






Original Article



Estimation of Optimum Mesh Size and Age at First Capture of Caspian Kutum (*Rutilus kutum* Kamensky, 1901) Using Yield per Recruit Model in Beach Seine Fisheries of Mazandaran Province, Southern Caspian Sea

Arsalan Rezaei^{1*} , Hadi Raeisi¹ , Sarah Haghparast² , Rahman Patimar¹ , Hojjatollah Jafaryan¹ 

1. Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
2. Department of Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Article history:

Received: 7 August 2025
Revised: 5 November 2025
Accepted: 12 November 2025
ePublished: 12 November 2025

*Corresponding author: Hadi Raeisi, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

E-mail: raeisi_hadi@yahoo.com

Abstract

study aimed to estimate the growth parameters and optimal fishing strategies for the Caspian kutum (*Rutilus kutum*) using the Yield per Recruit (YPR) model in beach seine fisheries along the southern Caspian Sea (Mazandaran Province) from October 2023 to March 2024. A total of 286 fish were sampled, of which 149 (65 males, 84 females) were selected for biological and age-gender analysis. The estimated asymptotic weight (W_{∞}) for the population, males, and females was 3619 g, 2011 g, and 3807 g, respectively. Estimated natural mortality (M) was 0.16 yr^{-1} for the whole population and 0.15 and 0.35 yr^{-1} for females and males, respectively. Corresponding fishing mortality (F) values were 0.33 yr^{-1} (population), 0.26 yr^{-1} (females), and 0.55 yr^{-1} (males). Based on the YPR model, the optimum fishing mortality (F_{MAX}) was 0.30 yr^{-1} , and the optimum age at first capture (T_C) was 4 years, equivalent to 38 cm in fork length. The $F_{0.1}$ values were 0.21, 0.27, and 0.25 yr^{-1} for the whole population, females, and males, respectively. Maximum sustainable yield estimates were fitted using maximum likelihood between model and observed biomass data, indicating a total biomass of 6,243 tons in 2023. The results highlight fluctuations in cohort biomass and emphasize the need for optimizing mesh size and fishing effort to support sustainable exploitation of *R. kutum* stocks in the region.

Keywords: *Rutilus kutum*, Yield per Recruit, F_{MAX} , Caspian Sea, Mesh Size, Stock Assessment.

Please cite this article as follows: Rezaei A., Raeisi H., Haghparast S., Patimar R., Jafaryan H. Estimation of Optimum Mesh Size and Age at First Capture of Caspian Kutum (*Rutilus kutum* Kamensky, 1901) Using Yield per Recruit Model in Beach Seine Fisheries of Mazandaran Province, Southern Caspian Sea. J Mar Bio, 2025; 17(3): 68–80. DOI:



مقاله اصلی

برآورد بهترین اندازه چشمه و سن صید ماهی سفید (Kamensky, 1901) *R. kutum* با استفاده از مدل تولید به ازاء واحد بازسازی در تورهای پره استان مازندران در جنوب دریای کاسپین

ارسلان رضایی^{۱*}، هادی ریسی^{۱*}، سارا حق‌پرست^۲، رحمان پاتیمار^۱، حجت‌الله جعفریان^۱

۱. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

۲. گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

چکیده

این مطالعه با هدف برآورد پارامترهای رشد ماهی سفید *R. kutum* از مهرماه ۱۴۰۲ تا فروردین ماه ۱۴۰۳، در صیدگاه‌های استان مازندران صورت گرفت. در این مطالعه تعداد ۲۸۶ ماهی مورد بیومتری و توزین قرار گرفت که ۱۴۹ نمونه شامل ۶۵ نر و ۸۴ ماده برای زیست‌سنجی بررسی سن و جنسیت به آزمایشگاه دانشگاه ساری و گنبد منتقل شد. میزان وزن بی‌نهایت برای جمعیت، جنس نر و ماده ماهی سفید *R. kutum* به ترتیب، ۳۶۱۹ گرم، ۲۰۱۱ گرم و ۳۸۰۷ گرم بود با توجه به اهمیت تجاری بالای ماهی سفید *R. kutum* نیاز به پایش سالانه ضرایب رشد و طول بی‌نهایت ماهی سفید وجود دارد. با توجه به میزان مرگ و میر کل برآورد شده و مرگ و میر طبیعی برآورد شده (برای جنس نر، ماده و جمعیت ماهی سفید به ترتیب برابر با ۰/۳۵، ۰/۱۵ و ۰/۱۶ در سال)، نرخ مرگ و میر صیادی به ترتیب برای جنس نر، ماده و جمعیت ماهی سفید *R. kutum*، ۰/۵۵، ۰/۲۶ و ۰/۳۳ در سال برآورد شد. با استفاده از مدل تولید به ازاء واحد احیا بهترین نرخ تلاش صیادی F_{MAX} برابر با ۰/۳ در سال بود. همچنین بهترین سن صید ۴ سال بدست آمد که با استفاده از معکوس رابطه طول-سن برابر با ۳۸ سانتیمتر بود. میزان $F_{0.1}$ برای جنس نر، ماده و کل ماهی سفید به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۲۷ و ۰/۲۱ در سال بدست آمد. به منظور بهترین تخمین از زیتوده مدل، زیتوده مشاهداتی و مدل از طریق روش ماکزیمم درست‌نمایی و به حداکثر رساندن مشابهت بین داده‌های مدل و مشاهداتی برآزش گردید و بیومس هر سال با ادغام و یکپارچه سازی بیومس کوهورت‌های مجزا تخمین زده شد. میزان زیتوده ماهی سفید برای استان مازندران برای سال ۱۴۰۲ برابر با ۶۲۴۳ هزار تن برآورد شد. نتایج بیانگر وجود نوسانات در زیتوده مشاهده شده در هر کوهورت مجزا در هر سال بود.

واژگان کلیدی: ماهی سفید، تولید به ازاء واحد بازسازی، F_{MAX} ، دریای خزر، ارزیابی ذخایر.

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۵/۱۶

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۴/۸/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۸/۲۱

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۸/۲۱

تمامی حقوق برای دانشگاه آزاد اهواز محفوظ است.

* نویسنده مسئول: هادی ریسی، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

ایمیل: raecisi_hadi@yahoo.com

استناد: رضایی، ارسلان، ریسی، هادی؛ حق‌پرست، سارا؛ پاتیمار، رحمان؛ جعفریان، حجت‌الله. برآورد بهترین اندازه چشمه و سن صید ماهی سفید *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) با استفاده از مدل تولید به‌ازای واحد بازسازی در تورهای پره استان مازندران، جنوب دریای کاسپین. مجله زیست‌شناسی دریا، پاییز ۱۴۰۴؛

۱۷(۳): ۶۸-۸۰

مقدمه

ماهی سفید *Rutilus kutum* از خانواده Leuciscidae یکی از گونه‌های بومی و باارزش اقتصادی-اکولوژیک حوضه دریای خزر است. این گونه علاوه بر سواحل جنوبی دریای خزر در ایران، در کشورهای آذربایجان، گرجستان، ترکیه و مولداوی نیز گزارش شده و حضور آن در رودخانه‌ها و تالاب‌های متصل به این دریا، به‌ویژه تالاب انزلی، اهمیت زیستگاهی ویژه‌ای برای آن ایجاد کرده است (Vaseh Haghdoust, 2022). شرایط فیزیکی و هیدرولوژیک نظیر دما، جریان‌های ساحلی و دسترسی به منابع غذایی نقش تعیین‌کننده‌ای در تجمع و پراکنش این گونه دارند (Ghaninejad, 1993). افزون بر این، *R. kutum* یکی از معدود گونه‌های مهاجر ساحلی است که برای تخم‌ریزی به رودخانه‌های ورودی دریای خزر وابسته است و همین موضوع حساسیت جمعیت آن را در برابر تغییرات محیطی و فشارهای انسانی افزایش می‌دهد.

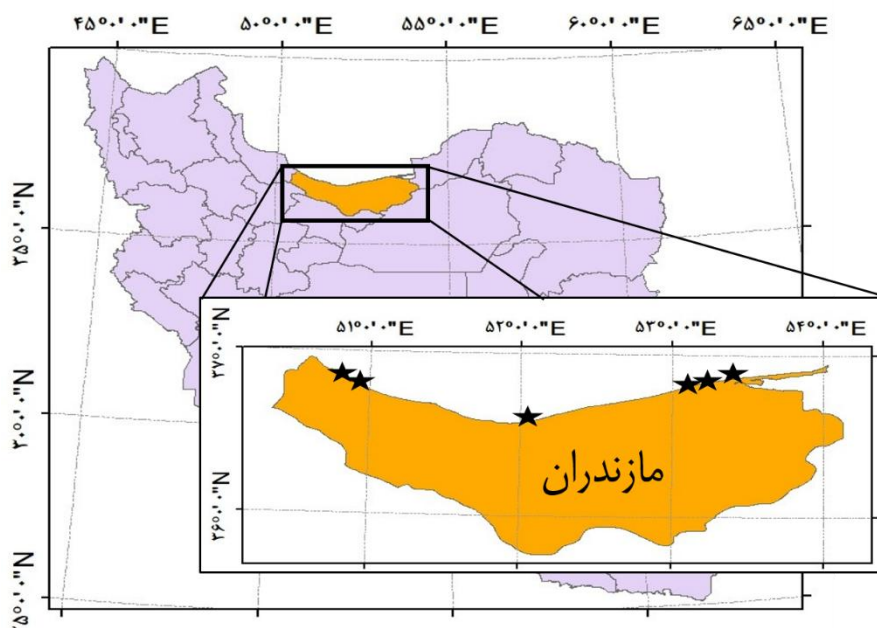
آمار رسمی صید نشان می‌دهد که میزان برداشت ماهی سفید از بیش از ۱۷ هزار تن در سال ۱۳۸۶ به حدود ۷ هزار تن در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است (Iranian Fisheries Statistical Yearbook, 2000–2023). صید بی‌رویه، به‌کارگیری الگوهای ناکارای مدیریت صید و عدم رعایت سطح تلاش صیادی بهینه (FMSY) از عوامل اصلی کاهش ذخیره گزارش شده‌اند. مطالعات اخیر تغییرات معنی‌دار در پارامترهای رشد، طول بی‌نهایت و ضریب رشد فون برتالانفی را نشان داده‌اند که می‌تواند نشانه‌ای از پدیده صید بی‌رویه رشد، Growth Overfishing باشد (Rezaei, 2024; Vaseh Haghdost, 2021; Valipour & Maghsoodleh, 2018; Froese et al., 2020).

اگرچه مطالعات متعددی در زمینه بیولوژی و فیزیولوژی ماهی سفید انجام شده است، اما فقدان استفاده از مدل‌های مدرن ارزیابی ذخایر همچون تولید به ازای واحد بازسازی (YPR) و زیاده تخم‌ریزی کننده به ازای واحد بازسازی (SBPR) محسوس است. در بسیاری از کشورها از این مدل‌ها برای تعیین سائز چشمه بهینه، سطح بهره‌برداری مجاز و سناریوهای مدیریتی مبتنی بر حداکثر محصول پایدار (MSY) استفاده می‌شود (Walters et al., 2006; FAO, 2009). در ایران، به‌رغم اهمیت اقتصادی این گونه، به‌کارگیری مدل‌های پیشرفته مدیریت صید همچنان محدود است و در بسیاری از موارد تصمیمات مدیریتی بر مبنای داده‌های تجربی و الگوهای ساده اتخاذ می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش توان بازسازی ذخیره در سال‌های آینده گردد.

توجه به کاهش شدید ذخایر، تغییرات اخیر در پارامترهای زیستی و کمبود مطالعات مبتنی بر مدل‌های پویایی جمعیت، هدف این مطالعه برآورد میزان بهره‌برداری بهینه (FMAX) و تعیین بهترین اندازه چشمه تور پره با استفاده از مدل Yield Per Recruit است. نتایج این مطالعه می‌تواند راهنمایی علمی برای مدیریت پایدار ذخایر ماهی سفید در دریای خزر فراهم کند و مبنایی برای بهبود سیاست‌های صید و بازسازی جمعیت این گونه ارزشمند باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه ابتدا نمونه برداری با سرکشی به تورهای پره در صیدگاه‌های استان مازندران در طول سواحل این استان در مهرماه ۱۴۰۲ تا پایان فروردین ماه ۱۴۰۳ انجام شد در هر ماه بطور میانگین تعداد ۳۰ نمونه بصورت تصادفی و جمعا تعداد ۲۸۶ نمونه تا حد امکان با توجه به میزان انتخاب پذیری تور پره از طبقات طولی مختلف جمع‌آوری شد و در محل جمع‌آوری نمونه در صیدگاه توزین و بیومتری گردید. بخاطر هزینه‌های بالا و به منظور صرفه جویی در میزان هزینه‌ها تعداد ۱۴۹ نمونه ماهی سفید *R. Kutum* شامل ۸۴ ماده و ۶۵ نر تعیین جنسیت و به آزمایشگاه دانشگاه ساری و گنبد کاووس منتقل گردید. (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مطالعه پارامترهای رشد ماهی سفید *R. kutum* در جنوب دریای کاسپی محدوده استان مازندران

برای انجام مدل تولید به ازای واحد بازسازی و محاسبه بهترین سن صید و بهترین تلاش صیادی ابتدا رابطه طول-وزن و پارامترهای جمعیتی ماهی سفید مانند پارامترهای رشد، طول بی‌نهایت و ضریب رشد سالانه (L_{∞} , K) جهت ترسیم رابطه طول-سن محاسبه شد. پیراسنجه‌های پویایی جمعیتی رابطه طول و وزن

رابطه طول و وزن برای ماهی سفید با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Froese, 2006):

$$W = aL^b$$

در این معادله W وزن، a عرض از مبدأ، L طول کل و b شیب خط می‌باشد. با استفاده از روش حداقل مربعات باقی مانده‌ها برای ضرایب a و

b مقادیر بهینه از طریق فرمول زیر بدست آمد (Haddon, 2011):

$$SSQ = \sum (Observed - Expected)^2$$

$$SSQ = \sum (Y - (a + bX))^2$$

SSQ مجموع مربعات باقی مانده‌ها است. یکی از معیارهای مورد استفاده برای برازش، روش حداقل مربعات است. وجه تسمیه این روش این است که به دنبال مقادیری از پارامترها است که مربع اختلافات بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی‌های مدل و مقادیر پارامترهای خاص را به حداقل برساند (Haddon, 2011).

معادلات رشد

رشد از طریق برازش تابع رشد فون برتالانفی براساس داده‌های فراوانی طولی مورد بررسی قرار گرفت. معادله رشد فون برتالانفی به صورت زیر تعریف می‌شود (Von Bertallfy, 1957):

$$L_t = L_{\infty}(1 - \exp(-K(t - t_0)))$$

طبق این معادله

$L(t)$ طول ماهی در زمان سن t

L_{∞} حداکثر طولی است که یک آبزی می‌تواند به آن برسد.

t سن ماهی در زمان صید و t_0 سن فرضی ماهی وقتی که طول صفر است (Sparre and venema, 1998).

پارامتر K به عنوان آهنگ رشد آبزی مطرح می‌شود و نشان دهنده آهنگ رسیدن ماهی به طول بی-نهایت (L_{∞}) است.

هم‌چنین به منظور محاسبه t_0 از فرمول تجربی پائولی استفاده گردید (Pauly, 1983):

$$\text{Log}(-t_0) = -0/3922 - 0/2752 \text{Log} L_{\infty} - 1/038 \text{Log} K$$

میزان W_{∞} از طریق معادله زیر برآورد شد (Haddon, 2011):

$$\hat{w}_t = w_{\infty} [1 - e^{-k[t-t_0]}]^b$$

که W_{∞} بیانگر وزن بی‌نهایت و b بیانگر شیب خط حاصل از رابطه طول و وزن است.

بررسی مرگ و میر

۱ مدل‌های غیر مستقیم برآورد مرگ و میر طبیعی

مدل پائولی

برای برآورد مرگ و میر طبیعی از فرمول تجربی پائولی استفاده شد (Pauly, 1983).

$$\text{Log} M = 0/0066 - 0/279 \text{Log} L_{\infty} + 0/06543 \text{Log} K + 0/4634 \text{Log} T$$

مدل گاندرسون و دیجرت

گاندرسون (۱۹۸۰) از تئوری انتخاب استراتژی $r-K$ یک رابطه بین شاخص گنادوسوماتیک (GSI) و مرگ و میر طبیعی بدست آورد. در این رابطه فرض بر این است که یک همبستگی قوی بین انرژی که برای تولید مثل صرف می‌شود و میزان مرگ و میر طبیعی وجود دارد. فرمول ابتدایی رابطه گاندرسون بصورت زیر بود:

$$0/370 \text{GSI} - 4/64M =$$

که در آن M میزان مرگ و میر طبیعی و GSI شاخص گنادوسوماتیک می‌باشد.

این ارتباط بوسیله گاندرسون و دیجرت (۱۹۸۸) با مطالعه روی ۲۰ گونه کوسه بدین صورت بازنویسی شد:

$$\text{GSI} \sqrt{68} + 0/03M =$$

مدل چن و واتانابه^۱

چن و واتانابه (۱۹۸۹) وقتی که در مقابل سن رسم می‌شود یک منحنی u شکل را می‌سازد (منحنی وان حمام مانند). برای این مدل آن‌ها از دو تابع استفاده کردند: یک تابع که کاهش میزان مرگ و میر را در دوران ابتدایی زندگی و دومین تابع که افزایش میزان مرگ و میر را در دوران انتهایی زندگی نشان می‌دهد. برای بدست آوردن میزان مرگ و میر از پارامترهای k و t_0 استفاده می‌شود:

$$M(t) = \begin{cases} \frac{k}{1 - e^{-k(t_0)}}, & t \leq t_m \\ \frac{k}{a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2}, & t \geq t_m \end{cases}$$

که در آن:

¹ Chen and Watanabe

$$\begin{cases} a_0 = 1 - e^{-k(t_m - t_0)} \\ a_1 = ke^{-k(t_m - t_0)} \\ a_2 = -\frac{1}{2}k^2e^{-k(t_m - t_0)} \end{cases}$$

در این توابع t_m از معادله زیر بدست می‌آید:

$$t_m = -\frac{1}{k} \ln(1 - e^{kt_0}) + t_0$$

روش‌های مستقیم برآورد مرگ و میر

۳ منحنی صید سنی

مرگ و میر کل (Z) با استفاده معادله زیر برآورد شد (Gayanilo and Pauly, 1997):

$$N_{i+1} = N_i e^{-z(t_{i+1} - t_i)}$$

N_i : تعداد افراد در زمان t_i

N_{i+1} : تعداد افراد در زمان t_{i+1}

Z : ضریب مرگ و میر کل می‌باشد.

داده‌های تلاش صیادی

برای برآورد مرگ و میر از روش ریکر (۱۹۷۵) استفاده شد:

$$z = -\ln \frac{CPUE1 + CPUE2 + CPUE3 + \dots + CPUE(\text{مسن ترین کوسه})}{CPUE0 + CPUE1 + CPUE2 + 0000 + CPUE(\text{مسن ترین کوسه})}$$

مدل تولید به ازای بازسازی (Yield per recruit)

این مدل برای تعیین بهترین سائز/ سن آبی در شروع صید با نرخ مرگ و میر صیادی و یا سائز/ سن آبی با بیشترین میزان تولید بر احیاء در یک مرگ و میر صیادی مشخص می‌باشد. در حقیقت در این مدل آن قدر سائز شروع صید و یا مرگ و میر صیادی تغییر می‌یابد تا بیشترین مقدار تولید بر احیاء حاصل گردد (Sparre & Venema, 1998).

در این مدل از روابط و معادلات زیر استفاده گردید:

$$N_{t+1} = N_t \times e^{-Z}$$

تعداد ماهی سفید بقاء یافته در سن t

$$B_t = N_t \times W_t$$

توده زنده ماهی سفید در هر سن

$$C_t = \frac{F}{Z} \times N_{t-1} \times (1 - e^{-Z})$$

تعداد ماهی سفید صید شده در هر سن

$$D_t = \frac{M}{Z} \times N_{t-1} \times (1 - e^{-Z})$$

تعداد ماهی سفید از بین رفته در اثر مرگ و میر طبیعی در هر سن

$$Y_t = C_t \times W_t$$

وزن ماهی سفید صید شده در گروه سنی t

$$U_t = D_t \times W_t =$$

وزن ماهی سفید از دست رفته در اثر مرگ و میر طبیعی

در این معادلات:

N_t و N_{t+1} ، تعداد میگو در گروه سنی t و $t+1$ می‌باشد

B_t ، توده زنده در گروه سنی t

W_t ، وزن در گروه سنی t

F ، ضریب مرگ و میر صیادی

M ، ضریب مرگ و میر طبیعی

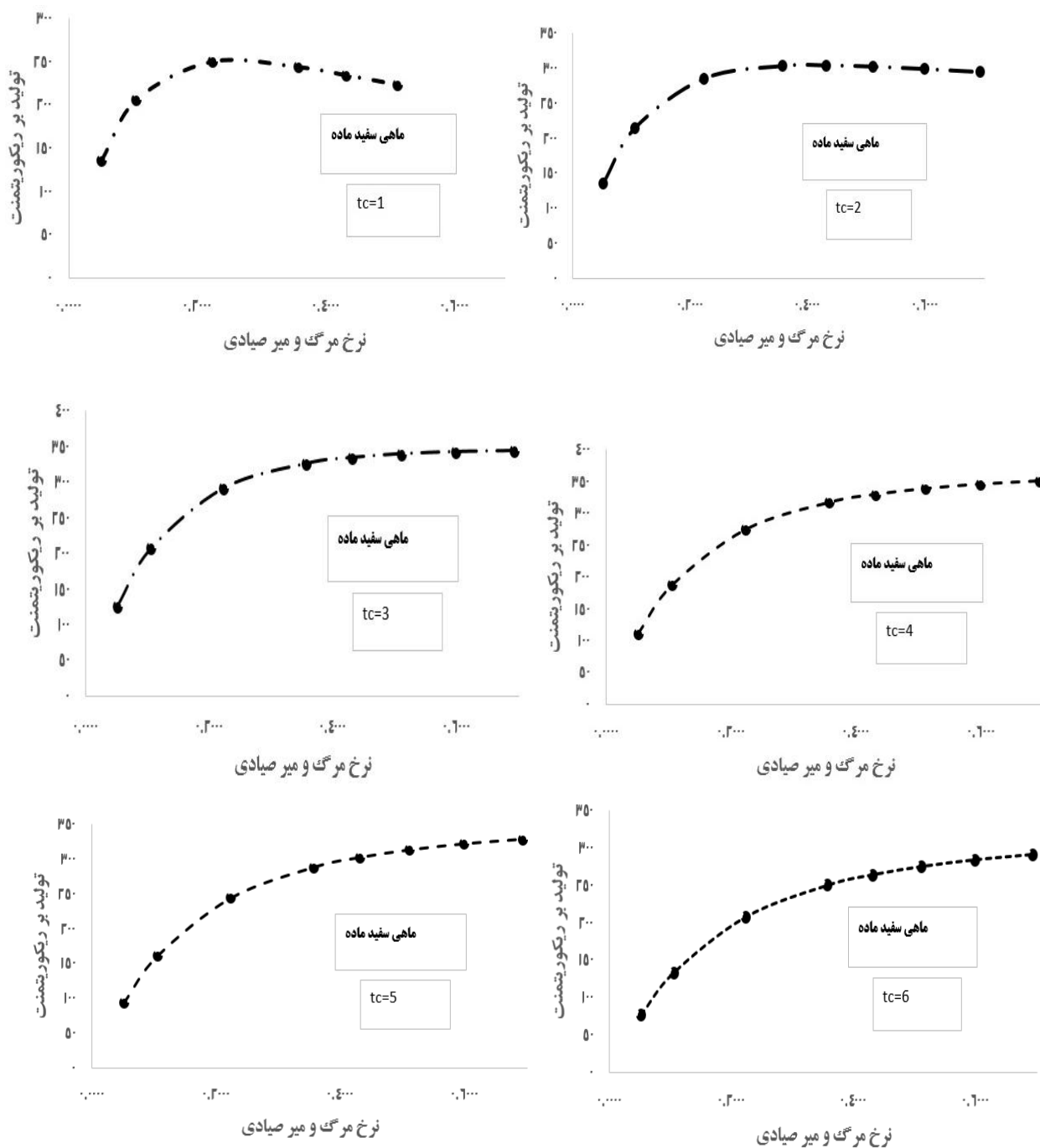
Z ، ضریب مرگ میر کل

$N_{t-1} \times (1 - e^{-Z})$ ، تعداد بقاء یافته از گروه سنی قبل

همچنین جهت تسریع در پردازش داده‌های مدل تولید بر احیاء از برنامه نویسی با VBA در قسمت ماکرو در نرم افزار اکسل استفاده گردید. برای مقایسه میانگین طولی ماهی سفید با توجه به اثر محیطی ناشی از تغییر پذیری سامانه اکولوژیکی و عدم قطعیت موجود در اکوسیستم های آبی و خطای نمونه برداری از روش‌های computer intensive methods روش Randomization test استفاده شد. برای محاسبه فواصل اطمینان ضرایب K و طول بی نهایت از روش BOOTSTRAP استفاده شد. مدل‌های رشد بین دو جنس نر و ماده و بین سه سال متوالی از روش Likelihood ratio مقایسه شدند. از روش کولموگراف اسمیرنوف توزیع فراوانی طولی بین دو جنس و بین فصول مقایسه شد. آنالیزها با استفاده از نرم افزار FiSAT II، نرم افزار EXCEL 2016 و برنامه نویسی به زبان VBA در اکسل انجام گرفت.

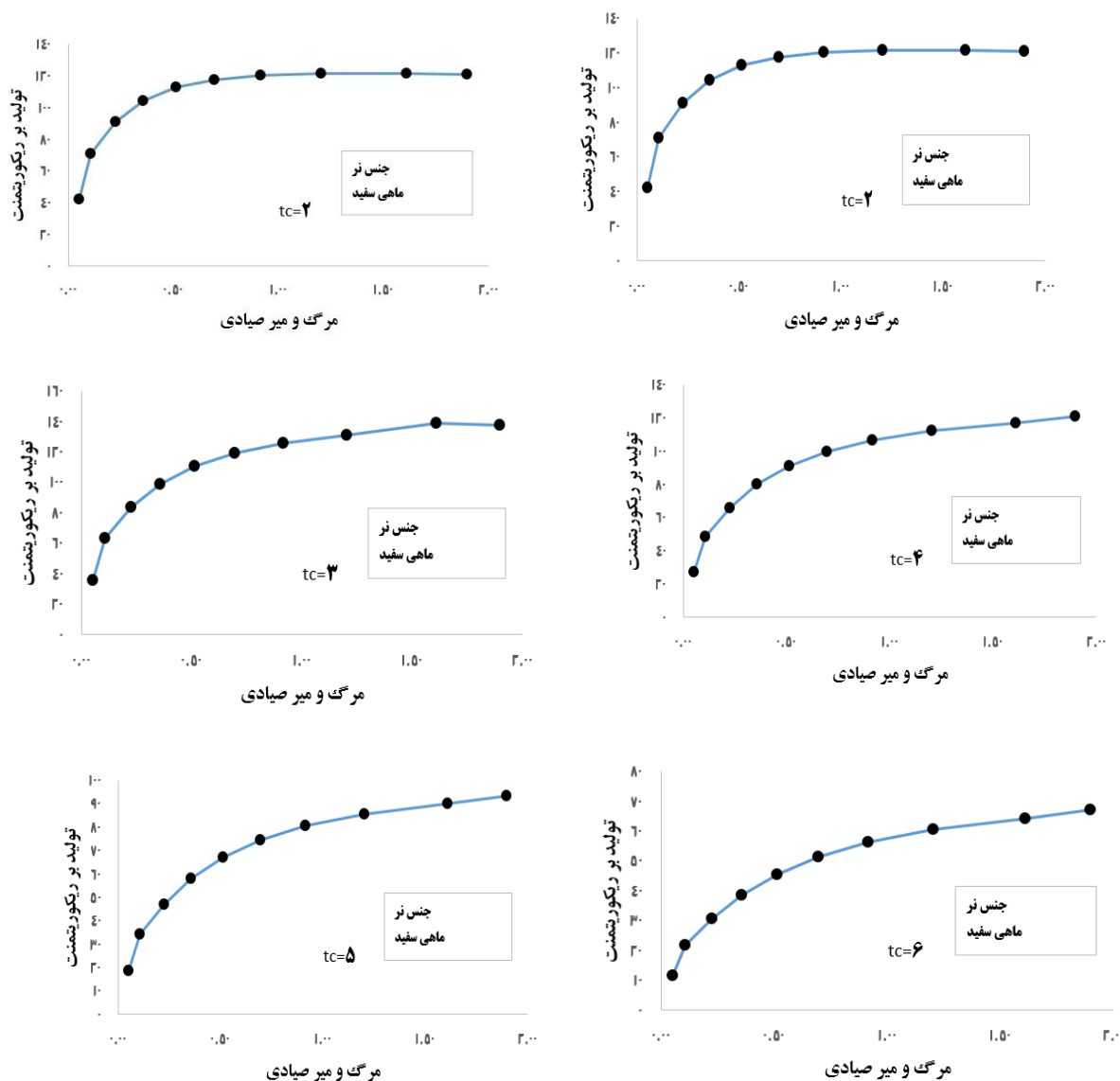
نتایج

میزان مرگ و میر کل به ترتیب برای جنس نر، ماده و جمعیت ماهی سفید برابر با ۰/۹، ۰/۳۵ و ۰/۴۹ در سال بود. با توجه به میزان مرگ و میر طبیعی، صیادی و کل بدست آمده در این مطالعه، مدل تولید به ازای واحد بازسازی به منظور بدست آوردن بهترین میزان برداشت و سن صیدی که به تولید پایدار منتهی گردد، انجام شد. این مدل برای جنس ماده، نر و جمعیت ماهی سفید بطور جداگانه، انجام شد. برای ماهی سفید ماده *R. kutum*، بهترین سن صید ۴ سال و بهترین نرخ مرگ و میر صیادی F_{MAX} ، برابر با ۰/۳۴ در سال و میزان برداشت ۲۸ درصد بصورت سالانه بدست آمد (شکل ۲). با استفاده از معکوس رابطه طول-سن ماهی سفید ماده، مشخص شد جنس ماده در سن ۴ سال، دارای طول چنگالی ۳۴ سانتیمتر بود.

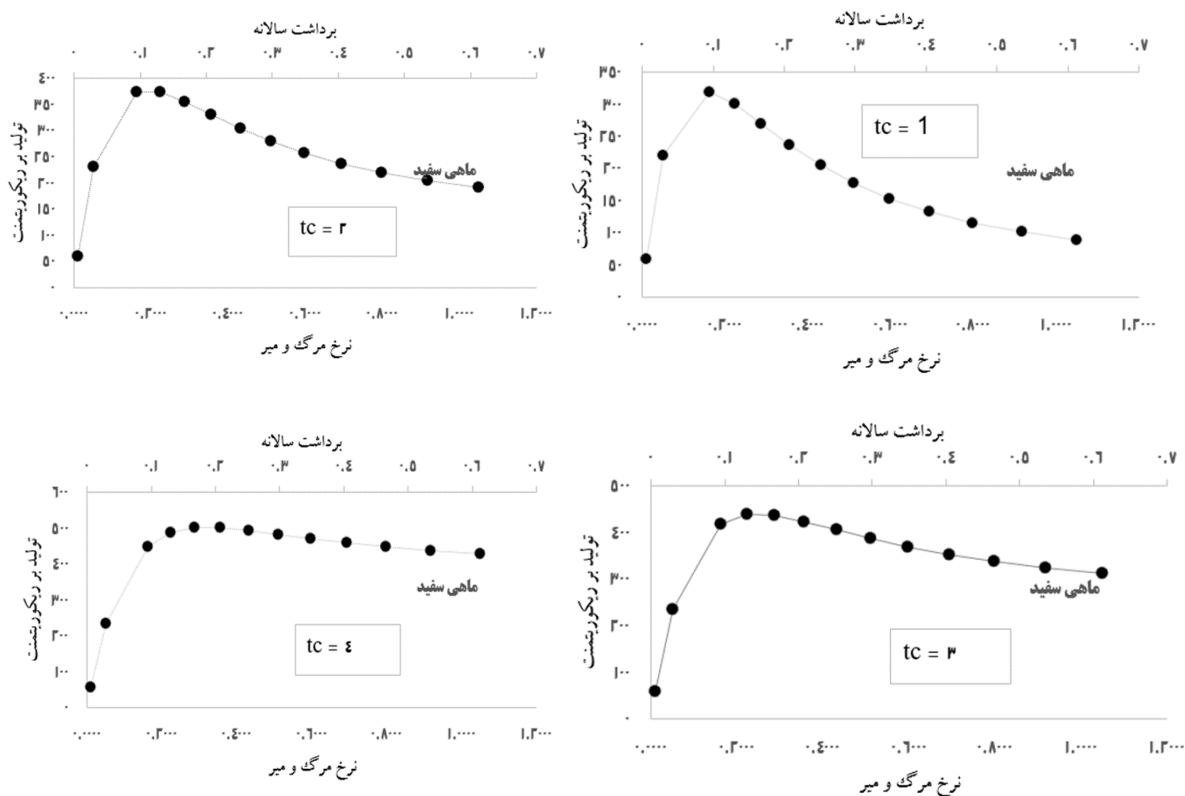


شکل ۲. نمودار تولید به ازای بازسازی برای ماهی سفید ماده با گنجاندن مرگ و میر طبیعی محاسبه شده در این مطالعه در صیدگاه های استان مازندران

با توجه به میزان مرگ و میر طبیعی سالانه بهترین سن صید برای ماه سفید نر برابر با سن ۳ سال و بهترین میزان مرگ و میر صیادی F_{MAX} ، $0/41$ در سال محاسبه شد. بهترین میزان برداشت سالانه با توجه به مدل ۴۰ درصد برآورد شد. با انطباق این سن با منحنی طول-سن جنس نر، طول چنگالی ماهی سفید نر در این سن $29/5$ سانتیمتر بود (شکل ۳).

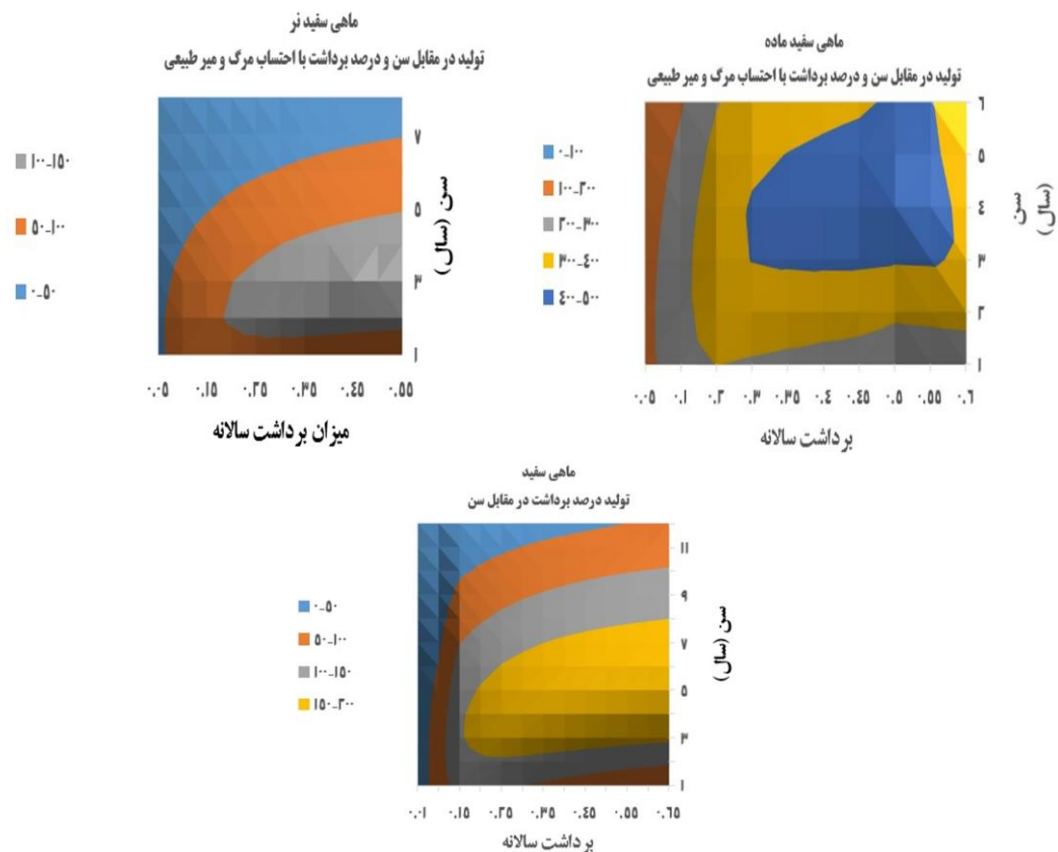


شکل ۳. تولید به ازای بازسازی y/r برای ماهی سفید نر با احتساب نرخ مرگ و میر طبیعی سالانه در صیدگاه‌های پره استان مازندران. نتایج تجزیه و تحلیل‌ها بیانگر این بود که بهترین نرخ مرگ و میر صیادی F_{MAX} برابر با نرخ $0/3$ در سال و در سن ۴ سالگی اتفاق می‌افتد. انطباق این نتایج با نتایج منحنی سن-طول بیانگر این بود که ماهی سفید در این سن دارای طولی برابر با $36/5$ سانتیمتر بود. اما با توجه به منحنی طول-سن ماهی سفید در این سن دارای طولی برابر با $29/5$ سانتیمتر بود (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار تولید پایدار در مقابل نرخ مرگ و میر و درصد برداشت برای ماهی سفید در صیدگاه های پره مازندران

نمودار خطوط هم مقدار (isopleth diagram) نیز برای میزان تولید در برابر مقادیر مختلف برداشت و سن صید و نمایش بهترین میزان F_{MAX} و TC برای ماهی سفید ترسیم گردید (شکل ۵).



نتایج نمودار ایزوپلیت نشان داد که با افزایش سن صید یا به عبارت دیگر افزایش اندازه چشمه میتوان تلاش صیادی را افزایش داد. یعنی افزایش اندازه چشمه سبب افزایش F_{MAX} می‌گردد. نتایج نمودارهای ایزوپلیت، بیانگر اهمیت فوق العاده زیاد اندازه چشمه یا همان افزایش سن صید، در تولید پایدار صیادی بود (شکل ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج برای ماهی سفید ماده نشان داد که با در نظر گرفتن مرگ و میر طبیعی سالانه ۱۰ درصد بهترین سن صید ماهی سفید ماده در پره های استان مازندران ۵ سال برابر با ۳۶/۵ سانتیمتر بود. همچنین آنالیز میزان برداشت های مختلف سالانه و نرخ مرگ و میر صیادی بیانگر نرخ مرگ و میر ۰/۳۵۶ در سال برابر با میزان برداشت سالانه ۱۰ درصد بود. برای افزایش دقت در تخمین نتایج با توسعه مدل تولید به ازای ریکوریتمنت معرفی شده توسط راسل (۱۹۴۲)، با کمک مدل معرفی شده توسط Haddon, 2011، میزان مرگ و میر طبیعی بدست آمده برای ماهی سفید با تبدیل به درصد برداشت وارد مدل شد. نتایج با گنجاندن درصد برداشت محاسبه شده برای ماهی سفید ماده *R. kutum*، بهترین سن صید ۴ سال برابر ۳۲/۴ سانتیمتر و بهترین F_{MAX} برابر با ۰/۴۴ در سال و میزان برداشت ۳۵/۵ درصد سالانه بدست آمد. باتوجه به اندازه بهینه برای صید محاسبه شده توسط مدل، میتوان گفت که اندازه چشمه مناسب برای صید ماهی سفید ماده با چنین طولی برابر با ۴۳/۳ میلیمتر باشد. که با توجه به اندازه فعلی چشمه تور پره در قسمت کیسه که بین ۲۸ تا ۳۳ میلیمتر است این تور به صید ماهیان سفید از سن یک سالگی می‌پردازد که منجر به فشار به ذخایر این گونه می‌گردد. با توجه به نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد، که با افزایش اندازه چشمه در قسمت کیسه آسب پذیری ماهی سفید را به سنین بالاتر منتقل کنیم.

برای ماهی سفید نر نیز بهترین سن صید (TC) برابر با ۳ سال و F_{MAX} برابر با ۰/۴۱ در سال بدست آمد. این میزان از F_{MAX} در واقع بیانگر میزان برداشت سالانه ۳۳ درصد از ذخایر ماهی سفید نر بصورت سالانه می باشد. اما میزان نرخ مرگ و میر لحظه ای بدست آمده برای ماهی سفید نر در این مطالعه برابر ۰/۶۵۵ در سال بدست آمد که مقدار بیشتری از F_{MAX} محاسبه شده برای ماهی سفید نر در این مطالعه می باشد. که نیاز به اتخاذ تدابیر مدیریتی مانند افزایش ریکوریتمنت، کاهش در تلاش صیادی با انجام راهکارهایی نیر تعدیل تعاونی، کاهش تعداد روزهای فصل صید، محدودیت پره کشی روزانه یا محدودیت در ابزار صید یا تلفیقی از این راه کارهای ارائه شده می باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل ها در مورد ماهی سفید بدون در نظر گرفتن جنسیت نشان داد که با در نظر گرفتن مرگ و میر طبیعی بهترین سن صید ماهی سفید در سن ۴ سالگی و میزان مرگ و میر ۰/۳ در سال اتفاق می افتد. با استفاده از رابطه طول-سن بدست آمده برای ماهی سفید در این مطالعه ماهی سفید در این سن دارای طول ۳۶/۵ سانتیمتر است. با توجه به این طول اندازه چشمه ۴۸ میلیمتر در قسمت کیسه تور پره برای صید ماهی سفید با این سایز مناسب است.

مرگ و میر کل بدست آمده در این مطالعه برای ماهی سفید برابر با ۰/۴۵ در سال محاسبه شد. اما میزان مرگ و میر مناسب بدست آمده در این مطالعه برای بدست آوردن بیشترین تولید تعادلی برابر با میزان $F_{MAX} = ۰/۳$ در سال با توجه به میزان ریکوریتمنت ورودی خواهد بود. ادامه چنین وضعیتی سبب کاهش در میزان ذخایر ماهی سفید خواهد شد. با توجه به نتایج بدست آمده نیاز به کاهش ۳۳٪ در تلاش صیادی خواهد بود. این کاهش ۰/۳۳ درصدی میتواند شامل کاهش در تعداد روزهای مجوز صید و کاهش فصل صید، تعدیل تعاونی ها، محدودیت در میزان پره کشی روزانه باشد. همچنین میتوان با افزایش اندازه چشمه و افزایش سن صید به میزان ۵ سال این کاهش را به میزان ۱۲ درصد رساند. افزایش در میزان رهاسازی نیز میتواند تا حدودی منجر به جبران این میزان صید بی رویه و در نتیجه نیاز به کاهش کمتر در میزان تعدیل گردد. اما نیاز به برآورد دقیق میزان بقا بچه ماهیان رهاسازی شده دارد.

نتایج این تحقیق با استفاده از مدل تولید به ازای واحد بازسازی (Yield per Recruit - YPR) بیانگر آن است که ذخایر ماهی سفید (*Rutilus kutum*) در سواحل جنوبی دریای خزر، به‌ویژه در استان مازندران، تحت فشار صیادی قابل توجهی قرار دارند. بررسی‌ها نشان داد که نرخ مرگ‌ومیر صیادی در حال حاضر برای هر دو جنس نر و ماده، بالاتر از مقادیر بهینه F_{MAX} برآورد شده است، که این امر نشانه‌ای از بهره‌برداری بیش از حد از ذخایر می‌باشد. نتایج مطالعات دیگر روی ماهی سفید نیز بیانگر این مطلب بود (Sahifar, 2019, Shahifar et al, 2020, Vase hagdost, 2020, Vase hagdost, et al, 2024, Rezaei, 2024).

بهترین سن صید برای دستیابی به بیشینه تولید بر واحد بازسازی، ۳ تا ۴ سالگی تخمین زده شد که طول چنگالی ماهی سفید در این بازه سنی بین ۲۹ تا ۳۶ سانتی‌متر بود. این در حالی است که چشمه تورهای مورد استفاده در حال حاضر امکان صید ماهیان در سنین پایین‌تر را نیز فراهم می‌سازند. چنین شرایطی منجر به وقوع پدیده صید نابالغین (growth overfishing) می‌شود که به کاهش توان تولیدمثلی جمعیت و در نهایت تضعیف فرآیند بازسازی ذخایر می‌انجامد (Rezaei, 2024).

مدل YPR با گنجاندن داده های رشد ماهی سفید، شامل طول بی‌نهایت (L_{∞})، نرخ رشد (K)، و نرخ مرگ‌ومیر طبیعی (M)، توانست چارچوبی واقع‌گرایانه برای مدیریت ذخایر فراهم کند. یکی از نتایج مورد توجه این مطالعه، تعیین آستانه‌های زیستی مؤثر برای سن و طول صید است که می‌تواند به منظور اصلاح سیاست‌های مدیریت منابع شیلاتی به کار گرفته شود.

همچنین با مقایسه مقادیر واقعی مرگ‌ومیر صیادی با مقادیر بهینه مدل، می‌توان نتیجه گرفت که اعمال محدودیت‌هایی نظیر افزایش اندازه چشمه تور، کاهش تعداد روزهای مجاز صید، و بازنگری در زمان شروع و پایان فصل صیادی، از جمله اقدامات ضروری برای بهبود وضعیت ذخایر می‌باشد (Raeisi, 2016, Shahifar, et al, 2020, Walter et al, 2005, Haddon, 2011). در کنار این سیاست‌ها، پایش سالانه پارامترهای رشد و تلاش برای ارزیابی مستمر ذخایر از طریق مدل‌های دینامیک و داده‌محور می‌تواند به تحقق صید پایدار در منطقه کمک کند.

یافته‌های این مطالعه همچنین مؤید آن است که اعمال یکپارچه اصول زیست‌شناسی صیادی و سیاست‌های مدیریتی مبتنی بر شواهد، می‌تواند نقشی کلیدی در حفظ بلندمدت منابع ماهی سفید ایفا کند. به‌ویژه در شرایطی که ذخایر دریای خزر با نوسانات محیطی، آلودگی‌های ساحلی و فشارهای انسانی روبه‌رو هستند، ضرورت به‌کارگیری ابزارهای مدرن تحلیل و مدیریت همچون YPR دوچندان احساس می‌شود.

با توجه به اهمیت ماهی سفید در صید پره و معاش صیادان شمال کشور اطلاع از وضعیت ذخایر این گونه ارزشمند و چگونگی مدیریت آن بسیار با اهمیت می‌باشد. در این مطالعه با بدست آوردن رفرنس پوینت‌های مدیریتی مهمی مانند F_{MAX} و همچنین محاسبه سن صید بهینه برای این گونه تلاش شده است، توصیه‌هایی برای مدیران دست‌اندرکار مدیریت این ذخیره ارزشمند فراهم آورده شود. از دیگر اطلاعات مهم و دخیل در حفظ ذخایر این گونه مانند پایش و مطالعات منظم سالانه بدست آوردن میزان $LM50$ بصورت سالانه و استفاده از مدل‌های دیگر برای محاسبه MSY و F_{MSY} نباید غافل بود.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انجام مطالعات زیستی صیادی و سیاست‌های مدیریتی مبتنی بر شواهد، می‌تواند نقشی کلیدی در حفظ بلندمدت منابع ماهی سفید ایفا کند. به‌ویژه در شرایطی که ذخایر دریای خزر با نوسانات محیطی، آلودگی‌های ساحلی و فشارهای انسانی روبه‌رو هستند (Rezaei, 2024, Vase Haghdoost, 2022). ضرورت به‌کارگیری ابزارهای مدرن تحلیل و مدیریت همچون YPR دوچندان احساس می‌شود.

References

1. Chen, S., & Watanabe, S. (1989). Age dependence and natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(2), 205–208.
2. FAO. (2009). *The state of world fisheries and aquaculture 2008*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
3. Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
4. Gayanilo, F. C., & Pauly, D. (1997). *FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) user's guide*. FAO Computerized Information Series (Fisheries) No. 8. Rome: FAO.
5. Ghani Nejad, D. (1993). Environmental factors affecting the distribution of Caspian kutum in southern coasts of the Caspian Sea. *Scientific Journal of Fisheries*, 4(2), 47–54. (In Persian)
6. Gunderson, D. R. (1980). Population, regulation, and mortality in fish populations: The impact of reproductive effort. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(4), 471–478.
7. Gunderson, D. R., & Dygert, P. H. (1988). Reproductive effort as a predictor of natural mortality rate. *Journal of the North American Benthological Society*, 107(3), 198–206.
8. Haddon, M. (2011). *Modelling and quantitative methods in fisheries* (2nd ed.). CRC Press.
9. Kazanchev, E. N. (1981). Biology and fisheries of Caspian Sea fishes. *Journal of Ichthyology*, 21(5), 54–60.
10. Pauly, D. (1983). Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 234. Rome: FAO.
11. Rezaei, A. (2024). *Stock assessment of kutum (Rutilus kutum) using cohort analysis in the southern Caspian Sea (Mazandaran province)* [Master's thesis, Gonbad Kavous University].
12. Rezavi Sayad, H. (1995). *Ecological study of the spawning and nursery grounds of the Caspian kutum*. Tehran: Iranian Fisheries Research Institute. (In Persian)
13. Ricker, W. E. (1975). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, No. 191.

14. **Shahifar, R. (2019).** *Simulation of kutum (*Rutilus kutum*) stocks' future in relation to catch (legal and illegal) and stock enhancement using DB-SRA model in the southern Caspian Sea* [Ph.D. dissertation, Gonbad Kavous University].
15. **Shahifar, Reza, Patimar, R. Fazli, H, Raeisi, H., GHolizadeh, M., Jafarian, H.** "Growth and mortality parameters of Caspian kutum, *Rutilus kutum*, in southern Caspian Sea." *International Journal of Aquatic Biology* 8.1 (2020): 56-65.
16. **Shahifar, Reza. 2019.** Simulation of Kutum, *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) stocks' future in respect to catch (legal and illegal) and stock enhancement (fingerling releasing) by DB-SRA (Depletionbased Stock Reduction Analysis) modeling in the southern Caspian Sea. PH. D. thesis. Gonbad kavous university. Gonbadkavous, IRAN.
17. **Sparre, P., & Venema, S. C. (1998).** *Introduction to tropical fish stock assessment – Part 1: Manual* (Rev. 1). FAO Fisheries Technical Paper No. 306/1. Rome: FAO.
18. **Vali Pour, A., & Maghsoodlou, H. (2018).** Study of growth parameters of *Rutilus kutum* in the southern Caspian Sea using FiSAT II software. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 27(3), 73–82. (In Persian)
19. **Vaseh Haghdoost, A., Haghparast, S., Firoozbakhsh, F., & Raeisi, H. (2022).** Estimating the best growth model of kutum (*Rutilus kutum*) in Mazandaran fishing grounds (southern Caspian Sea). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(4), 107–120.
20. **von Bertalanffy, L. (1957).** *Quantitative laws in metabolism and growth.* *The Quarterly Review of Biology*, 32(3), 217–231.
21. **Walters, C. J., Hilborn, R., & Christensen, V. (2006).** Balancing data and model complexity: evaluating fisheries management strategies. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1045–1051. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.023>.