نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی
Journal homepage: http://jair.gonbad.ac.ir
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه گنبد کاووس

# شبیه‌سازی رشد ماهی خیاطه، *Alburnoides eichwaldii* (De Filippi, 1863) با استفاده از مدل استاندارد DEB در رودخانه‌های کبودوال و زرین گل (استان گلستان)

فائقه ردایی[۱]، رسول قربانی*[۲]، حسین رحمانی[۳]، سارا حق‌پرست[۴]، عبدالعظیم فاضل[۵]، فاطمه عباسی[۶]، سعید اسماعیل‌پور[۶]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲] استاد، گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۳] دانشیار، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۴] استادیار، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
[۵] استادیار، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آبهای داخلی، گرگان، ایران
[۶] دانش آموخته دکترای تولید و بهره‌برداری آبزیان، گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

**نوع مقاله:**
پژوهشی اصیل

https://doi.org/10.22034/jair.10.3.5

**تاریخچه مقاله:**
دریافت: ۰۱/۰۲/۰۴
پذیرش: ۰۱/۰۴/۲۶

**نویسنده مسئول مکاتبه:**
رسول قربانی، استاد، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

ایمیل: rasulghorbani@gmail.com

**چکیده**

**تئوری تخصیص انرژی پویا (DEB)، میزان جذب انرژی توسط موجودات زنده و استفاده از آن در جهت محافظت از بدن، رشد و تولید مثل را توصیف می‌کند. مطالعه حاضر با انجام نمونه‌برداری از ماهیان خیاطه در رودخانه‌های زرین‌گل و کبودوال در استان گلستان صورت گرفت. نتایج نشان داد که مدل رشد DEB در دو رودخانه و نیز اختصاص کسری از انرژی برای نگهداری از بدن ($\kappa$)، بیش از ۰/۹ بود که نشان‌دهنده بالابودن سرعت رشد و کم بودن طول عمر در این گونه است. بیشینه نرخ ویژه جذب غذا در واحد سطح $\{\dot{p}_{Am}\}$ در ماهیان رودخانه کبودوال حدود سه برابر رودخانه زرین‌گل است. نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن، $[\dot{p}_M]$ برای رودخانه زرین‌گل نیز حدود ۳ برابر و بیشینه چگالی ذخیره انرژی $[E_m]$، حدود ۵ برابر کمتر از کبودوال است. بلوغ در زمان تولد $E_H^p$، در رودخانه زرین‌گل کمتر از کبودوال و بلوغ در زمان تولیدمثل $E_H^p$ در رودخانه زرین‌گل بیشتر از کبودوال است ولی ماهیان خیاطه در رودخانه کبودوال در زمان بلوغ دارای اندازه بزرگتر هستند. از طرفی بالاتر بودن مقدار هدایت انرژی $\vartheta$ در ماهی رودخانه زرین‌گل نسبت به رودخانه کبودوال به علت کم بودن چگالی انرژی است، و این ماهی در رودخانه زرین‌گل نیاز به انرژی کمتری برای نگهداری از بدن خود دارد. مدل استاندارد DEB از این جهت نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد که قادر است برای جنبه‌های متابولیسم فردی و جمعیتی جانوران، توصیفاتی کمّی و قابل اندازه‌گیری ارائه نماید.**

***واژه‌های کلیدی:***
**مدل‌های متابولیکی، تخصیص انرژی پویا، زیستگاه‌های رودخانه‌ای، روش کوواریاسیون**

## ۱ | مقدمه

تنوع یکی از ویژگی‌های کلی اکوسیستم‌های زیستی است که در تمام سطوح از مولکول‌ها تا اکوسیستم مشاهده می‌شود، زیرا درمعرض تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد قرار دارند. عوامل زیادی می‌توانند مسئول تغییرپذیری محیط باشند و مدل‌سازی برای مطالعه پیامدهای آن بر اکوسیستم‌ها ضروری است. مدل‌های پویایی جمعیت، ابزارهای ارزشمندی برای تجزیه و تحلیل و پیش بینی ارائه می‌دهند (Alunno-Bruscia *et al.*, 2009). از مدل‌های براساس قانون حفاظت از جرم و انرژی در زیست‌شناسی می‌توان برای ارزیابی و پیش‌بینی نحوه عملکرد محیط بر روی موجودات آبزی از طریق متابولیسم آنها و چگونگی تأثیر آن بر پویایی جمعیت استفاده کرد. تئوری تخصیص انرژی پویا (Dynamic Energy Budget) که به اختصار DEB نامیده می‌شود، مطالعه مکانیسم جذب و استفاده از انرژی به‌وسیله ارگانیسم‌های زنده است که بر سازماندهی فیزیولوژیکی و پویایی جمعیت‌ها و اکوسیستم‌ها تاثیر می‌گذارد (Nisbet *et al.*, 2000). بر اساس تعریف کویجمان (Kooijman, 2000)، تئوری DEB فرآیندهای انرژتیک در یک ارگانیسم را به‌وسیله ۳ متغیر حجم ساختاری (V)، میزان ذخیره انرژی (E) و انرژی مصرفی در تولیدمثل (E_R) تشریح می‌نماید. در این تئوری فرض می‌شود که؛ انرژی به‌دست آمده از محیط بی‌درنگ در بدن موجودات ذخیره می‌گردد و به‌تدریج صرف نگهداری از بدن، رشد، توسعه اندام‌ها و تولیدمثل می‌شود. تخصیص انرژی در بدن موجودات از



[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]
[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

قاعده κ پیروی می‌کند. در این قاعده فرض بر این است که همواره نسبت ثابتی از انرژی (κ) صرف نگهداری از بدن و رشد می‌گردد (Van der Meer, 2006) (شکل ۱).

پویایی ذخیره انرژی نقشی کلیدی در تئوری DEB بازی می‌کند و می‌توان بیان داشت که نرخ‌های جذب و گسیل انرژی و مواد برای استفاده‌های متابولیکی به همراه اختصاص این مواد گسیل شده به بخش‌های مختلف، سنگ بنای تئوری DEB را تشکیل می‌دهند (Kooijman, 2000). پویایی ذخیره از طریق تفاوت بین نرخ جذب و نرخ گسیل انرژی به‌دست می‌آید. اولین فرض این است که اگر تراکم غذا تغییر نکند، به تبع آن تراکم ذخیره (که به‌صورت مقدار ذخیره به ازای واحد اندازه بدن تعریف می‌شود) به یک تعادل می‌رسد. دومین فرض این است که استفاده از ذخیره انرژی مستقیماً به دسترسی به غذا مرتبط نیست. البته باید ذکر گردد که میزان ذخیره به انرژی گسیل شده برای نگهداری از بدن، رشد و یا تولیدمثل نیز وابسته نیست. این میزان فقط به مقدار ذخیره خودش و حجم بدن بستگی دارد (Kooijman, 2010). در نظریه DEB مفروض است که بیشتر هزینه‌های نگهداری با حجم ساختاری بدن جانوران متناسب است. این فرض بر مبنای هومئوستازی قوی استوار است. به‌عنوان مثال؛ ساختار بدن دارای یک ترکیب ثابت است. بنابراین، یک جانور که دو برابر بزرگ‌تر از هم‌نوع خود باشد، دو برابر سلول بیشتری دارد و همچنین غشاهای سلولی آن نیز دو برابر بیشتر است، پس نفوذ پروتون در غشا و میزان پروتئین دو برابر خواهد بود. به هرحال، برخی هزینه‌ها مثل هزینه‌های گرمایی و هزینه‌های تنظیم اسمزی به سطح بدن جاندار مرتبط هستند. از این رو، تئوری DEB فرض می‌کند که هزینه‌های نگهداری به سطح و یا حجم بدن جاندار مربوط است. از این به بعد برای راحتی کار، هزینه‌های مرتبط با حجم را "هزینه‌های نگهداری" و هزینه‌های مربوط به سطح را "هزینه‌های گرمایی" می‌نامیم (Kooijman, 2000). تئوری DEB به‌طور گسترده و موفقیت‌آمیزی برای تعداد زیادی از گونه‌های آبزیان و با اهداف گوناگون شامل شبیه‌سازی رشد و تولیدمثل (van der Veer *et al.*, 2015; Pousse *et al.*, 2022)، پراکنش جغرافیایی (Ren *et al.*, 2020)، توصیف فاکتورهای زیستی مؤثر بر تجمع آلاینده‌های آلی پایدار در ماهیان (Bodiguel *et al.*, 2009; Eichinger *et al.*, 2010) مورد استفاده قرار گرفته است.

تاکنون تنها یک مطالعه‌ی جامع در خصوص نظریه‌ی تخصیص انرژی پویا در ایران صورت گرفته است که در آن اسماعیل‌پور پوده و فان درمیر (Esmaeilpour-Poodeh and Van der Meer, 2022) به بررسی مفاهیم و فلسفه نظریه تخصیص انرژی پویا پرداخته‌اند. در خارج از کشور، مطالعات گسترده‌ای در مورد این نظریه و استفاده از آن برای پیش‌بینی وضعیت رشد و اکولوژی گونه‌های جانوری صورت گرفته است. پکویر و همکاران (Pecquerie *et al.*, 2009) در بررسی مدل‌سازی رشد و تولیدمثل ماهی آنچوی (*Engraulis encrasicolus*) در بستر تئوری تخصیص انرژی پویا نشان دادند که ماهیان با طول برابر بسته به شرایط محیطی که قبل از تخم‌ریزی با آن روبرو هستند می‌توانند عملکرد تولیدمثلی متفاوتی داشته باشند. رینالدی و همکاران (Rinaldi *et al.*, 2014)، در بررسی پارامترهای DEB در ماهی *Aphanius fasciatus* نشان دادند که جنس ماده به شکل بهینه‌تری به مبادلات انرژتیک در شرایط محیطی می‌پردازد. در تحقیقی یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2020) در بررسی یک مدلِ تخصیص انرژی پویا برای گونه‌ای از میگوی سفید با نام علمی *Fenneropenaeus chinensis* نشان دادند که تفاوت‌های آشکاری بین جنس نر و ماده وجود دارد؛ به نحوی که سرعت رشد میگوی سفید ماده بیشتر از جنس نر بود.

ماهی خیاطه با نام علمی *Alburnoides eichwaldii* از خانواده Cyprinidae، بنتوپلاژیک و از ماهیان رودرو، ساکن آب شیرین و لب شور است. زیستگاه‌های این ماهی در اروپا و آسیا، حوضه دریای سیاه، دریای خزر، دریای آرال، دریای بالتیک، دریای شمال و خلیج بیسکای بوده (Bogotskaya, 1997; Coad, 2005) و در اکثر اکوسیستم‌های آبی اروپا گونه‌ای آسیب‌پذیر می‌باشد. پراکندگی این جنس در ایران، در رودخانه‌های حوزه دریای خزر، حوزه آبریز دریاچه ارومیه، رودخانه‌های کرج و جاجرود، زاینده رود و شور رود اصفهان، رود کر، حوزه دجله و فرات و حوزه آبریز قره قوم گزارش شده است (Kiabi *et al*, 1999) اما این گونه فقط در حوزه دریای خزر یافت می‌شود (Coad, 2005). این گونه در طبقه بندی IUCN در گروه "حداقل نگرانی" قرار گرفته است، به‌دلیل اینکه به‌صورت گسترده‌ای در مناطق پراکنش خود حضور دارند (Kottelat and Freyhof, 2007) اما در بسیاری از آبهای اروپا به‌دلیل جریانات رودخانه‌ای و آلودگی‌های آلی آنرا در گروه "در معرض خطر" و یا "تهدید" قرار می‌دهند (Lusk *et al*, 1995). با این‌حال، این گونه در حوزه جنوبی دریای خزر در طبقه بندی IUCN در گروه "حداقل نگرانی" درنظر گرفته می‌شود (Lelek, 1987)، که به‌دلیل فراوانی بالای آن و عدم بهره برداری تجاری از آنها می‌باشد (Esmaeilpour-Poodeh *et al.*, 2015).

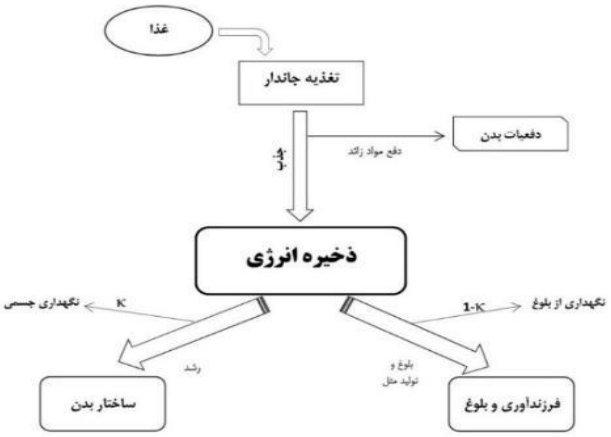
تفاوت‌های مشاهده‌شده در ویژگی‌های زیستی ماهی خیاطه در دو رودخانه زرین‌گل و کبودوال، تیم تحقیقاتی ما را بر آن داشت تا به بررسی علل این تفاوت‌ها بپردازیم. از این رو، ویژگی‌های رشد ماهی خیاطه در طول دوران زندگی‌اش را با استفاده از مدل استاندارد DEB در دو رودخانه فوق‌الذکر مورد بررسی قرار دادیم.

## ۲ | مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در رودخانه‌های کبودوال و زرین‌گل در استان گلستان به انجام رسید. حوزه آبخیز کبودوال در استان گلستان بین طول جغرافیایی ´۵۴ °۵۴ و عرض جغرافیایی ´۵۳ °۳۶ قرار دارد. این رودخانه از ارتفاع ۱۶۰۰ متری سرچشمه گرفته و تقریباً در ۱۴۰ متری از سطح دریا به دشت‌های خارکلاته منتهی می‌گردد. افزایش جریان آب از ماه بهمن شروع شده و به فروردین ماه ختم می‌شود. این رودخانه سیلابی نبوده بلکه افزایش دبی آب را می‌توان ناشی از ذوب برف در ماه‌های بهمن و اسفند و فروردین و ناشی از بارندگی در ماه آبان دانست. دبی متوسط سالیانه این رودخانه ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه است. این رودخانه دارای پراکنش گونه‌های مختلف شامل ماهی خیاطه، سیاه ماهی، ماهی سفید

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]
[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

رودخانه‌ای و سگ ماهی جویباری است (kiabi *et al*, 2000) رودخانه زرین گل یکی از سرشاخه‌های گرگان رود در طول جغرافیایی ۵۷′ ،۳۷° و عرض جغرافیایی ۵۲′ ،۳۶° قرار گرفته است. طول رودخانه ۲۲ کیلومتر با بستر سنگی- شنی و رودخانه‌ای سیلابی می‌باشد. مساحت حوزه آبخیز آن در حدود ۳۴۲/۸۲ کیلومتر و حداکثر ارتفاع حوزه ۲۸۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۲۸۰ متر می‌باشد. این رودخانه دارای پراکنش گونه‌های مختلف شامل ماهی خیاطه، سیاه ماهی، سگ ماهی جویباری و قزل‌آلای رنگین‌کمان (فرار کرده از مراکز پرورش) است (kiabi *et al*, 2000).




**شکل ۱- طرح شماتیکی ساده از تئوری DEB (برگرفته از Esmaeilpour-Poodeh and Van der Meer, 2022)**

به‌منظور به‌دست آوردن بخشی از اطلاعات در خصوص ماهیان بومی رودخانه مذکور، اقدام به نمونه‌برداری از ماهیان در رودخانه با استفاده از دستگاه الکتروشوکر با ولتاژ ۲۰۰-۱۰۰ ولت و فرکانس ۱/۵ آمپر گردید. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در محلول فرمالین ۱۰ درصد تثبیت و به آزمایشگاه بوم‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. در آزمایشگاه، زیست‌سنجی اولیه با استفاده از دستگاه کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. همچنین، از هر یک از نمونه‌های ماهی، تعدادی فلس از بین باله سینه‌ای و باله شکمی (بالای خط جانبی) به‌منظور تعیین سن نمونه‌برداری گردید. برای تعیین سن از لوپ دوچشمی با بزرگنمایی ۲۰ استفاده شد.

همانند بسیاری نظریه‌های زیستی، نظریه DEB نیز به‌منظور سهولت در استفاده و کاربرد بیشتر به‌صورت مدل‌هایی طراحی شد. مدل استاندارد DEB یکی از مدل‌های محبوب برای نظریه تخصیص انرژی پویا است که قابلیت اجرا در دو نرم‌افزار متلب (MatLab) و اُکتاو (Octave) را دارد. روش‌های متفاوتی برای اجرای این مدل طراحی شده است. در سال‌های اخیر، روش Covariation یا کوواریاسیون به منظور برآورد پارامترهای مدل استاندارد DEB به‌خوبی توسعه یافته است. این روش براساس کوچک‌سازی هم‌زمان مجموع وزن انحراف مربع بین داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی شده عمل می‌نماید (Lika *et al.*, 2011). به این صورت که پژوهشگران و دانشمندان، داده‌های واقعی و مشاهده‌شده خود را در این مدل وارد می‌کنند و مدل پس از اجرا و تجزیه و تحلیل داده‌های وارد شده، پیش‌بینی‌هایی از وضعیت رشد و انرژی گونه مورد نظر ارائه می‌نماید. این پیش‌بینی‌ها در نهایت در قالب ۱۳ پارامتر، همانند آن چیزی که در جدول ۱ می‌بینید- ارائه می‌شود. هر یک از این پارامترها تعریف و دامنه‌ای دارند که در بخش نتایج به آن پرداخته شده است.

**جدول ۱- پارامترهای DEB که از اجرای مدل استاندارد DEB به دست می‌آید.**

| تعریف | نماد | واحد |
|---|---|---|
| فاکتور زوم | $\overline{z}$ | - |
| بیشینه نرخ ویژه جذب غذا در واحد سطح | $\{\dot{p}_{Am}\}$ | ژول بر سانتی‌متر مربع در روز |
| بیشینه‌ی چگالی ذخیره انرژی | $[E_m]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب |
| هدایت انرژی | $\dot{v}$ | به ازای هر روز |
| انرژی اختصاص داده شده به بخش نگهداری از بدن | $\kappa$ | - |
| نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن | $[\dot{p}_M]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب در روز |
| هزینه‌های ویژه برای ساختار بدن | $[E_G]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب |
| بلوغ در زمان تولد | $E_H^b$ | ژول |
| بلوغ در زمان تولیدمثل | $E_H^p$ | ژول |
| شتاب افزایش سن وایبول | $\ddot{h}_a$ | به ازای هر روز |
| ضریب شکلی | $\delta_m$ | - |

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

این روش با کمک وبسایت Add_my_Pet به آدرس اینترنتیِ https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/ بهبود یافته است (AmP, 2019). اگر داده‌ها به‌صورت تکی باشند، به آن‌ها داده‌های zero-variate یا متغیر صفر می‌گویند. این داده‌ها شامل داده‌های واقعی و داده‌های کاذب هستند. داده‌های واقعی، مشاهدات ما از خصوصیات فیزیکی جاندارن است مانند طول ماکزیمم، ماکزیمم وزن تر، سن در زمان بلوغ، طول در زمان بلوغ، میزان هم‌آوری، طول نهایی و غیره که به‌صورت یک عدد بیان می‌شوند.علاوه بر داده‌های متغیر صفر، داده‌های uni-variate یا یک متغیره نیز هستند که شامل مجموعه‌ای از داده‌ها در سری‌های زمانی می‌شوند. این داده‌ها رابطه بین یک متغیر مستقل (مانند سن) و یک متغیر وابسته (مانند طول بدن) را نشان می‌دهند (Lika *et al.*, 2011). پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از مدل استاندارد DEB برای برآورد پارامترهای آن استفاده گردید. این اطلاعات دامنه وسیعی از داده‌ها را شامل می‌شوند.

## ۳ | نتایج

در این تحقیق، همگرایی موفقیت‌آمیزی در اجرای مدل استاندارد DEB برای ماهی خیاطه در دو رودخانه زرین‌گل و کبودوال به‌دست آمد. میزان تناسب مدل در اجرا و پیش‌بینی رشد این گونه به‌صورت شاخص‌های میانگین خطای نسبی (Mean Relative Error, MRE) و میانگین مربع خطای متقارن ( Symmetric Mean Squared Error, SMSE) نشان از تناسب بالا و اجرای عالی مدل بود. هرچه میزان این خطاها به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل در پیش‌بینی پارامترها است (Lika *et al.*, 2011b) (جدول ۱).

در این مطالعه، داده‌های متغیر صفر برای ماهی خیاطه در دو رودخانه مورد بررسی از مراحل مختلف زندگی این گونه تنظیم گردید (جدول ۳). در این جدول، مقادیر به‌دست آمده در آزمایش‌ها و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل DEB ارائه شده است. با توجه به میزان خطاها، به‌نظر می‌رسد تناسب و تطابق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های پیش‌بینی‌شده وجود دارد.

همچنین در مقایسه‌ای تصویری بین داده‌های مشاهداتی حاصل از آزمایش‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل DEB می‌توان به میزان دقت مدل در پیش‌بینی داده‌های مرتبط با سن، رشد و تولید مثل ماهی خیاطه در دو رودخانه مورد بررسی پی برد (شکل ۱).

مدل DEB نه تنها قادر به پیش‌بینی دامنه گسترده‌ای از داده‌ها مانند سن، اندازه، رشد و تولیدمثل است، بلکه می‌تواند پارامترهایی نظیر تنفس، ترکیبات شیمیایی و غیره را نیز پیش‌بینی کند.

لیکا و همکاران (Lika *et al.*, 2011a) یک شاخصی را تحت عنوان "شاخص کامل‌بودن" (که از ۰ تا ۱۰ متغیر است) توسعه دادند که از طریق آن می‌توان الگوی مقادیر پارامترها را در بین گونه‌های مختلف شناسایی نمود. میزان این شاخص در ماهی *A. eichwaldii* عدد ۲/۵ به‌دست آمد که از طریق آن می‌توان سن، طول و وزن را در زمان تولد و زمان بلوغ گونه در یک سطح غذایی نشان داد. منحنی رشد نسبی ماهی خیاطه در دو رودخانه زرین‌گل و کبودوال، هماهنگی طول بدن را در برابر وزن بدن نشان می‌دهد (شکل ۲).

پارامترهای اختصاصی DEB برای ماهی خیاطه در دو رودخانه زرین‌گل و کبودوال براساس داده‌های حاصل از آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌های صورت گرفته، برآورد شد (جدول ۴). البته بخش کوچکی از اطلاعات مانند سن و یا طول در زمان تولد از مقالات و مطالب منتشر - شده در گذشته به‌دست آمده است.

**جدول ۲- میانگین خطای نسبی و میانگین مربع خطای متقارن در برآورد پارامترهای DEB برای ماهی خیاطه *A. eichwaldii* در رودخانه‌های زرین‌گل و کبودوال**

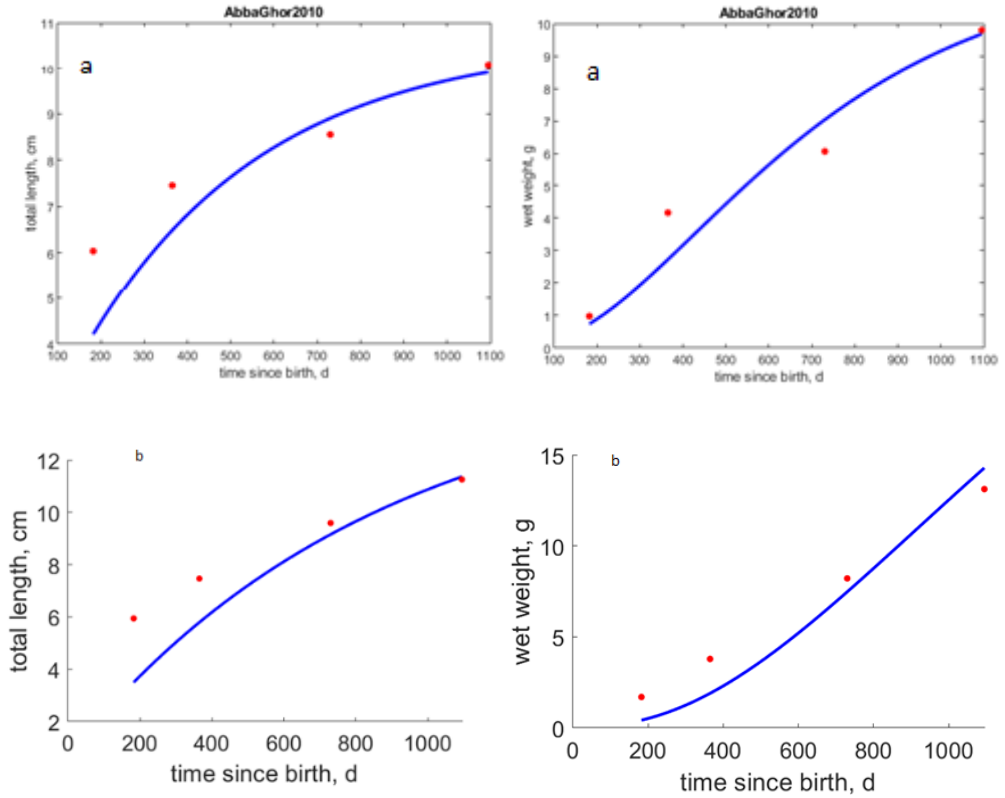
| پارامترهای DEB | رودخانه زرین‌گل | رودخانه کبودوال |
|---|---|---|
| خطای نسبی | ۰/۱۶۴ | ۰/۰۷۶ |
| میانگین مربع خطای متقارن | ۰/۱۵۹ | ۰/۰۱۳ |

**جدول ۳- داده‌های متغیر صفر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده‌ی ماهی خیاطه *A. eichwaldii* در رودخانه‌های زرین گل و کبودوال**

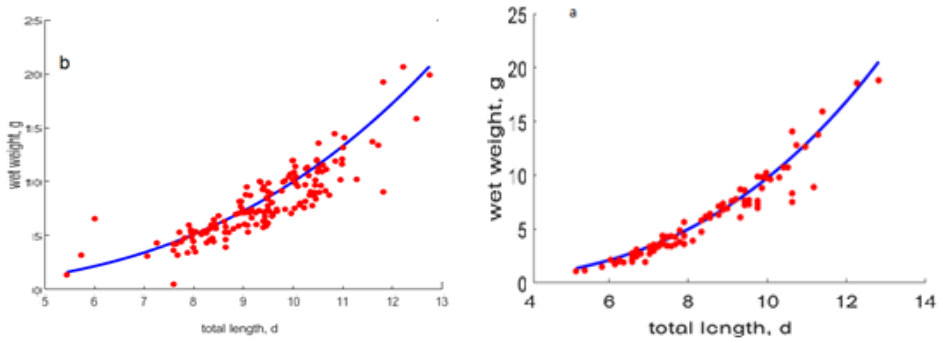
| پارامترهای مورد نظر | نماد | واحد | رودخانه زرین‌گل | | رودخانه کبودوال | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | مشاهده‌شده | پیش‌بینی‌شده | مشاهده‌شده | پیش‌بینی‌شده |
| سن در زمان هچ | $a_h$ | روز | ۳ | ۳/۰۰۷ | ۳ | ۳ |
| سن در زمان تولد | $a_b$ | روز | ۱۰ | ۱۰/۲۳ | ۱۰ | ۱۰/۴۶ |
| سن در زمان بلوغ ماده | $a_p$ | روز | ۷۳۰ | ۷۷۵/۴ | ۷۳۰ | ۷۰۶/۲ |
| سن در زمان بلوغ نر | $a_p$ | روز | ۳۶۵ | ۳۳۳/۱ | ۳۶۵ | ۳۷۰/۲ |
| طول عمر | $a_m$ | روز | ۱۰۹۵ | ۱۰۸۳ | ۱۰۹۵ | ۱۰۹۵ |
| طول کل در زمان تولد | $L_b$ | سانتی‌متر | ۰/۵ | ۰/۶۶۵۸ | ۰/۵ | ۰/۶۵ |
| طول کل در زمان بلوغ ماده | $L_p$ | سانتی‌متر | ۸/۳ | ۷/۶۰۷ | ۷/۹۹ | ۸/۹ |
| طول کل در زمان بلوغ نر | $L_p$ | سانتی‌متر | ۴ | ۴/۴۳۶ | ۶/۹۵ | ۶/۷۶۵ |
| طول نهایی | $L_i$ | سانتی‌متر | ۱۱/۷ | ۱۲/۱۶ | ۱۰/۷ | ۱۰/۳۶ |
| وزن تر در زمان تولد | $W_{wb}$ | گرم | ۰/۰۰۳۱ | ۰/۰۰۲۷ | ۰/۰۰۳۱ | ۰/۰۰۲۸ |
| بیشینه هماوری | $R_i$ | تخم در روز | ۲۳/۲۸ | ۲۳/۸۲ | ۲۹/۵۹ | ۲۹/۶۱ |

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]




**شکل ۱- مقایسه بین مدل پیش‌بینی‌شده (خطوط) و داده‌های مشاهداتی (نقاط) برای ماهی خیاطه *A. eichwaldii* در دو رودخانه زرین‌گل (a) و کبودوال (b)**




**شکل ۲- منحنی رشد نسبی (طول کل به وزن بدن) برای ماهی خیاطه در دو رودخانه زرین‌گل (a)، کبودوال (b)**

**جدول ۴- پارامترهای اولیه‌ی DEB، به دست آمده از طریق اجرای روش Covariation برای ماهی خیاطه *A.eichwaldii* در رودخانه‌های زرین‌گل و کبودوال**

| تعریف | نماد | واحد | رودخانه زرین‌گل | خیاطه رودخانه کبودوال |
|---|---|---|---|---|
| فاکتور زوم | $z$ | - | ۱/۶۰۳ | ۱/۸۴۸ |
| بیشینه نرخ ویژه جذب غذا در واحد سطح | $\{\dot{p}_{Am}\}$ | ژول بر سانتی‌متر مربع در روز | ۵۶/۱۰۳ | ۱۶۹/۹۴۹ |
| بیشینه‌ی چگالی ذخیره انرژی | $[E_m]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب | ۵۶۶/۶۹ | ۲۵۴۴/۱۴ |
| هدایت انرژی | $\dot{v}$ | به ازای هر روز | ۰/۰۹۹ | ۰/۰۶۶۸ |
| انرژی اختصاص داده شده به بخش نگهداری از بدن | $\kappa$ | - | ۰/۹۷۸۶ | ۰/۹۸۶۸ |
| نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن | $[\dot{p}_M]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب در روز | ۳۴/۲۵ | ۹۰/۷۵ |
| هزینه‌های ویژه برای ساختار بدن | $[E_G]$ | ژول بر سانتی‌متر مکعب | ۵۲۲۹ | ۵۲۲۲ |
| بلوغ در زمان تولد | $E_H^b$ | ژول | ۰/۱۲۰۵ | ۰/۱۳۱۷ |
| بلوغ در زمان تولیدمثل | $E_H^p$ | ژول | ۲۲۰۳ | ۱۱۰۱ |
| شتاب افزایش سن وایبول | $\ddot{h}_a$ | به ازای هر روز | ۵/۳۱۲*۱۰^-۷ | ۲/۷۸۹*۱۰^-۷ |
| ضریب شکلی | $\delta_m$ | - | ۰/۱۵۷۱ | ۰/۱۸۵۴ |

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

بیشینه نرخ ویژه جذب غذا در واحد سطح $\{\dot{p}_{Am}\}$ از پارامترهای ترکیبی است و با فاکتور زوم (Zoom factor) (که معادل حداکثر طول ساختاری بدن است) و همچنین با میزان نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن (Volume-specific somatic maintenance) یا $[\dot{p}_M]$ متناسب است. در حقیقت، میزان پارامتر $\{\dot{p}_{Am}\}$ از فرمول $[\dot{p}_M]z/\kappa$ به‌دست می‌آید. این پارامتر در ماهی خیاطه رودخانه زرین‌گل حدود ۳ برابر از ماهی خیاطه رودخانه کبودوال کمتر را نشان داد (جدول ۴). مقدار پارامتر ($\kappa$) که بیانگر انرژی اختصاص داده شده به منظور رشد و نگهداری از بدن است، برای گونه *A. eichwaldii* در دو رودخانه مورد مطالعه بیش از ۰/۹ به‌دست آمد (جدول ۴).

نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن $[\dot{p}_M]$، کاهش میزان ذخیره انرژی را در ارتباط با حجم ساختاری بدن کنترل می‌کند. در این مطالعه، $[\dot{p}_M]$ مقادیر متفاوتی را برای گونه *A. eichwaldii* در دو رودخانه زرین‌گل و کبودوال نشان داد. این پارامتر برای خیاطه زرین‌گل کمتر از خیاطه‌های کبودوال بود (شکل ۳). بنا بر تعریف، افزایش این پارامتر به معنای کاهش در طول نهایی جانداران است. در واقع، جاندارانی که میزان $[\dot{p}_M]$ بیشتری دارند، یعنی بخش بزرگی از انرژی خود را صرف نگهداری بدن می‌کنند و بنابراین رشد طولی آن‌ها کاهش می‌یابد. این پارامتر در خیاطه زرین‌گل بسیار کمتر از کبودوال بود و بنابراین بایستی طول نهایی آن بیشتر باشد (جدول ۳).

بیشینه چگالی ذخیره انرژی $[E_m]$ نیز از پارامترهای ترکیبی است و از رابطه‌ی $[E_m] = \{\dot{p}_{Am}\}/\dot{v}$ به‌دست می‌آید و مقدار انرژی موجود در جاندار را تعیین می‌کند. مقدار این پارامتر نیز در رودخانه زرین‌گل کمتر از رودخانه کبودوال است. هدایت انرژی (Energy conductance) $\dot{v}$، گسیل‌شدن انرژی ذخیره را تنظیم می‌کند و به عنوان یک پارامتر ذاتی در نظر گرفته می‌شود، به این معنی که این پارامتر بایستی در گونه‌های تاکسونومیِ مرتبط مشابه باشند (Kooijman, 2010). با این وجود و برخلاف اصل بالا، مقدار هدایت انرژی در ماهیان خیاطه رودخانه زرین‌گل (۰/۰۹۹) و کبودوال (۰/۰۶۷) بسیار متفاوت بود. پارامتر بلوغ در زمان تولد $E_H^b$، زمان‌بندی و اندازه را در زمان تولد کنترل می‌کند. افزایش آن موجب افزایش اندازه در زمان تولد و همچنین کاهش سرعت تولیدمثل می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار این پارامتر برای ماهی خیاطه در رودخانه‌های زرین‌گل (۰/۱۲) و کبودوال (۰/۱۳) نسبتاً پایین است. بلوغ در زمان تولیدمثل $E_H^p$، زمان‌بندی و اندازه را در زمان بلوغ و تولیدمثل تنظیم می‌کند. افزایش در آن موجب افزایش اندازه جاندار در زمان بلوغ می‌شود. مقدار این پارامتر در خیاطه در رودخانه زرین‌گل ۲۲۰۳ و در رودخانه کبودوال ۱۱۰۱ برآورد شد (جدول ۴).

## ۴ | بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به‌عنوان اولین گامِ تجربی به‌منظور استفاده از مدل DEB برای پیش‌بینی رشد جاندران در ایران است. نظریه‌های متابولیکی در جستجوی چگونگی به‌دست آوردن انرژی از محیط توسط جانداران است و نحوه استفاده از این انرژیِ دریافتی به‌منظور فعالیت‌های گوناگون از جمله رشد، نگهداری، توسعه و تولیدمثل را مورد بررسی قرار می‌دهند. نظریه تخصیص انرژی پویا (DEB) یک تئوری مکانیکی است که چهارچوبی برای توصیفِ استفاده از انرژی در سطح یک ارگانیسم و در واکنش به تغییرات محیطی فراهم می‌کند.

در این تحقیق، علت کاهش شدید فاکتور زوم در خیاطه زرین‌گل - علی‌رغم طول نهایی بالاتر- می‌تواند به‌دلیل پایین بودن میزان نگهداری از بدن بر مبنای حجم بدن $[\dot{p}_M]$ باشد، چرا که این ماهی در رودخانه زرین‌گل نیاز به انرژی کمتری برای نگهداری از بدن خود دارد و این امر به نوبه‌ی خود بر میزان جذب سطحی غذا تاثیر می‌گذارد و موجب کاهش آن می‌شود. در واقع، بخش بزرگی از انرژی خود را صرف تولیدمثل می‌کند. بالیستا و همکاران (Ballesta-Artero *et al.*, 2019) گزارش کردند که صدف غول‌پیکر *Tridacta gigas* در مقایسه با سایر صدف‌ها دارای نرخ جذب غذای پایین‌تری است. این در حالی است که طول نهایی این گونه نسبت به صدف‌های دیگر بسیار بزرگ‌تر است.

در نظریه DEB فرض بر این است که یک کسر ثابتی ($\kappa$) از انرژی، صرف رشد و نگهداری از بدن می‌شود که مقدار آن بین ۰ تا ۱ متغیر است و باقیمانده‌ی انرژی صرف تولیدمثل و توسعه اندام‌ها می‌شود (Esmaeilpour-poodeh and Van der Meer, 2022). براساس این قاعده، مدل رشد DEB به نام مدل $\kappa$-rule شناخته می‌شود (Van der Meer, 2006). در واقع، این پارامتر تخصیص انرژی به رشد و نگهداری از بدن را کنترل می‌کند. مقدار متوسط بالاتر از ۰/۸ مربوط به پارامتر ($\kappa$) برای گونه *A. eichwaldii* در دو رودخانه مورد مطالعه، نشان‌دهنده بالابودن سرعت رشد و کم بودن طول عمر در این گونه است. در بررسی پارامتر $[\dot{p}_M]$، (پیش‌بینی وضعیت رشد و تاب‌آوری ماهیان در شرایط نامساعد محیطی) در ماهیان خیاطه رودخانه زرین‌گل بسیار کمتر از ماهی خیاطه در رودخانه کبودوال بود و بنابراین بایستی طول نهایی آن بیشتر باشد. فیلگویرا و همکاران (Filgueira *et al.*, 2016) در بررسی رشد گونه ماهی *Umbra limi* شش رودخانه در جنوب انتاریو (کانادا) به این نتیجه رسیدند که میانگین افراد در این ۶ رودخانه متفاوت است و علت آن را متفاوت بودن دسترسی به مواد غذایی در بین این رودخانه ها بیان کردند که در نهایت باعث رشد متفاوت در این ماهی می شود. کم بودن بیشینه چگالی ذخیره انرژی $[E_m]$ در رودخانه زرین‌گل به‌دلیل کم بودن جذب غذا در واحد سطح و همچنین بالا بودن میزان هدایت انرژی است. این پارامتر نیز می‌تواند در درک شرایط جانداران در وضعیت نامطلوب سودمند باشد. به نحوی که جانداران و گونه‌های با چگالی انرژی بیشتر احتمالاً درصد بقای بیشتری خواهند داشت.

پارامتر هدایت انرژی به‌صورت نسبت بین بیشینه نرخ ویژه جذب غذا $\{\dot{p}_{Am}\}$ و بیشینه چگالی انرژی $[E_m]$ بیان می‌شود. در بررسی

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]
[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

هدایت انرژی $\dot{\vartheta}$، ماهیان خیاطه زرین‌گل دارای سرعت رشد بالاتری نسبت به ماهیان خیاطه رودخانه کبودوال است. بنابراین، سیلابی بودن رودخانه زرین‌گل بر این پارامتر هم موثر بوده، چراکه مقدار بالاتر این پارامتر نشان‌دهنده زمان کم‌تر برای رسیدن به بلوغ است. علاوه بر این، احتمالاً بالا بودن مقدار هدایت انرژی در خیاطه رودخانه زرین‌گل به علت کم بودن چگالی انرژی در این گونه است. اما به‌طور کلی، مقدار این پارامتر در ماهیان خیاطه بالاست، چراکه مقدار معمول آن برای جانداران ۰/۰۲ است. این امر نیز مؤید این واقعیت است که سرعت رشد در گونه *A. eichwaldii* بسیار بالاست.

پایین بودن پارامتر بلوغ در زمان تولد $E_H^b$، در ماهیان خیاطه رودخانه‌های کبودوال و زرین‌گل، نشان‌دهنده کاهش اندازه در زمان تولد و همچنین افزایش سرعت تولیدمثل در این گونه است. در این مطالعه، ماهیان خیاطه رودخانه زرین‌گل مقدار پارامتر بلوغ در زمان تولد را کمتر نشان داد که می‌تواند به علت شرایط نامساعد محیطی و تخریب زیستگاه‌های این گونه در این رودخانه نسبت به کبودوال باشد. همچنین بالاتر بودن بلوغ در زمان تولیدمثل $E_H^p$، در ماهیان رودخانه زرین‌گل نسبت به رودخانه کبودوال نشان می‌دهد که ماهیان خیاطه رودخانه کبودوال در زمان بلوغ دارای اندازه کمتر است. اندازه بزرگ‌تر در زمان بلوغ، خود عاملی است که باعث حفظ گونه‌ها در شرایط نامساعد خواهد بود.

باید توجه داشت که مکان و زمان تخم‌ریزی ماهیان خیاطه برای درک بقای لارو ماهی حیاتی است. با این‌حال، تأثیر یک محیط در حال تغییر بر الگوهای تخم ریزی به خوبی درک نشده است. یک رویکرد جدید درنظر گرفتن تأثیر محیط بر تاریخچه زندگی فردی و تخم ریزی‌های بعدی است. مدل DEB به‌طور واقع بینانه شروع و پایان فصل تخم‌ریزی، از جمله زمان تخم‌ریزی، و تغییر در تعداد تخم در هر دسته (تخم) را به تصویر می‌کشد. به‌دلیل تأثیر فصلی دما و در دسترس بودن غذا (که از یک مدل بیوفیزیکی به‌دست آمده است)، نتایج شبیه‌سازی ما نشان می‌دهد که دو سوم کل مقدار تخم قبل از شروع فصل تخم‌ریزی جمع می‌شود و ضریب وضعیت با طول بدن افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد که چگونه افراد با طول مساوی با توجه به شرایط محیطی (که قبل از فصل تخم‌ریزی با آن‌ها مواجه می‌شوند)، در عملکرد تولیدمثلی متفاوت هستند. تاریخ هچ برای باروری در سن ۱ سالگی کلیدی است زیرا تا حدی توانایی ایجاد ذخایر اختصاص داده شده به تولید مثل را کنترل می‌کند. طول فرد یک شاخص کیفی اما نه کمی برای تعداد رویدادهای تخم‌ریزی در هر فرد است. یک فرد می‌تواند به اندازه معینی برسد اما سپس شرایط محدود محیطی را تجربه می‌کند که بر فصل تخم‌ریزی بعدی آن تأثیر می‌گذارد. به‌نظر می‌رسد که دو سوم ذخایر موجود برای تولیدمثل در طول دوره قبل از فصل تخم ریزی ذخیره شده است. محدود کردن شرایط غذایی در فاصله زمانی خارج از فصل تخم‌ریزی می‌تواند تعداد رویداد تخم‌ریزی را در هر فرد برای تخم‌ریزی چند دسته‌ای تنظیم کند. یک ماهی بزرگتر توانایی بیشتری برای ذخیره ذخایر برای تولیدمثل دارد اما نیازهای نگهداری آن نیز بالاتر است و در شرایط محدود غذایی، از ذخایر بیشتری که قبلاً برای تولیدمثل ذخیره شده بود، استفاده می‌کند تا نیازهای نگهداری خود را پوشش دهد. ماهیان می‌توانند در طول فصل، دسته‌های جدیدی از تخم‌ها را تولید کنند و در نهایت در صورت مساعد بودن شرایط در طول فصل تخم‌ریزی، دسته‌های بیشتری تولید کنند. اگر ذخایر موجود برای تولیدمثل تمام شود، تخم‌ریزی متوقف می‌شود (Pecqueriea *et al.*, 2009).

مطالعه حاضر نشان داد که وضعیت متفاوت در دو زیستگاه (که فاصله چندانی از یکدیگر ندارند) می‌تواند بر استراتژی‌های انرژتیک یک گونه ماهی تأثیر زیادی بگذارد. وضعیت سیلابی رودخانه زرین‌گل موجب اتخاذ راهبردی در ماهیان خیاطه شده که بر اساس آن این گونه زمان کمتری (و به تبع آن انرژی کمتری) برای رشد و توسعه اندام‌ها صرف می‌کند و عمده‌ی توان و انرژی خود را صرف تولیدمثل و بقای نسل می بطورکلی نظریه DEB می‌تواند در پیش‌بینی وضعیت ماهیان بخصوص ماهیان در معرض خطر انقراض مانند ماهیان خاویاری، آزاد دریای خزر و غیره استفاده گردد تا واکنش این ماهیان را در وضعیت نامطلوب محیطی مورد ارزیابی و پیش‌بینی قرار دهد. نتایج حاصل از مطالعاتی از این دست می‌تواند در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد تا نسبت به مدیریت ذخایر آبزیان کشور اقدامات لازم را انجام دهند.

**پست الکترونیک نویسندگان**

| | |
|---|---|
| فائقه ردایی: | faeghe_r71@yahoo.com |
| رسول قربانی: | rasulghorbani@gmail.com |
| حسین رحمانی: | shemaya1975@yahoo.com |
| سارا حق‌پرست: | S.Haghparast@sanru.ac.ir |
| عبدالعظیم فاضل: | f.fazel58@gmail.com |
| فاطمه عباسی: | f.abbasi59@yahoo.com |
| سعید اسماعیل‌پور: | esmaeilpoorsaeid@yahoo.com |


**REFERENCES**

Abbasi F. 2011. Study on the population dynamics of *Alburnoides bipunctatus* in Tilabad, Kaboudwal and Shirabad streams, Golestan province. MSC thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Abdoli A. 2000. The Inland Water Fishes of Iran. Iranian Museum of Nature and Wildlife, Tehran. 378 p. (In Persian).

Agüera A., Ahn IY., Guillaumot C., Danis B. 2017. A Dynamic Energy Budget (DEB) model to describe *Laternula elliptica* (King, 1832) seasonal feeding and metabolism. PLoS ONE 12(8): e0183848.

AmP. 2019. Online Database of DEB Parameters, Implied properties and Referenced Underlying Data. (Last accessed:2019/march/2).bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet.

Bagenal T. (1978). Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Water. London-Edinburg Melburn. 365p.

Ballesta-Artero I., Augustine S., Witbaard R., Carroll Michael L., Mette Madelyn J., Wanamaker Alan D., Van

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

der Meer J. 2019. Energetic of the extremely long-living bivalve *Arctica islandica* based on a Dynamic Energy Budget model. Journal of Sea Research. 143: 173-182.

Bogtskaya NG. 1997. Contribution of the knowledge of lencicsine fishes of Asia Minor. Mittehlungen aus dem Hamburghschen Zoologischen Museum und Institute. 94: 161-186.

Coad B. 2005. Iranian freshwater fishes. http/.www.briancoad.com.

Einarsson B., Birnir B., Sigurosson S. 2011. A dynamic energy budget (DEB) model for the energy usage and reproduction of the Icelandic capelin (*Mallotus villosus*). Journal of Theoretical Biology (281): 1-8.

Esmaeilpour-Poodeh S., Rahmani H., Ghorbani R. 2015. A survey on feeding habits of spirlin (*Alburnoides eichwaldii*) in Tajan River, Mazandaran province. Journal of Animal Environment. 7 (2): 125-134. (In Persian)

Esmaeilpour Poodeh S., van Der Meer J. 2022. Introduction to Dynamic Energy Budget Theory (DEB), Part I: Philosophy and Concepts. Journal of Basic Sciences Letters, No. 2 and 3: 195-203. (In Persian).

Filgueira R., Chapman JM., Suski CD., Cooke SJ. 2016. The influence of watershed land use cover on stream fish diversity and size-at-age of a generalist fish. Ecological indicators, 60: 248-257.

Kiabi BH., Abdoli A., and Naderi M. 1999. Status of the fish fauna in the south Caspian Basin of Iran. Zoology in the Middle East. 18: 57-65.

Kiabi B., Ghaemi R., Abdoli A. 2000. Wetland and river ecosystems of Golestan province. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian).

Kooijman SALM. 2000. Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems. Cambridge University Press. 426 p.

Kooijman SALM. 2010. Dynamic energy budget theory for metabolic organization. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 490 pp.

Kottelat M., Freyhof J. 2007. Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat Cornol. Switzerland and Freyhof, Berlin.

Lelek A. 1987. The Freshwater Fishes of Europe, Vol. 9, Threatened Fishes of Europe. Aul-Verlag, Wiesbaden. 343 pp.

Liao B., Shan X., Zhou C., Han Y., Chen Y., Liu Q. (2019). A dynamic energy budget–integral projection model (DEB-IPM) to predict population-level dynamics based on individual data: A case study using the small and rapidly reproducing species *engraulis japonicus*. Marine and Freshwater Research, 71 (4): 461-468.

Lika K., Kearney M.R., Freitas V., van der Veer HW., van der Meer J., Wijsman JWM., Pecquerie L., Kooijman SALM. 2011a. The "covariation method" for estimating the parameters of the standard Dynamic Energy Budget model I: Philosophy and approach. Journal of Sea Research (66): 270–277.

Lika K., Kearney MR., Kooijman SALM. 2011b. The "covariation method" for estimating the parameters of the standard Dynamic Energy Budget model II: Properties and preliminary patterns. Journal of Sea research. (66): 278-288.

Lusk S., Halacka K., Luskova V. 1995. Influence of small hydroelectric power stations on fish communities in streams. Zivocisna Vyroba 40: 363-367 p.

Marques GM., Augustine S., Lika K., Pecquerie L., Domingos T., Koijman S. 2018. The AmP project: Comparing species on the basis of dynamic energy budget parameters. Journal of Plos Computational Biology. 1-23.

Martin BT., Zimmer EI., Grimm V., Jager T. 2012. Dynamic Energy Budget theory meets individual-based modelling: A generic and accessible implementation. Methods in Ecology and Evolution, 3 (2): 445-449.

Mohammadian H. 1999. Freshwater Fishes of Iran. Sepehr Publishing, 178 p. (In Persian)

Nisbet RM., Jusup M., Klanjscek T., Pecquerie L. 2012. Integrating dynamic energy budget (DEB) theory with traditional bioenergetics models. Journal of Experimental Biology (215): 892-902.

Nisbet RM., Muller EB., Lika K., Kooijman SALM. 2000. From molecules to ecosystems through dynamic energy budget models. Journal of Animal Ecology (69): 913–926.

Pecquerie L., Petitga SP., Kooijman SALM. 2009. Modeling fish growth and reproduction in the context of the Dynamic Energy Budget theory to predict environmental impact on anchovy spawning duration. Journal of Sea Research 62, 93–105.

Pousse E., Munroe D., Hart D., Hennen D., Cameron LP., Rheuban JE., Wng ZA., Wikfors GH., Meseck SL. 2022. Dynamic energy budget modeling of Atlantic Surfclam, *Spisula solidissima*, under future ocean acidification and warming. Marine Environmental Research 177: 105602.

Ren JS., Jin X., Yang T., Kooijman SLAM., Shan X. 2020. A dynamic energy budget model for small yellow croaker *Larimichthys polyactis*: Parameterisation and application in its main geographic distribution waters. Ecological Modelling 427: 109051.

Rinaldi A., Montalto V., Lika K., Sanfilippo M., Manganaro A., and Sara G. 2014. Estimation of dynamic energy budget parameters for the Mediterranean toothcarp (*Aphanius aphanius*). Journal of Sea Research. 94: 65-70.

Sangare N., Lo-Yat A., Moullac GL., Pecquerie L., Thomas Y., Beliaeff B., Andréfouët S. 2019. Estimation of physical and physiological performances of blacklip pearl oyster larvae in view of DEB modeling and recruitment assessment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. (512): 42-50.

Sousa T., Domingos T., Poggiale JC., Kooijman SALM. 2010. Dynamic energy budget theory restores coherence in biology. Philosophical Transactions of the Royal Society B (365): 3413-3428.

Stavrakidis-Zachou O., Papandroulakis N., Lika K. 2019. A DEB model for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Parameterisation and application in aquaculture. Journal of Sea Research. (143): 262-271.

Stubbs JL., Mitchell NJ., Vanderklift MA., Pillans RD., Augustine S. 2019. A full life cycle Dynamic Energy Budget (DEB) model for the green sea turtle (*Chelonia mydas*) fitted to data on embryonic development. Journal of Sea Research. (143): 78-88.

Talbot SE., Widdicombe S., Hauton C., Bruggeman J. 2019. Adapting the dynamic energy budget (DEB) approach to include non-continuous growth (moulting) and provide

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

better predictions of biological performance in crustaceans. Journal of Marine Science (76): 192-205.

Troost TA., Wijsman JWM., Saravia S., Freitas V. 2010. Modelling shellfish growth with dynamic energy budget models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (southwest Netherlands). Philosophical Transactions of the Royal Society B (365): 3567-3577.

Van der Meer J. 2006. An introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) models with special emphasis on parameter estimation. Journal of Sea Research. 56: 85-102.

Yang T., Ren JS., Kooijman SALM., Shan, X., Gorfine, H. 2020. A dynamic energy budget model of *Fenneropenaeus chinensis* with applications for aquaculture and stock enhancement. Ecological Modelling (431): 1-10.

Zuidema PA., Jongejans E., Chien PD., During HJ., Schieving F. (2010). Integral projection models for trees: a new parameterization method and a validation of model output. Journal of Ecology, 98 (2): 345-355.

**نحوه استناد به این مقاله:**

ردایی ف.، قربانی ر.، رحمانی ح.، حق‌پرست س.، فاضل ع.، عباسی ف.، اسماعیل‌پور س. ۱۴۰۱. شبیه‌سازی رشد ماهی خیاطه، *Alburnoides eichwaldii* (De Filippi, 1863) با استفاده از مدل استاندارد DEB در رودخانه‌های کبودوال و زرین گل (استان گلستان). نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، ۱۰(۲): ۱۹-۱۰. https://doi.org/10.22034/jair.10.3.5

Radaei F., Ghorbani R., Rahmani H., Haghparast S., Fazel A., Abbasi F., Esmaeilpour S. 2022. Growth Simulation of *Alburnoides eichwaldii* (De Filippi, 1863) using DEB Standard Model in Zarrin-Gol and Kaboudwal Rivers (Golestan Province). Journal of Applied Ichthyological Research, 10(2): 10-19. https://doi.org/10.22034/jair.10.3.5

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]

# Growth Simulation of *Alburnoides eichwaldii* (De Filippi, 1863) using DEB Standard Model in Zarrin-Gol and Kaboudwal Rivers (Golestan Province)

**Radaei F[1]., Ghorbani R[2*]., Rahmani H[3]., Haghparast S[4]., Fazel A[5]., Abbasi F[6]., Esmaeilpour S[6].**

[1] PhD student, Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3] Associate Prof., Dept. of Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[4] Assistant Prof., Dept. of Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
[5] Assistant Prof., National Fisheries Science Research Institute, Inland Water Aquatic Resources Research Center, Gorgan, Iran
[6] Ph.D. graduate, Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

**Type:**

Original Research Paper

https://doi.org/10.22034/jair.10.3.5

**Paper History:**

Received: 24-04-2022
Accepted: 17-07- 2022

**Corresponding author:**

Ghorbani R. Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
.

**Email:** rasulghorbani@gmail.com

## Abstract

Dynamic energy Budget (DEB) theory describes the rate of energy absorb by living organisms and use it for body protection, growth, and reproduction. The present study was performed on *Alburnoides eichwaldii* in Zarrin-Gol and Kaboudwal rivers (Golestan province). The results showed that the DEB growth model in the two rivers and the allocation of energy fraction for body maintenance (κ) was more than 0.9, which indicates the high growth rate and short lifespan of this species. Maximum surface specific-area assimilation rate $\{\dot{p}_{Am}\}$ in Kabudwal river fish is about three times that of Zarringol River. Somatic maintenance based on body volume, $[\dot{p}_M]$ for Zarringol River is about 3 times and the maximum reserve density $[E_m]$ is about 5 times less than Kabudwal. In Addition, maturity at birth $E_H^b$, In Zarringol river was less than Kabudwal and maturity at the time of reproduction $E_H^p$ in Zarringol river was more than Kabudwal but its size was bigger at maturity in Kabudwal river. On the other hand, the higher energy conductivity $\vartheta$ in *A. eichwaldii* in Zarringol River was due to its low energy density, and this fish in Zarringol River needs less energy to somatic maintenance. The DEB standard model is superior to other models in that it is able to provide quantitative and measurable descriptions for the aspects of individual and population metabolism of animals.

**Keywords:** Metabolic Models, Dynamic Energy Budget, River Habitats, Covariation Method

[ Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2026-10-10 ]

[ DOI: 10.22034/jair.10.3.5 ]