

برآورد بهترین مدل رشد ماهی سفید *Rutilus kutum* در صیدگاه‌های استان مازندران (جنوب دریای کاسپین)

چکیده

این مطالعه باهدف برآورد بهترین مدل رشد ماهی سفید *Rutilus kutum* در صیدگاه‌های استان مازندران (جنوب دریای کاسپین) بین مهرماه ۱۳۹۸ تا اسفندماه ۱۳۹۹ صورت گرفت. در این مطالعه تعداد ۴۲۶ عدد ماهی سفید شامل ۱۷۸ عدد نر و ۲۴۸ ماده از صیدگاه‌های مازندران توسط تورهای پره ساحلی صید و پس از بیومتری، تعیین جنسیت شدند. میانگین طول ماهیان سفید نر و ماده به ترتیب $35/28 \pm 0/44$ سانتی‌متر و $38/0 \pm 84/48$ سانتی‌متر و توزیع فراوانی طولی برای دو جنس نر و ماده دارای اختلاف معنی‌داری بود ($P < 0/05$). بر اساس بررسی منحنی‌های رشد از طریق رویکرد استنتاجی چند مدلی (MMI)، بهترین مدل برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید نر و ماده به ترتیب مدل رشد فون برتالنی با سه پارامتر و مدل رشد Gompertz بود. با توجه به مدل‌های رشد آزمایش‌شده در این مطالعه، مقادیر t_0 ، K ، L_{∞} و اندازه در زمان تولد برای ماهی سفید نر *R. kutum* به ترتیب $53/2$ سانتی‌متر، $0/251$ در سال، $-0/57$ و $3/93$ سانتی‌متر، برای ماهی سفید ماده *R. kutum* به ترتیب $58/71$ سانتی‌متر، $0/221$ در سال، $-0/617$ و $4/12$ سانتی‌متر بود. مقایسه منحنی رشد بین نر و ماده به روش *likelihood* بیانگر تفاوت معنی‌دار بین منحنی‌های رشد نر و ماده بود ($P < 0/05$). ضریب مرگومیر کل برای ماهی سفید نر و ماده از طریق رسم منحنی صید سنی به ترتیب $1/015$ و $0/673$ در سال به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که برای درک بهتر و گزینش بهترین مدل توصیف رشد گونه تجاری و ارزشمند ماهی سفید، استفاده از مدل فون برتالنی و Gompertz توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: رویکرد چند مدلی، مدل Gompertz، مدل Logistic، مدل فون برتالنی، مرگومیر.

ابوالفضل واسع حق دوست^۱

سارا حق پرست^{۲*}

فرید فیروز بخش^۳

هادی رئیسی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲. گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳. استاد گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۴. گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

*مسئول مکاتبات:

s.haghparsat@sanru.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۰۴۰۹۴۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۵

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

مقدمه

دریای خزر (کاسپین) بزرگ‌ترین دریاچه بسته جهان باارزش شیلاتی قابل‌توجهی است که متأسفانه ذخایر ماهیان استخوانی آن در سال‌های اخیر به دلایل متعدد رو به کاهش نهاده است (Papasotiropoulos et al., 2007). ماهی سفید *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) (با نام علمی قدیمی *Rutilus frisii kutum* (Nordmann, 1840)) در زبان انگلیسی به‌عنوان ماهی *kutum* شناخته‌شده و به لحاظ رده‌بندی از راسته کپور ماهی‌شکلان Cypriniformes و خانواده کپور ماهیان Cyprinidae و جنس *Rutilus* است.

این گونه در آب‌های لب‌شور دریای کاسپین و آب‌های شیرین رودخانه‌های فرعی آن سکونت دارد و جزء ماهیان با اندازه متوسط به حساب می‌آید که معمولاً اندازه آن به ۴۵ تا ۵۵ سانتی‌متر رسیده، اما ندرتاً سفید ماهیانی با طول کل ۷۰ سانتی‌متر نیز گزارش شده است. وزن این گونه ارزشمند نیز نهایتاً به ۴ کیلوگرم می‌رسد و تعداد ماهیانی با وزن ۵ کیلوگرم نیز بسیار اندک صید شده‌اند.

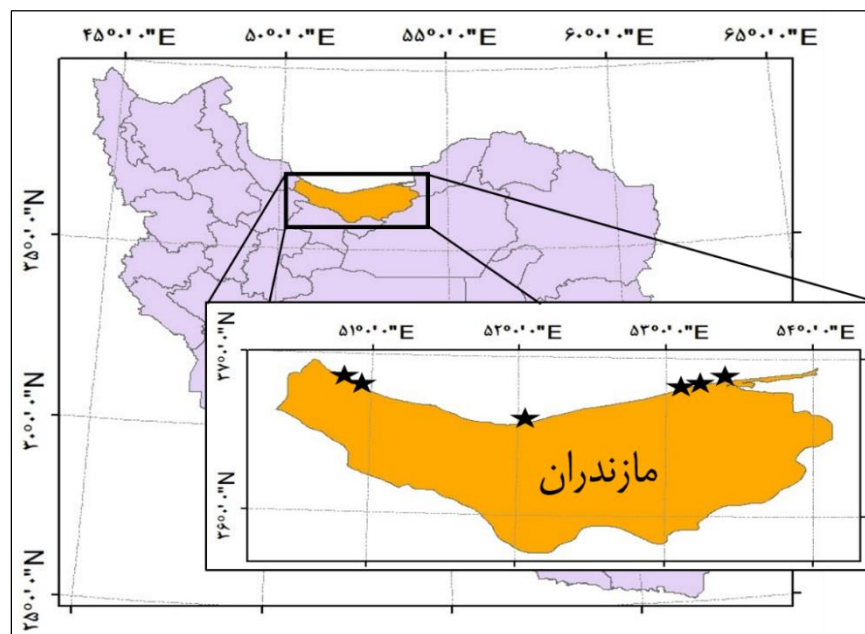
از نظر اقتصادی، ماهی سفید برای صیادان سواحل ایرانی دریای خزر مهم‌ترین گونه استخوانی است که با توجه به ارزش غذایی بالا، کیفیت عالی گوشت و لذیذ بودن، مورد توجه ساحل‌نشینان، مردم کشور ایران و حتی مردم سایر کشورهای حاشیه دریای خزر است (خانی پور و ولی‌پور، ۱۳۸۸). متأسفانه با وجود تنوع ماهیان استخوانی در دریای خزر، در سال‌های اخیر تنها سه گونه ماهی سفید، کفال و کپور غالب ماهیان استخوانی را در سید صید صیادان تشکیل داده و نقش سایر گونه‌ها بسیار کم‌رنگ شده است. گونه ماهی سفید به دلیل ارزش تجاری بالا و علاقه‌مندی مردم ساحل‌نشین به مصرف آن همواره مورد بهره‌برداری بوده؛ به‌طوری‌که کمتر کسی مصرف آن را ایام شب سال نو در سرتاسر کشور فراموش می‌کند. این گونه ماهی تقریباً در سراسر سواحل ایرانی دریای خزر صید می‌گردد، ولی بیشترین بهره‌برداری از آن در قسمت مرکزی استان مازندران صورت می‌گیرد (شاهی‌فر، ۱۳۹۸).

اگر از مهاجرت به درون و بیرون از یک جمعیت در اکوسیستم چشم‌پوشی کنیم، اندازه یک ذخیره به دو فاکتور رشد افراد جمعیت و افزودن جمعیت حاصل از تولیدمثل به جمعیت مادری بستگی دارد. از این‌رو، مطالعات بسیار زیادی در خصوص مدل‌های رشد افرادی یک گونه در اکولوژی صید انجام می‌شود (Haddon, 2011). بعلاوه بسیاری از خصوصیات زندگی یک گونه در نحوه رشد آن گونه منعکس می‌گردد. عوامل مختلفی در رشد ماهیان تأثیر می‌گذارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به صفات ارثی، سن، ذخایر غذایی، عوامل محیطی، بیماری، آلودگی و غیره اشاره نمود. در مدیریت صیادی اطلاع از نحوه و مدل افزایش ابعاد بدن افراد گونه بسیار مهم است؛ چراکه افزایش در میزان بیومس جمعیت قابل‌برداشت تا حد زیادی به میزان رشد افراد جمعیت بستگی دارد. همچنین اطلاع از اینکه چه میزان از این بیومس حاصل رشد با فرایند مرگ‌ومیر طبیعی از دسترس خارج می‌شود در فرایند مدیریت صید بسیار مهم است. بسیاری از مقالاتی که در رابطه با صید نگاشته می‌شود غالباً از معادله فون برتالنفی استفاده می‌کنند، در صورتی‌که معادله فون برتالنفی نه فقط تنها معادله قابل‌استفاده برای توصیف رشد نیست بلکه در بسیاری از مواقع لزوماً بهترین مدل برای توصیف رشد یک گونه نیز به حساب نمی‌آید. با توجه به مطالب گفته شد در مورد اهمیت درک کاملی از رشد یک گونه در مدیریت صحیح برداشت از آن گونه، لازم است که با مقایسه معادلات رشد مختلف برای یک گونه بهترین مدل رشد برای آن گونه مشخص گردد (Haddon, 2011). محققین بسیاری از انواع مدل‌های رشد Gompertz و فون برتالنفی برای گونه‌های مختلف ماهی استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به Gurung (۲۰۱۸)، Ünal و همکاران (۲۰۱۷)، Prajneshu و Ghosh (۲۰۱۷)، و Prajneshu و Venugopalan (۱۹۹۹) و مدل بسیار معمول چهار پارامتری ارائه‌شده توسط Schnute و Richards (۱۹۹۰) اشاره کرد.

تاکنون مطالعاتی روی رشد و مرگ‌ومیر و دیگر جنبه‌های جمعیتی و زیستی ماهی سفید انجام شده است (عبدالملکی، ۱۳۸۵؛ عبدالملکی و غنی نژاد، ۱۳۸۶؛ قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۰؛ فضلی و همکاران، ۱۳۹۱؛ دریانبرد و همکاران، ۱۳۹۴؛ فضلی و همکاران، ۱۳۹۳؛ شاهی‌فر، ۱۳۹۸)، اما هیچ مطالعه‌ای در خصوص معرفی بهترین مدل رشد این گونه در دریای کاسپین صورت نگرفته است. با توجه به مطالب گفته‌شده در بالا در مورد نقش تجاری و باارزش ماهی سفید و همچنین اهمیت بسیار زیاد در مورد استفاده از بهترین معادله برای توصیف مدل رشد این گونه، این مطالعه باهدف بررسی بهترین مدل رشد ماهی سفید در صیدگاه‌های استان مازندران صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تعداد ۴۲۶ نمونه ماهی سفید *R. kutum*، بین مهرماه ۱۳۹۸ تا اسفندماه ۱۳۹۹ توسط تورهای پره ساحلی از صیدگاه‌های واقع در بخش‌های شرقی، مرکزی و غربی استان مازندران صید و بیومتری شدند (شکل ۱). اندازه چشمه تور پره ساحلی در قسمت مرکزی از مهرماه تا آخر فصل صید بین ۳۰ تا ۳۳ میلی‌متر به‌صورت کشیده بود. نمونه‌های به‌دست‌آمده ابتدا در فرمالین ۱۰ درصد فیکس و پس از کالبدشکافی در آزمایشگاه و بررسی میکروسکوپی گنادها تعیین جنسیت شدند.



شکل ۱: نقاط نمونه‌برداری (★) از صیدگاه‌های استان مازندران.

به علت سختی تشخیص حلقه‌های رشد سالانه از ماهانه در خانواده کپور ماهیان، قبل از تعیین سن تمامی فلس‌ها، یک نمونه فرعی تصادفی از فلس‌ها توسط دو شخص متخصص بررسی شد تا اطمینان حاصل شود که در رابطه با تفسیر الگوی خوانش حلقه‌ها به توافق نظر رسیده‌اند، سپس یکی از متخصصین تمامی فلس‌ها را دو بار بررسی کرد. دقت میان دو فرد متخصص و همین‌طور دقت تک‌تک آن‌ها نسبت به خودشان با استفاده از روش Chang (۱۹۸۲) بنام ضریب تغییر (CV) و درصد توافق به روش Goldman و Musick (۲۰۰۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. خطای میان تشخیص دو متخصص و هر یک از آن‌ها به‌تنهایی با استفاده از آزمون تقارن Bowkers از لحاظ آماری موردبررسی قرار گرفت (Evans and Hoenig, 1998).

در این مطالعه از یک رویکرد اطلاعاتی-تئوریک به نام استنتاج چند مدلی (MMI: Multi-model Inference) جهت مدل‌سازی رشد استفاده شد (Burnham and Anderson, 2001; Katsanevakis and Maravelias, 2008). مجموعه‌ای از ۳ مدل دلخواه انتخاب شد و با داده‌های طول در سن برازش شد. این مدل‌ها شامل یک نسخه سه پارامتری از معادله رشد فون برتالنفی (VB)، یک نسخه سه پارامتری از معادله Gompertz (GOM) و منحنی رشد لجستیک (LOG) بودند. هر مدل نشان‌دهنده فرض H_1 برای رشد بود، و در هر مورد، رشد نامتقارن فرض

می‌شد. مدل‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی در نرم‌افزار اکسل برازش شدند. مدل‌ها با استفاده از روش Maximum Likelihood در نرم‌افزار آماری Excel 2013 با استفاده از زبان برنامه VPA برازش شدند (Haddon, 2011). سه مدل استفاده شده به صورت زیر بود:

مدل اول) مدل فون برتالنفی:

$$\text{Von Bertalanffy (VB): } L_t = \beta_2 + (\beta_1 - \beta_2)(1 - \exp(-\beta_3 t))$$

رابطه ۱:

در این معادله: که L_t برابر است با طول به عنوان تابعی از زمان، β_1 برابر است طول بی‌نهایت برحسب سانتی‌متر، β_2 برابر است با طول هنگام تولد (L_0) و β_3 برابر است با k (years⁻¹).

مدل دوم) مدل Gompertz:

$$\text{Gompertz (GOM): } L_t = \beta_2 \exp\left(\ln \frac{\beta_2}{\beta_1}\right) (1 - \exp(-\beta_3 t))$$

رابطه ۲:

در این معادله: L_t برابر است با طول به عنوان تابعی از زمان، β_1 برابر است طول بی‌نهایت برحسب سانتی‌متر، β_2 برابر است با طول هنگام تولد (L_0) و β_3 برابر است با k (years⁻¹).

مدل سوم) مدل لجستیک

$$\text{Logistic (LOG): } L_t = \frac{\beta_1 \beta_2 \exp(\beta_3)}{\beta_1 + \beta_2 (\exp(\beta_3 t) - 1)}$$

رابطه ۳:

در این معادله: L_t برابر است با طول به عنوان تابعی از زمان، β_1 برابر است با طول بی‌نهایت برحسب سانتی‌متر، β_2 برابر است با نقطه عطف طول و β_3 برابر است با k (years⁻¹).

کارایی مدل‌ها نسبت به یکدیگر با استفاده از ضریب اطلاعاتی تئوریک Akaike (Akaike Information Criterion) (AIC) ارزیابی شد. بهترین مدل، مدلی است که کمترین مقدار AIC ، AIC_{min} را دارد. تفاوت‌های AIC به صورت $\Delta AIC_i = AIC_i - AIC_{min}$ محاسبه شد و جهت حمایت از مدل‌های باقیمانده ($I=1-3$) نسبت به بهترین مدل رتبه گذاری شد. مدل‌هایی که ΔAIC_i آن‌ها بین ۰ تا ۲ بود بهترین مدل برای برازش رشد ماهی سفید در نظر گرفته شد، درحالی‌که مدل‌هایی که ΔAIC_i آن‌ها بین ۴ تا ۷ بود از ارزش کمتری برای ترسیم مدل رشد برخوردارند. مدل‌هایی با ΔAIC_i بالاتر از ۱۰ برای بررسی نحوه رشد مناسب نیستند. وزن‌های Akaike (w) به صورت وزن گواه به نفع مدلی که بهترین مدل در مجموعه مدل‌های دلخواه است، محاسبه شدند (Burnham and Anderson 2001). تقریباً ۹۵ درصد فاصله اطمینان و دقت برای تخمین‌های پارامتر بهترین برازش و تخمین‌های جمعیت از ۳۰۰۰ مجموعه داده که مجدداً نمونه‌گیری می‌شدند، به دست آمدند.

برای برآورد مرگومیر طبیعی از رابطه ۴ (فرمول تجربی پائولی) استفاده شد (Pauly, 1983).

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

رابطه ۴:

Gunderson (۱۹۸۰) از تئوری انتخاب استراتژی r - K یک رابطه بین شاخص گنادوسوماتیک (GSI) و مرگومیر طبیعی به دست آورد. در این رابطه فرض بر این است که یک همبستگی قوی بین انرژی که برای تولیدمثل صرف می‌شود و میزان مرگومیر طبیعی وجود دارد. فرمول ابتدایی رابطه Gunderson به صورت رابطه زیر بود:

$$M = 4.64 \times GSI - 0.37$$

رابطه ۵:

که در آن M میزان مرگومیر طبیعی و GSI شاخص گنادوسوماتیک است.

این ارتباط به وسیله Gunderson و Dygert (۱۹۸۸) با مطالعه روی ۲۰ گونه کوسه بدین صورت بازنویسی شد:

$$M = 0.03 + 1.68 \times GSI \quad \text{رابطه ۶:}$$

Chen و Watanabe (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 مرگومیر را در دوران ابتدایی زندگی و دومین تابع که افزایش میزان مرگومیر را در دوران انتهایی زندگی نشان می‌دهد. برای به دست آوردن میزان مرگومیر از پارامترهای k و t_0 طبق رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$M(t) = \begin{cases} \frac{k}{1 - e^{-k(t_0)}}, & t \leq t_m \\ \frac{k}{a_0 + a_1(t - t_m) + a_2(t - t_m)^2}, & t \geq t_m \end{cases} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آن:

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

در این توابع t_m از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$t_m = -\frac{1}{k} \ln(1 - e^{kt_0}) + t_0 \quad \text{رابطه ۸:}$$

مرگومیر کل (Z) با استفاده رابطه زیر برآورد شد (Gayanilo and Pauly, 1997):

$$N_{i+1} = N_i e^{-Z(t_{i+1} - t_i)} \quad \text{رابطه ۹:}$$

N_i : تعداد افراد در زمان t_i ; N_{i+1} : تعداد افراد در زمان t_{i+1} ; Z : ضریب مرگومیر کل است.

برای برآورد مرگومیر از روش Ricker (۱۹۷۵) طبق رابطه زیر استفاده شد:

$$z = -\ln \frac{CPUE1 + CPUE2 + CPUE3 + \dots + CPUE(\text{مسن ترین ماهی})}{CPUE0 + CPUE1 + CPUE2 + 0000 + CPUE(\text{مسن ترین ماهی})} \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

برآزش مدل‌ها برای انتخاب بهترین مدل با استفاده از روش ماکزیمم درست نمایی با فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌ها طبق فرمول زیر انجام شد:

$$LL\{C|b, \sigma, S\} = \sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\left[\frac{(C_i - bS_i)^2}{2\sigma^2} \right]} \right] \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

برای سهولت کار معادله زیر به لگاریتم منتقل شد:

$$LL = n \ln \left[\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right] + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n [-(C_i - bS_i)^2] \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

برآورد بهترین مدل رشد ماهی سفید *Rutilus kutum* در صیدگاه‌های استان مازندران (جنوب دریای کاسپین) / واسع حق دوست و همکاران

σ در معادله بالا از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - bS_i)^2}{n} \quad \text{رابطه ۱۳:}$$

که در آن LL: لوگ درست نمایی، C_i : داده‌های مشاهداتی، bS_i : داده‌های مدل، n : تعداد مشاهدات و π برابر ۳/۱۴ بود. مرگومیر صیادی نیز از طریق رابطه ۱۴ به دست آمد (Sparre and Venema, 1998):

$$Z = F + M \quad \text{رابطه ۱۴:}$$

M: میزان مرگومیر طبیعی

F: میزان مرگومیر صیادی است.

ضریب بهره‌برداری نیز از طریق رابطه ۱۵ برآورد شد (Pauly, 1983):

$$E = F/Z \quad \text{رابطه ۱۵:}$$

F: مرگومیر صیادی

Z: مرگومیر کل

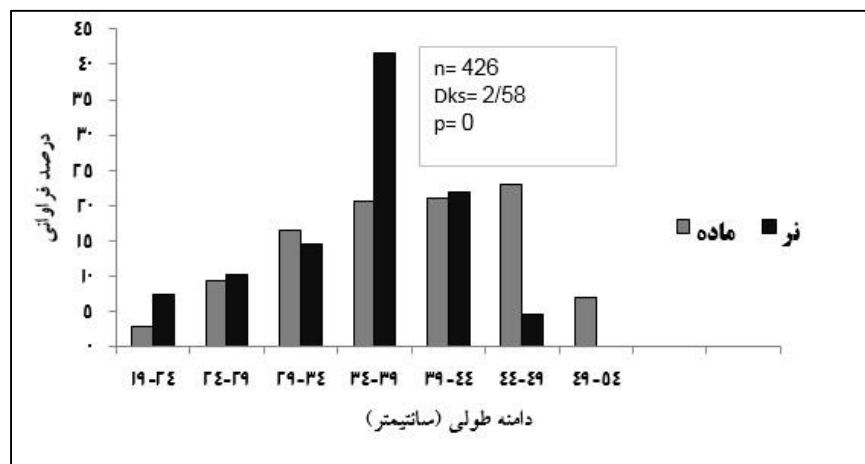
E: ضریب بهره‌برداری است.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی بیومتری ۴۲۶ نمونه ماهی سفید *R. kutum* صیدشده در صیدگاه‌های پره استان مازندران در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، توزیع فراوانی طولی میان دو جنس نر و ماده اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). (شکل ۲) ($2/58 = N$), ($426 = D_{KS}$).

جدول ۱: شاخص‌های مرکزی و پراکندگی طول و وزن کل ماهی سفید (*Rutilus kutum*) در صیدگاه‌های استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

جنسیت	طول (سانتی‌متر)				وزن (گرم)			
	میانگین	خطای معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	خطای معیار	حداقل	حداکثر
نر	۳۵/۲۸	۰/۴۴	۲۰	۴۵/۶	۵۹۷/۲۶	۲۰/۰۲	۱۰۵	۱۱۸۳/۲۵
ماده	۳۸/۸۴	۰/۴۸	۲۰/۷	۵۲/۱	۸۶۳/۰۶	۳۰/۳۴	۱۰۷/۲۳	۱۹۳۸/۹۲
کل	۳۵/۷۳	۰/۳۳	۱۹/۱	۵۴/۲	۶۷۶/۹۱	۱۸/۱۲	۷۶/۵	۲۱۵۴/۵



شکل ۲: توزیع فراوانی طولی ماهی سفید (*Rutilus kutum*) به تفکیک جنسیت در صیدگاه‌های پره استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

بررسی منحنی‌های رشد از طریق رویکرد اطلاعاتی تئوریکی MMI بیانگر این بود که بهترین مدل برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید در جنس ماده مدل Gompertz بود (جدول ۲، $\Delta AIC = 0$)؛ اما با توجه به میزان ΔAIC به دست آمده بین مدل Gompertz و مدل فون برتالنی با سه پارامتر از مدل فون برتالنی با سه پارامتر نیز با حمایت کمتر می‌توان برای توصیف مدل رشد ماهی سفید ماده استفاده کرد (جدول ۲، $\Delta AIC = 2/58$). اما از مدل رشد Logistic برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید ماده نمی‌توان استفاده کرد ($\Delta AIC > 10$) (جدول ۲، شکل ۳). برای بررسی مدل رشد ماهی سفید نر نیز این سه مدل مورد مقایسه قرار گرفت و بهترین مدل برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید نر، مدل رشد فون برتالنی با سه پارامتر بود (جدول ۲، $\Delta AIC = 0$) اما از مدل رشد Gompertz نیز برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید نر می‌توان استفاده کرد ($\Delta AIC > 4$). مدل رشد Logistic برای توصیف نحوه رشد ماهی سفید نر مناسب نبود ($\Delta AIC > 10$) (جدول ۲، شکل ۳). بهترین مدل برای توصیف مدل رشد ماهی سفید بدون در نظر گرفتن جنسیت مدل رشد Gompertz (جدول ۲، $\Delta AIC = 0$) اما با توجه به میزان ΔAIC به دست آمده بین مدل Gompertz و مدل فون برتالنی با سه پارامتر از مدل فون برتالنی با سه پارامتر نیز با حمایت کمتر می‌توان برای توصیف مدل رشد ماهی سفید ماده استفاده کرد (جدول ۲، $\Delta AIC = 2/28$).

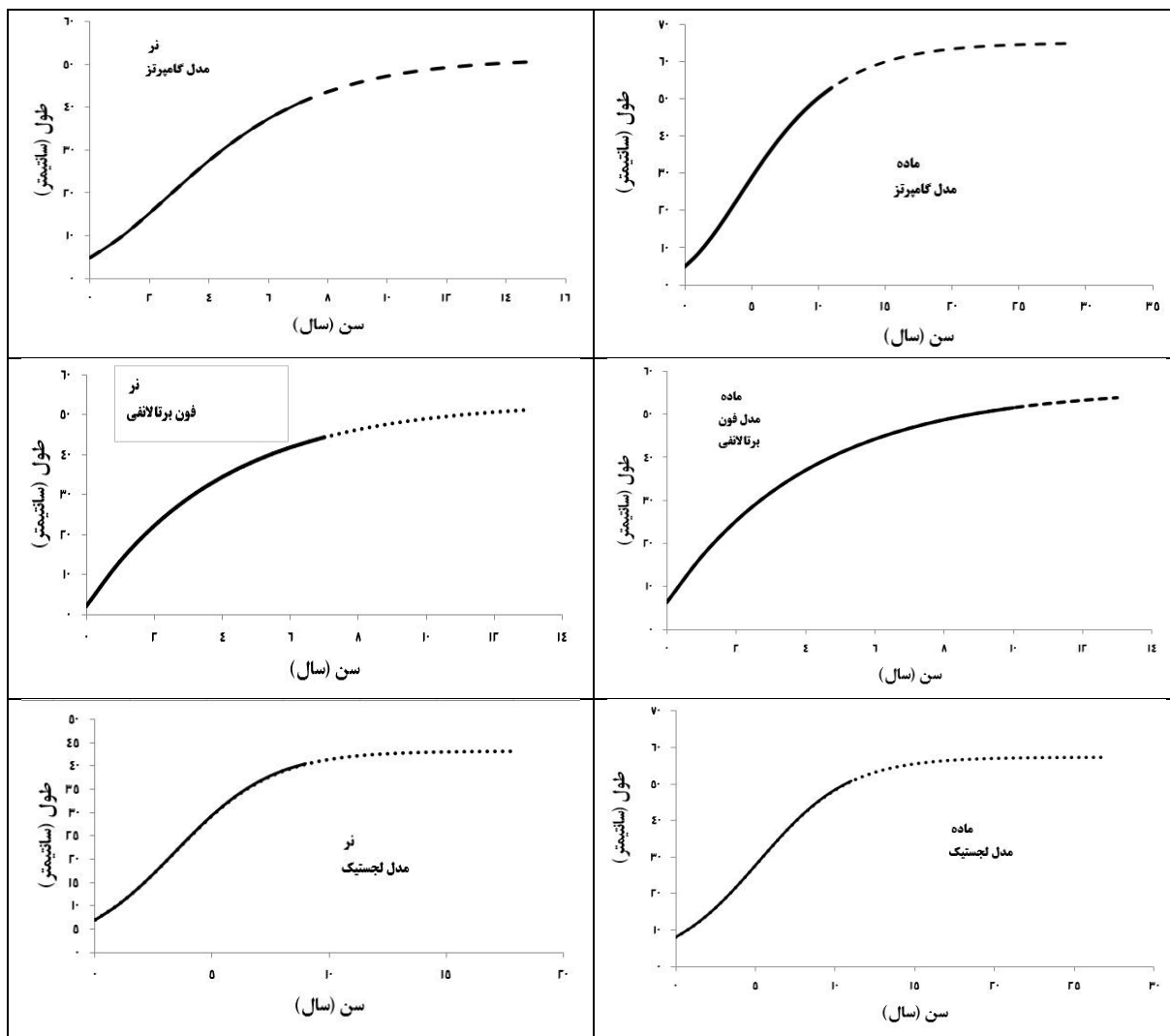
جدول ۲: مقایسه سه مدل رشد برای ماهی سفید (*Rutilus kutum*) نر، ماده و کل صیدشده در صیدگاه‌های پره استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

جنس	مدل	تعداد	AIC	BAIC	ΔAIC	1β	2β	2β
نر	VB3	۱۷۸	۷۴/۴۷	۷۱/۸۲	۰	۵۳/۲۰	۳/۹۳	۰/۲۵۱
	GOM	۱۷۸	۷۹/۵۶	۷۶/۴۲	۵/۰۹	۵۱/۵	۴/۸۵	۰/۳۳۲
	LOG	۱۷۸	۱۰۸/۴۰	۱۰۵/۲۶	۳۳/۹۳	۴۳/۲۰	۷/۱۲	۰/۴۷۸
ماده	VB3	۲۴۸	۴۷/۴۱	۴۴/۷۵	۲/۵۸	۵۶/۰۶	۶/۳۳	۰/۲۰۱
	GOM	۲۴۸	۴۴/۸۳	۴۲/۳۴	۰	۵۸/۷۱	۴/۱۲	۰/۲۲۱
	LOG	۲۴۸	۶۳/۹	۶۱/۲۴	۱۹/۰۷	۵۷/۴	۸	۰/۳۵۱

برآورد بهترین مدل رشد ماهی سفید *Rutilus kutum* در صیدگاه‌های استان مازندران (جنوب دریای کاسپین) / واسع حق دوست و همکاران

جنس	مدل	تعداد	AIC	BAIC	ΔAIC	1β	2β	2β
کل	VB	۴۲۶	۴۵/۵۰	۴۲/۸۴	۲/۲۸	۵۸/۵	۵/۶۵	۰/۱۷۳
	GOM	۴۲۶	۴۳/۲۲	۴۲/۳۴	۰	۵۹/۱۷	۴/۶۵	۰/۱۹۵
	LOG	۴۲۶	۵۴/۹۲	۵۲/۲۶	۱۱/۷	۴۷/۷۲	۷/۴۲	۰/۵۱۷

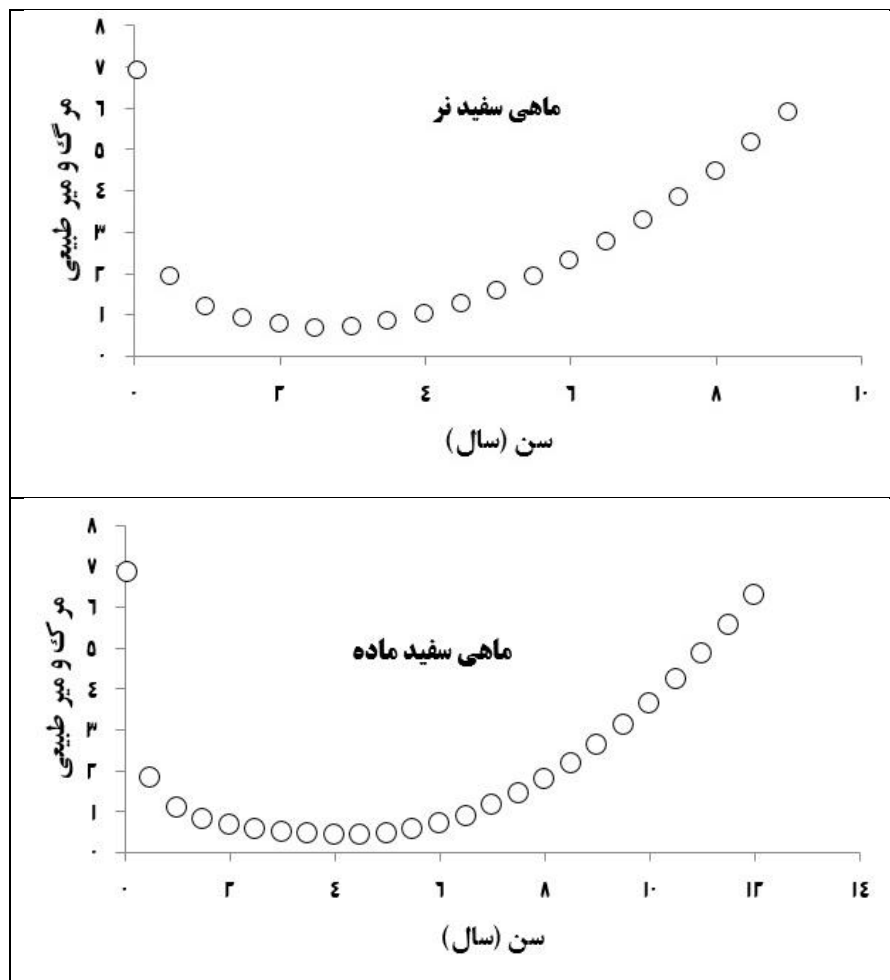
بهترین مدل به صورت برجسته در جدول نشان داده شده است. β_1 ، β_2 ، β_3 به ترتیب نشان‌دهنده طول بی‌نهایت، ضریب رشد سالانه و طول تولد است. ΔAIC اختلاف بین میزان AIC بین بهترین مدل و هریک از مدل‌ها است. بیزین AIC (BAIC) نیز برای مدل‌ها محاسبه شد.



شکل ۳: نمودارهای رشد ماهی سفید (*Rutilus kutum*) به تفکیک جنسیت در سه مدل فون برتالانی، Logistic و Gompertz صیدشده از صیدگاه‌های استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

خط ممتد طول و سن مشاهده‌شده در نمونه‌برداری و خط منقطع ادامه مدل پیش‌بینی است.

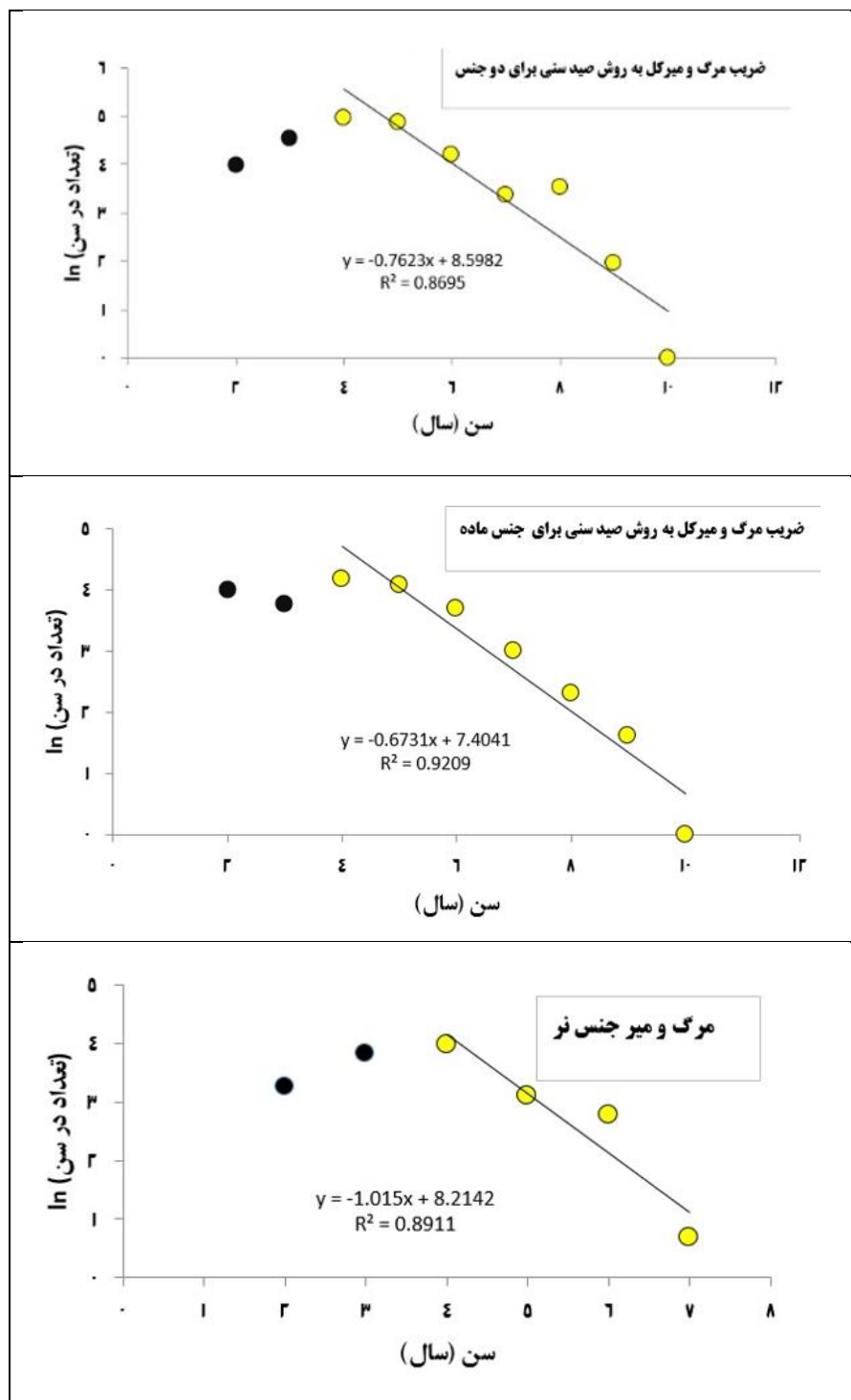
با توجه به مدل‌های رشد آزمایش شده در این مطالعه شده، L_{∞} ، K ، t_0 و ساینز تولد برای ماهی سفید نر به ترتیب $53/2$ سانتی‌متر، $0/251$ در سال، $3/93$ سانتی‌متر، برای ماهی سفید ماده به ترتیب $58/71$ سانتی‌متر، $0/221$ در سال، $4/12$ سانتی‌متر و بدون در نظر گرفتن جنسیت به ترتیب $59/17$ سانتی‌متر، $0/195$ در سال، $4/65$ سانتی‌متر به دست آمد. سن بی‌نهایت برای جنس نر، ماده و کل به ترتیب $11/95$ سال، $13/57$ سال و $15/38$ سال محاسبه شد. مقایسه منحنی‌های رشد بین نر و ماده تفاوت معنی‌داری نشان داد ($P < 0/05$) (شکل ۳). نتایج نشان داد که بهترین مدل برای برآورد مرگ‌ومیر مدل چن و واتابه است ($\Delta AIC = 0$) (شکل ۴).



شکل ۴: نمودار مرگ‌ومیر طبیعی برای جنس نر و ماده ماهی سفید (*Rutilus kutum*) صیدشده از صیدگاه‌های پره استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

ضریب مرگ‌ومیر کل برای ماهی سفید نر و ماده از طریق رسم منحنی صید سنی به ترتیب $1/015$ و $0/673$ به دست آمد (شکل ۵). بعد از انجام ۳۰۰۰ تکرار بوت استرپ فاصله اطمینان به روش تصحیح انحراف برای ضرایب مرگ‌ومیر محاسبه شد (جدول ۳).

برآورد بهترین مدل رشد ماهی سفید *Rutilus kutum* در صیدگاه‌های استان مازندران (جنوب دریای کاسپین) / واسع حق‌دوست و همکاران



شکل ۵: منحنی صید سنی ماهی سفید (*Rutilus kutum*) به تفکیک جنسیت در صیدگاه‌های پره استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

جدول ۳: فواصل اطمینان محاسبه‌شده برای مرگ‌ومیر کل در ماهی سفید (*Rutilus kutum*) در صیدگاه‌های استان مازندران (۱۳۹۸-۱۳۹۹).

جنس	تکرار	ضریب مرگ و میر کل	فاصله اطمینان ساده	فاصله اطمینان به روش تصحیح انحراف
نر	۳۰۰۰	۱/۰۱۵	۰/۷۷ - ۱/۳۷	۰/۸۹۵ - ۱/۰۹۸
ماده	۳۰۰۰	۰/۶۷۳	۰/۴۱۶ - ۰/۸۳	۰/۵۱۵ - ۰/۷۱۲
کل	۳۰۰۰	۰/۷۶۲	۰/۴۶۱ - ۰/۹۰۱	۰/۵۶۱ - ۰/۸۳۶

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ۶ مدل رشد برای بررسی بهترین مدل رشد ماهی سفید مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این بود که مدل Gompertz بهترین مدل برای تبیین رشد و رابطه سن-طول ماهی سفید ماده برای این گونه بود اگرچه مدل رشد فون برتالنی با سه پارامتر نیز برای توصیف مدل رشد ماهی سفید ماده مناسب است. جهت توصیف رشد ماهی سفید نر نیز می‌توان از مدل رشد فون برتالنی با سه پارامتر با حمایت اساسی و مدل رشد Gompertz با حمایت کمتر استفاده کرد.

در مطالعات گذشته تنها از مدل رشد فون برتالنی جهت بررسی رشد ماهی سفید استفاده شد؛ لذا امکان مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات دیگر وجود نداشت؛ اما الگوی رشد در تعیین سن داده‌ها در آزمایشگاه نیز بیانگر رشد آهسته ماهی سفید در ابتدای زندگی و سپس افزایش سرعت رشد در محدوده سنی ۴ تا ۷ سال و سپس کاهش سرعت رشد داده‌ها بود. مطالعات جدید نیز نشان می‌دهند که مدل رشد بسیاری از گونه‌های ماهی از مدل رشد فون برتالنی پیروی نمی‌کند و برای درک بهترین مدل رشد برای گونه مورد مطالعه باید تمام مدل‌های رشد موجود مورد برازش با داده‌های تعیین سن قرار گیرند. در مطالعات بسیاری دیده شده است که مدل رشد گونه‌های آبی مورد مطالعه از مدل‌هایی مانند Gompertz، Logistic و Schnute پیروی می‌کنند که تأیید کننده نتایج این مطالعه می‌باشند (Haddon, 2008؛ Gillanders *et al.*, 1999؛ Haddon, 2011؛ Francis, 1995؛ Gurung, 2018؛ رئیس، ۱۹۹۵). استفاده از شاخص فای پرایم مونرو به منظور تعیین صحت و اعتبار نتایج به دست آمده است؛ چراکه این مقدار برای ذخایر مشابه حتی با وجود L_{∞} و K متفاوت می‌تواند مشابه باشد (Sparre and Venema, 1998). مقدار شاخص (Φ) در این مطالعه برای جنس نر و ماده ۳/۷۵ و ۳/۸۶ محاسبه گردید که این مقادیر می‌تواند در مقایسه با مطالعات آتی مورد استفاده قرار گیرد.

در این مطالعه میزان مرگ‌ومیر به روش‌های مختلفی به دست آمد. دانشمندان از مدل‌های مختلفی به منظور مطالعه مرگ‌ومیر طبیعی و کل گونه‌های آبی بهره می‌گیرند (Hoeing and Lawing, 1982؛ Hoeing, 1982؛ Gunderson and Dygert, 1988؛ Gunderson, 1980؛ Jensen, 1996؛ Pauly, 1980؛ Mcgurk, 1986؛ 1982). نتایج این مطالعه نشان داد که مدل Watanabe و Chen برای توصیف مرگ‌ومیر طبیعی ماهی سفید نسبت به دیگر مدل‌ها برتری دارد. مرگ‌ومیر یک پارامتر ضروری در درک پویایی هر جمعیتی است. بدون فهم اینکه سرعت خروج افراد از یک جمعیت چگونه است غیرممکن است که بتوان پویایی یک جمعیت را به صورت مدل نشان داد و یا میزان پایداری یک ذخیره را در مقابل برداشت برآورد کرد. دو نوع مرگ‌ومیر باید برآورد شود: ۱- مرگ‌ومیر طبیعی و ۲- مرگ‌ومیر صیادی. در مورد ماهیان مسائل پیچیده دیگری در مورد مرگ‌ومیر وجود دارد. به عنوان مثال میزان مرگ‌ومیر در طول زندگی یک ماهی در بین سنین مختلف مشابه نیست. به دلیل اینکه ماهیان جوان به احتمال زیاد بیشتر از ماهیان بزرگ‌تر در معرض مرگ‌ومیر از طریق شکار شدن توسط ماهیان بزرگ‌تر قرار می‌گیرند. از این رو برخی محققین پیشنهاد کرده‌اند که منحنی مرگ‌ومیر طبیعی ماهی‌ها یک منحنی U شکل است. همچنین مرگ‌ومیر صیادی در بین سنین مختلف

متفاوت است؛ چراکه انتخاب پذیری ادوات صیادی در مقابل توزیع طولی ماهیان متفاوت عمل می‌کند و سنین مختلف یک ماهی در مقابل ابزار صید آسیب‌پذیری متفاوتی دارند (Haddon, 2011).

مرگومیر طبیعی در یک جامعه جانوری کمتر در اثر کهولت سن اتفاق می‌افتد و تقریباً ۹۰ درصد بر اثر روابط شکار و شکارچی است (نیامندی و همکاران، ۱۳۸۲). مرگومیر کل (Z) بر اساس لگاریتم طبیعی تعداد افراد بر تغییرات زمان و سن نسبی ماهی محاسبه می‌شود. در مجموع می‌توان گفت مقایسه سه مدل مرگومیر طبیعی برازش شده به روش ماکزیمم درست نمایی نشان داد که از روش پائولی نمی‌توان برای برآورد مرگومیر طبیعی استفاده کرد.

در این مطالعه، فاصله اطمینان Z به روش بوت استرپ برای ضریب مرگومیر کل ماهی سفید نر، ماده و کل به ترتیب ۰/۷۷-۱/۲۷، ۰/۸۳-۰/۴۱۶ و ۰/۴۱۶-۰/۹۰۱ به دست آمد. رویکردهای پیشگیرانه اساس مدیریت‌های صیادی می‌باشند (Lewy and Nielsen, 2003). برآورد عدم قطعیت در مرگومیر کل برای ارزیابی ریسک استراتژی‌های مدیریتی حیاتی است (Haddon, 2011; Lewy and Nielsen, 2003). همچنین در این مطالعه نرخ مرگومیر کل در جنس نر بالاتر از جنس ماده بود (شکل ۴). در مطالعه شاهی‌فر (۱۳۹۸) روی مرگومیر کل ماهی سفید در استان گیلان و مازندران نیز نتایج نشان داد که میزان مرگومیر کل در جنس نر بالاتر از جنس ماده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در اکوسیستم‌های طبیعی ماده‌ها نسبت به نرها طول عمر بالاتری دارند (Austad, 2006; Lemaître et al., 2020; Gordon et al., 2017). علت این مسئله این است که مرگومیر طبیعی ماهیان (شکار توسط پرندگان و دشمنان طبیعی در اکوسیستم) بشدت وابسته به جنس است و ماهیان نر به میزان بسیار بیشتری صید می‌شوند. نتایج بعضی مطالعات نشان می‌دهد که ممکن است علت این امر درخشان تر بودن و تنوع رنگی بالاتر جنس نر ماهیان نسبت به جنس ماده باشد که توجه شکارچیان طبیعی ماهیان مانند پرندگان دریایی را به خود جلب می‌کند (Haas, 1976; Keppeler et al., 2016; Reichard and Polačik, 2019).

نتایج این مطالعه نشان داد که برای توصیف رشد گونه‌هایی مانند ماهی سفید نمی‌توان فقط با اتکا به مدل فون برتالنفی به درک صحیحی از نحوه رشد، سرعت رشد و طول بی‌نهایت این گونه تجاری و ارزشمند پی برد. همین مسئله در مورد پی بردن به میزان مرگومیر طبیعی و صیادی این گونه ارزشمند نیز صادق است. با توجه به اهمیت بالای اطلاعاتی مانند سرعت رشد، نوع رشد و مرگومیر در دستیابی به کلید مدیریت صحیح گونه‌ها به ویژه گونه‌هایی با اهمیت تجاری مانند ماهی سفید، نتایج این مطالعه این نکته را یادآوری می‌کند که صرفاً با اتکا به مدل‌هایی که در گذشته برای توصیف نحوه مرگومیر و زیست گونه‌ها استفاده می‌شد، نمی‌توان به مدیریت ذخایر این گونه پرداخت. همچنین باید اذعان داشت که در مورد تمامی مدل‌هایی که برای توصیف رشد و مرگومیر گونه‌های جانوری استفاده می‌شود، درجه‌ای از عدم اطمینان و قطعیت وجود دارد (Haddon, 2011; Mcallister et al., 1994; Walters et al., 2006).

منابع

- خانی پور، ع. ا. و ولی پور، ع. ر.، ۱۳۸۸. ماهی سفید جواهر دریای خزر، چاپ اول، انتشارات موسسه تحقیقات شیلات ایران، ۸۷ ص.
- دریا نبرد، غ. ر.، فضلی، ح. و پرافکنده حقیقی، ف.، ۱۳۹۴. فراوانی نسبی ماهی سفید در پره‌های صیادی دریای خزر، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، مجله علمی شیلات، ۲۴(۴): صفحات ۱۵۵-۱۴۵.
- رئیس، ه.، ۱۳۹۵. ارزیابی ذخایر و مدیریت صید کوسه چانه‌سفید (*Carcharhinus dussumieri*) با استفاده از مدل غیرقطعی شبیه‌سازی در صیدگاه‌های خلیج فارس و دریای عمان، رساله دکتری، دانشگاه هرمزگان، ۱۱۶ ص.

- شاهی‌فر، ر.، ۱۳۹۸. شبیه‌سازی آینده ذخایر ماهی سفید (*Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) با توجه به میزان صید (مجاز و غیرمجاز) و رهاسازی بچه ماهی با استفاده از مدل‌سازی آنالیز کاهش ذخایر (Depletionbased Stock Reduction Analysis) DB-SRA) در سواحل جنوبی دریای خزر، رساله دکتری، دانشگاه گنبدکاووس، ۱۰۳ ص.
- نیامندی، ن.، فاطمی، م. و تقوی، ا.، ۱۳۸۲. تعیین پارامترهای رشد و مرگ‌ومیر و حداکثر محصول قابل‌برداشت ماهی شوریده در آب‌های استان بوشهر (خلیج‌فارس)، مجله پژوهش و سازندگی، ۶۰: صفحات ۵۱-۶۴.
- عبدالملکی، ش.، ۱۳۸۵. بررسی روند تغییرات ماهی سفید دریای خزر (ایران)، مجله علمی شیلات ایران، ۱۵(۲): صفحات ۸۷-۱۰۰.
- عبدالملکی، ش. و غنی‌نژاد، د.، ۱۳۸۶. ارزیابی ذخایر ماهی سفید در سواحل ایرانی دریای خزر در سال بهره‌برداری ۱۳۸۳-۱۳۸۲، مجله علمی شیلات ایران، ۱۶(۱): صفحات ۱۱۴-۱۰۳.
- قشلاقی، پ.، وهاب‌نژاد، آ. و تقوی‌مطلق، س. ا. ا.، ۱۳۹۰. برآورد متغیرهای رشد نرخ مرگ‌ومیر تولید به ازای احیا زیست‌توده و تحلیل طول قابل‌برداشت ماهی سفید در جنوب دریای خزر، مجله علوم شیلاتی ایران، ۱۱(۱): صفحات ۴۸-۶۲.
- فضلی، ح.، دریا نبرد، غ. ر.، پور غلام، ر.، عبدالملکی، ش.، بندان، ع.، پور غلامی، ا. و صفوی، س. ا.، ۱۳۹۱. بررسی کیفی وضعیت ذخایر ماهی سفید در دریای خزر طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۰. مجله علمی شیلات ایران، ۲۱(۲): صفحات ۵۳-۶۴.
- فضلی، ح.، کر، د. و دریا نبرد، غ. ر.، ۱۳۹۳. پراکنش زمانی و مکانی ماهی سفید *Rutilus frisii kutum* در سواحل ایرانی دریای خزر، مجله علمی شیلات ایران، ۲۳(۱): صفحات ۷۵-۶۳.
- Austad, S. N., 2006.** Why women live longer than men: Sex differences in longevity. *Gender Medicine*, 3(2): 79–92.
- Burnham, K. P. and Anderson, D. R., 2001.** Kullback–Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. *Wildlife Research*, 28: 111–119.
- Chang, W. Y. B., 1982.** A statistical-method for evaluating the reproducibility of age-determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 1208–1210.
- Chen, S. and Watanabe, S., 1989.** Age dependence of natural mortality coefficient in fish populations dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55: 205–208.
- Evans, G. T. and Hoenig, J. M., 1998.** Testing and viewing symmetry in contingency tables, with application to readers of fish ages. *Biometrics*, 54: 620–629.
- Francis, R. I. C. C., 1995.** An alternative mark-recapture analogue of Schnute's growth model. *Fisheries Research*, 23: 95–111.
- Gillanders, B., Ferrell, D. J. and Andrew, N. L., 1999.** Ageing methods for yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*, and results from age- and size-based growth models. *Fishery Bulletin*, 97: 812–27.
- Gayanilo, F.C. and Pauly, D., 1997:** Computed information series fisheries, FAO-ICLARM stock assessment tools. Reference manual, Rome Italy, 262 p.
- Goldman, K. J. and Musick, J. A., 2006.** Growth and maturity of salmon sharks (*Lamna ditropis*) in the eastern and western North Pacific, and comments on back-calculation methods. *Fishery Bulletin*, 104: 278–292.
- Gordon, E. H., Peel, N. M., Samanta, M., Theou, O., Howlett, S. E. and Hubbard, R. E., 2017.** Sex differences in frailty: A systematic re-view and meta-analysis. *Experimental Gerontology*, 89: 30-40.
- Gunderson, D. R., 1980.** Using r-K selection theory to predict natural mortality. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 2266–2271.
- Gunderson, D. R. and Dygert, P. H., 1988.** Reproductive effort as a predictor of natural mortality rate. *Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. 44: 200–209.
- Gurung, B., 2018.** Gompertz stochastic differential equation growth model with discrete delay: application in forecasting all india marine and inland fish production. *Indian Journal of Fisheries*, 65(3): 95-98.
- Hoenig, J. M., 1982.** Estimating mortality rate from the maximum observed age. (mimeo). Bulletin 191. Fisheries Research Board of Canada, ICES. C.M./1982/D:5 10p.
- Hoenig, J. M. and Lawing W. D., 1982.** Estimating the total mortality rate using the maximum-order statistic for age. (mimeo), ICES C.M./1982/D: 7. 13p.

- Lemaître, J. F., Ronget, V., Tidière, M., Allainé, D., Berger, V., Cohas, A., Colchero, F., Conde, D. A., Garrat, M., Liker, A., Marais, G. A. B., Sheuerlein, A., Székely, T. and Gaillard, J. M., 2020.** Sex differences in adult lifespan and aging rates of mortality across wild mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117: 8546–8553.
- Haddon, M., Mundy, C. and Tarbath, D., 2008.** Using an inverse-logistic model to describe growth increments of blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in Tasmania. *Fishery Bulletin*, 106: 58–71.
- Haddon, M., 2011.** Modelling and quantitative methods in fisheries, CRC Press. 452pp.
- Haas, R., 1976.** Sexual selection in *Nothobranchius guentheri* (Pisces: Cyprinodontidae). *Evolution*, 30(3): 614–622.
- Jensen, A. L., 1996.** Beverton and holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 820–822.
- Katsanevakis, S. and Maravelias, C. D., 2008.** Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9: 178–187.
- Lewy, P. and Nielsen, A., 2003.** Modelling stochastic fish stock dynamics using Markov Chain Monte Carlo. *ICES Journal Marine Science*, 60: 743–752.
- McAllister, M. K., Pikitch, E. K., Punt, A. E. and Hilborn, R., 1994.** A Bayesian approach to stock assessment and harvest decisions using the sampling/importance resampling algorithm. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 51: 2673–2687.
- Mcgurk, M. D., 1986.** Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: role of spatial patchiness. *Marine Ecology Progress Series*, 34: 227–242.
- Keppeler, F. W., Cruz, D. A., Dalponti, G. and Mormul, R. P., 2016.** The role of deterministic factors and stochasticity on the trophic interactions between birds and fish in temporary floodplain ponds. *Hydrobiologia*, 773: 225–240.
- Pauly, D., 1980.** On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil / Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*. 39: 175–192.
- Pauly, D., 1983.** Some Simple Methods for the Assessment of Tropical Fish Stocks. *FAO Fisheries Technical Papers*. 234, Rome, 52 pp.
- Prajneshu, G., Ghosh, H., and Pandey, N. N., 2017.** Fitting of von Bertalanffy growth model: stochastic differential equation approach. *Indian Journal of Fish*, 64(3): 24–28.
- Reichard, M. and Polačik, M., 2019.** *Nothobranchius furzeri*, an ‘instant’ fish from an ephemeral habitat. *eLife*, 8: e41548.
- Ricker, W. E., 1975.** Computation and interpretation of biological statistics of fish populations, *Bulletine of the Fisheries Research Board of Canada*, 382 pp.
- Sparre, P. and Venema, S. C., 1998.** Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. *Manual FAO Fisheries Technical Papers*, 306, FAO, Rome, Italy. 407 pp.
- Ünal, D., Yeldan, H., Gül, E., Ergüç, and Adıyan, M., 2017.** Gompertz, logistic and brody functions to model the growth of fish species *Siganus rivulatus*. *Acta Biologica Turcica*, 30 (4): 140–145.
- Prajneshu, G and Venugopalan, R., 1999.** Von Bertalanffy growth model in a random environment. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, 56: 1026–30.
- Walters, C. J., Martell, S. J. and Korman, J., 2006.** A stochastic approach to stock reduction analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63: 212–223.