



شواهدی بر رد مدل ون برتالانفی برای برازش منحنی رشد کوسه نوک تیز (*Carcharhinus macloti*) با استفاده از تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های آماری غیرخطی

حسن صحرایی^۱، محمد هرسیج^۲، هادی رئیسی^{۳*}، محمد قلی زاده^۲، ضیاء کردجزی^۱، Hiroyuki Matsuda^۴

^۱ دانشجوی دکتری رشته تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۲ دانشیار گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۳ استادیار گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

^۴ استاد گروه اکولوژی دانشگاه ملی یوکوهاما ژاپن

<p>نوع مقاله: پژوهشی اصیل</p>	<p>چکیده</p> <p>برآورد دقیق پارامترهای رشد (K و L_{∞}) برای مدیریت صید و ذخایر ماهیان حیاتی است، زیرا مبنای ارزیابی پویایی جمعیت، تعیین میزان برداشت پایدار و جلوگیری از صید بی‌رویه را فراهم می‌کند. این مطالعه با هدف برآورد بهترین مدل رشد برای کوسه نوک تیز <i>Carcharhinus macloti</i>، از مهرماه ۱۳۹۸ تا اسفندماه ۱۴۰۰ در آب‌های شمال شرق خلیج فارس و شمال غرب دریای عمان انجام شد. در این مطالعه ۲۶۵ کوسه نوک تیز شامل، (ماده: ۱۵۶، و نر: ۱۰۹) مهرماه ۱۳۹۸ تا اسفندماه ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه و ثبت داده‌های زیست‌سنجی، داده‌های سنی به روش مستقیم و از طریق برش ستون مهره و خواندن حلقه‌های رشد زیر لوپ دوچشمی تهیه شد. سپس الگوی رشد با استفاده از مدل‌های آماری غیرخطی مختلف در نرم افزار پایتون نسخه ۳ و ۱۲ در محیط Jupyter Notebook و کتابخانه‌های متن باز Numpy و pandas مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. کوسه‌های نر و ماده دارای میانگین طول کل به ترتیب، $1/52 \pm 63/11$ و $2/11 \pm 68/59$ سانتیمتر و میانگین سنی، $1/2 \pm 3/74$ و $5/12 \pm 1/56$ سال بودند. کارایی مدل‌ها از طریق مقایسه ضرایب Akaike (AIC) ارزیابی شد. بر اساس مدل اطلاعات بیزی BIC، برازش بهینه منحنی رشد در جنس ماده، در مدل‌های لجستیک، گامپرتز و اشنوت مشاهده شد در حالی که تفاوت معنی‌داری بین این سه مدل مشاهده نشد ($16/23 \leq AIC \leq 15/56$). در مدل ون برتالانفی میزان پارامترهای K، L_{∞} و t_0 برای جنس نر و ماده به ترتیب، $109/77$ سانتیمتر، $0/253$ در سال و $1/07 -$ و برای جنس ماده به ترتیب، $110/7$ سانتیمتر، $0/248$ در سال و $1/07 -$ بدست آمد. اما این مدل BIC و AIC کمترین اعتبار را بدست آورد. برای کوسه‌های نر نیز مدل‌های رشد گامپرتز، لجستیک و اشنوت بالاترین اعتبار را برای توصیف الگوی رشد ارائه کردند ($7/31 \leq AIC \leq 6/019$). نتایج این تحقیق را آشکار می‌سازد که برخلاف باور عموم، مدل ون برتالانفی برای برازش بهینه منحنی رشد در تمامی گونه‌های ماهیان حداکثر کارایی را ندارد و حداقل برای گونه مورد بررسی در این تحقیق باید از مدل‌های لجستیک، گامپرتز و اشنوت استفاده گردد.</p> <p>واژه‌های کلیدی: کوسه نوک تیز، مدل رشد چند جمله‌ای، مدل رشد اشنوت، مدل رشد گامپرتز، مدل رشد لجستیک.</p>
<p>تاریخچه مقاله</p> <p>دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶</p>	
<p>نویسنده مسئول مکاتبه: هادی رئیسی، استادیار گروه شیلات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.</p> <p>ایمیل: Raeisi_hadi@yahoo.com</p>	

مقدمه

حساسیت کوسه ماهیان به بهره‌برداری بیش از حد به واسطه تاریخچه زندگی و ویژگی‌هایی همچون لقاح درونی، رشد آهسته، بلوغ دیر رس، چرخه‌های تولید مثلی طولانی و طول عمر و باروری پایین آنهاست که بیشتر به پستانداران بزرگ شبیه می‌باشند تا ماهیان استخوانی (Miller et al., 2015). به طور کلی کوسه‌ها در مقایسه با ماهیان استخوانی همچون تن‌ماهیان صید شده در مناطق ساحلی و دریاهای آزاد، بدیالیی همچون اطلاعات و آمار کاملاً محدود در مورد صید، میزان فراوانی در هر منطقه و تاریخچه زندگی به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند (Musyl MK, Gilman, 2018). از طرفی دیگر بواسطه اینکه بیشتر کوسه ماهیان به عنوان شکارچیان برتر در اکوسیستم‌های دریایی عمل می‌کنند و بدلیل فراوانی کمتر نسبت به بسیاری از ماهیان استخوانی اغلب از اهداف صیادی در مقیاس بزرگ نیز هستند، بنابراین بسیار مستعد صید بی رویه هستند. در همین راستا برخی از مطالعات صورت گرفته در رابطه با تجارت کوسه ماهیان نیز نشان می‌دهد که صید فعلی برخی از گونه‌ها مانند کوسه آبی بسیار بیشتر از میزان صید گزارش شده به سازمان غذا و کشاورزی (FAO) و سازمان‌های مدیریت منطقه‌ای شیلاتی بوده است (Clarke, 2003; Clarke et al., 2006). طی دو دهه گذشته صید کوسه ماهیان خصوصاً در مقیاس صنعتی در سراسر جهان رشد فوق العاده‌ای را تجربه کرده‌اند. به طوریکه علاوه بر منابع صید مستقیم، این گونه‌آزبان اغلب بصورت صید ضمنی و ناخواسته نیز بصورت توده‌های عظیم در ابزارهای صیادی مربوط به تن‌ماهیان گرفتار میشوند، که این عمل خود به خود منجر به فشار بهره‌برداری بی‌سابقه‌ای بر بسیاری از جمعیت‌های کوسه ماهیان شده است (Poisson et al., 2012).

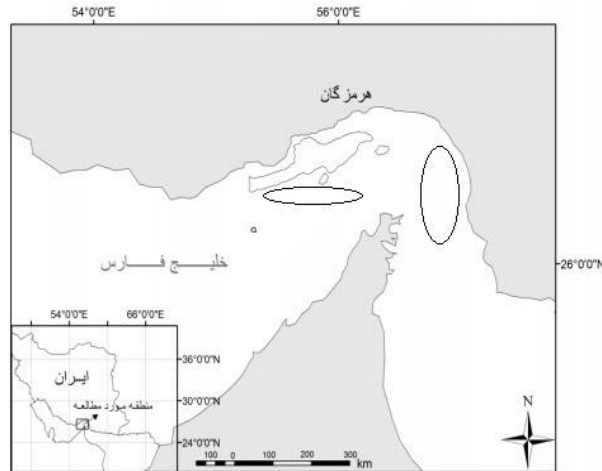
خانواده *Carcharhinidae* یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین خانواده‌های کوسه ماهیان در دنیا می‌باشد. در بین کوسه‌های دنیا سومین خانواده و در مناطق گرمسیری از لحاظ تنوع گونه‌ای، فراوانی و مقدار توده‌ی زنده غالب‌ترین گونه می‌باشد (Fischer and Bianchi, 1984). در این خانواده جنس *Carcharhinus* با داشتن حدود ۳۰ گونه انتشار جهانی داشته و در آب‌های گرم و معتدله غالب هستند. در

منطقه غرب اقیانوس هند ۲۱ گونه از این جنس وجود دارد که ۱۳ گونه آن از خلیج فارس و دریای عمان گزارش شده‌اند و در این بین، ۱۱ گونه از جنس مزبور مربوط به آب‌های استان هرمزگان می‌باشند.

کوسه نوک تیز (*Carcharhinus macloti*) از لحاظ ریخت‌شناسی یک کوسه باریک کوچک است که، حداکثر طول این گونه می‌تواند به ۱۱۰ سانتیمتر برسد (1994, Last and Stevens). دارای پوزه‌ای نوک تیز و بلند می‌باشد. کوسه نوک تیز زنده‌زاست، ماده‌ها یک یا دو بچه پس از یک دوره حاملگی ۱۲ ماهه دنیا می‌آورند. میزان تولیدمثل کم آنها باعث حساسیت و افزایش فشار صیادی و آسیب سراسری به دامنه زندگی آنها می‌شود. اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) این گونه را جز گونه‌های نزدیک به خطر انقراض طبقه‌بندی کرده است (Compagno and Niem, 1998).

در مطالعه (Raesi (2016)، روی روند انقراض کوسه چانه سفید در خلیج فارس مشخص شد که جمعیت کوسه چانه سفید بین سال‌های ۲۰۴۵ تا ۲۰۵۵، در ۳ صورت ادامه وضع موجود منقرض خواهد شد. یکی از دلایل روند انقراض سریع جمعیت کوسه در خلیج فارس رشد نگران‌کننده صید قاچاق می‌باشد. در سال‌های اخیر میزان شناورهای صید غیر مجاز در خلیج فارس افزایش چشمگیری داشته است. سازمان شیلات ایران و محیط زیست، صید کوسه را ممنوع اعلام کرده‌اند. اما جمعیت کوسه‌ها در خلیج فارس از مسله IUU FISHING رنج می‌برد (daliri, 2016). فقدان مدیریت مشارکتی، تعارض منافع و ضعف حاکمیت پذیری در جامعه صیادی سبب شده است که برنامه‌های موجود نتواند اثر معنی داری بر نجات ذخایر کوسه ماهیان از روند انقراض داشته باشد (Daliri, Ghayomi 2020, Kamrani, 2020). (2016).

به طور کلی با توجه مطالب ذکر شده در فوق، هنگامی که اطلاعات و داده‌های مربوط به صید یک گونه هر چند بمقدار اندک در دسترس و قابل ارزیابی و تجزیه و تحلیل باشد، آنگاه



شکل ۱- موقعیت منطقه صید کوسه نوک تیز در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان در محدوده استان هرمزگان

مدل‌های رشد بررسی شده

پنج مدل رایج برای رشد مورد مقایسه قرار گرفتند: فون برتالانفی، گامپرتز، لجستیک، اشنوت، و مدل چندجمله‌ای درجه سوم. فرمول‌های این مدل‌ها به شرح زیر هستند:

مدل رشد فون برتالانفی

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

طول ماهی در سن t

L_{∞} طول بی‌نهایت (یا طول نهایی که ماهی به آن نزدیک می‌شود)

K ضریب رشد (نرخ رشد نسبی)

t_0 سنی که در آن رشد آغازین مشخص شده (نقطه انحنای منحنی)

این مدل تأکید بر نزدیک شدن تدریجی طول ماهی به طول بی‌نهایت را دارد بر اساس این مدل آبزیان در ابتدا زندگی رشد سریعی دارند ولی هر چه منحنی به سمت جلو حرکت می‌کند و با افزایش سن سرعت رشد کندتر و بطئی تر می‌گردد.

مدل رشد گامپرتز

$$L_t = L_{\infty} * \exp[e^{-k(t-t_0)}]$$

طول ماهی در سن t

L_{∞} طول بی‌نهایت (یا طول نهایی که ماهی به آن نزدیک می‌شود)

K ضریب رشد (نرخ رشد نسبی)

t_0 سنی که در آن رشد آغازین مشخص شده (نقطه انحنای منحنی)

طول کل با استفاده از تخته بیومتری از نوک پوزه تا نوک باله دم در حالتی که دم به سمت مرکز خم شده با دقت یک میلی‌متر و وزن کل نمونه‌ها به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. سپس تعیین جنسیت از طریق بررسی حضور گیره لفاق در نرها و عدم حضور آن در ماده‌ها صورت گرفت (Compagno, 1984). تعیین سن نمونه‌ها از روی چهار ستون مهره اول انجام گردید و بعد از آماده سازی و خشک کردن ستون مهره به وسیله دستگاه میکروتوم برش زده و نمونه‌های بدست آمده با استفاده از لوپ دوچشمی با بزرگمایی ۱۰ تا ۴۰ به تشخیص حلقه‌های سالیانه رشد در دو مرحله پرداخته شد (Cailliet and Goldman, 2004).

از یک رویکرد اطلاعاتی-تئوریک به نام استنتاج چند مدلی (MMI) 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 برتالانفی (VB)، یک نسخه سه پارامتری از معادله Gompertz (GOM) و منحنی رشد لوجستیک (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 غیر خطی در نرم افزار اکسل و پایتون برازش شدند.

(منحنی)

اساس این مدل بر رشد نامتقارن است. مفروض این مدل نیز کند شدن رشد در سنین بالاتر است. مدل گامپرتز معمولاً در موجوداتی که در ابتدای زندگی رشد سریع دارند و سپس روند رشد کند می گردد پاسخ خوبی می دهد.

مدل رشد لجستیک

$$L(t) = \frac{L_{\infty}}{1 + e^{-k(t-tm)}}$$

طول ماهی در سن t

L_{∞} طول بی نهایت (یا طول نهایی که ماهی به آن نزدیک می شود)

K ضریب رشد (نرخ رشد نسبی)

tm = نقطه عطف سن

مدل لجستیک بر رشد متقارن حول نقطه میانی سن tm که در واقع نقطه عطف منحنی می باشد تاکید دارد. در این مدل سرعت رشد در ابتدا و انتهای زندگی کندتر و سنین میانی زندگی کندتر است.

مدل رشد اشنوت

$$L_t = \left[L_b^1 + \frac{L_b^2 - L_b^1}{1 - e^{-a(t_2-t_1)}} * (1 - e^{-a(t-t_1)}) \right]^{1/b}$$

L_1 و L_2 طول در سنین مرجع t_1 و t_2

a و b : پارامترهای مدل

مدل اشنوت یک مدل بسیار انعطاف پذیر است که می تواند شکل های مختلف منحنی های رشد (فون برتالنی، لجستیک یا گامپرتز) را دربرگیرد. این مدل تأکید بر کاربرد عمومی در تحلیل داده های رشد دارد حتی زمانی که مدل استاندارد مناسب نباشد.

مدل چندجمله ای درجه سوم و درجه دوم

این مدل بر پایه رگرسیون چندجمله ای است و از لحاظ زیستی تعبیر مستقیمی ندارد، اما برای برازش داده ها در شرایط خاص کاربرد دارد:

$$L(t) = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d$$

ضرایب a ، b ، c از طریق رگرسیون خطی برازش داده شدند. مدل چند جمله ای ساده و انعطاف پذیر است اما فاقد زیربنای بیولوژیکی مشخص بوده و بیشتر برای برازش داده ها به کار

می رود. مدل چند جمله ای صرفاً ریاضی و فاقد مبنای بیولوژیکی است.

برازش مدل ها

پارامترهای مدل ها با استفاده از روش کمترین مربعات غیرخطی برای چهار مدل اول، و رگرسیون خطی برای مدل چندجمله ای تخمین زده شدند. برای ارزیابی کیفیت برازش، از دو معیار «منفی لاگ لایکلی هود (NLL)» و «ضریب اطلاعات (AIC)» و مدل اطلاعات بیزی استفاده شد.

مقایسه مدل ها

کارایی مدل ها نسبت به یکدیگر با استفاده از ضریب اطلاعاتی Akaike (AIC) ارزیابی شد. بهترین مدل، مدلی است که کمترین مقدار AIC، AIC_{min} را دارد. تفاوت های AIC به صورت $\Delta AIC_i = AIC_i - AIC_{min}$ محاسبه شد و جهت حمایت از مدل های باقیمانده ($I=1-3$) نسبت به بهترین مدل رتبه گذاری شد. مدل هایی که ΔAIC_i آن ها بین ۰ تا ۲ بود، اعتبار اساسی داشتند، در حالی که مدل هایی که ΔAIC_i آنها بین ۴ تا ۷ بود بطور قابل توجهی اعتبار کمتری داشتند. مدل هایی با ΔAIC_i بالاتر از ۱۰ ضرورتاً هیچ گونه حمایتی نداشتند (Burnham and Anderson, 2001). وزن های Akaike (w) به صورت وزن گواه به نفع مدلی که بهترین مدل در مجموعه مدل های دلخواه است، محاسبه شدند (Burnham and Anderson, 2001). مقدار کمتر NLL و AIC نشان دهنده برازش بهتر مدل است. مدلی که کمترین مقدار AIC و BIC را داشته باشد، به عنوان بهترین توصیف کننده رشد کوسه نوک تیز در نظر گرفته شد. تمام محاسبات و ترسیم ها با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه های SciPy، NumPy، pandas، Matplotlib و openpyxl انجام شدند.

برای برازش مدل های رشد، از روش کمترین مربعات غیرخطی (Non-linear Least Squares) استفاده شد که بر پایه حداقل سازی مجموع مربعات تفاضل بین طول مشاهده شده و طول پیش بینی شده توسط مدل عمل می کند. این روش با استفاده از تابع بهینه سازی Levenberg-Marquardt در کتابخانه SciPy پیاده سازی شد. همچنین این مدل ها در نرم افزار اکسل نیز با استفاده از روش حداقل مربعات غیر خطی برازش گردید (Haddon, 2011):

OLS (Ordinary Least Squares) یا OLS و برازش بوسیله افزونه SOLVER در اکسل انجام شد.

برای مقایسه توزیع فراوانی طولی بین دو جنس نر و ماده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف دو نمونه ای استفاده شد.

نتایج

آمارهای توصیفی طولی و وزنی برای ۲۶۵ کوسه نوک تیز، شامل ۱۵۶ کوسه ماده و ۱۰۹ کوسه نر در صیدگاه‌های استان هرمزگان محاسبه شد (جدول ۱).

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

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

SSQ مجموع مربعات باقی مانده می‌باشد و از معیارهای مورد استفاده برای برازش، روش حداقل مربعات است. همچنین وجه تسمیه این روش آن 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).

برای مدل چندجمله‌ای، از رگرسیون خطی معمولی

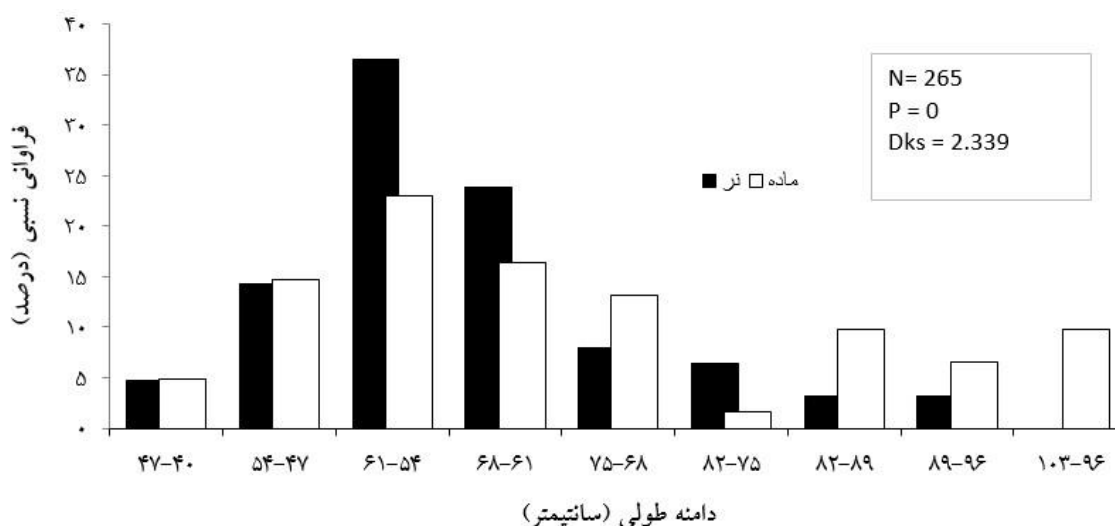
جدول ۱ - میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر طول کل (سانتی‌متر) و وزن کل (گرم) کوسه نوک تیز

پارامتر جنسیت	طول		وزن		خطای معیار	میانگین	خطای معیار
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر			
نر	۴۱/۲	۹۶/۱	۲۱۰	۳۳۰۰	۱/۵	۱۲۳۹/۳	۴۴/۷
ماده	۴۳/۵	۱۰۳	۴۱۲	۴۶۲۰	۲/۱	۱۵۹۰/۹	۵۱/۷
کل	۴۱/۲	۱۰۳	۲۱۰	۴۶۲۰	۱/۲	۱۳۷۹/۲	۳۵/۷

در این محاسبات طول و وزن جنین‌های آماده تولد خارج شده از کیسه رحمی کوسه نوک تیز گنجانده نشد.

دارد (D_{KS} = ۲/۳۳۲ ، N = ۲۶۵) (شکل ۲).

آزمون کولموگراف-اسمیرنوف نشان داد که بین توزیع فراوانی طولی دو جنس کوسه نوک تیز اختلاف معنی داری وجود



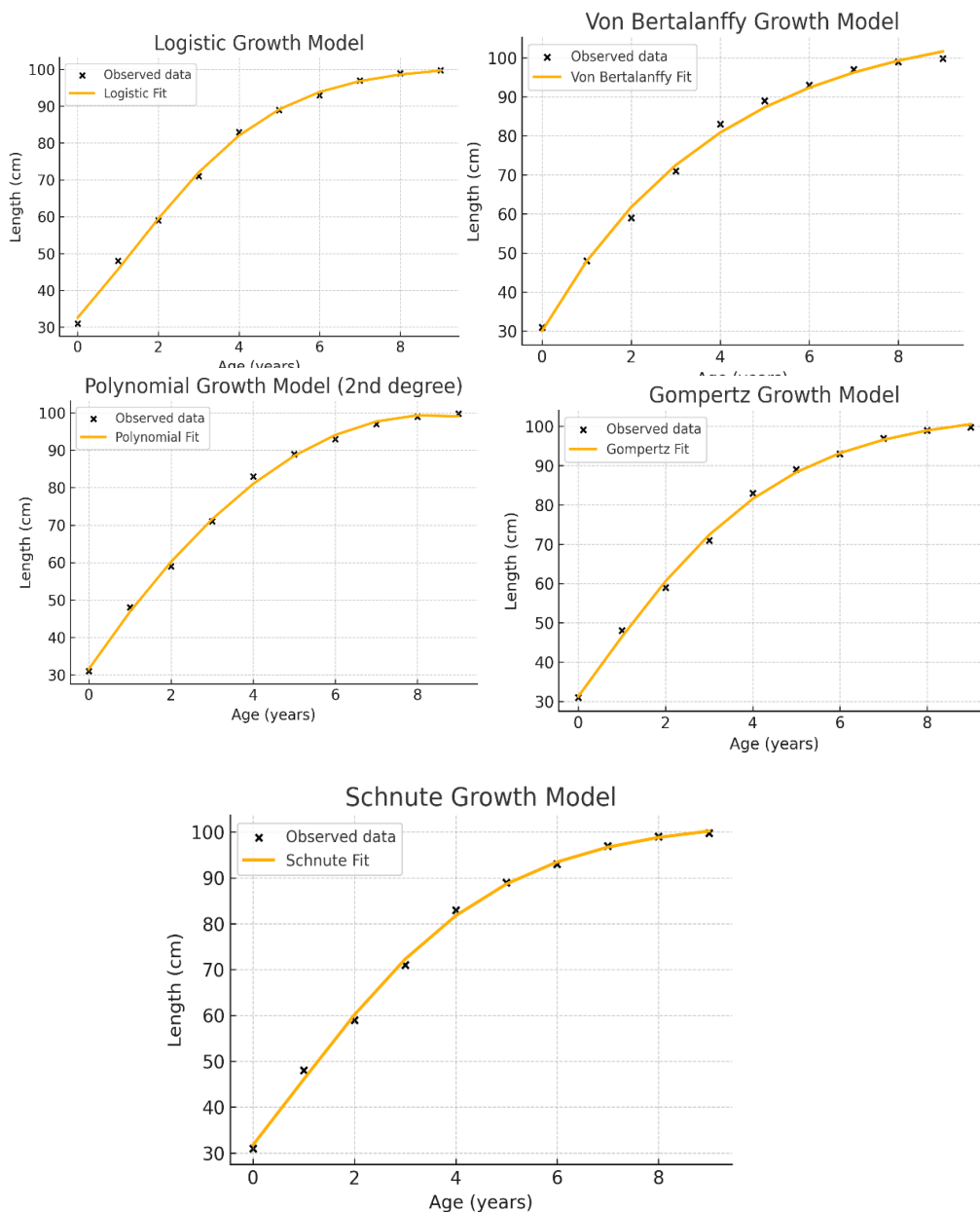
شکل ۲- مقایسه توزیع فراوانی طولی برای جنس نر و ماده کوسه نوک تیز در صیدگاه‌های استان هرمزگان

پارامترهای رشد

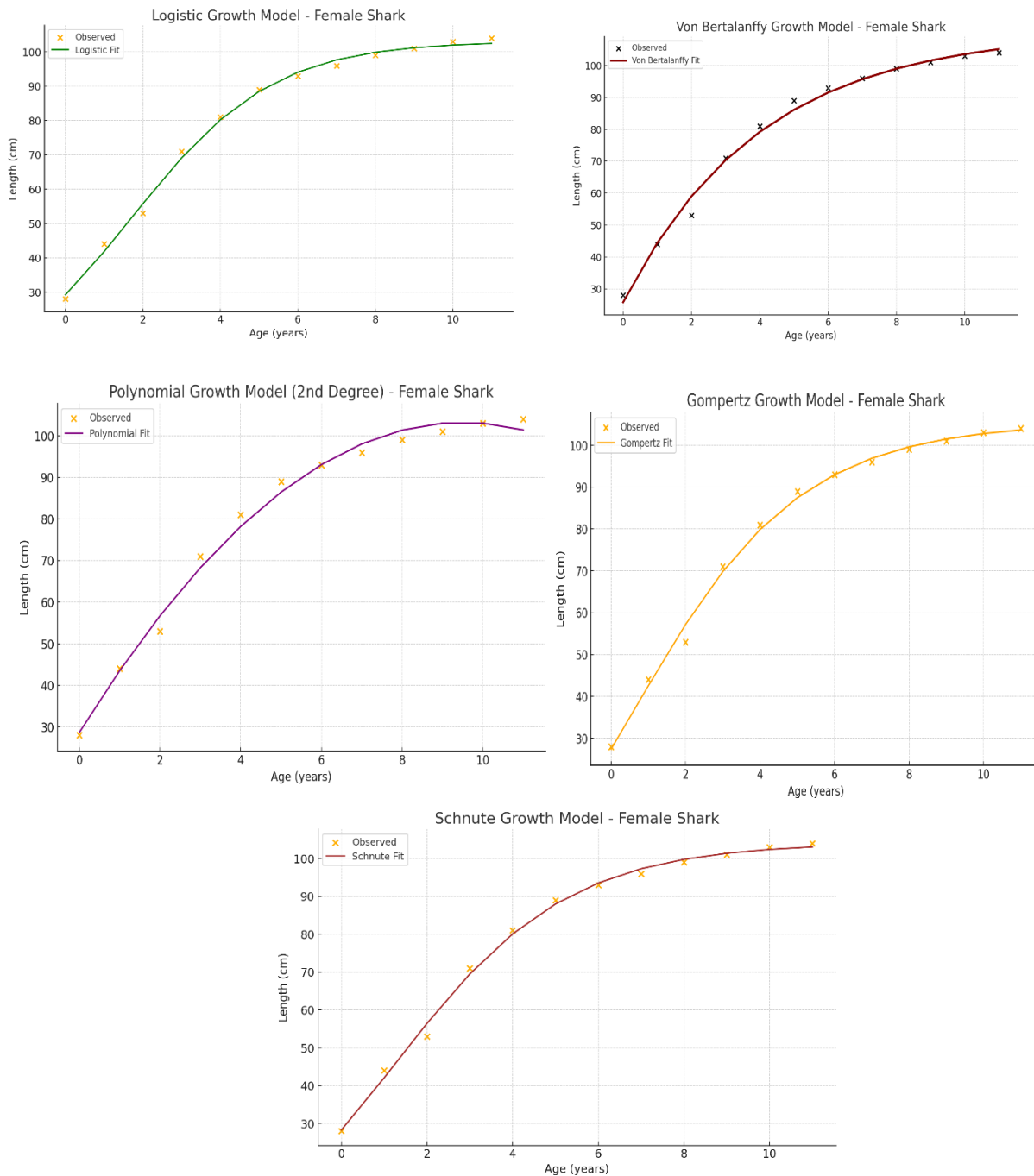
بعد از تعیین سن ستون مهره ها، ۱۱ گروه سنی در جنس ماده و ۸ گروه سنی در جنس نر مشاهده شد. بیشینه سن مشاهده شده برای جنس ماده کوسه نوک تیز ۱۱ سال بود که در طول کل ۱۰۳ سانتیمتر بدست آمد، همچنین بیشینه سن مشاهده شده برای جنس نر سن ۸ سال بود که این ستون مهره متعلق به کوسه ای با طول کل ۹۶/۱ سانتیمتر بود.

رویکرد چند مدلی برای مطالعه رشد

در این مطالعه از ۵ مدل لجستیک، گامپرتز، اشنوت، فون برتالنی و چند جمله ای برای ترسیم منحنی های رشد جنس ماده و نر کوسه نوک تیز در منطقه مورد مطالعه در آب های خلیج فارس و دریای عمان در نرم افزار پایتون و استفاده از کتابخانه های علمی `numpy` و `pandas` استفاده شد (شکل ۳ و شکل ۴).



شکل ۳: منحنی های رشد ترسیم شده توسط مدل های مورد بررسی برای جنس نر کوسه نوک تیز در آب های استان هرمزگان



شکل ۴: منحنی های رشد ترسیم شده، برای کوسه نوک تیز ماده در آب های خلیج فارس و دریای عمان

مدل نشان داد اما مدل گامپرتز و اشنوت نیز برای توصیف نحوه تغییرات طول به سن جنس ماده کوسه نوک تیز اعتبار بسیار بالایی را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان داد که استفاده از مدل فون برتالانفی برای توصیف رشد کوسه نوک تیز ماده هیچ اعتبار علمی ندارد (جدول ۲).

بررسی ۵ منحنی رشد از طریق ضریب اطلاعاتی AIC مدل اطلاعاتی بیزین BIC نشان داد که با اینکه بهترین تخمین را مدل لجستیک برای توصیف نحوه رشد جنس ماده نشان می دهد و بهترین برازش را داده های طول-سن بدست آمده از تعیین سن ستون مهره های جنس ماده کوسه نوک تیز با این

سال بدست آمد. میزان پارامترهای طول بی نهایت L_{∞} ، ضریب رشد K و t_0 برای جنس نر نیز بعد از برازش به روش حداقل مربعات غیر خطی به ترتیب، $103/9$ سانتیمتر، $0/4$ در سال و $0/46$ بدست آمد. نتایج این مدل نشان داد که مدل فون برتالنفی برای توصیف نحوه رشد کوسه نوک تیز در هر دو جنس هیچ اعتباری ندارد (جدول ۲).

برای کوسه نوک تیز نر به ترتیب مدل های رشد گامپرتز، لجستیک و اشنوت نیز با اعتبار بالا میتوان برای توصیف نحوه رشد کوسه نوک تیز نر استفاده کرد. میزان پارامترهای طول بی نهایت L_{∞} ، ضریب رشد K و نقطه عطف سن tm برای مدل لجستیک به عنوان بهترین مدل برای جنس ماده بعد از برازش به ترتیب، $106/11$ سانتیمتر، $0/34$ در سال و $1/7$

جدول ۲: مقایسه سه مدل رشد برای کوسه نوک تیز نر، ماده صید شده در صیدگاه های استان هرمزگان واقع در شمال شرق خلیج فارس و شمال غرب دریای عمان. ΔAIC اختلاف بین میزان AIC بین بهترین مدل و هریک از مدل ها است. بیزین AIC (BAIC) نیز برای مدل ها محاسبه شد. tm : نشان دهنده نقطه عطف سن در مدل لجستیک بود.

جنس	مدل	تعداد	BAIC	AIC	پارامترها	NLL
ماده	VB3	۱۵۶	۲۶/۱۷	۲۴/۷۱	$L_{\infty} = 110/7$ $K = 0/248$ $t_0 = -1/07$	-۲۶/۳۸
	GOM	۱۵۶	۱۷/۰۱	۱۵/۵۶	$L_{\infty} = 105/49$ $K = 0/395$ $t_0 = -0/740$	-۲۱/۸۰
	LOG	۱۵۶	۱۶/۹۷	۱۵/۵۲	$L_{\infty} = 106/11$ $K = 0/34$ $tm = 1/7$	-۲۱/۷۸
	Schnute	۱۵۶	۱۸/۰۷	۱۶/۲۳	$y_1 = 28/3$ $y_2 = 103/06$ $a = 0/446$ $b = 0/474$	-۲۱/۱۴
	Polynomial	۱۵۶	۲۶/۰۹	۲۴/۶۳	$a = -0/825$ $b = -15/69$ $c = 28/65$	-۲۶/۳۴
نر	VB3	۱۰۹	۱۵/۰۵	۱۴/۵	$L_{\infty} = 109/77$ $K = 0/253$ $t_0 = -1/26$	-۱۸/۲۶
	GOM	۱۰۹	۷/۰۶	۶/۰۱۹	$L_{\infty} = 103/9$ $K = 0/40$ $t_0 = -0/46$	-۲۴/۲۴
	LOG	۱۰۹	۷/۹۶	۷/۰۵	$L_{\infty} = 101/17$ $K = 0/550$ $tm = -1/35$	-۱۴/۷۱
	Schnute	۱۰۹	۸/۱۵	۷/۳۱	$y_1 = 31.75, y_2 = 100.2,$ $a = 0.458, b = -0.01$	-۱۳/۸۴
	Polynomial 2	۱۰۹	۶/۷۱	۵/۸۱	$Lt = 0.97t^2 + 16.27t + 31.50$	-۲۴/۰۹

شاخص فای پریم مونرو Φ برای جنس نر و ماده به ترتیب $3/44$ و $3/36$ بدست آمد.

$$\phi = \log 0.395 + 2\log 105 = 3/63 \text{ ماده}$$

$$\phi = \log 0.55 + 2\log 101.17 = 3/74 \text{ نر}$$

بحث

نظیر اصلاح چشمه تور، ممنوعیت صید در نواحی حساس، و اعمال محدودیت بر صید نابالغین پیشنهاد می‌شود.

همچنین این امر ممکن است به قابلیت انتخاب پذیری ابزار صید و اثرات مرگ و میر صیادی بر دامنه های طولی خاص به علت انتخاب پذیری چشمه تور و یا سایر ادوات صیادی نظیر ساینز قلاب و غیره باشد (Walker et al. 1998; Thorson and Simpfendorfer 2009).

اختلاف سن بدست آمده در این مطالعه برای کوسه نوک تیز نر و ماده ۳ سال بدست آمد. در مطالعات دیگر روی گونه های خانواده Carcharhinidae، اختلاف سن ۳ تا ۵ سال بین دو جنس نر و ماده مشاهده شده است (Harry 2013, Raeisi et al., 2016., Raeisi et al, 2017, Pordelan, 2022).

به علت فقدان مطالعه مشابه روی پارامترهای رشد کوسه چانه سفید میزان K و L_{∞} با گونه هایی از جنس Carcharhinus مقایسه شد (جدول ۳).

بر اساس گزارش‌های جهانی، حداکثر طول ثبت شده برای گونه *Carcharhinus macroti* در FishBase. ۱۱۰ سانتیمتر ذکر شده است در مورد حداقل طول صید شده گزارشی ذکر نشده است. دامنه طولی نمونه‌های جمع آوری شده در این مطالعه نرها در محدوده 41.1-96.1 سانتی متر و ماده‌ها در محدوده 43-103 سانتی‌متر قرار داشتند. این دامنه نشان می‌دهد که داده‌های جمع‌آوری شده پوشش طولی مناسبی دارند، هرچند تمایل به سمت نمونه‌های نابالغ بیشتر است. این موضوع می‌تواند توضیح دهد که چرا مدل فون برتالانفی در بسیاری از موارد برازش ضعیفی داشت. (Simpfendorfer et al. 2002; Braccini et al. 2007, Raeisi, 2016).

از سوی دیگر، صید این گونه با مخاطرات جدی همراه است زیرا اغلب نابالغین صید می‌شوند. انتخاب‌پذیری ادوات صیادی مانند چشمه تور یا اندازه قلاب نقش تعیین‌کننده‌ای در این مسئله دارد. برای کاهش این تهدیدات، راهکارهایی

جدول ۳: پارامترهای رشد طول بی نهایت بر حسب سانتیمتر (L_{∞})، ضریب رشد سالیانه K و شاخص ϕ' ، برای گونه های مختلف خانواده carcharhinidae در مناطق نزدیک به منطقه مورد مطالعه

نویسنده	مکان	ϕ'		K		L_{∞}		گونه
		ماده	نر	ماده	نر	ماده	نر	
Harry و همکاران (۲۰۱۳)	استرالیا	۳/۷۱	۴	۰/۳۳	۰/۹۱	۱۲۶/۶	۱۰۵/۶	<i>C. tilstoni</i>
Harry و همکاران (۲۰۱۳)	استرالیا	۳/۵۸	۳/۶	۰/۰۸	۰/۱۴	۲۱۸/۸	۱۶۹/۸	<i>C. sorrah</i>
Natanson و همکاران (۲۰۱۴)	آمریکا	۳/۵۵	۳/۷	۰/۰۶	۰/۱	۱۸۰	۱۸۹	<i>Carcharhinus leucas</i>
Killam and Parson (1989)	Tampa bay (فلوریدا)	۳/۸۷	۳/۸۸	۰/۲۰	۰/۲۸	۱۶۰	۱۳۴	<i>Carcharhinus limbatus</i>
Walter and Ebert (1991)	افریقای جنوبی	۳/۷۵		۰/۰۴		۳۸۵		<i>Carcharhinus brachyurus</i>

از جنس Carcharhinus در مناطق مختلف جهان مقایسه شدند. نتایج نشان داد که شاخص فای پرایم (ϕ') در این مطالعه نرمال بوده و صحت برآوردها را تأیید می‌کند.

مقایسه شاخص فای پرایم مونرو بیانگر نرمال بودن توزیع آن و نشانگر صحت K و L_{∞} برآورد شده است. پارامترهای بهینه برآورد شده (L_{∞}) و (K) با گزارش‌های سایر گونه‌های نزدیک

et al, 2017, Pordelan, 2022). عملکرد خوب مدل گامپرتز در تحلیل رشد نمونه ها ممکن است به علت انعطاف پذیری نمودار گامپرتز باشد.

اگرچه مدل چند جمله ای درجه سوم بهترین نمره ضریب اطلاعاتی AIC و مدل اطلاعاتی بیبین BIC را بدست آورد اما باید توجه کرد چون پارامترهای مدل چند جمله ای درجه دوم فاقد تفسیر زیستی است استفاده از این مدل، برای مدل سازی های جمعیتی و ارزیابی ذخایر آریان چندان توصیه نمی گردد. اما مدل های لجستیک و گامپرتز چون دارای پارامترهای قابل تفسیر زیستی مانند طول بی نهایت و ضریب رشد هستند و نمره بسیار بالایی در این مطالعه کسب کردند برای استفاده در مطالعات جمعیتی کوسه نوک تیز توصیه می گردند. همچنین چون مدل اشوت در این مطالعه دارای مقادیر نزدیک به صفر بود، استفاده از این مدل نیز بشدت توصیه می گردد. استفاده از معیارهای AIC و NLL کمک کرد تا مدل ها نه تنها بر اساس دقت، بلکه با در نظر گرفتن پیچیدگی نیز ارزیابی شوند .

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که دامنه طولی نمونه ها معتبر است، هر چند بیشتر شامل نابالغین بوده است. صید نابالغین تهدیدی جدی برای پایداری ذخایر محسوب می شود. بر اساس مقایسه مدل ها، استفاده از مدل های قابل تفسیر زیستی مانند لجستیک، گامپرتز و اشوت برای ارزیابی های جمعیتی توصیه می گردد. همچنین مقایسه با مطالعات جهانی نشان داد که نتایج حاضر همخوانی نسبی با دیگر گزارش ها دارد و می تواند مبنای علمی برای مدیریت ذخایر منطقه ای باشد.

تشکر و قدردانی

از پرسنل کشتی کیش ۶۰۲، کشتی فرزام، مدیریت محترم شیلات هرمزگان بخصوص دکتر عالی زاده و دکتر ساسان صادقی و صیادان محترم بندر صیادی سلخ نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

همچنین مقایسه ها نشان داد که پارامترهای رشد در محدوده مقادیر گزارش شده برای گونه های مشابه از استرالیا، آمریکا و آفریقای جنوبی قرار دارد.

در این مطالعه از طریق تعیین سن ستون مهره ها بیشترین سن برای جنس ماده ۱۱ سال و برای جنس نر ۸ سال بدست آمد. اما نتایج مطالعات روی گونه های مشابه نشان می دهد که نتایج تعیین سن ستون مهره ها در گونه های خانواده *Carcharhinidae* معمولاً یافته های علمی تر و دقیق تری نسبت به دیگر روش ها برای محققین فراهم می کند (Harry, et al, 2013). اما بعضی از مطالعات پیشنهاد کرده اند که از تلفیق چندین روش تعیین سن ستون مهره، تگ-گذاری و غیره بطور همزمان استفاده شود (Stevens et al, 2009, Last and Stevens, 2000). چون در تعیین سن ستون مهره ممکن است در سنین بالا حلقه های رشد بخوبی شکل نگیرند (Casey and Natansons, 1992). نتایج این مطالعه روی برازش مدل های رشد رایج بر روی داده های طول-سن بدست آمده از تعیین سن ستون مهره برای کوسه نوک تیز *Carcharhinus macloti* نشان داد که برخلاف دیدگاه رایج در مورد مدل فون برتالنفی این مدل برای توصیف مدل رشد جنس نر و ماده هیچ حمایت علمی را بدست نیاورد. مطالعات مشابهی در سال های اخیر نشان داده اند که مدل فون برتالنفی برای توصیف رشد گونه های کند رشد مانند کوسه ها غالباً منطبق بر داده های زیستی واقعی نیست (Haddon, 2011, Raeisi, 2017, Simpfendorfer et al., 2002; Pordellan, 2022).

نتایج حاصل از تحلیل پنج مدل رشد متفاوت بر روی داده های طول-سن کوسه نوک تیز (*Carcharhinus macloti*) در آب های خلیج فارس و دریای عمان، تفاوت های معناداری را در دقت برازش مدل ها نشان داد. مدل های لجستیک، گامپرتز و اشوت توانستند الگوی رشد-S شکل کوسه نوک تیز ماده را به خوبی توصیف نمایند. این یافته با توجه به ویژگی های زیستی کوسه ها از جمله رشد سریع در سنین اولیه و کاهش آن در سنین بالاتر قابل توجیه است (Walker 1998, Harry 2013, Raeisi et al., 2016., Raeisi

References

- Asadi, H. (2001). Atlas of the Persian Gulf & Sea of Oman fishes. Iran Fisheries Research Organization. (In Persian)
- Cailliet, G. M., & Goldman, K. J. (2004). Age determination and validation in chondrichthyan fishes. In J. C. Carrier, J. A. Musick, & M. R. Heithaus (Eds.), *Biology of Sharks and Their Relatives* (pp. 399–447). CRC Press.
- Campana, S. E., Joyce, W., Marks, L., Hurley, P., Natanson, L. J., Kohler, N. E., Jensen, C. F., Mello, J. J., Pratt Jr., H. L., Myklevoll, S., & Harley, S. (2008). The rise and fall (again) of the porbeagle shark population in the Northwest Atlantic. In M. D. Camhi, E. K. Pikitch, & E. A. Babcock (Eds.), *Sharks of the open ocean: Biology, fisheries and conservation* (pp. 240–256). Blackwell Publishing.
- Casey, J. G., & Natanson, L. J. (1992). Revised estimates of age and growth of the sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*) from the western North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(7), 1474–1477.
- Clarke, S. (2003). *Quantification of the trade in shark fins* [Ph.D. thesis, Imperial College London]. London, UK: Imperial College.
- Clarke, S., Magnusson, J. E., Abercrombie, D. L., McAllister, M., & Shivji, M. S. (2006). Identification of shark species composition and proportion in the Hong Kong shark fin market using molecular genetics and trade records. *Conservation Biology*, 20(1), 201–211.
- Compagno, L. J. V. (1984). FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. Part 2 - Carcharhiniformes. FAO Fisheries Synopsis No. 125, Vol. 4(2), 251–655.
- Compagno, L. J. V., & Niem, V. H. (1998). FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Volume 2. Cephalopods, crustaceans, holothurians and sharks. FAO, Rome.
- Daliri, M. (2016). The status of shark fisheries in the Persian Gulf: challenges and illegal fishing. *Marine Conservation Reports*, 8(2), 55–63. (In Persian)
- 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>
- Ghayomi, A. (2020). Participatory management failures in shark conservation in southern Iran. *Iranian Fisheries Review*, 11(2), 99–113. (In Persian)
- Haddon, M. (2011). *Modelling and quantitative methods in fisheries* (2nd ed.). CRC Press.
- Harry, A. V., Tobin, A. J., & Simpfendorfer, C. A. (2013). Age, growth and reproductive biology of the spot-tail shark, *Carcharhinus sorrah*, from the Great Barrier Reef World Heritage Area, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 64(1), 60–72.
- Kamrani, E. (2020). Governance and stakeholder conflict in small-scale shark fisheries. *Iranian Journal of Marine Policy*, 4(1), 77–90. (In Persian)
- Killam, K. A., & Parsons, G. R. (1989). Age and growth of the blacktip shark, *Carcharhinus limbatus*, from the east coast of Florida. *Copeia*, 1989(1), 107–109.
- Lande, R., Engen, S., & Sæther, B.-E. (2003). *Stochastic population dynamics in ecology and conservation*. Oxford University Press.
- Last, P. R., & Stevens, J. D. (1994). *Sharks and Rays of Australia*. CSIRO Publishing.
- Last, P. R., & Stevens, J. D. (2009). *Sharks and rays of Australia* (2nd ed.). CSIRO Publishing.
- McAllister, M. K., Pikitch, E. K., & Babcock, E. A. (2008). Why are Bayesian methods useful for the stock assessment of sharks? In M. D. Camhi, E. K. Pikitch, & E. A. Babcock (Eds.), *Sharks of the open ocean: Biology, fisheries and conservation* (pp. 302–317). Blackwell Publishing.
- Miller, P. I., Scales, K. L., Ingram, S. N., Southall, E. J., & Sims, D. W. (2015). Basking sharks and oceanographic fronts: Quantifying associations in the north-east Atlantic. *Functional Ecology*, 29(8), 1099–1109. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12423>
- Mohammadi, M., Raeisi, H., & Pordelan, M. (2023). Spatio-temporal assessment of shark landings in Hormozgan. *Iranian Journal of Fisheries Research*, 15(1), 21–35.

- Musyl, M. K., & Gilman, E. L. (2018). Post-release fishing mortality of blue (*Prionace glauca*) and silky shark (*Carcharhinus falciformis*) from a Palauan-based commercial longline fishery. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 28(3), 567–586. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9517-2>
- Poedelan, A. R., Raeisi, H., Alijanpour, S., Haghparast, S., & Bahlakeh, A. (2022). Growth modelling of milk shark, *Rhizoprionodon acutus* (Rüppell, 1837) from waters of the Persian Gulf and Oman Sea (Hormozgan province). *Journal of Applied Ichthyological Researches*, 10(1), 41–50.
- Poisson, F., Filmlalter, J.-D., Vernet, A.-L., & Laurent, D. (2014). Mortality rate of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) caught in the tropical tuna purse seine fishery in the Indian Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(6), 795–805. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0561>
- Queiroz, N., Humphries, N. E., Noble, L. R., Santos, A. M., & Sims, D. W. (2012). Spatial dynamics and expanded vertical niche of blue sharks in oceanographic fronts reveal habitat targets for conservation. *PLoS ONE*, 7(2), e32374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032374>
- Raeisi, H. (2016). *Stock assessment and management of Carcharhinus dussumieri by using stochastic modeling from fishing grounds in the Persian Gulf and Oman Sea* [Ph.D. dissertation, Hormozgan University]. (In Persian)
- Raeisi, H., Kamrani, E., Patimar, R., & Sourinezhad, I. (2017). Investigating reproductive cycle of whitecheek shark *Carcharhinus dussumieri* (Müller & Henle, 1839) in Hormozgan waters, Persian Gulf. *Journal of Applied Ichthyological Researches*, 5(2), 17–30.
- Thorson, J. T., & Simpfendorfer, C. A. (2009). Gear selectivity and sample size effects on growth curve selection in shark age and growth studies. *Fisheries Research*, 98(1–3), 75–84.
- Walker, T. I., Taylor, B. L., Brown, L. P., & Punt, A. E. (2008). Embracing movement and stock structure for assessment of *Galeorhinus galeus* harvested off southern Australia. In M. D. Camhi, E. K. Pikitch, & E. A. Babcock (Eds.), *Sharks of the open ocean: Biology, fisheries and conservation* (pp. 339–361). Blackwell Publishing.
- Walter, J. P., & Ebert, D. A. (1991). Preliminary estimates of age and growth of the copper shark, *Carcharhinus brachyurus*, from South Africa. *South African Journal of Marine Science*, 11(1), 45–52.

نحوه استناد به مقاله:

حسن صحرایی ح، هرسبیج م، رئیس هی، قلی زاده م، کردجزی ض، ماتسودا ه. شواهدی بر رد مدل ون برتالنفی برای برازش منحنی رشد کوسه نوک تیز (*archarhinus macloiti*) با استفاده از تحلیل مقایسه ای مدل های آماری غیرخطی. نشریه پژوهش های ماهی شناسی کاربردی. دانشگاه گنبد کاووس. ۱۴۰۴. ۱۳(۴): ۴۹-۶۲.

Sahraei H., Hersij M., Raeisi H., Gholizadeh M., Kordjazzi Z., Matsuda H. Evidence Against the von Bertalanffy Growth Model for Fitting the Growth Curve of the Sharpnose Shark (*Carcharhinus macloiti*) Using a Comparative Analysis of Nonlinear Statistical Models. *Journal of Applied Ichthyological Research*, University of Gonbad Kavous. 2025, 13(4): 49-62.



Evidence Against the von Bertalanffy Growth Model for Fitting the Growth Curve of the Sharpnose Shark (*Carcharhinus macloiti*) Using a Comparative Analysis of Nonlinear Statistical Models

Hassan Sahraei¹, Mohammad Hersij², Hadi Raeisi^{*3}, Mohammad Gholizadeh², Zia Kordjazzi³, Hiroyuki Matsuda⁴

¹Ph.D. Candidate, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

²Associate Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

³Assistant Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

⁴ Professor, Department of Ecology, Yokohama National University, Yokohama, Japan

Type: Original Research Paper	Abstract Fisheries, as it provides the basis for assessing population dynamics, determining sustainable harvest levels, and preventing overfishing. This study aimed to estimate the best growth model for the sharpnose shark (<i>Carcharhinus macloiti</i>), conducted from October 2019 to March 2022 in the northeastern Persian Gulf and northwestern Oman Sea. A total of 265 sharpnose sharks were collected (females: 156, males: 109) during the study period. After transferring to the laboratory and recording biometric data, age data were obtained directly through sectioning of vertebrae and reading growth rings under a binocular microscope. Growth patterns were then analyzed using different nonlinear statistical models in Python version 3.12 within the Jupyter Notebook environment, applying open-source libraries such as NumPy and pandas. The mean total length of males and females was 63.11 ± 1.52 cm and 68.59 ± 2.11 cm, respectively, while their mean ages were 3.74 ± 1.2 and 5.12 ± 1.56 years, respectively. Model performance was evaluated by comparing Akaike's Information Criterion (AIC). According to the Bayesian Information Criterion (BIC), the best fitting growth curves for females were observed in the Logistic, Gompertz, and Schnute models, with no significant differences among them ($15.56 \leq AIC \leq 16.23$). For the von Bertalanffy model, the estimated parameters for males and females were $L_{\infty} = 109.77$ cm, $K = 0.253$ yr ⁻¹ , $t_0 = -1.07$ and $L_{\infty} = 110.7$ cm, $K = 0.248$ yr ⁻¹ , $t_0 = -1.07$, respectively. However, this model showed the lowest validity based on both BIC and AIC. For males as well, the Gompertz, Logistic, and Schnute models provided the highest reliability in describing the growth pattern ($6.019 \leq AIC \leq 7.31$). These results reveal that, contrary to common belief, the von Bertalanffy model does not always provide the best fit for fish growth curves, and at least for the sharpnose shark studied here, Logistic, Gompertz, and Schnute models are more suitable.
Paper History: Received: 08-06-2025 Accepted: 27-06-2025	
Corresponding author: Raeisi H. Assistant Professor, Department of Fisheries Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. Email: Raeisi_hadi@yahoo.com	
Keywords: <i>Carcharhinus macloiti</i> , growth dynamics, statistical modeling, Gompertz model, non-linear regression, Persian Gulf	