دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "پژوهش‌های ماهی شناسی کاربردی"
دوره اول، شماره دوم، تابستان ۹۲
http://jair.gonbad.ac.ir

اثر سد تاریک رودخانه سفیدرود بر شکل بدن ماهیان خیاط *Alburnoides eichwaldi* (De Filippi, 1863) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی

*اسماعیل اسماعیل زادگان[۱]، سهیل ایگدری[۲]، عارف پیربیگی[۳] و شیوا ندائی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی کرج، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران،
[۲]استادیار گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی کرج، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران،
[۳]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران،
[۴]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه شیلات، پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی کرج، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ ارسال: ۹۱/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۹

چکیده

دست‌کاری اکوسیستم‌های آبی از جمله ساخت سدها برروی رودخانه‌ها شرایط اکولوژیکی و تکاملی جدیدی را پیش‌روی آبزیان آن قرار می‌دهد که باید به آن پاسخ دهند. از این‌رو، این مطالعه با هدف بررسی اثر سد تاریک رودخانه سفیدرود در بخش غرب حوزه دریای خزر روی شکل بدن جمعیت‌های ماهی خیاطه دو طرف سد با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه به اجرا درآمد. تعداد ۳۰ نمونه ماهی خیاطه از هر طرف سد نمونه‌برداری شد. از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری گردید و بر روی تصاویر دوبعدی حاصل با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 تعداد ۱۸ نقطه لندمارک گذاشته شد. پس از روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست، مقایسه شکل بدن دو گروه با استفاده از تحلیل تشخیصی (DFA) و TtestHotelling انجام شد. مصورسازی تغییرات شکل بدن میانگین جمعیت‌ها توسط نمودار wireframe صورت پذیرفت. تفاوت معنی‌داری بین شکل بدن دو جمعیت قبل و بعد از سد یافت شد ($P<۰/۰۰۰۱$). تفاوت شکل بدن دو گروه مربوط به لندمارک‌های نواحی سر، پوزه، باله مخرجی و ساقه دمی بود. این نتایج پیشنهاد می‌کند که ویژگی‌های زیست‌گاهی در کنار جدایی جغرافیایی از عوامل تعیین‌کننده تغییرات تکاملی است که منجر به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان زیست‌کننده در آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **ماهی خیاطه، ریخت‌سنجی، انعطاف‌پذیری ریختی، سفید رود**

*مسئول مکاتبه: esmaeilzadegan@gmail.com

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

مقدمه

دست‌کاری و تغییر بسیاری از اکوسیستم‌های آبی از سوی انسان از جمله ساخت سدها روی رودخانه‌ها موجب ایجاد زیستگاه‌های جدیدی برای آبزیان می‌شود. سدها جزء مخرب‌ترین تغییرات انسانی ایجاد شده در اکوسیستم‌های رودخانه هستند؛ چرا که با تبدیل رودخانه‌ها به آب‌گیرها، سبب تغییرات وسیعی در سیمای طبیعی محیط و رودخانه می‌شوند. تغییر شرایط زیستگاهی از آب جاری به آب ساکن می‌تواند شرایط اکولوژیکی و تکاملی جدیدی را پیش‌روی آبزیان آن قرار دهد که باید به آن شرایط پاسخ دهند. به عبارت دیگر، اجتماعات موجود در این محیط‌ها از جمله ماهیان ساکن زیستگاه‌های جدید، برای ادامه حیات مجبور به سازگاری با شرایط اکوسیستم جدید می‌شوند (Graf, 1999). این تغییرات و سازگاری‌ها به شکل تغییرات ریختی یا رفتاری بروز می‌کند؛ چراکه این صفات در محیط جدید، عملکرد بهتری خواهند داشت.

مطالعه انعطاف‌پذیری ویژگی‌های ریخت‌شناختی جمعیت‌های یک گونه که در محیط‌های متفاوت از نظر خصوصیات زیست‌گاهی زندگی می‌کنند، امکان درک بهتر تغییرات ویژگی‌های جمعیتی را در مقابل تغییرات محیطی فراهم می‌کند (Kuliev, 1984). انعطاف‌پذیری ریختی جمعیت‌های یک گونه در محیط‌های متنوع، پدیده‌ای است که در نتیجه اثر فاکتورهای محیطی بر اجداد جمعیت‌های یک گونه در راستای پدیده گونه‌زایی حاصل می‌شود (Adams and Collyer, 2009). به‌عبارت دقیق‌تر، تنوع ریخت‌شناختی، ممکن است نتیجه انعطاف‌پذیری ریختی، سازگاری‌های منطقه‌ای، تغییرات خصوصیات اکولوژیکی، عوامل زیستی یا رابطه متقابل هر یک از این فرآیندها باشد. بنابراین، تکامل جمعیت‌ها باعث ایجاد سازگاری آنها با شرایط زیستی در مناطق مختلف می‌شود که این امر، خود می‌تواند دلیل به‌وجود آمدن اختلافات ریخت‌شناختی و ژنتیکی بین جمعیت‌ها و همچنین بین گونه‌های ماهیان باشد (Swain and Foote, 1999; Nicieza, 1995). ویژگی‌های ریختی ماهیان نسبت به تغییرات ناشی از محیط حساسیت بالایی دارند. از جمله عوامل تاثیرگذار بر ریخت: نوع بستر، جریان آب، پوشش گیاهی، رقابت، صید و میزان دسترسی به منابع غذایی به شمار می‌روند (Nicieza, 1995).

مقایسه شکل بدن ماهیان خیاطه جمعیت‌های دو طرف این سد، می‌تواند انعطاف‌پذیری ریختی وابسته به زیستگاه را در ماهی خیاطه آشکار سازد. نتایج این پژوهش، می‌تواند به درک بهتر روند انعطاف‌پذیری ریختی ماهیان تحت شرایط فوق کمک کند. ماهی خیاطه به‌طور عمده در نهرهای کوچک و کمتر در رودخانه‌های بزرگ ایران یافت می‌شود. این گونه به همراه سیاه ماهی (*Capoeta capoeta*) از جمله فراوان‌ترین گونه رودخانه‌های حوزه دریای خزر است (Coad, 2013). اعضای این گونه در رودخانه‌هایی با آب پراکسیژن و با آلودگی کمتر یافت می‌شوند (Abdoli, 2000; Coad, 2013).

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

سد انحرافی تاریک از نوع دریچه‌دار مختلط بتونی- خاکی بوده و در محل تلاقی رودخانه تاریک (سیاهرود) و سفیدرود در ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه طول جغرافیایی واقع در استان گیلان و با فاصله تقریبی ۳۵ کیلومتر در پایین دست سد مخزنی سفیدرود در سال ۱۳۴۷ به بهره‌برداری رسیده است. با توجه به قدمت این سد روی رودخانه سفیدرود و نسبتا طولانی بودن جدایی جمعیتی بین ماهیان قبل و بعد سد، این مطالعه با هدف بررسی اثر سد تاریک بر شکل بدن ماهیان خیاطه (*A. eichwaldi*) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی لندمارک پایه به اجرا درآمد. روش ریخت‌سنجی هندسی روشی بر پایه مختصات لندمارک‌ها است که برای آنالیز تغییرات شکل نمونه‌های مورد مطالعه استفاده می‌شود. به‌طور معمول در مطالعات ریخت‌سنجی هندسی، داده‌های حاصله مختصات لندمارک‌ها می باشد که برای استخراج داده‌های شکل، استفاده می‌شوند. این داده‌ها می‌توانند در یک شبکه تغییر، مصورسازی شوند (Adams *et al.*, 2002).

مواد و روش کار

در این مطالعه تعداد ۳۰ نمونه ماهی خیاطه از بعد سد تاریک ("۴۶ '۵۹ °۳۶ :N ,"۵۲ '۴۱ °۴۹ :E) و تعداد ۳۰ عدد از قبل از این سد ("۲۸ '۵۹ °۳۶ :N ;"۴۵ '۳۳ °۴۹ :E) در مردادماه توسط دستگاه الکتروشوکر صید شد. ماهیان صید شده پس از بیهوشی در محلول گل میخک، در فرمالین بافری ۱۰ درصد تثبیت شده و سپس برای ادامه مطالعات به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور کاهش تغییرات شکل بدن ناشی از رشد آلومتریک، تنها نمونه‌های بالغ و بزرگ‌تر از ۷۵ میلی‌متر انتخاب شدند.

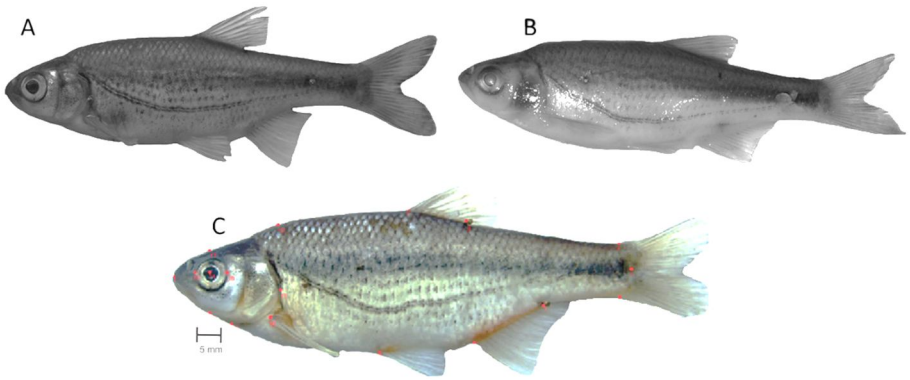
از سمت چپ سطح جانبی نمونه‌ها با استفاده از Copystand مجهز به دوربین دیجیتال Kodak با قدرت تفکیک ۶ مگاپیکسل عکس‌برداری شد. برای استخراج داده‌های شکل در روش ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۱۵ لندمارک و ۳ نیمه لندمارک تعیین شد (شکل ۱). لندمارک‌ها با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دو بعدی قرار داده شدند. روی هم‌گذاری جایگاه لندمارک‌های نمونه‌ها با استفاده از آنالیز پروکراست (GPA) به‌منظور حذف تغییرات غیر شکل صورت پذیرفت (Zelditch, 2004). برای مقایسه اندازه نمونه‌های جمعیت‌های مورد مطالعه از اندازه مرکز (Centroid Size)، که توسط نرم‌افزار Past محاسبه گردید، استفاده شد. اندازه‌های مرکز نرمال شده دو طرف سد توسط Ttest مقایسه شدند. داده‌های حاصل شکل بدن جمعیت‌های مورد مطالعه با استفاده آنالیزهای چندمتغیره تحلیل تشخیصی (DFA) و آنالیز تی-تست هتلینگ (Hotelling) توسط نرم‌افزارهای PAST (version 2.10) و MorphoJ تحلیل شدند. مصورسازی تفاوت شکل بدن میانگین (Consensus configuration) دو جمعیت نسبت به یک‌دیگر، با استفاده از نرم‌افزار MorphoJ و توسط شبکه wireframe صورت پذیرفت.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

نتایج

اندازه مرکز نمونه‌های دو جمعیت قبل و بعد از سد تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). آنالیز T-test نشان داد که نمونه‌های قبل از سد اندازه بزرگ‌تری نسبت به نمونه‌های بعد سد دارند (شکل ۲). تحلیل تشخیصی (DFA) نشان داد که از نظر شکل بدن دو جمعیت ماهیان قبل و بعد از سد، کاملاً از یکدیگر جدا بوده و بر اساس آنالیز چند متغیره تی-تست هتلینگ تفاوت معنی‌داری با هم دارند (P<۰/۰۰۰۱) (شکل ۳).

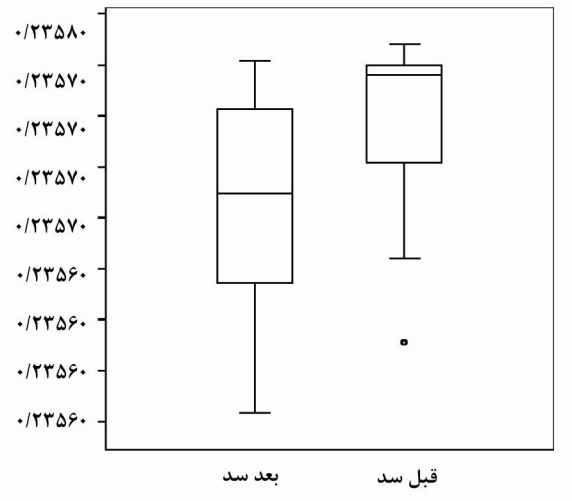
مقایسه میانگین شکل بدن دو جمعیت ماهیان قبل و بعد از سد براساس نمودار wireframe نشان داد که تفاوت‌ها در شکل بدن مربوط به لندمارک‌های نواحی سر، پوزه، باله مخرجی و ساقه دمی است (شکل ۴). در ماهیان ایستگاه قبل از سد لندمارک‌های شماره ۱، ۱۷و ۱۸ به طرف داخل جابه‌جا شده بودند. به عبارت دیگر، آنها سری کوچک با پوزه‌ای کوتاه داشتند. باله مخرجی در ماهیان قبل سد به واسطه عریض شدن ناحیه ابتدای ساقه دمی، به قسمت شکمی‌تر جابه‌جا شده بودند (لندمارک شماره ۷) (شکل ۴). در کل ماهیان بعد از سد دارای سر، پوزه و دهان بزرگ‌تر، قطر چشم بیش‌تر،ساقه دمی عریض‌تر می‌باشند.



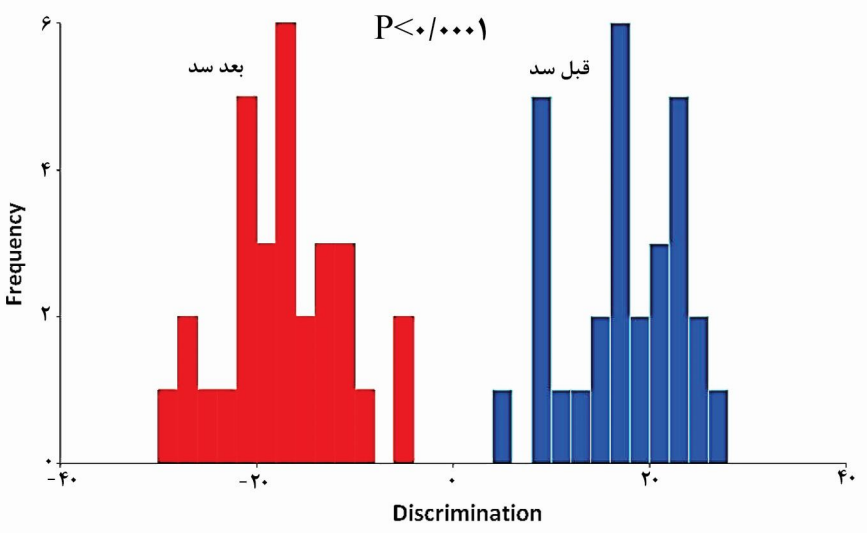
شکل ۱- (A) نمونه ماهی خیاطه قبل از سد، (B) نمونه ماهی خیاطه بعد از سد و (C) لند مارک‌های تعیین شده بروی نمونه ماهیان

۱- ابتدایی‌ترین نقطه پوزه در قسمت فک بالا (نوک پوزه)، ۲- ابتدای قاعده باله پشتی، ۳- انتهای قاعده باله پشتی، ۴- قسمت بالایی حداکثر تورفتگی ساقه دمی، ۵- انتهایی‌ترین بخش ساقه‌دمی، ۶- قسمت پایینی حداکثر تورفتگی ساقه دمی، ۷- انتهای قاعده باله مخرجی، ۸- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۹- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۰- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۱۱- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی، ۱۲- خطی عمود بر انتهای سرپوش آبششی به سمت بالای بدن (نیمه لندمارک)، ۱۳- انتهایی‌ترین بخش سرپوش آبششی در زیر بدن، ۱۴- نقطه وسط قطر چشم، ۱۵- انتهایی‌ترین نقطه چشم (سمت چپ)، ۱۶- ابتدایی‌ترین نقطه چشم (سمت راست)، ۱۷- امتداد خط عمود از لندمارک شماره ۱۴ به سمت بالای بدن (نیمه لندمارک)، ۱۸ امتداد خطی موازی از لندمارک شماره ۱۴به سمت پایین بدن (نیمه لندمارک)

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

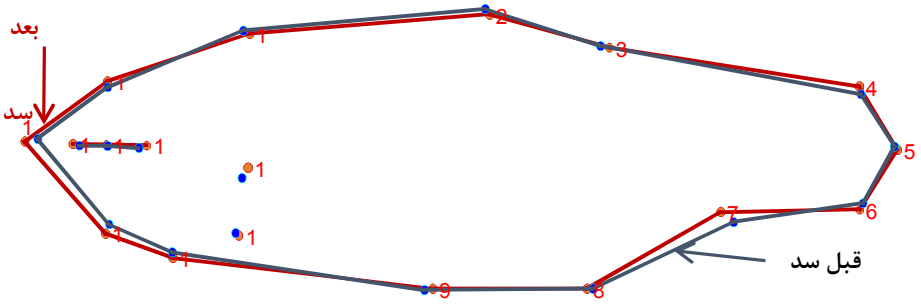


شکل ۲- مقایسه اندازه مرکز دو جمعیت قبل و بعد از سد ماهی خیاطه.



شکل ۲- نمودار تحلیل تشخیصی (DFA) داده‌های مختصات لندمارک‌های مربوط به شکل بدن ماهیان خیاطه قبل و بعد از سد.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]



شکل ۴- نمودار مقایسه شکل بدن جمعیت‌های ماهی خیاطه قبل و بعد از سد بصورت گراف Wireframe.

بحث

نتایج نشان داد که ماهیان خیاطه بعد از سد، دارای سر و پوزه بزرگ‌تری بودند. اندازه سر و موقعیت چشم با وضعیت عمودی زیستگاه و نوع تغذیه در ارتباط است (Aleev, 1969). به‌طور عمده، تغییر شکل در ناحیه سر و دهان منعکس‌کننده تفاوت در تغذیه شامل نوع و جهت تغذیه و ترکیب غذایی مورد استفاده است (Langerhans *et al.*, 2003). از این‌رو، تفاوت شکل پوزه ماهیان قبل و بعد از سد احتمالاً به دلیل تفاوت نوع و منابع مورد تغذیه در آنها است. قبل از سد، آب نسبتا ساکن بوده و دارای حجم و عمق بیشتری است؛ از این‌رو، افزایش عمق آب و در نتیجه رسوب بیش از حد مواد در بستر ممکن است سبب تغییرات در غذای در دسترس از جمله افزایش گیاهان حاشیه‌ای و موجودات ساکن در بین آنها و بنتوزها شده باشد. سر بزرگ و پوزه درازتر در ماهیانی که در ستون آب‌های جریان‌دار تغذیه می‌کنند، مثل جمعیت‌های بعد از سد، یک مزیت به شمار می‌رود (Winemiller, 1992; Moyle and Cech, 2000). ساقه دمی عریض‌تر می تواند قابلیت شنا در ماهیان (Fisher and Hogan, 2007) را به‌واسطه تسریع شروع حرکت، افزایش دهد (Webb, 1984). این ویژگی در ماهیان بعد از سد برای کسب غذا و فرار از شکارچیان اهمیت بیشتری دارد. نمونه‌های بعد از سد اندازه کوچک‌تری نسبت به ماهیان قبل از سد داشته و همچنین فضای مخفی شدن در این ناحیه کم‌تر می‌باشد. اندازه بزرگ‌تر ماهیان قبل از سد نیز می تواند به‌دلیل فراهم بودن غذای در دسترس بیشتر در دریاچه قبل از سد، قابل توجیه باشد.

زیستگاه، درجه حرارت و نوع جریان آب به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده شکل بدن در ماهی خیاطه گزارش شده است (Dadikyan, 1973). بنابراین، افزون بر تفاوت در رژیم جریان آب در دو طرف سد، تفاوت دمای آب بین این دو قسمت نیز بر روی شکل و اندازه بدن جمعیت‌های زیست‌کننده در آن مناطق توانسته تأثیرگذار باشد. بر اساس مطالعات قبلی ماهیان خیاطه در زیستگاه‌های مختلف با توجه به شرایط حاکم بر آن زیستگاه از جمله وضعیت بستر، شدت جریان آب، نحوه تغذیه بر اساس غذاهای در دسترس،

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

به تفاوت‌هایی در شکل ظاهری به خصوص در قسمت قدامی بدن، دچار می‌شوند (Eagderi *et al.*, 2013). این خصوصیت بیان می‌کند که ویژگی‌های زیستگاهی در کنار جدایی جغرافیایی از عوامل تعیین‌کننده تغییرات تکاملی است که منجر به تغییر ویژگی‌های ریختی ماهیان آن منطقه می‌شود.

نتایج این پژوهش، تمایز شکل بدن جمعیت‌های ماهی خیاطه مورد مطالعه قبل و بعد سد را طی مدتی که از احداث سد می‌گذرد، تأیید می‌کند. تغییر در رژیم آبی یک رودخانه و تبدیل بخشی از آن به یک منبع آبی ساکن به‌طور اساسی بر شکل بدن آبزیان تأثیر می‌گذارد (Haas *et al.*, 2011). مطالعات بسیاری نیز سازگاری یا تمایز شکل بدن وابسته به زیستگاه را در ماهیان متفاوت نشان داده‌اند (Robinson and Wilson 1994; Hendry *et al.,* 2002; Langerhans *et al.*, 2003). با توجه به گذشت زمان اندک یعنی حدود ۳۰ سال از احداث این سد، جدایی جمعیت‌های دو طرف سد قابل مشاهده است و این امر بیانگر تأثیر دخالت‌های بیرونی بر ویژگی‌های زیستی ماهیان از جمله تنوع گونه‌ای و شکل بدن ماهیان است.

منابع

Abdoli A. 2000. The inland water fishes of Iran. Tehran: Nature and Wildlife Meusume of Iran.

Adams D.C., Rohlf F.J., Slice D.E. 2002. Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the 'Revolution'. ItalianJournal of Zoology, 71:5-16.

Adams D.C., Collyer M.L. 2009. A general framework for the analysis of phenotypic trajectories in evolutionary studies. 63 (5): 1143–1154.

Aleev Y.G. 1969. Function and gross morphology in fish. Israel Program for Scientific.

Coad B. 2013. Fresh water fishes of Iran.Available at: www.briancoad.com/contents.htm.

Dadikyan M.G. 1972. A new subspecies of the European riffle minnow *Alburnoides bipunctatus armeniensis* sub sp. nov. Journal of Ichthyology, 12: 519-522.

Eagderi S., Esmaeilzadegan E., Madah A. 2013. Body shape variation in riffle minnows (*Alburnoides eichwaldii* De Filippii, 1863) populations of Caspian Sea basin. Journal of taxonomy and biosystematics.in press.(In farsi)

Fisher R., Hogan J.D. 2007. Morphological predictors of swimming speed: a case study of pre-settlement juvenile coral reef fishes. Journal of Experimental Biology, 210: 2436–2443.

Graf W.L. 1999. Dam nation: a geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts.WaterResour. Res, 35: 1305–1311.

Haas T.C., Blum M.J., Heins D.C. 2011. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. Biological Letter, 6: 803-806.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]

Hendry A.P., Taylor E.B., McPhail J.D. 2002. Adaptive divergence and the balance between selection and gene flow: lake and stream stickle back in the misty system. Evolution, 56: 1199–1216.

Kuliev Z.M. 1988. Morphometric and ecological characteristics of Caspian Vimba "*Vimbavim bapersa*". Journal of Ichthyology, 28: 29-37.

Langerhans R.B., Layman C.A., Langerhans A.K., DeWitt T.J. 2003. Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. Biological Journal of Linnean Society, 80: 689–698.

Moyle P.B, Cech J.J Jr. 2000. Fishes: an introduction to ichthyology. Uppersaddle River, NJ:Prentice Hall.

Nicieza A.G. 1995. Morphological variation between geographically disjunct populationsof Atlantic salmon: the effects of ontogeny and habitat shift. Functional Ecology, 9: 448–456.

Robinson B.W., Wilson D.S. 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. American Nature, 144: 596–627.

Swain D.P., Foote C.J. 1999. Stocks and chameleons: The use of phenotypic variation in stock identification. Fisheries Research, Vol. 43: 113-128.

Webb P.W. 1982. Locomotor patterns in theevolution of actinopterygian fishes. American Zoologist, 22: 329–342.

Winemiller K.O. 1992. Ecomorphology of freshwater fishes. National Geographic Research and Exploration, 8:308–327

Zelditch M. 2004. Geometric morphometrics for biologists: a primer. Elsevier Academic Press, New York., Vol. 43: 113-128.

[Downloaded from jair.gonbad.ac.ir on 2025-03-19]