



Investigation of growth parameters, mortality, and exploitation rate of giant trevally (*Caranx ignobilis* Forsskål, 1775) using an ensemble approach in the Northern waters of the Oman Sea

Seyed Ahmadreza Hashemi^{1✉}, Mastooreh Doustdar², Tahereh Bagheri³, Paria Akbary⁴

1. Corresponding author, Offshore Fisheries Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Chabahar, Iran. seyedahmad91@gmail.com

2. Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Email: mastooreh.doustdar@gmail.com

3. Inland Waters Aquatics Resources Research Center-Gorgan, Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. Email: baghei1360@gmail.com

4. Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran. Email: paria.akbary@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 7 July 2026
Revised 14 August 2026
Accepted 22 August 2026

Keywords:
Giant trevally,
Population parameters,
Stock status,
Oman Sea.

ABSTRACT

The giant trevally (*Caranx ignobilis*) is a commercially valuable species in the family Carangidae, distributed in tropical and subtropical waters of the Indian and Pacific Oceans, including coral reefs. Despite its economic and ecological importance, limited information is available on its population parameters and exploitation status in the northern waters of the Oman Sea. The present study aimed to estimate growth and mortality parameters and assess the stock status of this species using an ensemble modeling approach. Sampling was conducted during 2024-2025 at four fishing ports (Pasabandar, Beris, Konarak, and Pozm), and length data from 1,350 individuals (total length range: 21-112 cm, mean: 52±14 cm) were collected. Growth parameters were estimated using two algorithms, ELEFAN_SA and ELEFAN_GA, in the R package TropFishR, and the results were subsequently combined using a simple averaging method. The estimated parameters were as follows: asymptotic length (L_{∞})= 124 cm, growth coefficient (K)= 0.39 yr⁻¹, natural mortality (M)=0.425, fishing mortality (F)= 1.66, total mortality (Z)= 2.09, and exploitation rate (E) = 0.79. The goodness-of-fit index (R_{n_max}) was 0.31 and 0.28 for the two methods, respectively, indicating acceptable model fit. The relative percent difference (RPD) for the main parameters was less than 12%, confirming strong agreement between the two approaches. Comparative analysis with other regions worldwide revealed that giant trevally in the Oman Sea exhibits the highest asymptotic length (124 cm) and growth performance index ($\Phi' = 3.79$) among reported populations; however, the exploitation rate (0.79) indicates high fishing pressure exceeding sustainable levels. Therefore, precautionary fisheries management measures—including increasing the minimum landing size, establishing closed areas during the spawning season, and continuous monitoring of length-frequency data—are essential to ensure the sustainability of this valuable species in the northern Oman Sea.

Cite this article: Hashemi, S.A., Doustdar, M., Bagheri, T., & Akbary, P. (2026). Investigation of growth parameters, mortality, and exploitation rate of giant trevally (*Caranx ignobilis* Forsskål, 1775) using an ensemble approach in the Northern waters of the Oman Sea. *Journal of Aquaculture Sciences*, 14(1), 80-96.



© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Iranian Aquaculture Society.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Assessing fish stocks and investigating their population dynamics, key areas of natural resource management, play a vital role in maintaining the balance of marine ecosystems and meeting the economic and social needs of human communities. The giant trevally (*Caranx ignobilis*) is a commercially valuable species of the carangid family, distributed in the tropical and subtropical waters of the Indian and Pacific Oceans. Despite this species' economic and ecological importance, limited information is available on its population parameters and exploitation status in the northern waters of the Gulf of Oman. This study aimed to address this information gap by estimating the population parameters and exploitation status of the giant trevally in the northern waters of the Gulf of Oman. Accordingly, this research employed an ensemble approach using two algorithms—the Simulated Annealing algorithm (ELEFAN_SA) and the Genetic Algorithm (ELEFAN_GA)—to more accurately estimate growth parameters (asymptotic length and growth coefficient) and mortality rates (natural, fishing, and total). Finally, this study presents results to provide the scientific data and management indicators required (such as the exploitation rate) to develop conservation measures and sustainable management strategies for this valuable species in the region.

Material and Methods

Sampling was conducted during 1403–1404 at four fishing ports (Pasabandar, Beris, Konarak, and Pazm), and length data for 1,350 fish were collected (total-length range: 21–112 cm; mean: 52±14 cm). Growth parameters were estimated using two algorithms—simulated annealing (ELEFAN_SA) and the genetic algorithm (ELEFAN_GA)—in R with the TropFishR package, and were subsequently combined using a simple composite index. Data analysis was performed using Excel, RStudio (2024.12.1), and R (4.4.2). The `ggplot2` package was used for plotting, `reshape2` for data reshaping, and `openxlsx` for saving results in Excel files. A significance level of 0.05 was used.

Results and Discussion

The ensemble approach, consisting of the simulated annealing algorithm (ELEFAN_SA) and the genetic algorithm (ELEFAN_GA), showed strong agreement in estimating the growth and mortality parameters of narrow-barred Spanish mackerel in the northern waters of the Gulf of Oman. A relative percentage difference (RPD) of less than 12% also confirmed the convergence of results from these two methods. The genetic algorithm (ELEFAN_GA), compared with the simulated annealing algorithm (ELEFAN_SA), generally performs better in reaching global optima when estimating the parameters of the von Bertalanffy growth function, because it uses selection, crossover, and mutation processes, thereby reducing the likelihood of becoming trapped in local optima; in contrast, ELEFAN_SA may converge faster in some cases but is more sensitive to initial conditions and tuning parameters. Studies have shown that ELEFAN_GA provides greater accuracy in estimating growth parameters from length-frequency data. Ensemble methods are important in fisheries because they combine results from several models, such as ELEFAN_GA and ELEFAN_SA, reducing uncertainty in estimating von Bertalanffy growth parameters and improving the accuracy of stock-status predictions. By using weighted averaging or selecting the best models based on statistical criteria, this approach avoids single-model weaknesses, such as becoming trapped in local optima, and provides more robust results for sustainable management. Although the stock is not in a severely unfavorable condition, immediate and precautionary management measures such as increasing the minimum legal catch size, reducing fishing effort, establishing fishing-closure areas during the spawning season, and continuously monitoring length and weight frequencies are essential to prevent further decline and ensure long-term sustainability. Implementing these recommendations can greatly help fisheries managers maintain ecosystem balance and sustainably exploit this economically valuable species.

Acknowledgment

The authors sincerely appreciate and thank Professor Mortazavi, Director of the Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), as well as the experts at the Offshore Fisheries Research Center (OFRC), Chabahar.

بررسی پارامترهای رشد، مرگ و میر و وضعیت بهره‌برداری ماهی گیش بزرگ (*Caranx ignobilis* Forsskal, 1775) با استفاده از رویکرد ترکیبی در آب‌های شمالی دریای عمان

سیداحمد رضا هاشمی^۱، مسطوره دوستدار^۲، طاهره باقری^۳، پریا اکبری^۴

۱. نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران. رایانامه: seyedahmad91@gmail.com

۲. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: mastooreh.doustdar@gmail.com

۳. مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی گرگان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: baghei1360@gmail.com

۴. گروه شیلات، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران. رایانامه: paria.akbary@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی،

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱

کلیدواژه‌ها:

گیش بزرگ،

پارامترهای جمعیتی،

وضعیت ذخیره،

دریای عمان.

ماهی گیش بزرگ (*Caranx ignobilis*) یکی از گونه‌های با ارزش تجاری خانواده گیش‌ماهیان است که در آب‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری اقیانوس هند و آرام و مناطقی چون صخره‌های مرجانی پراکنش دارد. با وجود اهمیت اقتصادی و بوم‌شناختی این گونه، درباره پارامترهای جمعیتی و وضعیت بهره‌برداری آن در آب‌های شمالی دریای عمان اطلاعات کمی در دسترس است. پژوهش حاضر با هدف برآورد پارامترهای رشد و مرگ و میر و ارزیابی وضعیت ذخیره این گونه با استفاده از رویکرد ترکیبی (ensemble) انجام شد. نمونه‌برداری طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۳ از چهار بندر صیادی (پسابندر، بريس، کنارک و پزم) انجام گرفت و داده‌های طولی ۱۳۵۰ ماهی (دامنه طول چنگالی ۱۱۲-۲۱ سانتی‌متر، میانگین 52 ± 14 سانتی‌متر) جمع‌آوری گردید. پارامترهای رشد با دو الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN_SA) و الگوریتم ژنتیکی (ELEFAN_GA) در محیط نرم‌افزاری R بسته TropFishR برآورد و سپس با شاخص تلفیق ساده ترکیب شدند. نتایج نشان داد طول بی‌نهایت (L_{∞}) برابر ۱۲۴ سانتی‌متر، ضریب رشد (growth coefficient, K) ۰/۳۹ در سال، مرگ‌ومیر طبیعی (natural mortality, M) ۰/۴۲۵، مرگ‌ومیر صیادی (fishing mortality, F) ۱/۶۶، مرگ‌ومیر کل (total mortality, Z) ۲/۰۹ و ضریب بهره‌برداری (exploitation rate, E) ۰/۷۹ برآورد شد. شاخص نیکویی برازش (The goodness-of-fit index, Rn_max) برای دو روش به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۳۱ به دست آمد که نشان‌دهنده برازش قابل قبول هر دو مدل است. شاخص اختلاف درصدی نسبی (RPD) برای پارامترهای اصلی کمتر از ۱۲٪ بود که همخوانی بالای دو روش را تأیید می‌کند. مقایسه نتایج با سایر مناطق جهان نشان داد که گیش بزرگ در دریای عمان دارای بیشترین طول بی‌نهایت (۱۲۴ سانتی‌متر) و شاخص عملکرد رشد $\Phi' = 3/79$ در میان گونه‌های گزارش شده بود، اما نرخ بهره‌برداری بیانگر فشار صیادی بالا و فراتر از سطح پایدار بود. بنابراین، مدیریت شیلاتی محتاطانه شامل افزایش حداقل اندازه مجاز صید، ایجاد مناطق ممنوعه در فصل تخم‌ریزی و پایش مستمر فراوانی طولی برای حفظ پایداری این گونه با ارزش در آب‌های شمالی دریای عمان ضروری است.

استناد: هاشمی، احمد رضا؛ دوستدار، مسطوره؛ باقری، طاهره؛ و اکبری، پریا (۱۴۰۵). بررسی پارامترهای رشد، مرگ و میر و وضعیت بهره‌برداری ماهی گیش بزرگ (*Caranx ignobilis* Forsskal, 1775) با استفاده از رویکرد ترکیبی در آب‌های شمالی دریای عمان. *علوم آبزی پروری*، ۱۴ (۱)، ۹۶-۸۰.



© نویسندگان.

ناشر: انجمن آبزی پروری ایران.

مقدمه

ارزیابی ذخایر آبزیان و بررسی پویایی جمعیت آنها به عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی مدیریت منابع طبیعی، نقش حیاتی در حفظ تعادل اکوسیستم‌های دریایی و تأمین نیازهای اقتصادی و اجتماعی جوامع بشری ایفا می‌کند. با توجه به فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیطی، انجام این ارزیابی‌ها برای استفاده پایدار از منابع آبی ضروری است. این ارزیابی‌ها ابزاری حیاتی در مدیریت شیلاتی به شمار می‌روند که داده‌های ضروری درباره اندازه، سلامت و پایداری جمعیت آبزیان ارائه می‌دهند. علاوه بر این، گنجاندن متغیرهای محیطی و اثرات تغییرات اقلیمی در مدل‌های ارزیابی ذخایر برای پیش‌بینی روندهای آینده جمعیت‌ها اهمیت فزاینده‌ای یافته است. مدیریت مؤثر مبتنی بر ارزیابی‌های قوی نه تنها بقای طولانی‌مدت این منابع را تضمین می‌کند، بلکه نیازهای اکولوژیکی و اقتصادی را متعادل می‌سازد. بررسی وضعیت ذخایر و تعیین میزان برداشت مناسب از آن‌ها نیز یکی از اصلی‌ترین مباحث در مدیریت منابع طبیعی و صنعت شیلات است که به حفظ پایداری منابع، تعادل اکوسیستم‌های دریایی و تأمین امنیت غذایی جوامع وابسته کمک می‌کند (Karp et al., 2018; Hashemi et al., 2021; 2022; Medeiros-Leal et al., 2023).

دریای عمان دارای تنوع بالایی از گونه‌های آبزیان است که زمینه‌ساز تأمین معیشت، ایجاد اشتغال پایدار و رونق فعالیت‌های اقتصادی گسترده برای جوامع ساحلی شده است. جلگه ساحلی ایران در حاشیه این دریا، در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ تا ۶۱/۲۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵/۰۳ تا ۲۶/۱۳ درجه شمالی گسترده شده و از ناحیه سیریک در استان هرمزگان تا گواتر در استان سیستان و بلوچستان امتداد می‌یابد؛ خط ساحلی این منطقه به طول حدود ۶۳۷ کیلومتر است (Hashemi, 2024).

براساس فهرست ماهیان دریای عمان (Eagderi et al., 2026)، این حوضه دریایی حدود ۱۸۱۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت داشته و عمق آن به بیش از ۳۵۰۰ متر می‌رسد و از تنوع زیستی بالایی برخوردار است. در مجموع ۱۰۴۷ گونه ماهی (شامل ۹۴۷ گونه ماهیان استخوانی و ۱۰۰ گونه کوسه و سفره ماهی) از دریای عمان گزارش شده است که از این میان، ۸۶ گونه برای نخستین بار در این دریا ثبت شده‌اند. راسته Acanthuriformes با ۲۲۵ گونه و خانواده Carangidae (گیش‌ماهیان) با ۵۷ گونه، بیشترین تنوع را دارا است. از نظر وضعیت حفاظتی اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، ۷۴۷ گونه در وضعیت کمترین نگرانی، ۴۳ گونه در وضعیت آسیب‌پذیر، ۲۶ گونه در وضعیت در معرض خطر انقراض و ۲۱ گونه در وضعیت بحرانی در معرض انقراض قرار دارند. خانواده گیش‌ماهیان^۱ از راسته سوف‌ماهی‌شکلان^۲، یکی از گروه‌های بزرگ ماهیان استخوانی و عمدتاً دریازی به شمار می‌روند که در آب‌های گرم و معتدل اقیانوس‌های اطلس، هند و آرام پراکندگی وسیعی دارند. بدن آنها که عموماً فشرده است، از فرم‌های بسیار پهن و عمیق تا حالت دوکی‌شکل متغیر بوده و برخی از گونه‌ها مانند گیش رنگین‌کمانی (*Elagatis bipinnulatus*) بدنی ازدری‌شکل دارند. از ویژگی‌های شاخص آنها می‌توان به بدن دوکی یا فشرده، وجود دو باله پشتی جدا از هم (که باله جلویی دارای خار و باله پشتی دوم نرم است)، باله دمی دوشاخه و وجود سپرچه‌های استخوانی^۳ در طول خط جانبی اشاره کرد (Collette and Nauen, 1983). گیش‌ماهیان از شکارچیان سریع، گوشت‌خوار و اغلب گروه‌زی هستند که در ستون آب و بر فراز زیستگاه‌های صخره‌ای به شکار طعمه می‌پردازند؛ با این حال، برخی گونه‌ها نیز با جستجو در بستر دریا، از بی‌مهرگان کف‌زی تغذیه می‌کنند. این خانواده به دلیل اهمیت بالایی صید تجاری و تفریحی، از ارزشمندترین ماهیان نواحی گرمسیری از هر دو دیدگاه اقتصادی و بوم‌شناختی محسوب می‌شود (Froese and Pauly, 2025).

ماهی گیش بزرگ^۴ با نام علمی *Caranx ignobilis* یکی از گونه‌های شناخته‌شده در خانواده گیش‌ماهیان است. این ماهی بدنی عمیق، مستطیلی تا تخم‌مرغی‌شکل و به شدت فشرده از پهنا دارد و رنگ بدن آن نقره‌ای با پشت تیره‌تر و اغلب همراه با لکه‌های تیره‌ای نوارهای کم‌رنگ در افراد جوان است. در افراد جوان، باله‌های پشتی و مخرجی الگوهای رنگی متمایز دارند که با افزایش سن محو می‌شوند؛ خارهای باله پشتی اول در بالغین به تدریج کاهش می‌یابد. فلس‌های این ماهی کوچک و از نوع شانه‌ای

^۱Carangidae^۲Perciformes^۳scutes^۴Giant trevally

هستند و به‌سختی قابل مشاهده‌اند. از دیگر ویژگی‌های آن می‌توان به وجود لکه‌های تیره روی باله‌ها در برخی افراد و ساختار بدنی قوی و عضلانی اشاره کرد. افراد بالغ اغلب به‌صورت گله‌های بزرگ در آب‌های ساحلی تا عمق ۱۰۰ متر و روی بسترهای شنی یا صخره‌های مرجانی حرکت می‌کنند، در حالی که نوجوانان بیشتر در مصب رودخانه‌ها و آب‌های کم‌عمق زندگی می‌کنند. این گونه در اقیانوس هند و آرام از دریای سرخ و سواحل شرق آفریقا تا جزایر هاوایی و پلی‌نزی^۱ پراکندگی دارد و از نظر تجاری و ماهی‌گیری ورزشی گونه‌ای بسیار ارزشمند به‌شمار می‌رود (Collette and Nauen, 1983; Froese and Pauly, 2025).

میزان صید جهانی آبزیان در سال ۲۰۲۲ حدود ۹۰ میلیون تن بوده که ۸۷ درصد آن (۷۹ میلیون تن) مربوط به آب‌های دریایی و ۱۳ درصد (۱۱ میلیون تن) مربوط به آب‌های داخلی بوده است (FAO, 2024). میزان صید خانواده گیش‌ماهیان در آب‌های جنوبی کشور نیز از حدود ۴ هزار تن در سال ۱۳۷۶ به بیش از ۱۶ هزار تن در سال ۱۴۰۳ افزایش یافته است. صید این خانواده در استان سیستان و بلوچستان روند صعودی داشته و سهم آن از صید این گونه‌ها از حدود ۳۰۰ تن (کمتر از یک درصد) در سال ۱۳۷۶ به نزدیک ۳۷۰۰ تن (۲۲ درصد) در سال ۱۴۰۳ رسیده است (Iran Fisheries Organization, 2025).

نسبت ذخایر با سطح پایدار زیستی به ذخایر با سطح ناپایدار زیستی از مهم‌ترین شاخص‌های بهره‌برداری پایدار از منابع دریایی به‌شمار می‌رود. براساس گزارش‌ها، سهم ذخایر با سطح ناپایدار زیستی از حدود ۱۰ درصد در سال ۱۹۷۴ به حدود ۳۵ درصد در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته و بیشترین میزان ناپایداری زیستی در دریای مدیترانه، دریای سیاه، جنوب شرقی اقیانوس آرام و جنوب غربی اقیانوس اطلس مشاهده می‌شود (FAO, 2024).

مطالعات متعددی در زمینه زیست‌شناسی، پویایی جمعیت و ارزیابی ذخایر خانواده کارانجیده در مناطق مختلف جهان انجام شده است. Reuben و همکاران (۱۹۹۲) در پژوهشی جامع، زیست‌شناسی، صید و ارزیابی ذخایر گونه‌های گیش‌ماهیان آب‌های هند را بررسی کردند. Abdussamad و همکاران (۲۰۰۸) نیز با مطالعه پراکنش، زیست‌شناسی و رفتار گیش بزرگ، این گونه را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای پرورش در قفس‌های دریایی معرفی نمودند. در همین زمینه، Phuon و همکاران (۲۰۱۵) ویژگی‌های زیستی و الگوی پراکنش گیش بزرگ را در آب‌های ساحلی و تالابی کشور ویتنام مورد مطالعه قرار دادند. در غرب آفریقا، Arra و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های صیدصنعتی، ارزیابی ذخیره و پویایی جمعیت گیش سنگالی (*Caranx enegallus*) را در ساحل عاج انجام دادند. از نظر تعیین سن و رشد، Mohammad و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از خوانش فلس، سن و رشد دو گونه گیش چشم‌درشت (*Carangoides bajad*) و گیش باله‌آبی (*Caranx melampygus*) را در دریای سرخ مصر برآورد کردند. Gabr و همکاران (۲۰۲۳) نیز به تخمین پارامترهای رشد و ارزیابی ذخیره گیش چشم‌درشت (*C. bajad*) در کشور عربستان پرداختند. Farrag و همکاران (۲۰۲۴) رشد و وضعیت ذخایر سه گونه از این خانواده را در آب‌های دریای سرخ تحلیل نمودند. Mehanna و Samy-Kamal (۲۰۲۴) در ارزیابی کلان ذخایر ۵۵ گونه تجاری دریای سرخ مصر، پارامترهای پویایی جمعیت و میزان بهره‌برداری تعدادی از گیش‌ماهیان را نیز ارائه دادند. همچنین Nadon (۲۰۲۴) در بررسی خود به بهبود روش‌های ارزیابی ذخایر ماهیان صخره‌های مرجانی هاوایی و اقیانوس آرام پرداخت که برخی گونه‌های گیش‌ماهیان را نیز در بر می‌گرفت. با وجود مطالعات متعدد روی خانواده گیش‌ماهیان در مناطق مختلف جهان، اطلاعات کافی در مورد پارامترهای جمعیتی و وضعیت بهره‌برداری ماهی گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان وجود ندارد.

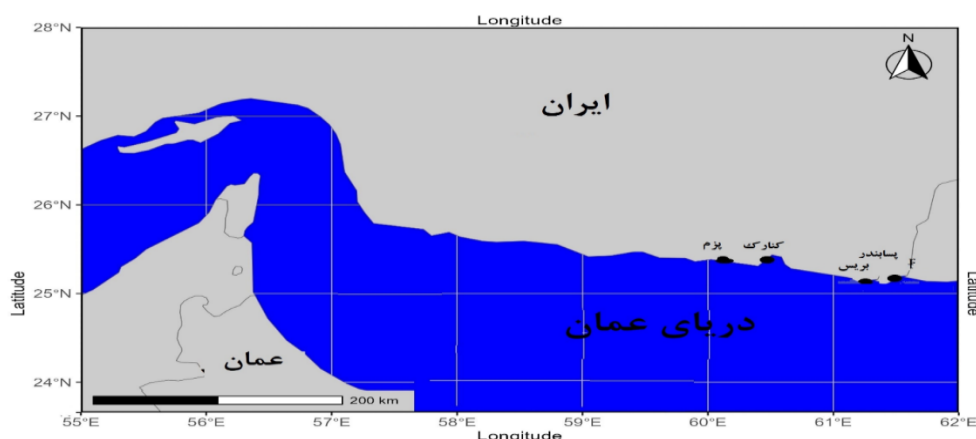
هدف اصلی این مطالعه، پر کردن خلأ اطلاعاتی درباره پارامترهای جمعیتی و وضعیت بهره‌برداری ماهی گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان است. تاکنون داده‌های کافی درباره رشد، مرگ‌ومیر، ساختار سنی-طولی، نرخ صیادی و وضعیت ذخیره این گونه در منطقه وجود نداشته است. این نبود اطلاعات، مدیریت پایدار ذخایر را با چالش مواجه کرده و می‌تواند به کاهش جمعیت آن منجر شود. از این‌رو، این مطالعه با ارائه داده‌های میدانی معتبر، تلاش دارد مبنای علمی لازم برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را فراهم آورد.

^۱Polynesia

در این راستا، پژوهش حاضر با به‌کارگیری رویکرد ترکیبی (Ensemble) با استفاده از دو الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN-SA^۱) و الگوریتم ژنتیکی (ELEFAN-GA^۲)، به برآورد دقیق‌تر پارامترهای رشد (طول بی‌نهایت و ضریب رشد) و مرگ و میر (طبیعی، صیادی و کل) پرداخته است. در نهایت، نتایج این مطالعه با هدف فراهم آوردن داده‌های علمی و شاخص‌های مدیریتی لازم (مانند نرخ بهره‌برداری) برای تدوین راهکارهای حفاظتی و مدیریت پایدار این گونه باارزش در منطقه ارائه شده‌اند.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های نمونه‌برداری: مطالعه براساس نمونه‌برداری از ماهی گیش بزرگ تخلیه‌شده به بنادر صیادی استان سیستان و بلوچستان در بندر پزم با طول جغرافیایی ۱۵°۶۰ و عرض جغرافیایی ۳۵°۲۵، بندر کنارک با طول جغرافیایی ۱۶°۶۰ و عرض جغرافیایی ۵۹°۲۵، بندر بريس با طول جغرافیایی ۱۴°۶۰ و عرض جغرافیایی ۱۶°۲۵، بندر پسابندر و پسابندر با طول جغرافیایی ۱۶°۶۰ و عرض جغرافیایی ۱۶°۲۵ طراحی شد. هر ماه نمونه‌گیری از صید صورت گرفت (شکل ۱). نمونه‌ها به‌صورت تصادفی مورد زیست‌سنجی (اندازه‌گیری طول چنگالی) شدند. زیست‌سنجی با استفاده خط‌کش بیومتری با دقت یک سانتی‌متر انجام شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری (نقاط توپر) ماهی گیش بزرگ (*C. ignobilis*) در آب‌های شمالی دریای عمان (استان سیستان و بلوچستان)

شاخص‌های رشد و مرگ و میر: داده‌های فراوانی طولی ماهی براساس قاعده استورگس^۳ طبقه‌بندی شدند. برآورد L_{∞} براساس نمودار پاول-ودرال^۴ می‌باشد (معادله ۱) و در مطالعه حاضر، L_{∞} از این روش محاسبه گردید (Gayanilo et al., 2003).

$$L_{\infty} = (-a/b)L' - L' = a + bL \quad \text{معادله ۱}$$

^۱Electronic Length Frequency Analysis - Simulated Annealing(SA)

^۲Electronic Length Frequency Analysis - Genetic Algorithm (GA)

^۳Sturgess

^۴Powell-Wetherall plot

L^- میانگین گروه‌های طولی، L' کمینه هر گروه طولی، a و b عرض از مبدا و شیب معادله بود و داده‌ها براساس قاعده «استورگس»^۱ طبقه‌بندی شدند.

ضریب رشد با به‌کارگیری روش آنالیز فراوانی طولی الکترونیکی یا الفان^۲ (الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN_SA) و الگوریتم ژنتیکی (ELEFAN_GA)^۳ موجود در بسته TropFishR نرم‌افزار RStudio به‌دست آمد (Mildenberger et al., 2017). میزان بهینه t_0 از طریق فرمول تجربی پائولی (معادله ۲) محاسبه شد (Froese and Binohlan, 2000).

$$\text{معادله ۲} \quad \text{Log}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \text{Log}L_{\infty} - 1.038 \text{Log}K$$

جهت مقایسه شاخص رشد مثل طول بی‌نهایت^۵ (L_{∞}) و ضریب رشد^۶ (K) از آزمون مونرو^۷ (Φ) و رابطه زیر (معادله ۳) استفاده شد (Sparre and Venema, 1998).

$$\text{معادله ۳} \quad \Phi = \text{Log } k + 2\text{Log } (L_{\infty})$$

ضریب مرگ و میر طبیعی (M) با استفاده از فرمول تجربی محاسبه می‌شود (Then et al., 2015):

$$\text{معادله ۴} \quad M = 4.118 \times K^{0.73} \times L_{\infty}^{-0.33}$$

L_{∞} طول بی‌نهایت گونه برحسب سانتی‌متر، K پارامتر انحناء رشد ون برتالنفی است. مرگ و میر کل (Z) براساس اطلاعات گروه‌های طولی صید^۸ محاسبه شد و با تفاضل مرگ و میر کل از مرگ و میر طبیعی (معادله ۴)، میزان مرگ و میر صیادی به‌دست آمد. ضریب بهره‌برداری^۹ که نسبت مرگ و میر صیادی به مرگ و میر کل است، از رابطه زیر محاسبه گردید (Sparre and Venema, 1998).

$$\text{معادله ۵} \quad E = F/Z$$

در این مطالعه، به‌منظور مقایسه و تلفیق خروجی‌های دو الگوریتم شامل الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده الکترونیکی تحلیل فراوانی طول (ELEFAN_SA) و الگوریتم ژنتیک الکترونیکی تحلیل فراوانی طول (ELEFAN_GA) در برآورد پارامترهای کلیدی ارزیابی ذخایر آبیان، از محیط برنامه‌نویسی R استفاده شد (Scrucca, 2013; Xiang et al., 2013; Mildenberger et al., 2021). داده‌های ورودی شامل چهار پارامتر مهم رشد و مرگ و میر یعنی L_{∞} ، K ، t_0 و Q بوده که برای هر یک، مقادیر حاصل از دو روش مذکور در یک چارچوب داده‌ای سازماندهی شدند و برای چهار پارامتر مرگ و میر حاصل از پارامترهای رشد شامل M ، F ، Z و E بروش بوت‌استرپ حدود اطمینان برآورد شد.

شاخص تلفیق یا ترکیب^{۱۰}: برای برآورد نهایی هر پارامتر رشد، نتایج حاصل از دو روش الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده الکترونیکی تحلیل فراوانی طول (ELEFAN_SA) و الگوریتم ژنتیک الکترونیکی تحلیل فراوانی طول (ELEFAN_GA) را با هم ترکیب می‌کنیم. روش ترکیب به این صورت است که به‌سادگی میانگین حسابی دو عدد به‌دست‌آمده از هر الگوریتم را محاسبه می‌کنیم. به این میانگین، شاخص تلفیق یا برآورد ترکیبی می‌گوییم. دلیل این کار این است که هر الگوریتم ممکن است خطای خاص خود را داشته باشد؛ با گرفتن میانگین، اثر خطاهای فردی کاهش می‌یابد و نتیجه نهایی پایدارتر و قابل‌اعتمادتر می‌شود. همچنین این کار به ما یک برآورد مرکزی می‌دهد که اختلافات احتمالی بین دو روش را تعدیل می‌کند.

شاخص نیکویی برازش^{۱۱} (Rn_max): در روش‌های الفان یک شاخص نیکویی برازش (Rn_max) است که نشان می‌دهد منحنی رشد انتخاب شده تا چه اندازه با الگوی قله‌ها و فرورفتگی‌های داده‌های فراوانی طولی هماهنگ است. در واقع، این شاخص

^۱Sturges

^۲Electronic Length Frequency Analysis (= ELEFAN)

^۳Electronic Length Frequency Analysis - Simulated Annealing (SA)

^۴Electronic Length Frequency Analysis - Genetic Algorithm (GA)

^۵Asymptotic length (L_{∞} or L_{∞})

^۶Growth coefficient (K)

^۷Munro's phi prime test (Φ)

^۸Catch Curve Converted Length (LCCC)

^۹Exploitation ratio

^{۱۰}Ensemble

^{۱۱}Goodness-of-fit index (Rn_max)

برای ارزیابی کیفیت انطباق منحنی ون‌برتالانفیروی داده‌های طولی به‌کار می‌رود. هرچه مقدار Rn_max بزرگ‌تر باشد، یعنی منحنی رشد بهتر توانسته مسیر عبور کوهورت‌ها یا گروه‌های سنی را در داده‌ها دنبال کند و برازش مناسب‌تر است. از نظر محاسبه، در الفان ابتدا داده‌های فراوانی طولی بازسازی و پیک‌ها یا قله‌ها مشخص می‌شوند، سپس الگوریتم، ترکیب‌های مختلفی از پارامترهای رشد مانند طول بی‌نهایت و ضریب رشد را امتحان می‌کند. بنابراین Rn_max یک مقدار بهینه‌شده است؛ یعنی بهترین برازش به‌دست‌آمده از بین همه ترکیب‌های ممکن پارامترها بوده و محدود آن بین ۰ الی ۱ بوده و بیش از ۰/۲ قابل قبول است (Setyadji et al., 2026). سپس برای سنجش میزان اختلاف بین دو روش، شاخص اختلاف درصدی نسبی یا RPD محاسبه شد. این شاخص از تقسیم قدرمطلق اختلاف بین دو مقدار برآوردی بر میانگین تلفیقی همان پارامتر و ضرب آن در ۱۰۰ به‌دست آمد و امکان مقایسه شدت اختلاف بین روش‌ها را در مقیاس درصد فراهم کرد (معادله ۶). در این روش، درصد اختلاف نسبی^۱ بین برآوردهای دو روش مختلف برای هر پارامتر طولی با استفاده از رابطه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{معادله ۶} \quad RPD = (|X_1 - X_2|) / ((X_1 + X_2) / 2) \times 100$$

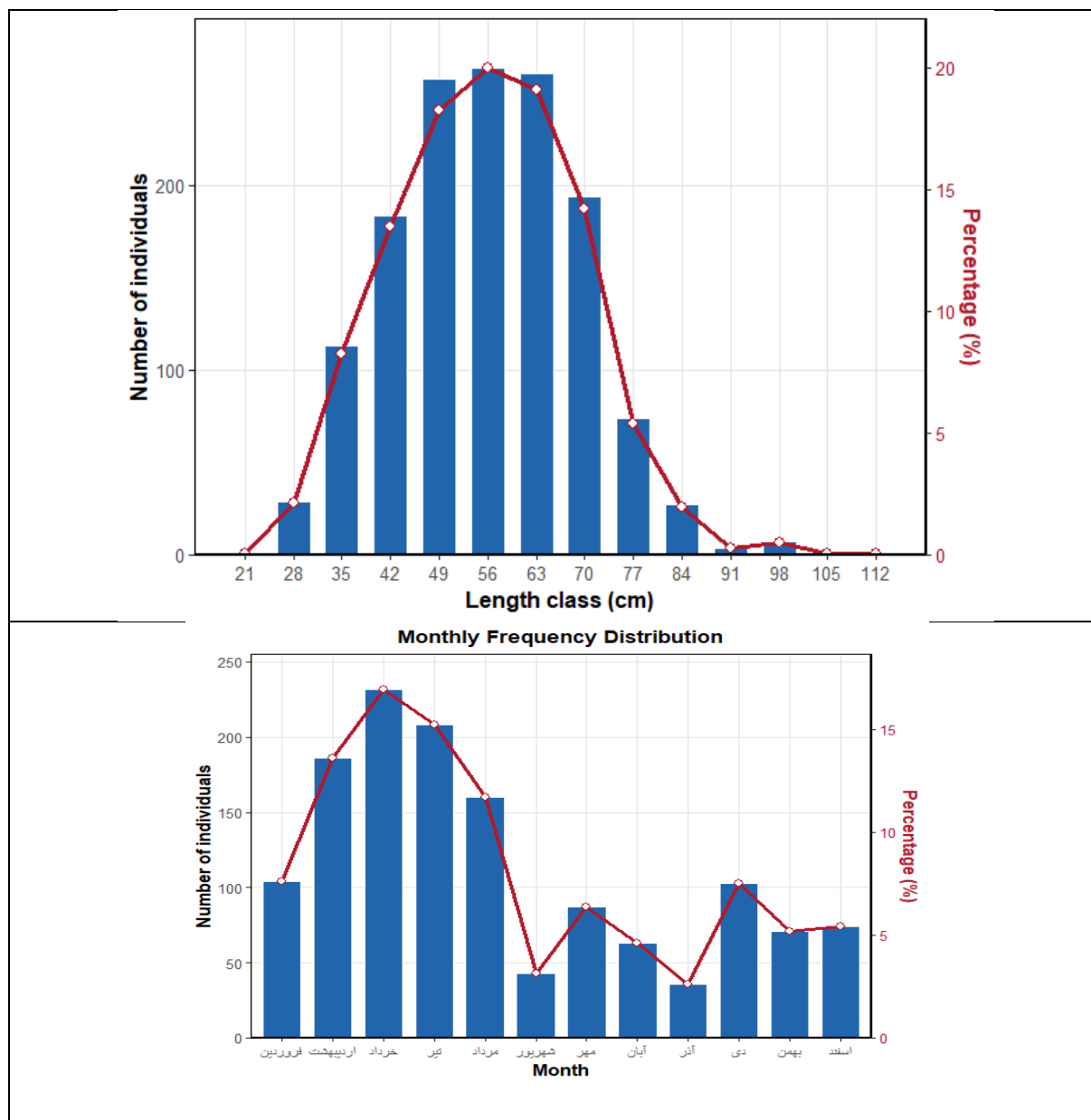
بر اساس معیارهای پذیرفته‌شده اختلاف کمتر از ۵٪ نشان‌دهنده همخوانی عالی، ۵ تا ۱۰٪ اختلاف متوسط قابل قبول، و بیش از ۱۰٪ اختلاف قابل توجه تلقی می‌شود. در این مطالعه، از آستانه ۱۰٪ به‌عنوان حد تفاوت معنی‌دار استفاده شد. این شاخص در مطالعات شیلاتی برای مقایسه پارامترهای رشد و شاخص‌های زیستی حاصل از مدل‌های مختلف کاربرد دارد (Zar, 1996). تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از برنامه اکسل (Excel)، نرم‌افزارهای Rstudio (2024.12.1)، R (4.4.2)، همچنین برای اجرای تحلیل و تولید خروجی‌های گرافیکی و جدولی، از بسته‌های `ggplot2` برای ترسیم نمودارها، `reshape2` برای بازآرایی داده‌ها و `openxlsx` برای ذخیره‌سازی نتایج در فایل اکسل استفاده شد. سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

طی سال‌های فروردین ۱۴۰۳ تا یاسفند ۱۴۰۴ (دو سال) تعداد ۱۳۵۰ عدد ماهی زیست سنجی گردید و میانگین طولی (دامنه) و میانگین وزنی ماهی گیش بزرگ 52 ± 14 (۱۰۶-۲۱) سانتی متر و میزان 2576 ± 601 (۱۵۰۰-۲۰۰) گرم به‌دست آمد. توزیع فراوانی طولی در ۷ دسته طولی از ۲۱ تا ۱۱۲ سانتی متر نمونه‌برداری شده‌اند.

توزیع فراوانی داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تراکم افراد در دسته‌های طولی میانی قرار داشت. بالاترین فراوانی مربوط به دسته طولی ۶۳ با ۲۶۱ فرد (۱۹/۳۳ درصد) است و پس از آن دسته‌های ۴۹ و ۵۶ سانتی‌متری به‌ترتیب با ۲۵۸ (۱۹/۱۱ درصد) و ۲۱۴ فرد (۱۵/۸۵ درصد) بیشترین سهم را دارند. این الگو بیانگر آن است که بخش عمده جمعیت مورد بررسی در محدوده طولی ۴۹ تا ۷۰ متمرکز است. در مقابل، در دسته‌های طولی پایین‌تر و بالاتر از این بازه، فراوانی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که کمترین مقادیر در دسته‌های انتهایی فراوانی طولی مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، این نتایج نشان‌دهنده یک توزیع تک‌قله‌ای با تمرکز اصلی در طول‌های متوسط است که می‌تواند بیانگر غلبه افراد با اندازه متوسط در جمعیت مورد مطالعه باشد. توزیع ماهانه فراوانی نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی در ماه‌های خرداد، تیر و اردیبهشت ثبت شد؛ به‌طوری‌که خرداد با ۲۳۲ مورد (۱۷/۱۹ درصد) بالاترین سهم را به‌خود اختصاص داد و پس از آن تیر با ۲۰۸ مورد و اردیبهشت با ۱۸۶ مورد قرار دارند. این الگو بیانگر افزایش معنی‌دار فراوانی در فصل بهار و اوایل تابستان است. در مقابل، کمترین فراوانی در آذر با ۳۶ مورد (۲/۶۷ درصد) و شهریور با ۴۳ مورد (۳/۱۹ درصد) مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که توزیع زمانی داده‌ها یکنواخت نبوده و تمرکز اصلی آن در ماه‌های میانی سال، به‌ویژه از اردیبهشت تا تیر، قرار دارد (شکل ۲).

¹Relative percent difference (RPD)



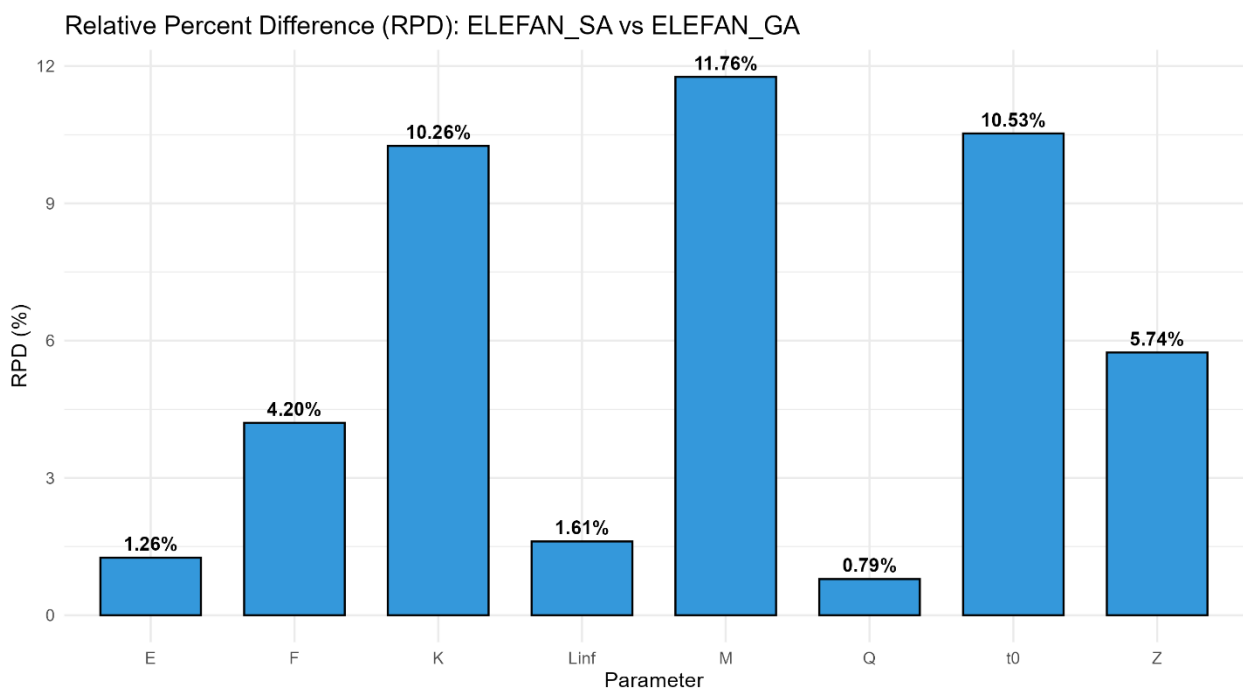
شکل ۲- توزیع فراوانی طولی ماهی گیش بزرگ (*C. ignobilis*) طی سال‌های مورد مطالعه در آب‌های شمالی دریای عمان

پارامترهای رشد و مرگ و میر: در جدول ۱، نتایج برآورد پارامترهای رشد و مرگ و میر جمعیت را با دو روش ELEFAN_SA و ELEFAN_GA نشان می‌دهد و در ستون آخر نیز یک برآورد ترکیبی^۱ ارائه شده است. به‌طور کلی، هر دو روش نتایج بسیار نزدیک به هم دارند؛ بنابراین می‌توان گفت برآوردها از هماهنگی و قابلیت اعتماد مناسبی برخوردارند. شاخص‌های اصلی جدول شامل L_{inf} یا طول نهایی نظری، K یا ضریب رشد، M یا مرگ و میر طبیعی، F یا مرگ و میر صیادی، Z یا مرگ و میر کل، و E یا نرخ بهره‌برداری هستند. در مجموع، مقادیر به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که این ذخیره از نظر رشد وضعیت نسبتاً مناسبی دارد، اما فشار صید بر آن زیاد است.

در روش ELEFAN_SA، مقدار L_{inf} برابر ۱۲۵ به‌دست آمده که نشان می‌دهد گونه مورد بررسی توان رسیدن به طول نسبتاً بالایی را دارد. مقدار $K=0.37$ نیز بیانگر آن است که رشد ماهی در حد متوسط و قابل قبول است. از طرف دیگر، مقدار 0.4 $M=$ نسبت به $F=1/63$ بسیار کمتر است؛ یعنی بخش عمده مرگ و میر جمعیت ناشی از صید است، نه عوامل طبیعی. همچنین

¹Ensemble

مقدار $E=0/8$ و $Z=2/03$ نشان می‌دهد شدت بهره‌برداری بالا است و این ذخیره احتمالاً تحت فشار صیادی شدید قرار دارد. بنابراین، نتایج این روش بیان می‌کند که اگرچه رشد جمعیت مناسب است، اما میزان برداشت از ذخیره زیاد بوده و باید با دقت بیشتری مدیریت شود. در روش ELEFAN_GA نیز نتایج بسیار نزدیک به روش قبل است. مقدار $Linf=123$ و $K=0/41$ نشان می‌دهد که این روش هم طول نهایی را تقریباً مشابه برآورد کرده، اما رشد را کمی سریع‌تر از روش SA در نظر گرفته است. در این روش نیز $M=0/45$ کمتر از $F=1/7$ است؛ بنابراین باز هم مرگ و میر صیادی عامل اصلی کاهش جمعیت محسوب می‌شود. مقدار $E=0/79$ و $Z=2/15$ نیز این موضوع را تأیید می‌کند که ذخیره تحت بهره‌برداری زیاد قرار دارد. در نتیجه، هر دو روش پیام تقریباً یکسانی دارند: الگوی رشد جمعیت قابل قبول است، اما فشار صید بالا است و برای جلوگیری از کاهش ذخیره، لازم است اقدامات مدیریتی مناسب در نظر گرفته شود.



شکل ۳- مقایسه پارامترهای رشد و مرگ و میر روش‌های مورد مطالعه و شاخص اختلاف درصدی نسبی دو روش ELEFAN_SA و ELEFAN_GA ماهی گیش بزرگ (*C. ignobilis*) در آب‌های شمالی دریای عمان

در روش ترکیبی یا ensemble، نتایج دو روش ELEFAN_SA و ELEFAN_GA با هم تلفیق شدند تا یک برآورد نهایی متعادل‌تر ارائه شود. هدف از این کار آن است که اثر تفاوت‌های جزئی بین دو روش کاهش پیدا کند و نتیجه‌ای به دست آید که نماینده بهتری از وضعیت واقعی جمعیت باشد. در این جدول، مقادیر ترکیبی مانند $Linf=124$ ، $K=0/39$ و $Q=3/97$ تقریباً در میانه نتایج دو روش قرار گرفته‌اند و نشان می‌دهند که هر دو روش از نظر برآورد رشد، همخوانی خوبی با یکدیگر دارند. همچنین در بخش مرگ و میر و بهره‌برداری، مقادیر ترکیبی شامل $M=0/425$ ، $F=1/66$ و $Z=2/090$ و $E=0/79$ است که همان الگوی کلی دو روش را تأیید می‌کند. به عبارت دیگر، برآورد ترکیبی نشان می‌دهد که اگرچه جمعیت از نظر رشد در وضعیت نسبتاً مناسبی قرار دارد، اما مرگ و میر صیادی به مراتب بیشتر از مرگ و میر طبیعی است و فشار بهره‌برداری بالاست. بنابراین، استفاده از روش ترکیبی باعث می‌شود تفسیر نهایی نتایج با اطمینان بیشتری انجام شود و برای گزارش نویسی و تصمیم‌گیری مدیریتی، یک شاخص جمع‌بندی‌شده و قابل اتکاتر در اختیار باشد (شکل ۳).

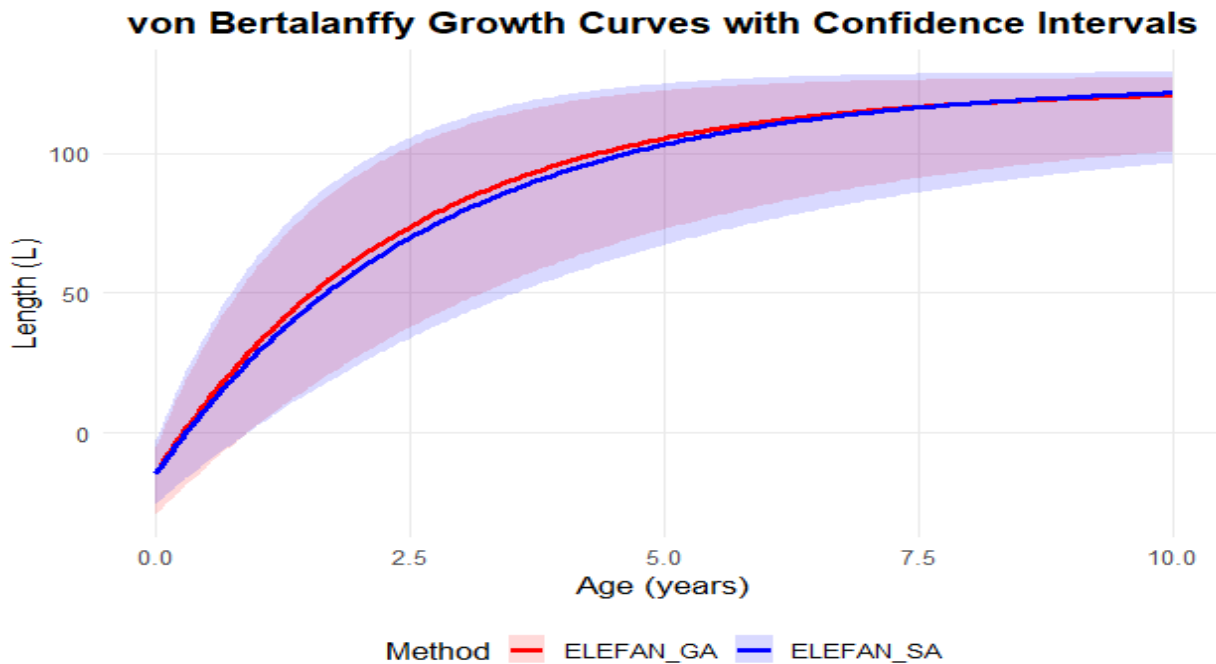
شاخص Rn_{max} یکی از معیارهای برازش در روش‌های ELEFAN است و نشان می‌دهد منحنی رشد تا چه اندازه توانسته الگوی موجود در داده‌های فراوانی طولی را خوب دنبال کند. به‌طور کلی، هرچه مقدار Rn_{max} بزرگ‌تر باشد، برازش مدل بهتر و

انطباق منحنی رشد با داده‌ها بیشتر است. در این جدول، شاخص نیکویی برازش (Rn_max) برای روش ELEFAN_SA برابر ۰/۲۸ و برای روش ELEFAN_GA برابر ۰/۳۱ به‌دست آمده است. مقایسه این دو مقدار نشان می‌دهد که روش ELEFAN_GA کمی بهتر از ELEFAN_SA توانسته است منحنی رشد را با داده‌ها تطبیق دهد، چون مقدار Rn_max در آن بالاتر است. البته اختلاف بین مقادیر محاسباتی زیاد نیست؛ بنابراین هر دو روش عملکرد نسبتاً نزدیک و قابل‌قبولی داشته‌اند. در نتیجه، می‌توان گفت ELEFAN_GA از نظر کیفیت برازش اندکی برتر است، اما هر دو روش نتایج مشابهی ارائه می‌دهند و اختلاف آن‌ها چشمگیر نیست.

جدول ۱- شاخص‌های رشد و مرگ و میر (همراه با حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد) روش‌های مورد مطالعه ماهی گیش بزرگ (C. ignobilis) در آب‌های شمالی دریای عمان

شاخص	الگوریتم ژنتیک (ELEFAN_GA)	الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN_SA)	روش ترکیبی (Ensamble)
طول بی‌نهایت (Linf)	۱۲۳ (۱۱۰-۱۲۹)	۱۲۵ (۱۱۱-۱۲۷)	۱۲۴ (۱۱۰-۱۲۹)
ضریب رشد (K)	۰/۴۱ (۰/۲۳-۰/۶۹)	۰/۳۷ (۰/۲۶-۰/۶۷)	۰/۳۹ (۰/۲۳-۰/۶۹)
زمان طول صفر (t_0)	۰/۲۷ (۰/۰۳-۰/۹)	۰/۳ (۰/۰۶-۰/۹)	۰/۲۸۵ (۰/۰۳-۰/۹)
فایم پریم مونرو (Q)	۳/۸۱ (۳/۶۱-۴/۰۰)	۳/۷۸ (۳/۵۹-۴/۰۰)	۳/۷۹۵ (۳/۵۹-۴/۰۰)
مرگ و میر طبیعی (M)	۰/۴۵ (۰/۰۳-۰/۶۶)	۰/۴ (۰/۰۳۲-۰/۶۴)	۰/۴۲۵ (۰/۰۳-۰/۶۶)
مرگ و میر طبیعی (F)	۱/۷ (۱/۳۷-۱/۷۳)	۱/۶۳ (۱/۳۰-۱/۸۳)	۱/۶۶۵ (۱/۳۰-۱/۸۳)
مرگ و میر طبیعی (Z)	۲/۱۵ (۱/۶-۲/۴)	۲/۰۳ (۱/۶-۲/۴)	۲/۰۹۰ (۱/۶-۲/۴)
ضریب بهره برداری (E)	۰/۷۹ (۰/۶۷-۰/۸۵)	۰/۸۰ (۰/۶۸-۰/۸۳)	۰/۷۹۷ (۰/۶۸-۰/۸۵)

میزان اختلاف درصد نسبی (RPD) بین دو روش ELEFAN_GA و ELEFAN_SA برای شاخص‌های مختلف رشد و مرگ و میر نشان داده شده است و بیانگر میزان حساسیت هر پارامتر به نوع الگوریتم استفاده شده است (شکل ۳). بیشترین اختلاف بین دو روش در برآورد پارامترهای M (مرگ و میر طبیعی) با ۱۱٪/۷۶ تا t_0 با ۱۰٪/۵۳ و K (ضریب رشد) با ۱۰٪/۲۶ مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد این پارامترها نسبت به انتخاب الگوریتم حساس‌تر هستند. در مقابل، کمترین میزان اختلاف در شاخص‌های Q (عملکرد رشد)، E (نرخ بهره‌برداری) و Linf (طول نهایی) با مقادیر زیر ۲٪ مشاهده می‌شود، که بیانگر پایداری و توافق بسیار بالای هر دو روش در برآورد این متغیرها است؛ در مجموع، از آن‌جا که اختلاف در تمامی شاخص‌ها زیر ۱۲٪ باقی‌مانده، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو روش نتایج همسو و قابل اطمینانی ارائه داده‌اند. شکل ۴ منحنی‌های رشد و ن برتالانفی (طول برحسب سن) به‌همراه فواصل اطمینان آن‌ها را برای دو روش ELEFAN_GA (خط قرمز) و ELEFAN_SA (خط آبی) مقایسه می‌کند. انطباق و همپوشانی بسیار بالای خطوط اصلی در تمام بازه سنی (۰ تا ۱۰ سال) نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم روند رشد یکسانی را برآورد کرده‌اند؛ به‌طوری که رشد در سنین اولیه بسیار سریع بوده و با نزدیک شدن به سنین بالا، سرعت آن کاهش یافته و به سمت طول نهایی (مجانِب) میل می‌کند. همچنین، همپوشانی گسترده نواحی سایه‌دار (فواصل اطمینان) تأیید می‌کند که نتایج برآورد الگوی رشد کاملاً پایدار بوده و تغییر روش بهینه‌سازی تأثیر معنی‌داری بر خروجی مدل رشد و ن برتالانفی نداشته است (شکل ۴).



شکل ۴- منحنی رشد ماهی گیش بزرگ (*C. ignobilis*) در آب‌های شمالی دریای عمان

بحث و نتیجه‌گیری

ساختار طولی جوامع آبی در سال‌های مختلف دستخوش نوسان می‌گردد. این تغییرات سالانه ممکن است ریشه در ویژگی‌های زیستی گونه مورد مطالعه داشته یا ناشی از سوگیری‌های نمونه‌برداری مانند توقف عملیات میدانی و از دست رفتن تورهای صیادی باشد (Korkmaz et al., 2023). بنابراین، به‌منظور استفاده بهینه از داده‌های فراوانی طولی (LFQ^1)، بایستی پروتکل‌های نمونه‌برداری به‌گونه‌ای طراحی شوند که تمامی رده‌های طولی را در تمام طول سال پوشش دهند تا تصویری واقعی و دقیق از پویایی جمعیت گونه حاصل گردد (Hashemi et al., 2020; 2021; 2022; Mildemberger et al., 2021).

ارزیابی مقایسه‌ای یافته‌های این تحقیق با داده‌های جهانی (جدول ۲) بیانگر آن است که گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان بزرگ‌ترین طول مجانبی (L_{∞}) را در میان گونه‌های خانواده گیش‌ماهیان به‌خود اختصاص داده است. از سوی دیگر، ضریب رشد (K) معادل 0.39 در سال برای این گونه، در مقایسه با گونه‌های سریع‌الرشدتر مانند *Caranx senegallus* ($K=0.46$) (=)، نشان‌دهنده استراتژی رشد آهسته‌تر همراه با دستیابی به اندازه‌های بدنی بزرگ‌تر است. در مقایسه با مطالعات انجام شده در سایر مناطق، مقادیر برآوردشده برای ماهی گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان نشان‌دهنده رشد نسبتاً سریع‌تری است. به‌طوری‌که شاخص عملکرد رشد ($\Phi' = 3.79$) در این پژوهش بالاتر از مقادیر گزارش شده در سواحل هاوایی ($\Phi' = 3.65$) و آب‌های فیلیپین ($\Phi' = 3.58$) بوده، اما با نتایج به‌دست‌آمده از سواحل شرقی آفریقا ($\Phi' = 3.82$) همخوانی خوبی دارد. شاخص عملکرد رشد (Φ') محاسبه شده (3.79) نیز که بالاترین رکورد در جدول مقایسه‌ای است، مؤید توانمندی بالای رشد این گونه در منطقه می‌باشد. با این حال، برآورد ضریب بهره‌برداری (E) معادل 0.79 زنگ خطری جدی برای ذخیره گیش بزرگ در دریای عمان است؛ زیرا این مقدار نشان‌دهنده بهره‌برداری بالا و فراتر از حد بهینه بوده که حتی از برآوردهای مربوط به گونه *Alepes djedaba* در سواحل مصر ($E=0.72$) نیز بیشتر است و بر ضرورت تدوین فوری برنامه‌های حفاظتی و مدیریت محتاطانه شیلاتی تأکید می‌کند.

افزایش روز افزون فشار صیادی به‌عنوان یکی از قوی‌ترین عوامل انسانی تغییردهنده ساختار جمعیتی آبزیان شناخته می‌شود که پیامدهای آن معمولاً به‌صورت کاهش میانگین طول صید، کاهش طول بی‌نهایت، کاهش طول بلوغ جنسی، افزایش جبرانی

¹Length-frequency data (LFQ)

ضریب رشد و تغییر در میزان تولید زی‌توده در جمعیت‌ها ظاهر می‌یابد (Welcomme, 2000; Gough et al., 2020; Stier et al., 2022; Smolinski and Berg, 2022). علاوه بر مداخلات صیادی، تفاوت در مقادیر طول بی‌نهایت و شاخص‌های رشد بین مناطق جغرافیایی گوناگون می‌تواند ناشی از تفاوت در فراوانی و ارزش غذایی طعمه‌ها و نوسانات آب و هوایی باشد (Hashemi, 2024). به‌طور کلی، تفاوت‌های مشاهده‌شده در رشد و طول نهایی ماهیان بازتابی از ناهمگونی‌های اکولوژیک و فاکتورهای محیطی حاکم بر هر منطقه است (Smolinski and Berg, 2022).

جدول ۲- مقایسه شاخص طول بی‌نهایت ماهی گیش بزرگ (*C. ignobilis*) با مطالعات دیگر در نقاط مختلف جهان

منبع	گونه	منطقه	L_{∞} (سانتی‌متر)	K (سالانه)	t_0 (سالانه)	Φ'	M	F	Z	E
Arra et al., 2020	<i>C. senegallus</i>	غرب آفریقا	۵۱	۰/۴۶	-۰/۳۱	۳/۰۸	۰/۸۹	۰/۴۴	۱/۳۳	۰/۳۳
Mohammad et al., 2022	<i>C. melampygus</i>	مصر	۷۰	۰/۱۷	-۱/۰۱	.	.	.	.	.
Mohammad et al., 2022	<i>C. bajad</i>	مصر	۵۷	۰/۲۴	-۰/۸۶	.	.	.	.	.
Gabr et al., 2023	<i>C. bajad</i>	عربستان	۷۱	۰/۲۲	-۰/۵۲	۳/۰۴	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۷۲	۰/۵۳
Mehanna and Samy-Kamal, 2024	<i>A. djedaba</i>	مصر	۴۱	۰/۴۱	-	-	۰/۴۶	۱/۲۱	۱/۶۷	۰/۷۲
Hashemi et al., 2026	<i>A. indicus</i>	دریای عمان (ایران)	۱۰۸	۰/۲۸	-۰/۴۱	۳/۵۲	۰/۳۵	۰/۷	۱/۰۵	۰/۶۷
مطالعه حاضر (روش ترکیبی)	<i>C. ignobilis</i>	دریای عمان (ایران)	۱۲۴	۰/۳۹	-۰/۲۸	۳/۷۹	۰/۴۲	۱/۶۶	۲/۰۹	۰/۷۹

براساس یافته‌های این پژوهش، رویکرد ترکیبی (Ensemble) متشکل از دو الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN_SA) و الگوریتم ژنتیک (ELEFAN_GA)، همخوانی بالایی در برآورد پارامترهای رشد و مرگ و میر ماهی گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان نشان داد. شاخص اختلاف نسبی (RPD) کمتر از ۱۲٪ نیز همگرایی نتایج این دو روش را تأیید کرد. الگوریتم ژنتیک (ELEFAN_GA) در مقایسه با الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده (ELEFAN_SA) برای برآورد پارامترهای تابع رشد و ن‌برتالانفی، معمولاً عملکرد بهتری در دستیابی به بهینه‌های جهانی نشان می‌دهد، زیرا از فرآیندهای انتخاب، تقاطع و جهش بهره می‌برد و احتمال گیر افتادن در بهینه‌های محلی را کاهش می‌دهد؛ در مقابل، ELEFAN_SA ممکن است در برخی موارد سریع‌تر همگرا شود، اما حساسیت بیشتری به شرایط اولیه و پارامترهای تنظیم دارد. مطالعات نشان داده‌اند که ELEFAN_GA دقت بالاتری در برآورد پارامترهای رشد از داده‌های فراوانی طولی ارائه می‌کند (Liao et al., 2017; Paeket al., 2019; Mildenerberger et al., 2021). دوالگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده و ژنتیک، همگرایی داشته و مکمل یکدیگرند ولی همگرایی لزوماً نبود انحراف سیستماتیک را تضمین نمی‌کند. پیشنهاد می‌شود برای مطالعات دیگر، عدم قطعیت برآوردها با رویکرد بیزی^۱ گزارش شود و نتایج با روش‌های مستقل (مانند طول-سن) اعتبارسنجی گردد.

محققان با استفاده از داده‌های فراوانی طولیماهی‌زده (*Euthynnus affinis*) در آب‌های اندونزی، به برآورد پارامترهای رشد این گونه پرداختند. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، تأکید بر برتری الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده در برآورد پارامترهای و ن‌برتالانفی بود (Setyadjiet al., 2026). الگوریتم ژنتیک در تمام سناریوهای مورد بررسی، دقت بالاتری نشان داد و کمتر دچار همگرایی در نقاط بهینه محلی شد. این یافته می‌تواند راهنمای مناسبی برای پژوهشگران در انتخاب روش بهینه‌سازی در مطالعات مشابه باشد. علاوه بر این، انتخاب مقدار مناسب برای میانگین متحرک^۲ (MA) و روش

^۱Bayesian approach

^۲Moving Average (MA)

بوت‌استرپ تأثیر قابل‌توجهی بر نتایج نهایی داشت (Setyadji et al., 2026). از سوی دیگر، رویکرد بیزی مدل^۱ fishblick با وجود مزایایی مانند عدم نیاز به تعیین تعداد دسته‌های طولی و مقدار میانگین متحرک، در مواجهه با داده‌های دارای ساختار چندقلویی (چندین کوهورت سنی متمایز) عملکرد مناسبی نداشت و نتوانست برآوردهای زیستی معقولی ارائه دهد. این موضوع نشان می‌دهد که روش‌های بیزی اگرچه جذاب و سریع هستند، اما در همه شرایط (به‌ویژه زمانی که داده‌ها دارای نوسانات فصلی قوی یا چندین گروه سنی همپوشان هستند) نمی‌توانند جایگزین کامل روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک مانند ELEFAN شوند (Setyadji et al., 2026).

مطالعات مختلفی نشان داده که داده‌های فراوانی طولی می‌توانند جایگزین معتبری برای روش‌های سخت‌افزاری (مانند خوانش اتولیت) در مناطق با داده محدود باشند، مشروط بر این که آنالیز حساسیت مناسب و انتخاب درست الگوریتم و تنظیمات انجام شود. این یافته‌ها می‌توانند در ارزیابی‌های ذخایر و مدیریت پایدار این گونه باارزش در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرند (Setyadji et al., 2026).

روش‌های ترکیبی یا تلفیقی (Ensemble) در شیلات اهمیت زیادی دارند زیرا با ادغام نتایج چندین مدل مانند ELEFAN_GA و ELEFAN_SA، عدم قطعیت برآورد پارامترهای رشد و نبرتنالانفی را کاهش داده و دقت پیش‌بینی وضعیت ذخایر را افزایش می‌دهند. این رویکرد با میانگین‌گیری وزنی یا انتخاب بهترین مدل‌ها بر اساس معیارهای آماری، از ضعف‌های تک‌مدلی مانند گیر افتادن در بهینه‌های محلی جلوگیری می‌کند و نتایج قوی‌تری برای مدیریت پایدار فراهم می‌آورد. مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های ترکیبی در ارزیابی ذخایر ماهی، خطای برآورد را تا حد قابل‌توجهی کم می‌کند (Kwon et al., 2019). رویکرد ترکیبی ضمن کاهش عدم قطعیت ناشی از انتخاب الگوریتم، الگویی برای ارزیابی ذخایر گونه‌های مشابه در مناطق کم‌داده مثل دریای عمان و خلیج فارس ارائه می‌دهد. اعتبارسنجی با روش‌های مستقل (خوانش اتولیت یا مدل‌های طول-سن) و کاربرد چارچوب‌های بیزی برای کمی‌سازی عدم قطعیت، کیفیت توصیه‌های مدیریتی را افزایش می‌دهد (Setyadji et al., 2026). این روش‌ها با کاهش واریانس، تعدیل سوگیری و افزایش پایداری، در مدل‌سازی سامانه‌های واقعی کارآمدند، اما موفقیت آن‌ها به انتخاب مدل‌های پایه، روش ترکیب و کیفیت داده‌ها وابسته است؛ از این رو ترکیب کردن بیش از یک تکنیک افزایش دقت، چارچوبی تحلیلی برای مواجهه با پیچیدگی و عدم قطعیت محسوب می‌شود (Kelly et al., 2023; Harris et al., 2024).

محدودیت‌های مطالعه: داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از ماهی‌های تخلیه‌شده در بنادر صیادی جمع‌آوری شده‌اند که به دلیل ماهیت نمونه‌برداری، الزاماً نماینده کامل ساختار واقعی جمعیت ممکن است، نباشند. عوامل مختلفی در این زمینه تأثیر داشته از جمله این عوامل می‌توان به نوع ادوات صید (مانند ترال، گوشگیر یا پراسین)، اندازه چشمه تور یا نوع قلاب (که اندازه و گونه ماهیان صیدشده را محدود می‌کند)، عمق و منطقه صید (که تنوع زیستی و دسترسی به طبقات مختلف جمعیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، انتخاب‌پذیری ابزار صید (که منجر به صید انتخابی گروه‌های سنی با اندازه خاصی می‌شود)، فصل و شدت فعالیت صیادی (که با رفتار مهاجرتی و تولیدمثلی ماهیان همپوشانی دارد) و همچنین تعداد سفرهای صیادی (که حجم نمونه و پوشش زمانی-مکانی را تعیین می‌کند) اشاره کرد. این محدودیت‌ها باعث می‌شوند که داده‌های صید تخلیه شده، با احتیاط تفسیر شده و صرفاً به عنوان شاخص‌های نسبی در نظر گرفته شوند، چنانچه در بخش محدودیت‌های مطالعه به آن اشاره شده است.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، رویکرد ترکیبی (Ensemble) شامل دو الگوریتم جستجوی شبیه‌سازی شده و ژنتیک همخوانی بالایی در برآورد پارامترهای رشد و مرگ و میر ماهی گیش بزرگ در آب‌های شمالی دریای عمان نشان داد و شاخص اختلاف نسبی (RPD) کمتر از ۱۲٪، همگرایی نتایج را تأیید کرد. شاخص‌های رشد (طول بی‌نهایت ۱۲۴ سانتی‌متر و ضریب رشد ۰/۳۹ در سال) حاکی از پتانسیل رشد نسبتاً مناسب این گونه است، اما نرخ بالای بهره‌برداری (۰/۷۹) بیانگر فشار صیادی فراتر از سطح پایدار و نشانه‌هایی از صید بیش‌ازحد بر روی ماهیان کوچک‌تر از اندازه بهینه می‌باشد. بنابراین، با وجود اینکه ذخیره در وضعیت کاملاً نامناسبی قرار ندارد، برای جلوگیری از کاهش بیشتر و تضمین پایداری بلندمدت، اتخاذ اقدامات مدیریتی فوری و احتیاطی

^۱Bayesian Length Interval Catch Curve

نظیرافزایش حداقل اندازه مجاز صید، کاهش تلاش صیادی، ایجاد مناطق ممنوعه صید در فصل تخم‌ریزی و پایش مستمر فراوانی طولی‌وزنی ضروری است. به‌کارگیری این توصیه‌ها می‌تواند به مدیران شیلاتی در حفظ تعادل اکوسیستم و بهره‌برداری پایدار از این گونه بالارزش اقتصادی کمک شایانی نماید.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید آنهاست.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

نویسندگان از پروفسور مرتضوی، مدیر مؤسسه تحقیقات علوم شیلات ایران (IFSRI) و همچنین از کارشناسان مرکز تحقیقات شیلات فراساحل OFRC، (چابهار) صمیمانه قدردانی و تشکر می‌کنند.

References

- Abdussamad E.M., Mohamad Kasim H., Balasubramanian T.S. 2008.** Distribution, biology and behavior of the giant trevally, *Caranxignobilis* - a candidate species for mariculture. *Bangladesh Journal of Fisheries Research* 12(1), 89-94.
- Arra S., Sylla S., Zan-Bi T.T., Loukou A.G., Ouattara M. 2020.** Stock assessment and population dynamics of Senegal jack, *Caranx enegallus* Cuvier, 1833, from industrial fishery of Côte d'Ivoire (West Africa). *Agronomie Africaine* 32(1), 37-49.
- Collette B.B., Nauen C.E. 1983.** FAO species catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tuna, mackerel's bonitos and related species known todate. FAO Fish.Synopsis 125(2), 137.
- Eagderi S., Mouludi-Saleh A., Fricke R., Alavi-Yeganeh M.S., Mousavi-Sabet H., Çiçek E. 2026.** Fishes of the Sea of Oman. *Iranian Journal of Ichthyology* 13 (Special Issue), 1-152.
- FAO. 2024.** The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licenses: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 227 P.
- Farrag M.M.S., Mohammad A.S., Mustafa A.A., Osman A. G.M. 2024.** Growth and stock assessment of three species of the family Carangidae from the Red Sea, Hurghada, Egypt. *Iranian Journal of Ichthyology* 11(1): 28-43.
- Froese R. 2004.** Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish and Fisheries* 5(1), 86-91.
- Froese R., Binohlan C. 2000.** Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology* 56, 758-773.
- Froese R., Demirel N., Gianpaolo C., Kleisner K.M., Winker H., 2017.** Estimating fisheries referencepoints from catch and resilience. *Fish and Fisheries* 18(3), 506-526.
- Froese R., Pauly D. eds.,2025.** FishBase. World WideWeb electronic publication. www.fishbase.org, version. (20/2020), accessed at www.fishbase.org in November/December 2025.
- Gabr M.H., Al-Sofyani A.M.A., Ba-Akdah M.A. 2023.** Growth Parameters and Stock Assessment of *Carangoides bajad* Forsskal, 1775 (Carangiformes: Carangidae) in Jeddah Fisheries. *Research Square* 20(5-6), 102-110

- Gayanilo F.C., Pauly D., Parre P. 2003.** The FAO-ICLARM Stock Assessment Tool (FISAT) users guide. Rome. Italy.
- Gough A., Dewar K.M., Godley B., Zafindranosy E., Broderick AC. 2020.** Evidence of Overfishing in Small-Scale Fisheries in Madagascar. *Frontiers in Marine Science* 7, 317-323
- Harris J., Pirtle J.L., Laman E.A., Siple M.C., Thorson J.T. 2024.** An ensemble approach to species distribution modelling reconciles systematic differences in estimates of habitat utilization and range area. *Journal of Applied Ecology* 61, 351-364.
- Hashemi S.A. 2024.** Monitoring trends and quality of exploitation of some tuna and semi-tuna fish species through bioageing in the waters of the Persian Gulf and the Sea of Oman. National Fisheries Science Research Institute - Offshore Fisheries Research Center (Chabahar). 70 p. (In persian)
- Hashemi S.A., Doustdar M., Akbary P. 2026.** Comparison of the von Bertalanffy growth function (VBGF) and length-based Froese index (LBI) parameters for Indian threadfin trevally (*Alectis indicus*) in the northern waters of the Gulf of Oman. *Journal of Aquatic Production and Utilization* In press. (In persian)
- Hashemi S.A.R., Doustdar M., Gholampour A., Khanehzaei M. 2020.** Length-based fishery status of yellowfin tuna (*Thunnus albacares* Bonnatere, 1788) in the northern waters of the Oman Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(6), 2790-2803.
- Hashemi S.A.R., Doustdar M., Mohebi Derakhsh P. 2022.** Stock assessment of Yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnatere, 1788) using the LBB and LB-SPR methods in the northern Oman Sea, Iran. *International Journal of Aquatic Biology* 11(4), 313-320.
- Hashemi, S.A.R., Doustdar, M., Ghasemzade, Gh., Gholampour, A. 2021.** Length-based fishery status of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) (Teleostei: Scombridae: Scombrinae) in the northern waters of the Oman Sea (Iran). *Iranian Journal of Ichthyology* 8(3), 160-169.
- Iran Fisheries Organization, 2025.** Statistical Yearbook of the Iran Fisheries Organization 1997–2023. Iran Fisheries Organization, Planning and Management Development Deputy, Planning and Budget Office. 65 p. (In persian)
- Karp M.A., Peterson J., Lynch P.D., Griffis R. 2018.** Accounting for Shifting Distributions and Changing Productivity in the Fishery Management Process: From Detection to Management Action. 2018. U.S. Dept. of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-188, 37 p.
- Kelly C., Michelsen F.A., Alver M.O. 2023.** An ensemble modelling approach for spatiotemporally explicit estimation of fish distributions using data assimilation. *Fisheries Research* 261, 106624.
- Korkmaz B., Bolat Y., Cilbiz M. 2023.** Length-based Stock Assessment for the Data-poor Crayfish Fishery from the Eğirdir Lake, Türkiye. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 23(SI), 12.
- Kwon S., Bae H., Jo J., Yoon S. 2019.** Comprehensive ensemble in QSAR prediction for drug discovery. *BMC bioinformatics* 20(1), 521-526
- Liao Q., Zhou S., Shi H., Shi W. 2017.** Parameter Estimation of Nonlinear Systems by Dynamic Cuckoo Search. *Neural computation* 29(4), 1103-1123.
- Medeiros-Leal W., Santos R., Peixoto U.I., Casal-Ribeiro M., Novoa-Pabon A., Sigler M.F., Pinho M. 2023.** Performance of length-based assessment in predicting small-scale multispecies fishery sustainability. *Review Fish Biology Fisheries* 33, 819-852.
- Mehanna, S. F., Samy-Kamal, M. 2024.** Population dynamics parameters and exploitation status of 55 commercial species in Egyptian Red Sea fisheries: A key to sustainable fisheries. *Fishes* 9, 255.
- Mildenberger T.K., Taylor M.H., Wolff M. 2017.** TropFishR: An R package for fisheries analysis with length- frequency data. *Methods in Ecology and Evolution* 8(11), 1520-1527,
- Mildenberger T.K., Taylor M.H., Wolff M. 2021.** vignettes of TropFishR. Available at: <https://cran.rproject.org/web/packages/TropFishR/vignettes/lfqData.html> (Access on: July 20, 2022)
- Mohammad A.S., Mehanna S.F., Mahmoud U.M. 2022.** Age and growth based on the scale readings of the two carangid species *Carangoides bajad* and *Caranx melampygus* from Shalateen Fishing Area, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries* 26(2), 399-411.

- Nadon M.O. 2014.** Improving stock assessment capabilities for the coral reef fishes of Hawaii and the Pacific region [Doctoral dissertation, University of Miami]. <https://scholarship.miami.edu/esploro/outputs/doctoral/Improving-Stock-Assessment-Capabilities-for-the/991031447887002976>
- Paek S.W., Kim S., de Weck O. 2019.** Optimization of Reconfigurable Satellite Constellations Using Simulated Annealing and Genetic Algorithm. *Sensors (Basel, Switzerland)* 19(4), 765-770
- Phuong T.V., Van Anh H.T., Nhu Phuong L.T., Quang Linh N. 2015.** Biological features and distribution of giant trevally (*Caranxignobilis*Forsskal, 1775) in Tam Giang-Cau Hai lagoon systems, Vietnam. *Journal of Agricultural Science and Technology A and B & Hue University Journal of Science* 5, 548-560.
- Reuben S., Kasim H.M., Sivakami S., Radhakrishnan Nair P.N., Kurup K.N., Sivadas M., Noble A., Somasekharan Nair K.V., Rajeev S.G. 1992.** Fishery, biology and stock assessment of carangid resources from the Indian seas. *Indian Journal of Fisheries* 39(3-4), 195-234.
- Scrucca L. 2013.** A Package for Genetic Algorithms in R. *Journal of Statistical Software* 53, 1-37.
- Setyadj B., Spencer M., Kell L., Wright S., Ferson S. 2026.** A systematic approach to estimating life-history parameters under data-limited scenarios for kawakawa (*Euthynnusaffinis*) in the western and southern part of Indonesian Waters (Document No. IOTC-2026-WPNT16-21). Paper presented at the 16th Working Party on Neritic Tunas (WPNT16), Indian Ocean Tuna Commission (IOTC).1-14 P.
- Smolinski S., Berg F. 2022.** Varying relationships between fish length and scale size under changing environmental conditions – Multidecadal perspective in Atlantic herring. *Ecological Indicators* 134 (1), 1-9.
- Sparre P., Venema C. 1998.** Introduction to tropical fish stock assessment. Part1- Manual, 337. P. FAO Rome, Italy.
- Stier A.C., Olaf Shelton A., Samhouri J.F., Feist B.E., Levin P.S. 2020.** Fishing, environment, and the erosion of a population portfolio. *Ecosphere* 11(11), e03283.
- Xiang Y., Gubian S., Suomela B., Hoeng J. 2013.** Generalized Simulated Annealing for Global Optimization: The GenSA Package. *R Journal*, 5.
- Zar J.H. 1996.** Biostatistical analysis. 3rd edition. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA. 662 p.