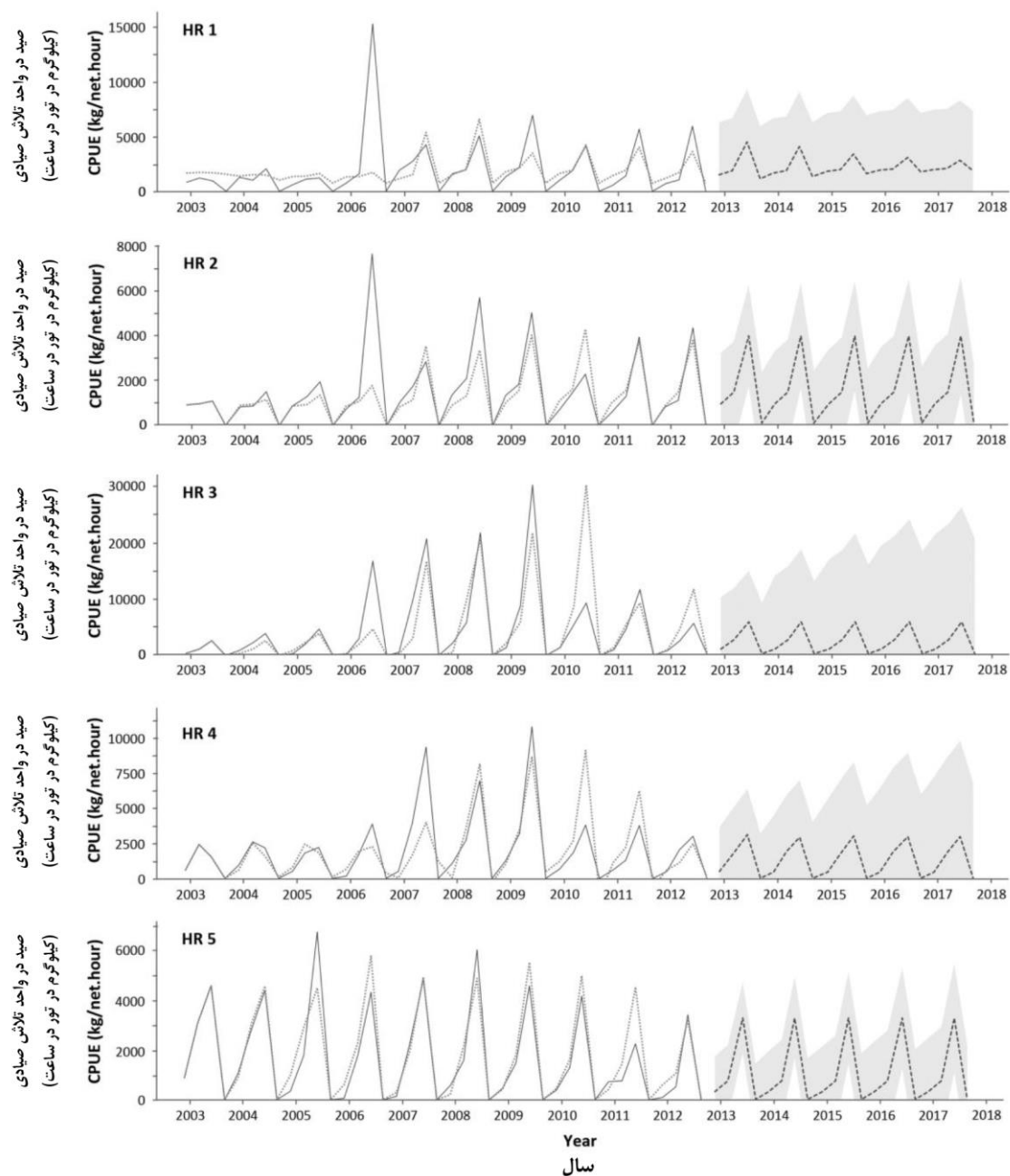
(AIC: معیار اطلاعاتی Akaike؛ BIC: معیار اطلاعاتی بیژن؛ RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا؛ nRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده؛ MAE: میانگین خطای مطلق؛ nMAE: میانگین خطای مطلق نرمال‌شده؛ r: ضریب همبستگی اسپیرمن بین مقادیر واقعی و مقادیر برآوردشده).

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: Spearman's correlation coefficient.



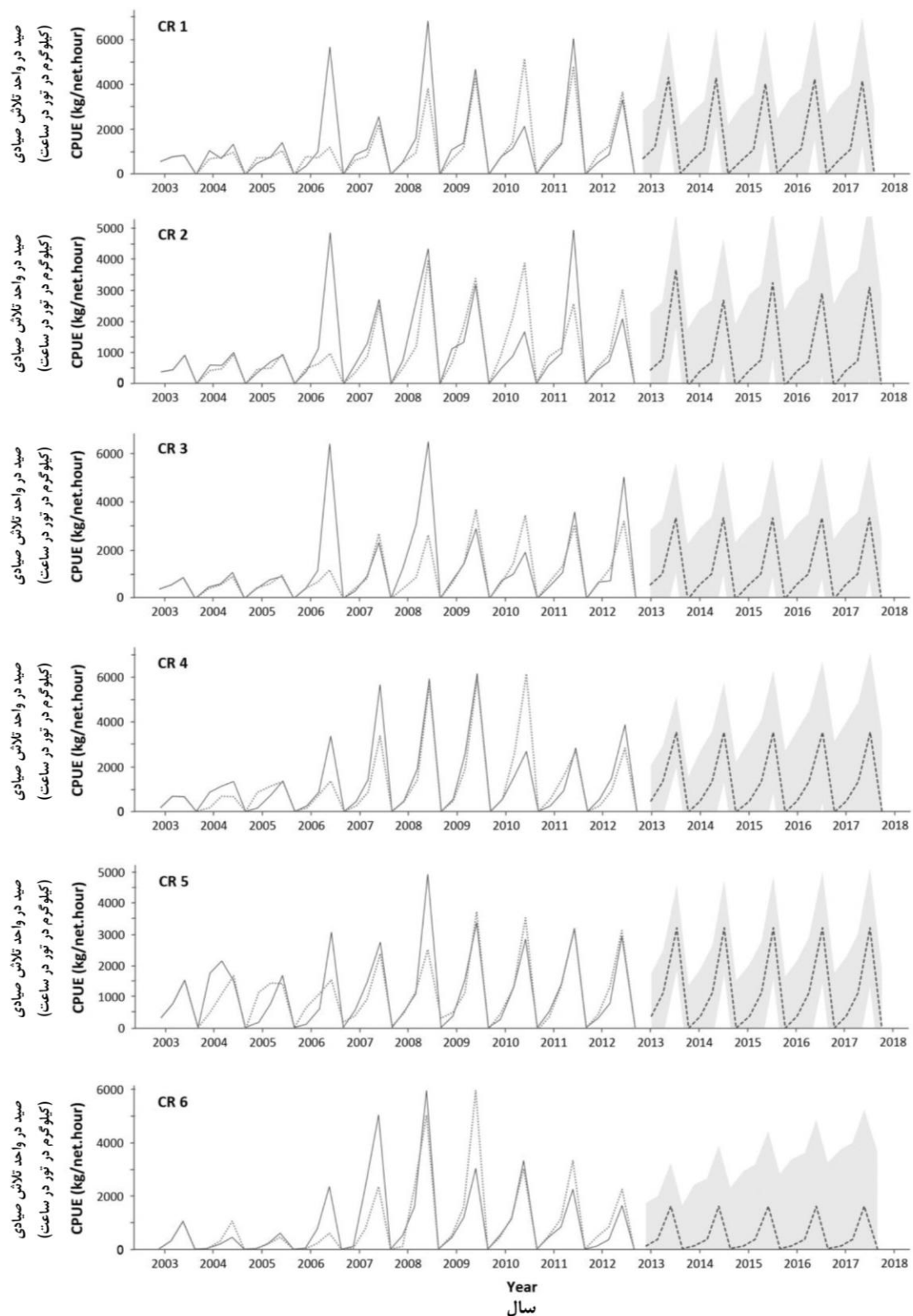
شکل ۳- سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) مشاهداتی و برآورد شده برای ماهی سفید در مجموعه تمامی نقاط صیدگاهی (WR). پارامترهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است. بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲: خط پیوسته؛ سری زمانی مشاهداتی؛ خط نقطه چین: سری زمانی برآورد شده مدل؛ بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷: خط بریده؛ سری زمانی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

Figure 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 بازه- های 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 خاکستری‌رنگ: فاصله اطمینان ۹۵٪ مثبت برای پیش‌بینی‌ها).

Figure 3- 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 بازه- های 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 خاکستری‌رنگ: فاصله اطمینان ۹۵٪ مثبت برای پیش‌بینی‌ها).

Figure 3- 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).

شاخص‌های مربوط به ارزیابی عملکرد و پیش‌بینی مدل‌ها نیز نشان داد که در سری‌های زمانی دارای نوسانات ناگهانی (از جمله CR1, CR2 و CR5)، 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 nRMSE, nMAE و ضریب رگرسیون r) به دست آمد. بررسی انطباق الگوهای واقعی تغییرات صید و روندهای برآوردشده (شکل‌ها ۳ تا ۵) مدل‌ها نیز با نتایج عددی به دست آمده همخوانی دارد. وجود روندهای نزدیک و منطبق بین داده‌های واقعی و برآوردشده در مطالعات دیگر نیز در تایید عملکرد کلی مدل‌های (S)ARIMA 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). تابحال 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 به دست 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 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 طوری که روند تغییرات افزایشی یا کاهش‌ی بین سالانه کلی در یافته‌های به دست آمده وجود نداشته است.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی صید در واحد تلاش صیادی (CPUE) برای ماهی سفید (*R. frisii*) بر مبنای داده‌های فصلی با به‌کارگیری 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 به دست 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.

منابع مورد استفاده

- Abdolhay, H. A., Daud, S. K., Rezvani, S., Pourkazemi, M., Siraj, S. S., Laloei, F., Javanmard, A., & 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
- Afraei Bandpei, M.A., Abdolmaleki, Sh., Najafpour, Sh., Bani, A., Pourgholam, R., Nasrolahzadeh, H., & 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. & 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.

- Asar, Ö., Ilk, O., & Dag, O. (2017). Estimating Box-Cox power transformation parameter via goodness-of-fit tests. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 46(1), 91-105.
- Becerra-Muñoz, S., Buelna-Osben, H. R., & 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.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Chatfield, C. (1993). Calculating interval forecasts. *Journal of Business & Economic Statistics*, 11(2), 121-135.
- Coro, G., Large, S., Magliozzi, C., & 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.
- Czerwinski, I. A., Gutierrez-Estrada, J. C., & Hernando-Casal, J. A. (2007). Short-term forecasting of halibut CPUE: Linear and non-linear univariate approaches. *Fisheries Research*, 86(2-3), 120-128.
- Eagderi, S., Mouludi-saleh, A., ESMAELI, H. R., Sayyadzadeh, G., & NASRI, M. (2022). Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology*, 46(6), 500-522.
- Esmaeili, H. R., Babai, S., Gholamifard, A., Pazira, A., & 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., & Froeschke, J. T. (2015). Forecasting for recreational fisheries management: what's the catch? *North American journal of fisheries management*, 35(4), 720-735.
- Fazli, H., Zhang, C. I., Hay, D. E., & 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.
- Fogarty, M. J., & Miller, T. J. (2004). Impact of a change in reporting systems in the Maryland blue crab fishery. *Fisheries Research*, 68(1-3), 37-43.
- Freeman, S. N., & 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.
- Georgakarakos, S., Koutsoubas, D., & Valavanis, V. (2006). Time series analysis and forecasting techniques applied on loliginid and ommastrephid landings in Greek waters. *Fisheries Research*, 78(1), 55-71.
- Ghani Nejjhad, D., Moghim, M., Abdolmaleki, Sh. & 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., & 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.
- Gutiérrez-Estrada, J. C., Silva, C., Yáñez, E., Rodríguez, N., & 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.
- Holmes, E.E. (2001). Estimating risks in declining populations with poor data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(9), pp.5072-5077
- Hyndman, R., Athanasopoulos, G., Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild, M., Petropoulos, F., Razbash, S., Wang, E., & Yasmeeen, F. (2022). *forecast: Forecasting functions for time series and linear models*. R package version 8.21,
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2014). *Forecasting: principles and practice*. OTexts [only textbook]. Available: <https://www.otexts.org/fpp>. (May 2015).
- Hyndman, R. J., & Kostenko, A. V. (2007). Minimum sample size requirements for seasonal forecasting models. *foresight*, *6*(Spring), 12-15.
- Ives, A. R., Abbott, K. C., & Ziebarth, N. L. (2010). Analysis of ecological time series with ARMA (p, q) models. *Ecology*, *91*(3), 858-871.
- Karimzadeh, G., Gabrielyan, B., & 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.
- Koutroumanidis, T., Iliadis, L., & Sylaios, G. K. (2006). Time-series modeling of fishery landings using ARIMA models and Fuzzy Expected Intervals software. *Environmental Modelling & Software*, *21*(12), 1711-1721.
- Lloret, J., Leonart, J., & Solé, I. (2000). Time series modelling of landings in Northwest Mediterranean Sea. *ICES journal of Marine Science*, *57*(1), 171-184.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (2008). *Forecasting methods and applications*. Wiley, New York.
- Makwinja, R., Mengistou, S., Kaunda, E., Alemiew, T., Phiri, T. B., Kosamu, I. B. M., & Kaonga, C. C. (2021). Modeling of Lake Malombe annual fish landings and catch per unit effort (CPUE). *Forecasting*, *3*(1), 39-55.
- Maravelias, C. D., & Tsitsika, E. V. (2014). Fishers' targeting behaviour in Mediterranean: does vessel size matter? *Fisheries Management and Ecology*, *21*(1), 68-74.
- Maynou, F., Demestre, M., & 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.
- Nagano, K., & Yamamura, O. (2023). Predicting catch of Giant Pacific octopus *Enteroctopus dofleini* in the Tsugaru Strait using a machine learning approach. *Fisheries Research*, *261*, 106622.

- Prista, N., Diawara, N., Costa, M. J., & 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., & 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.
- Raman, R. K., Suresh, V. R., Mohanty, S. K., Bhatta, K. S., Karna, S. K., Mohanty, B. P., & 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.
- Selvaraj, J. J., Arunachalam, V., Coronado-Franco, K. V., Romero-Orjuela, L. V., & 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.
- Shitan, M., Wee, P. M. J., Chin, L. Y., & 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., & 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.
- Stergiou, K. I., Christou, E. D., & Petrakis, G. (1997). Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods. *Fisheries Research*, 29(1), 55-95.
- Trapletti, A & Hornik, K., (2022). tseries: Time Series Analysis and Computational Finance. R package version 0.10-51
- Tsitsika, E. V., Maravelias, C. D., & Haralabous, J. (2007). Modeling and forecasting pelagic fish production using univariate and multivariate ARIMA models. *Fisheries science*, 73, 979-988.
- Ward, E. J., Holmes, E. E., Thorson, J. T., & 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.
- Yadav, A. K., Borah, S., Das, K. K., Raman, R. K., Das, P., & 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.

Original Article

Time series modelling for the Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) catch using SARIMA model

Fateh Moëzzi,^{1*} Hadi Poorbagher,¹ Soheil Eagderi,¹ Jahangir Fegghi²**

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

Introduction: Recognizing temporal trends of fluctuations in fish stocks and using them to predict population changes in the future is one of the practical tools in fisheries stock management. The Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) is the most important bony fish species in the southern Caspian Sea and has high conservation and commercial value. However, 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 catch data as catch-per-unit-of-effort (CPUE) for the Kutum for catch seasons of 2002/3 to 2011/12 of sein net fishing points over northern coastal regions of Iran were used. A 5-point moving average of CPUE was used to distinguish the fishing points as optimum (with normalized CPUEs $\geq 0/6$) and non-optimum (with normalized CPUEs $< 0/6$) fishing locations. The seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model was used to model time series based on seasonal 3-month intervals. The performance and predictive ability of models were assessed using a set of indices, including AIC, BIC, RMSE, nRMSE, MAE, nMAE and the Pearson correlation coefficient (r). CPUE trends over the five years 2013 to 2017 were predicted by applying the best-fitted SARIMA models.

Results and discussion: 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. Using the Classified fishing points as optimum and non-optimum ranges led to SARIMA models with better performance and more detailed identification of CPUE time-series components than to the whole set of fishing points. Most of the obtained predictions for 2013-2017 similarly presented stationary fluctuation trends with apparent seasonal increases in CPUEs.

*** Corresponding Author. *Email Address:* fmoezi.fateh@gmail.com

Conclusion: Time-series modelling for the Kutum (*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.

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

نسخه
پیش
انتشار