



رابطه خصوصیات مورفولوژیک با همپوشانی آشیان اکولوژیک در ماهیان سفید رودخانه‌ای نمک (*Squalius namak*) در رودخانه جاجرود

حامد شعبانلو^{۱*}، هادی پورباقر^۱، سهیل ایگدری^۱

۱- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: میزان همپوشانی در آشیان‌های اکولوژیکی می‌تواند میزان اشتراک منابع و رقابت بین گونه‌ای بالقوه را نشان دهد. شدت یا تأثیر اشتراک منابع و رقابت نیز ممکن است تا حدی به فراوانی گونه‌ها، به ویژه در وضعیت محدودیت منابع مرتبط باشد. در این راستا تغییرات سازگاری در ریخت می‌تواند تفاوت‌هایی در عملکرد گونه‌ها ایجاد نماید که در نهایت منجر به تغییراتی در استفاده از منابع شود. ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند شکل بدن، قرارگیری باله‌ها و جهت دهان در ماهی‌ها به گونه‌ای تکامل یافته است که با زیستگاه‌های خاص آنها سازگار باشد. ماهی سفید رودخانه‌ای <i>Squalius</i> یا <i>Chub</i> جنسی از خانواده کپورماهیان است که اخیراً شناسایی شده و در نتیجه مطالعات کمی روی آن صورت گرفته است. لذا اطلاعات حاصل از این پژوهش می‌تواند به درک فرایندهای اکولوژیکی و چگونگی واکنش ماهی سفید رودخانه‌ای نمک (<i>Squalius namak</i>) به چالش‌های محیطی با مقایسه الگوهای مختلف در صفات مورفولوژیکی و اکولوژیکی کمک کند.
تاریخچه مقاله:	
دریافت:	۱۴۰۳/۱۱/۱۸
پذیرش:	۱۴۰۳/۱۲/۱۱
کلمات کلیدی:	آشیان اکولوژیک، مورفومتری هندسی، مورفومتری سنتی، ماهی سفید رودخانه‌ای، <i>Squalius namak</i>
	<p>مواد و روش‌ها: از رودخانه جاجرود تعداد ۱۰۳ ماهی سفید رودخانه‌ای نمک (<i>S. namak</i>) نمونه‌برداری شد. به منظور تعیین آشیان اکولوژیک از ۹ متغیر محیطی استفاده شد. برای مطالعات ریخت‌سنجی از نمونه‌ها عکس‌برداری شد. با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دوبعدی تعداد ۱۳ لندمارک تعریف شدند. در روش ریخت‌سنجی سنتی تعداد ۱۷ صفت اندازه‌گیری بر روی تصاویر تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شدند. ابتدا با استفاده از داده‌های حاصل از مورفومتری سنتی (طول کل، طول چنگالی و...) و خوشه‌بندی k-میانگین اقدام به گروه‌بندی ماهیان بر اساس سایز شد. روش مورد استفاده برای همپوشانی آشیان اکولوژیک، استفاده از منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه بود. برای محاسبه‌ی منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه از روشی ناپارامتری به نام هموارسازی هسته‌ای برای ترسیم رابطه بین هر متغیر محیطی و تعداد ماهی در هر ایستگاه استفاده شد. با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)، داده‌های حاصل از مورفومتری هندسی و سنتی به صورت یک نمره درآمدند. در نهایت با رگرسیون خطی رابطه بین نمرات ایستگاه‌ها و میانگین اختلاف همپوشانی‌های آشیان اکولوژیک و نمرات بررسی شد.</p> <p>نتایج: قطر سنگ بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول پیش باله پشتی و طول پیش باله سینه‌ای و بیشترین رابطه‌ی منفی معنی‌دار را با طول پس باله پشتی، طول ساقه دم و طول پس چشمی (length Postorbital) نشان داد. EC و TDS به ترتیب بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول چنگالی، قطر چشم و طول پوزه نشان دادند. براساس الگوهای جابه‌جایی لندمارک‌ها بیشترین تفاوت، مربوط به جایگاه لندمارک‌های</p>

مستقر در نیمه‌ی خلفی بدن بود، هرچند نوک پوزه نیز تغییرپذیری بالایی نشان داد. منحنی‌های همپوشانی آشیان اکولوژیک بالاترین همپوشانی را برای سرعت جریان آب نشان دادند. EC و TDS کمترین میزان همپوشانی را نشان دادند. بر اساس نتایج می‌توان استدلال کرد که هرچه ماهیان این گونه کوچکتر باشند عامگراتر بوده و در ترجیح زیستگاهی غیرتخصصی می‌باشند اما با افزایش سایز شاهد تخصص‌گرایی و در نتیجه افزایش همپوشانی در آشیان اکولوژیک مطلوب و احتمالاً رقابت بین ماهیان این گونه خواهیم بود.

بحث: دو گروه مورد مطالعه در این گونه در رودخانه جاجرود از طریق ترجیح زیستگاه و بهره‌برداری از منابع، رقابت درون گونه‌ای را کاهش داده‌اند. اگرچه در برخی از پارامترها همپوشانی بالایی مشاهده شد، اما به طور کلی همپوشانی آشیان اکولوژیک بین گروه‌های مختلف این ماهیان در حد متوسطی قرار داشت و این اکوسیستم با در اختیار قرار دادن زیستگاه ترجیحی گونه‌ها تا حد زیادی رقابت را کاهش داده است. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود تا میزان دسترسی به غذا و تأثیر پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی آب بر حضور غذای مطلوب گروه‌های سایزی ماهیان این گونه و تأثیر پارامترهای محیطی زیستگاه بر ماهیان در فصول مختلف مورد بحث قرار گیرد.

مقدمه

آشیان اکولوژیک به توانایی یک جمعیت برای حفظ بقا در یک فضای چندبعدی تعریف شده توسط مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی اشاره دارد که نه تنها وضعیت (استفاده از منابع) جمعیت یا فرد در فضای اکولوژیکی جامعه را توصیف می‌کند، بلکه هم‌زیستی و رقابت بین گونه‌های درون جامعه را نیز نشان می‌دهد. ویژگی‌های عمده آشیان گونه‌های جامعه، عمدتاً شامل وسعت آشیان و همپوشانی آشیان است (Hu et al., 2022). میزان همپوشانی در آشیان‌های اکولوژیکی می‌تواند میزان اشتراک منابع و رقابت بین گونه‌های بالقوه را نشان دهد. شدت یا تأثیر اشتراک منابع و رقابت نیز ممکن است تا حدی به فراوانی گونه‌ها، به ویژه در وضعیت محدودیت منابع مرتبط باشد (Larocque et al., 2021). ارزیابی آشیان اکولوژیکی شامل مجموعه‌ای از روش‌ها جهت برآورد و ارزیابی متغیرهای موجود در محیط موجودات زنده و نحوه ارتباط و وابستگی این متغیرها با پراکنش و توزیع جغرافیایی موجودات است (Mouludi-Saleh et al., 2024). این رویکرد شاخص‌های حضور و فراوانی گونه‌ای را به مجموعه‌ای از شرایط محیطی بر مبنای روابط و همبستگی‌های موجود بین آن‌ها مرتبط می‌سازد (Moëzzi & Eagderi, 2024).

صفات مورفولوژیک جهت ارزیابی عملکردهایی که گونه‌ها در یک اکوسیستم معین نشان می‌دهند به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. تغییرات سازگاری در ریخت می‌توانند تفاوت‌هایی در عملکرد گونه‌ها ایجاد کنند که در

نهایت منجر به تغییراتی در استفاده از منابع شود (Pessoa et al., 2021). بنابراین مورفولوژی زیربنای فرآیندهای بیولوژیک و تکاملی مهمی است که کمتر به آن توجه می‌شود (Luo, 2024). ویژگی‌های مورفولوژی، از جمله ویژگی‌های مریستیک و ریخت‌سنجی، پیشینه تاریخی مهمی در زیست‌شناسی برای شناسایی جمعیت‌ها دارند (Kachi et al., 2025). ویژگی‌های مورفومتریکی و مریستیک می‌توانند به دلیل تأثیرات ترکیبی ژنتیک، عوامل محیطی و مراحل رشد در بین ذخایر متفاوت باشد (Jawad et al., 2022). علاوه بر این، ویژگی‌های مورفولوژیک مانند شکل بدن، واکنش‌های انعطاف‌پذیری را به فشارهای انتخابی در منابع، از جمله در دسترس بودن غذا، شکار و سرعت آب نشان می‌دهند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییرات مورفولوژیکی می‌توانند در کمتر از ۶۰ روز رخ دهند، در حالی که دیگر مطالعات، تغییرات بین نسل‌ها را در یک جمعیت پس از ۱۰ تا ۲۰ سال نشان داده‌اند (Hetzl & Forsythe, 2023).

ماهی‌ها یکی از متنوع‌ترین گروه‌های مهره‌داران در اکوسیستم‌های آبی هستند (Yedier et al., 2023). ویژگی‌های مورفولوژیک مانند شکل بدن، قرارگیری باله‌ها و جهت دهان در ماهی‌ها به گونه‌ای تکامل یافته است که با زیستگاه‌های خاص آن‌ها سازگار باشد (Nair, 2024). تنوع مورفولوژیک بین گونه‌ای و درون گونه‌ای عمدتاً در شکل بدن و سر ماهیان منعکس می‌شود (Martinez-Leiva et al., 2023). ماهیان رودخانه‌ای نسبت به سایر مهره‌داران درجه تنوع بیشتری را در درون و بین

گونه دیگر ماهی سفید رودخانه‌ای (*S. turcicus*) و (*S. berak*) بود (Mouludi-Saleh A Keivany, 2018a). بررسی مطلوبیت زیستگاه ماهی *S. namak* در رودخانه قره‌چای نشان که متغیرهای عرض، قطر متوسط سنگ بستر، ارتفاع و عمق رودخانه به ترتیب دارای بیشترین تأثیر بر نمایه مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید رودخانه‌ای نمک در رودخانه قره‌چای بودند (Radkhah et al., 2024). نظر به این که ماهی سفید رودخانه‌ای نمک (*Squalius namak*) یک گونه بومزاد و یکی از ماهیان مهم اکولوژیک آب‌های داخلی ایران می‌باشد (Khaefi et al., 2016) لذا اطلاعات حاصل از این پژوهش می‌تواند به درک فرایندهای اکولوژیک و چگونگی واکنش این ماهیان به چالش‌های محیطی با مقایسه الگوهای مختلف در صفات مورفولوژیک و اکولوژیک کمک نماید.

مواد و روش‌ها

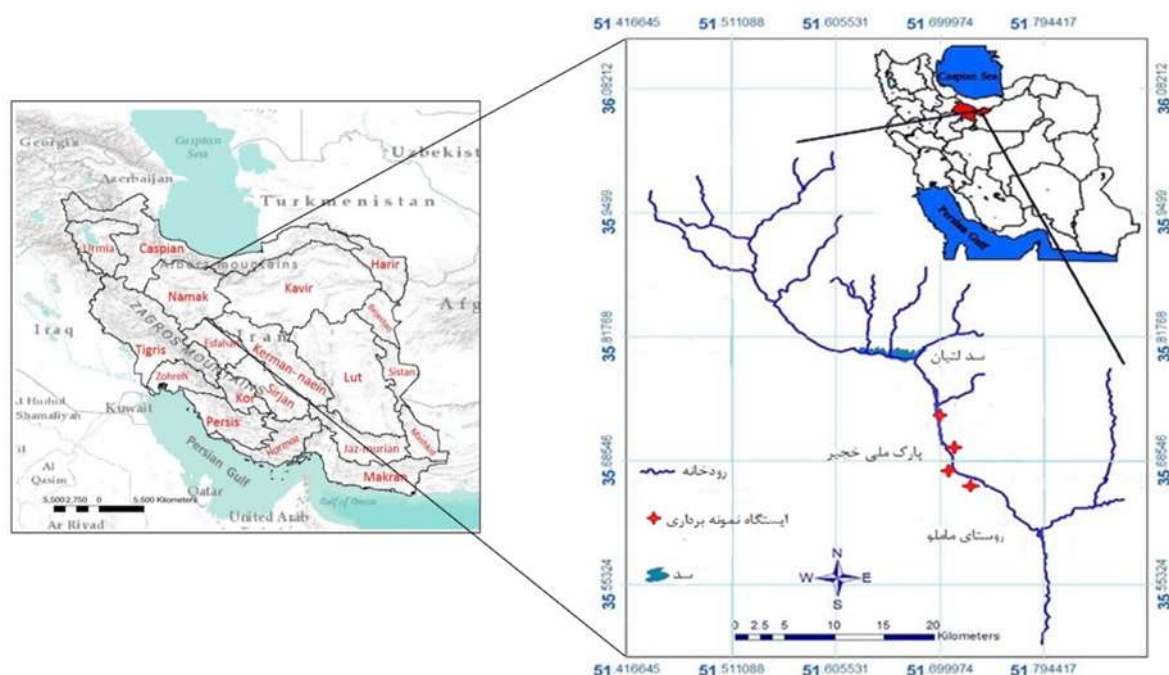
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه جاجرود به مساحت ۶۷۴ کیلومتر مربع در شمال شرقی تهران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه قرار دارد (شکل ۱). رودخانه اصلی حوضه جاجرود به طول ۴۰ کیلومتر است که از رشته کوه البرز سرچشمه می‌گیرد. میانگین دمای سالانه حوضه ۷/۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه بین ۱۴۹ تا ۶۲۷ میلی‌متر متغیر است (Najimi et al., 2023). رودخانه جاجرود یکی از رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه نمک می‌باشد که از حوضه‌های بسته ایران است که زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی به شمار می‌رود (Radkhah et al., 2024). این رودخانه دارای شیب ۴ درصد و بستر شنی و ماسه‌ای بریده بریده است. در سال‌های اخیر، افزایش صنایع فعال در منطقه جاجرود و دفع غیراصولی پساب‌های صنعتی و شیمیایی، آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه را آلوده کرده است (Hosseinabadi et al., 2022). در این تحقیق چهار ایستگاه در بالادست رودخانه جاجرود برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که مختصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جمعیت‌ها نشان می‌دهند و نسبت به تغییرات مورفولوژیک ناشی از محیط زیست حساس‌تر هستند (Kumar et al., 2021). برای نمونه در مطالعات گوناگون نشان داده شده است که ماهیان رودخانه‌ای برای کاهش اصطکاک، شکل دوکی به خود می‌گیرند در حالی که در شرایط جریان‌های کم، شکل عمیق‌تر بدن برای کمک به شنای انفجاری ماهیان مؤثرتر است (Hetzel & Forsythe, 2023).

ایران از نظر تنوع و بومزادگرایی دارای غنای بالایی از ماهیان آب شیرین است. طبق آخرین مطالعات، در مجموع ۲۹۲ گونه ماهی متعلق به ۳۶ خانواده و ۱۰۶ جنس در آب‌های داخلی ایران زیست می‌کنند (Eagderi et al., 2022). ماهی سفید رودخانه‌ای *Squalius* یا *Chub* جنسی از خانواده کپورماهیان است که در اروپا و آسیا یافت می‌شود. چهار گونه از جنس *Squalius* در ایران شناسایی شده‌اند که یکی از آن‌ها *Squalius namak* از حوضه دریاچه نمک می‌باشد (Esmaeili et al., 2018). ماهی سفید رودخانه‌ای حوضه دریاچه نمک (*S. namak*) که متعلق به زیرخانواده Leuciscinae است، نوعی ماهی بنتوپالزیک به شمار می‌رود که در آب‌های شیرین و شور یافت می‌شود (Froese & Pauly, 2023). این گونه به طور عمده در نهرهای با اندازه کوچک تا متوسط در مناطق کوهستانی و تپه‌ای یافت می‌شود. ماهی سفید رودخانه‌ای نمک یک گونه همه‌چیزخوار است و از منابع غذایی متنوع از کوچکترین (خرده گیاهان، بی‌مهرگان) تا بزرگترین (ماهیان کوچک) تغذیه می‌کند (Radkhah et al., 2024). گونه *S. namak* دارای قدرت باروری بالا و سرعت رشد سریع است (CABI, 2023). این گونه اخیراً شناسایی شده و در نتیجه مطالعات کمی روی آن صورت گرفته است (Mouludi Saleh & Keivany, 2018b).

در مطالعه‌ای که Keivany و همکاران (۲۰۱۸) برای مقایسه زیست‌سنجی گونه *Squalius namak* در رودخانه‌های حوضه نمک انجام دادند، صفات شمارشی جمعیت‌های مورد مطالعه با همدیگر همپوشانی داشتند و بین آن‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد (Keivany et al., 2018). در مطالعه تنوع ریختی ماهیان سفید رودخانه‌ای عنوان شد گونه *S. namak* دارای دهان متمایل به بالا، ارتفاع بدنی کمتر و باله مخرجی خلفی‌تر نسبت به دو



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری ماهیان *Squalius namak* از رودخانه جاجرود در حوضه آبریز نمک

جدول ۱- مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در رودخانه جاجرود

موقعیت جغرافیایی	ایستگاه	رودخانه
ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول (شمالی)	عرض (شرقی)
۱۳۲۱	۳۵.۶۶۱۵۶۴N	۵۱.۷۳۶۶۰۷۱ E
۱۳۴۳	۳۵.۶۷۴۰۰۹ N	۵۱.۷۱۷۳۱۵ E
۱۳۷۶	۳۵.۶۹۵۳۹۵ N	۵۱.۷۰۳۵۹۳ E
۱۴۲۹	۳۵.۷۲۴۰۲۰ N	۵۱.۷۰۰۱۰۵ E

پایین دست استفاده شد (Eagderi *et al.*, 2024). در این مطالعه، ایستگاه‌ها به نحوی تعیین شدند که علاوه بر عدم همپوشانی با یکدیگر، متأثر از فعالیت‌های شدید انسانی در منطقه نباشند (Mahmoudi & Abdoli, 2023). نمونه‌های به دست آمده پس از بیهوشی در محلول گل میخک با استفاده از کلیدهای معتبر و جدید مورد شناسایی قرار گرفتند (Eagderi *et al.*, 2022) و تعداد آن‌ها ثبت و پس از عکس‌برداری از سمت چپ آن‌ها و اطمینان از بازیابی قدرت شنای نمونه‌ها، ماهیان جمع‌آوری شده به زیستگاه خود بازگردانده شدند و تنها تعداد محدودی به آزمایشگاه منتقل شد.

ثبت متغیرهای محیطی: به منظور تعیین آشیان اکولوژیک از ۹ متغیر محیطی استفاده شد که عبارت

نمونه‌برداری ماهیان: با کمک عکس‌های ماهواره‌ای و بازدید میدانی، ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول رودخانه جاجرود و پارک ملی خجیر انتخاب شدند. نمونه‌برداری در فصل پاییز در رودخانه جاجرود از بالادست به سمت پایین دست انجام شد. با استفاده از دستگاه الکتروشوکر (SAMUS 750Mp) با الکتریسیته مستقیم پالس‌دار با ولتاژ ۲۰۰ تا ۳۰۰، نمونه‌های ماهی در مساحت معینی از ایستگاه صید شدند. در کلیه ایستگاه‌ها، طول ایستگاه نمونه‌گیری در حدود ۳۰ تا ۳۵ متر به صورت سه تکرار بود، نمونه‌برداری در زیستگاه‌های مختلف موجود در رودخانه، در سه مسیر مختلف در خلاف جهت جریان انجام شد. همچنین به منظور جلوگیری از فرار ماهیان، در کلیه ایستگاه‌ها از تورهای پشتیبان در بالادست و

بودند از عمق، عرض، سرعت جریان آب، ضریب هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول کل، اکسیژن محلول، قطر متوسط سنگ بستر، قلیائیت و درجه حرارت. مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی ثبت گردید. سرعت جریان آب با استفاده از روش جسم شناور، عمق متوسط با استفاده از متر فلزی، عرض رودخانه با استفاده از متر لیزری

Hyundai 504DM)، قطر متوسط سنگ‌های بستر رودخانه با خط‌کش و به تعداد ۲۰ عدد در هر ترنسکت ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر به تعداد ۱۰ ترنسکت در هر ایستگاه اندازه‌گیری شدند (Eagderi *et al.*, 2024). مواد جامد محلول کل (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، دمای آب و pH با دستگاه پرتابل چندکاره (Eutech)، اکسیژن محلول با اکسیژن‌متر (Lutron551)، ثبت گردید (جدول ۲).

جدول ۲- متغیرهای محیطی سنجش شده در ۴ ایستگاه مورد مطالعه در رودخانه

ایستگاه/ پارامترهای محیطی	۱ خجیر	۲ خجیر	۱ جاجرود	۲ جاجرود
تعداد ماهی	۱۵	۶۶	۱۸	۴
pH	۷/۷۹	۷/۹۱	۷/۸۹	۹/۱۴
دمای آب (C°)	۱۲/۱	۱۲/۸	۸/۵	۷
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	۸۶۲	۸۸۷	۶۳۸	۶۲۰
TDS (ppm)	۴۳۱	۴۳۳	۳۱۸	۲۹۲
DO (ppm)	۱۳/۱	۱۲/۹	۱۶/۵	۱۸/۸
عمق متوسط (سانتی‌متر)	۲۳/۳	۲۸/۳	۲۰/۱۶	۲۱
عرض رودخانه (متر)	۶/۳	۵/۲۸	۳۱/۸۳	۱۶/۳۶
سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۴۷	۰/۶۰
قطر متوسط سنگ‌های (سانتی‌متر)	۴/۳۱	بستر گلی	۱۶/۷۵	۱۴/۸

استخراج داده‌ها در روش ریخت‌سنجی هندسی:

برای مطالعات ریخت‌سنجی هندسی از سطح سمت چپ نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال کداک ۶ مگاپیکسل مجهز به پایه تصویربرداری، عکس‌برداری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دوبعدی

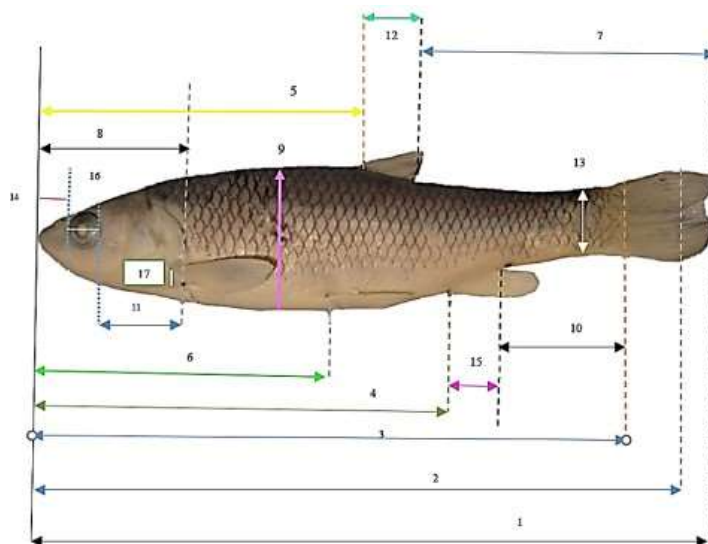
تعداد ۱۳ لندمارک تعریف (شکل ۲) و رقومی شدند و فایل tps ایجاد گردید. فایل tps که حاوی مختصات لندمارک‌ها بود با بسته Geomorph در نرم‌افزار R آنالیز شد (Eagderi *et al.*, 2015).



شکل ۲- لندمارک‌های تعریف شده برای ماهی. ۱- ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲- نقطه وسط چشم، ۳- امتداد خطی عمود از لندمارک شماره ۲ به سمت بالای بدن، ۴- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۵- انتهای‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۶- ابتدای قاعده باله پشتی، ۷- انتهای قاعده باله پشتی، ۸- ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۹- انتهای‌ترین نقطه قاعده باله شکمی، ۱۰- ابتدای قاعده باله مخرجی، ۱۱- انتهای قاعده باله مخرجی، ۱۲- انتهای ساقه دم در قسمت بالایی، ۱۳- انتهای ساقه دم در قسمت پایینی.

براساس روش Armbruster (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شدند (شکل ۳). دقت اندازه‌گیری‌ها ۰/۱ میلی‌متر بود.

استخراج داده‌ها در روش ریخت‌سنجی سنتی: در روش ریخت‌سنجی سنتی تعداد ۱۷ صفت اندازه‌شی بر روی تصاویر تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ



شکل ۳- فواصل اندازه‌گیری شده به وسیله نرم‌افزار ImageJ در ماهیان مورد مطالعه. (۱) طول کل، (۲) طول چنگالی، (۳) طول استاندارد، (۴) نوک پوزه تا ابتدای باله‌ی مخرجی، (۵) نوک پوزه تا ابتدای باله‌ی پشتی، (۶) نوک پوزه تا ابتدای باله‌ی شکمی، (۷) انتهای باله‌ی پشتی تا انتهای باله‌ی دم، (۸) طول سر، (۹) ارتفاع بدن، (۱۰) طول ساقه‌ی دم، (۱۱) طول انتهای چشم تا سرپوش آبخشی، (۱۲) طول باله‌ی پشتی، (۱۳) ارتفاع ساقه‌ی دم، (۱۴) طول پوزه، (۱۵) طول باله‌ی مخرجی، (۱۶) قطر چشم و (۱۷) طول باله‌ی سینه‌ای.

مقدار همواری^۳ خط پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن بهترین همواری، مقادیر یک تا ۱۰۰۰ در تابع ksmooth در نرم‌افزار R قرار داده شد. هرچه پهنای باند بیشتر باشد، همواری خط برازش داده شده هم بیشتر خواهد شد. مقادیر کم باعث می‌شوند که برای تمام مقادیر یک متغیر مستقل، مقداری پیش‌بینی نشود. بنابراین ابتدا با یک ماکرو تعیین گردید که حداقل مقدار پهنای باند که بتواند به یک هموارسازی منجر شود که برای تمام مقادیر یک متغیر مستقل بتوان عددی را پیش‌بینی نمود چقدر می‌باشد. سپس از این حداقل تا عدد ۱۰۰۰ به عنوان پهنای باند قرار داده شد. ماکرویی دیگر نوشته شد که در آن به ازای هر پهنای باند، مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) را برای خط هموار برازش داده شده تعیین نمود. چون هموارسازی هسته‌ای روشی ناپارامتری است و معادله‌ای ایجاد نمی‌نماید، امکان قرار دادن مقدار هر داده متغیر مستقل (X) در آن به منظور دریافت مقدار پیش‌بینی شده وجود ندارد. برای حل این مشکل با

بررسی همپوشانی آشیان اکولوژیک: ابتدا با استفاده از داده‌های حاصل از مورفومتری سنتی (طول کل، طول چنگالی و ...) و خوشه‌بندی k میانگین اقدام به گروه‌بندی ماهیان بر اساس سائز شد. چون تعداد نمونه‌ها در هر ایستگاه اندک بود، تنها دو گروه برای تفکیک ماهیان تعیین شد. روش مورد استفاده برای همپوشانی آشیان اکولوژیک، استفاده از منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه بود. برای محاسبه‌ی منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه از روشی ناپارامتری به نام هموارسازی هسته‌ای برای ترسیم رابطه بین هر متغیر محیطی و تعداد ماهی در هر ایستگاه استفاده شد (Mouludi-Saleh et al., 2024). در این روش ابتدا مقدار پهنای باند بهینه برای هموارسازی هسته‌ای با استفاده از مقدار خطای جذر میانگین مربعات تعیین گردید که در ادامه توضیح داده شده است. محاسبه‌ی مقدار خطای جذر میانگین مربعات^۲ (RMSE): مقادیر پهنای باند در هموارسازی هسته‌ای،

³ Smoothness

² Root means square error (RMSE)

داده شده برای ماهیان کوچک و بزرگ می‌باشند (Mouludi-Saleh et al., 2024).

(۳)

$$\text{Niche overlap} = \frac{A \cap B}{A + B - (A \cap B)}$$

رابطه بین مورفومتری سنتی و همپوشانی آشیان اکولوژیک: ابتدا اثر سایز ماهیان با استفاده از روش Elliott & Hurley, 1995) و نرم‌افزار PAST3 حذف گردید. سپس میانگین هر متغیر مورفومتری سنتی برای ماهیان هر ایستگاه به طور جداگانه محاسبه شد. با آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) نمرات برای ماهیان هر ایستگاه استخراج گردید. چون اثر سایز قبلاً حذف شده بود، نمره اولین مؤلفه‌ی اصلی (PC) به عنوان نمایه‌ای از شکل در نظر گرفته شد. سپس اختلاف هر یک از این نمرات با هر یک از مقادیر همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه گردید. در نهایت با رگرسیون خطی رابطه‌ی بین نمرات ایستگاه‌ها و میانگین اختلاف همپوشانی‌های آشیان اکولوژیک و نمرات بررسی شد.

رابطه بین مورفومتری هندسی و همپوشانی آشیان اکولوژیک: ابتدا اثر سایز، چرخش و جابجایی با استفاده از آنالیز پروکراستیز از نمونه‌ها حذف گردید. سپس مقدار میانگین هر لندمارک به‌طور جداگانه برای ماهیان هر ایستگاه محاسبه گردید. مقادیر میانگین لندمارک‌ها در هر ایستگاه به صورت ردیفی قرار داده شد. به این ترتیب برای هر ایستگاه یک ردیف داده وجود داشت. با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی این داده‌ها به صورت یک نمره درآمد. چون اثر سایز حذف گردیده بود، نمرات مؤلفه اول به عنوان توصیفگر شکل در نظر گرفته شد. سپس اختلاف هر یک از این نمرات با هر یک از مقادیر همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه گردید. در نهایت با رگرسیون خطی رابطه بین نمرات ایستگاه‌ها و میانگین اختلاف همپوشانی‌های آشیان اکولوژیک و نمرات بررسی شد.

استفاده از رگرسیون چند جمله‌ای با مرتبه بالا (در اینجا ۲۵) بین هر متغیر محیطی و مقدار پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای رابطه‌ای بدست آمد. داده‌های هر متغیر مستقل در معادله‌ی محاسبه شده برای مقادیر پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای قرار داده شد و مقدار پیش‌بینی شده توسط هموارسازی هسته‌ای بدست آمد. با دانستن مقادیر پیش‌بینی شده برای آن متغیر مستقل و با استفاده از رابطه زیر، RMSE محاسبه گردید (Ahmdezadeh et al., 2019).

(۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}}$$

که در آن RMSE، مقدار خطای جذر میانگین مربعات؛ \hat{x}_i متغیرهای مستقل و n ، تعداد متغیرهای مستقل هستند. پهنای باندی که منجر به کمترین RMSE شده بود به عنوان مقدار اپتیمم (بهینه) پذیرفته شد.

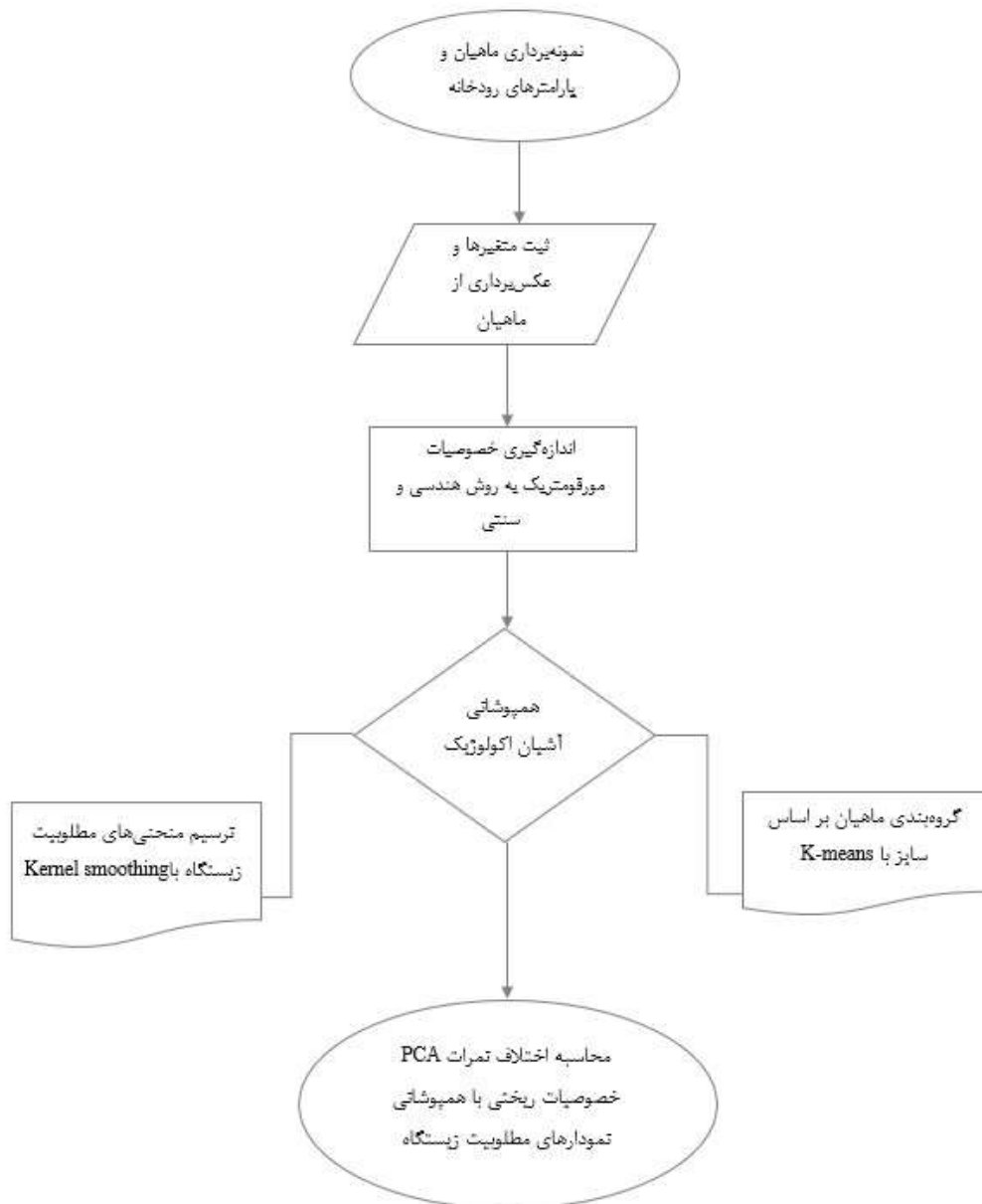
ترسیم نمودارهای SI: برای ترسیم نمودارها، ابتدا هموارسازی هسته‌ای با پهنای باند اپتیمم برازش داده شد و رگرسیون چند جمله‌ای آن نیز محاسبه شد تا بتوان مقدار پیش‌بینی شده را از آن بدست آورد. برای بدست آوردن نمودار SI ابتدا مقادیر پیش‌بینی شده با معادله زیر استانداردسازی شد (Shabanloo et al., 2022).

(۲)

$$\frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

که در این معادله \hat{x}_i متغیرهای محیطی، $\min(x)$ مقدار مینیمم هر متغیر و $\max(x)$ مقدار ماکزیمم هر متغیر است. سپس نمودار این مقادیر استانداردسازی شده و برای هر یک از متغیرهای محیطی شامل: pH، دما، EC، TDS، عمق، پهنای رودخانه، سرعت جریان آب و میانگین قطر سنگ نمودار SI رسم شد.

در نهایت با استفاده از هموارسازی هسته‌ای برای ماهیان کوچک و بزرگ هر ایستگاه، همواری برازش داده شد. نسبت مساحت مشترک زیر نمودار به مساحت کل طبق معادله زیر به عنوان همپوشانی آشیان اکولوژیک تعیین گردید. در معادله زیر A و B مساحت زیر هموار برازش

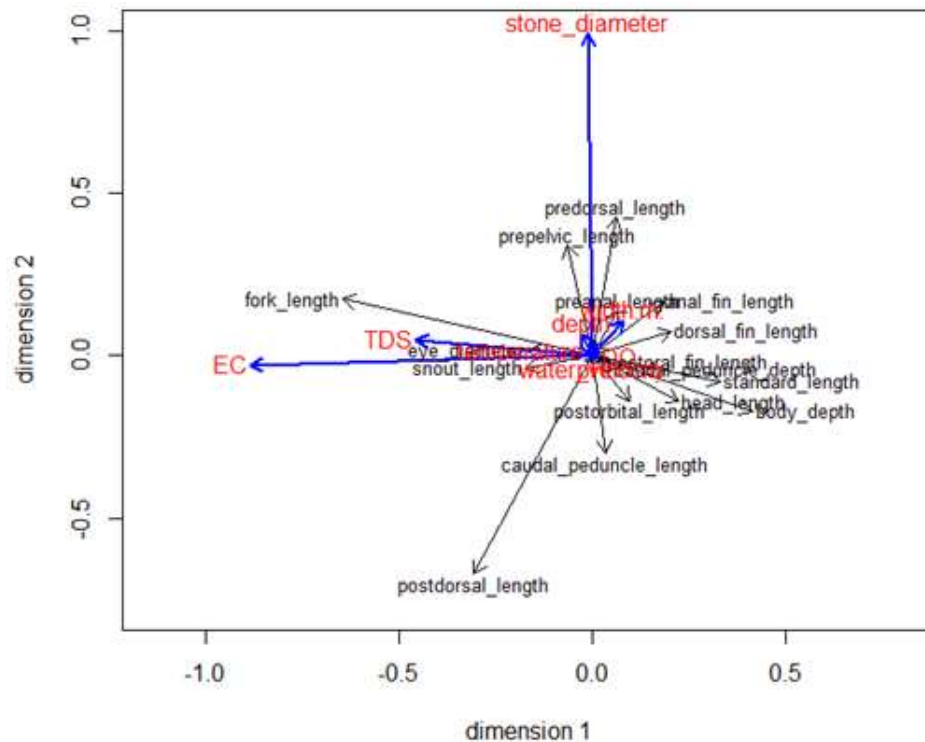


شکل ۴- نمودار روش کار در قالب یک فلوجارت

رابطه‌ی منفی معنی‌دار را با طول پس باله پشتی، طول ساقه دمی و طول پس چشمی (length Postorbital) نشان داد. EC و TDS به ترتیب بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول چنگالی، قطر چشم و طول پوزه نشان دادند (شکل ۵).

نتایج

روش ریخت‌سنجی سنتی: مقادیر پارامترهای محیطی مورد بررسی در شکل زیر ارائه شده است. براساس نتایج، قطر سنگ بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول پیش باله پشتی و طول پیش باله سینه‌ای و بیشترین



شکل ۵- دو نموداره حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه بین داده‌های ریخت‌سنجی سنتی و پارامترهای محیطی

بدن است، هرچند نوک پوزه نیز تغییرپذیری بالایی نشان داد. لندمارک‌های شماره یک (ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا)، شش (ابتدای قاعده باله پشتی)، هفت (انتهای قاعده باله پشتی)، ده (ابتدای قاعده باله مخرجی)، ۱۱ (انتهای قاعده باله مخرجی)، ۱۲ (انتهای ساقه دم در قسمت بالایی)، ۱۳ (انتهای ساقه دم در قسمت پایینی) بیشترین تغییرات را داشته‌اند که تغییرات این بخش‌ها گویای تغییرات شکل بدن به صورت جابه‌جایی قدامی-تحتانی جایگاه نوک پوزه (جابه‌جایی لندمارک شماره یک)، تا حدودی افزایش طول قاعده‌ی باله‌ی پشتی (جا به جایی لندمارک‌های شماره شش و هفت)، افزایش طول ساقه‌ی دم (جابه‌جایی لندمارک‌های ساقه دم) و تا حدودی افزایش طول قاعده‌ی باله‌ی مخرجی (جا به جایی لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) است که حاکی از وجود الگوی تنوع ریختی از نظر لندمارک‌های مذکور در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است (شکل ۷).

رابطه ریخت‌سنجی هندسی و متغیرهای محیطی:
رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS) یک همبستگی مثبت بین فاصله‌های پروکراست لندمارک‌ها با متغیرهای محیطی را نشان داد ($r^2 = 0/53$ ، $P = 0/001$ ، شکل ۷).

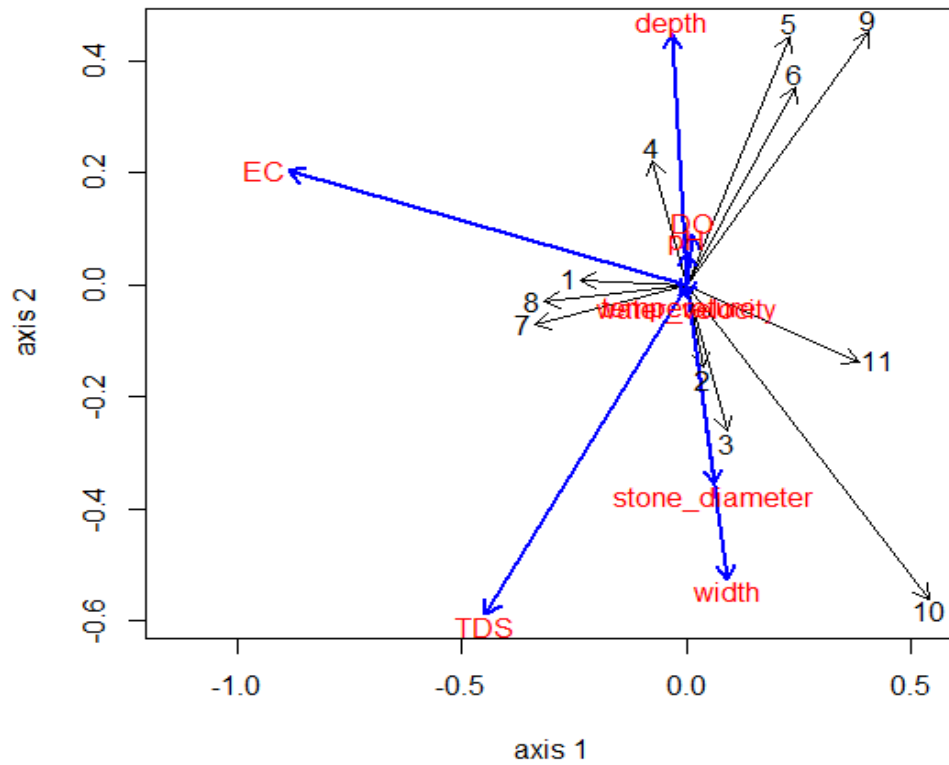
روش ریخت‌سنجی هندسی: دو نموداره‌ی حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS)^۴ برای داده‌های ریخت‌سنجی هندسی در شکل ۶ ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار با عمق رودخانه مربوط به لندمارک‌های شماره چهار (ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای)، نه (انتهای‌ترین نقطه قاعده باله شکمی)، پنج (انتهای‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای)، شش (ابتدای قاعده باله پشتی) بود و بیشترین ارتباط منفی معنی‌دار با عمق مربوط به لندمارک‌های شماره سه (امتداد خطی عمود از لندمارک شماره دو به سمت بالای بدن) دو (نقطه وسط چشم) و -۰ (ابتدای قاعده باله مخرجی) می‌باشد.

شکل اجماع^۵ جمعیت‌های ماهی و میزان جابجایی لندمارک‌ها مصورسازی شدند و این تغییر شکل بر اثر جابجایی موقعیت لندمارک‌ها در نمونه‌های صید شده تعریف شده است (شکل ۷).

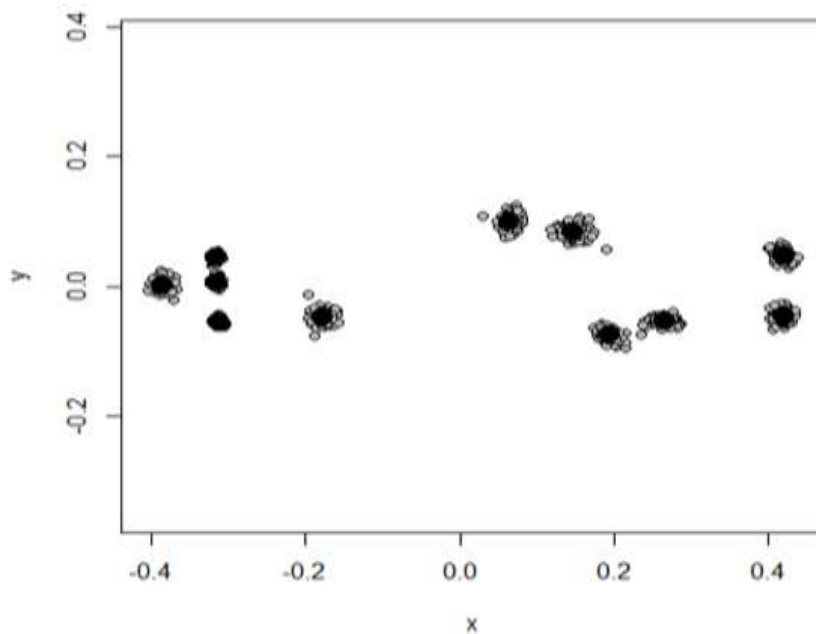
براساس الگوهای جابه‌جایی لندمارک‌ها بیشترین تفاوت مربوط به جایگاه لندمارک‌های مستقر در نیمه‌ی خلفی

⁴ Partial Least Square

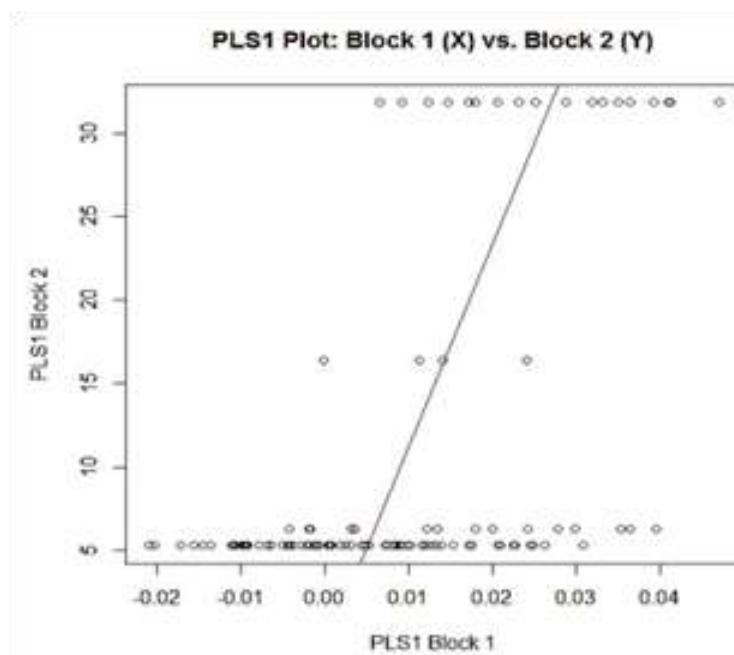
⁵ Shape Consensus



شکل ۶- دونموداره حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه بین لندمارک‌ها و پارامترهای محیطی

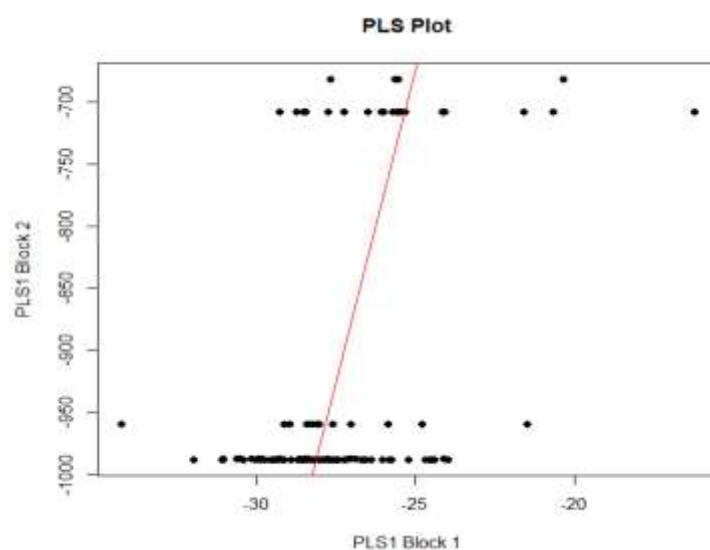


شکل ۷- شکل اجماع لندمارک‌ها و تغییرات شکلی آنها بعد از آنالیز پروکراست (GPA)



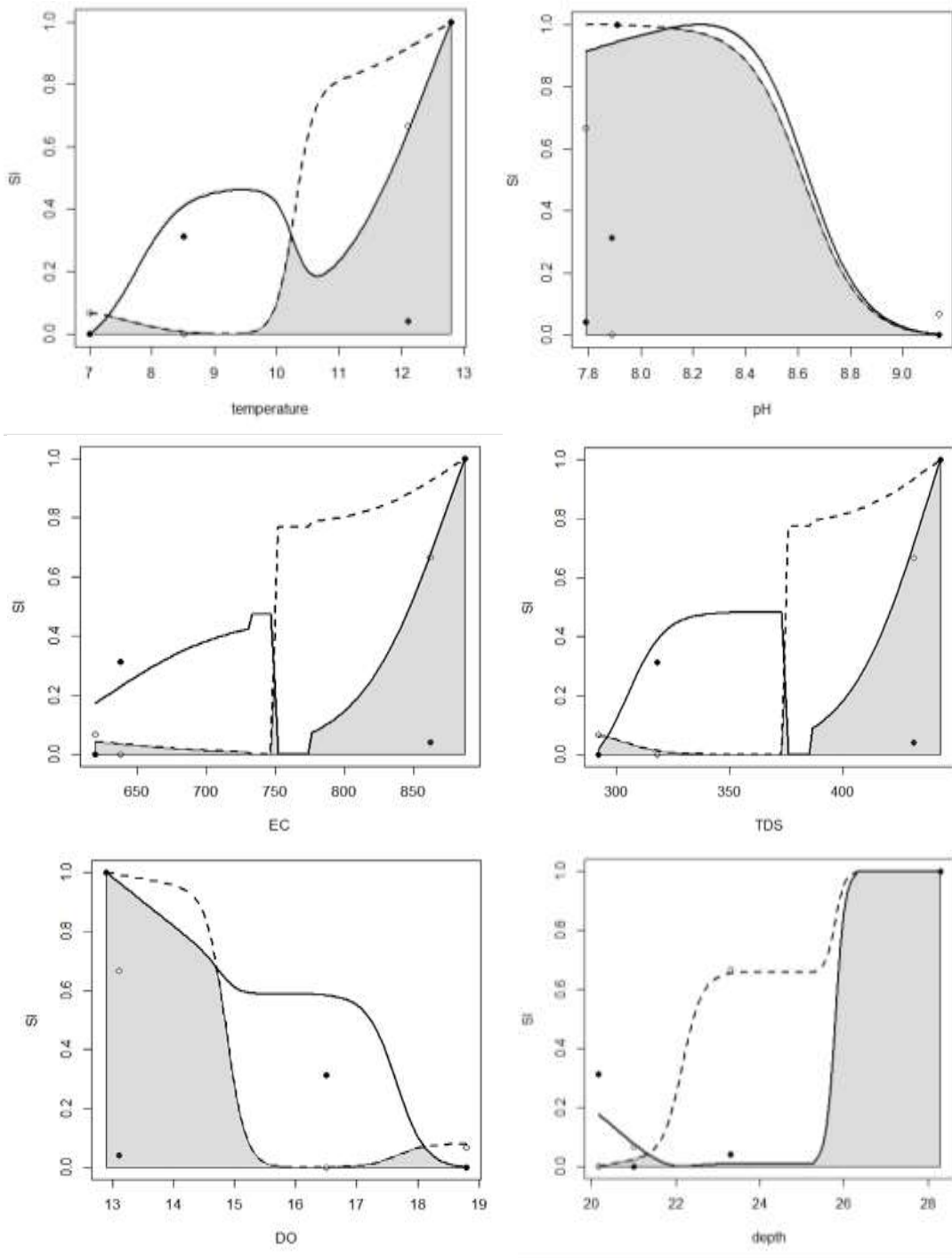
شکل ۸- همبستگی بین متغیرهای ریخت‌هندسی و متغیرهای محیطی با رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه

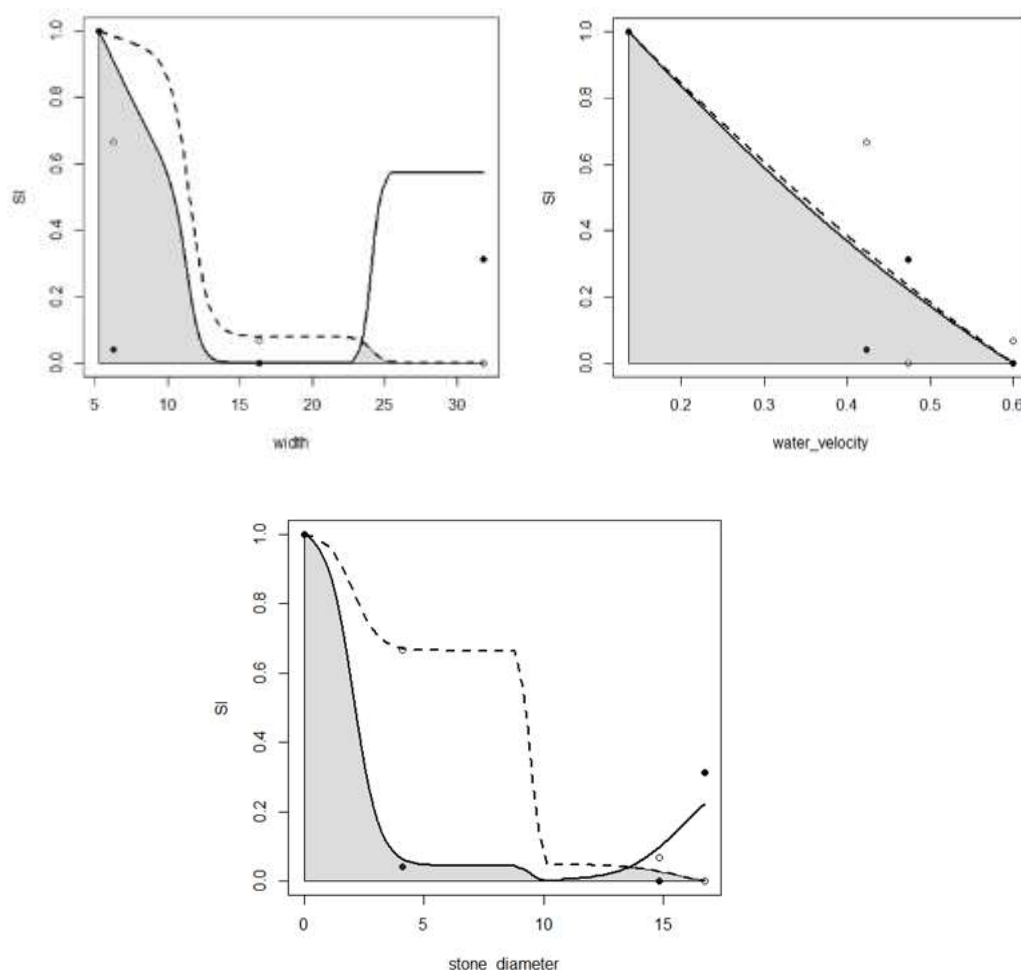
رابطه ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی: ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی وجود داشت
 PLS نشان داد که همبستگی مثبتی بین متغیرهای
 $(r = 0/45, P = 0/45)$ (شکل ۹).



شکل ۹- همبستگی بین متغیرهای ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی با رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه

همپوشانی آشیان اکولوژیک: برای همپوشانی آشیان اکولوژیک، از منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه استفاده شد که در قسمت مواد و روش‌ها نحوه اینکار شرح داده شد.





شکل ۱۰- میزان همپوشانی آشیان اکولوژیک ماهیان کوچک (●) و بزرگ (○) برای پارامترهای مختلف محیطی

جدول ۳- نتایج حاصل از PCA بر روی داده‌های مورفومتری سنتی

	PC1	PC2	PC3
ویژه مقدار (Eigenvalue)	۱۰/۳۷	۳/۹۲	۱/۷۰
مقدار بیان شده (Proportion Explained)	۰/۶۴	۰/۲۴	۰/۱۰
مقدار تجمیعی (Cumulative Proportion)	۰/۶۴	۰/۸۹	۱

مقادیر بار (loading) مربوط به متغیرهای مورفومتری سنتی در جدول ۴ آورده شده است. قدرمطلق بیشترین نمرات PC1 با متغیرهای اندازه‌گیری شده، مقادیر بزرگتر آن‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین نمره مربوط به طول باله سینه‌ای بود. بنابراین مقدار نمره PC1 بیشتر، به معنی باله سینه‌ای بزرگتر می‌باشد.

در شکل ۱۰ نسبت مساحت مشترک زیر نمودار به مساحت کل به عنوان همپوشانی آشیان اکولوژیک نشان داده شده است. براساس نتایج، منحنی‌های همپوشانی آشیان اکولوژیک بالاترین همپوشانی را برای سرعت جریان آب نشان می‌دهند که دو مثلث تقریباً برابر با مساحت یکسان ایجاد شده است. TDS و EC کمترین میزان همپوشانی را نشان می‌دهند و منحنی‌های تقریباً مشابه‌ای ایجاد کردند.

رابطه بین همپوشانی آشیان اکولوژیک و مورفومتری

سنتی: نتایج حاصل از PCA در جدول ۳ نشان داد شده است. مؤلفه اول که بعد از حذف اثر سایز از داده‌ها بدست آمد، معرف شکل بوده و حدوداً ۶۵٪ از واریانس داده‌ها را تعریف نمود.

اختلاف بین میانگین نمرات محاسبه شده برای دومین مؤلفه اصلی حاصل از نمونه‌های هر ایستگاه و مقدار محاسبه شده برای همپوشانی آشیان اکولوژیک یک پارامتر خاص در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر بار (loading) مربوط به متغیر مورفومتری سنتی

متغیر مورفومتری سنتی	PC1	PC2
Fork length	۰/۵۷	-۰/۹۴
Standard length	-۰/۶۰	-۰/۴۵
Preanal length	-۰/۶۰	۰/۴۳
Predorsal length	۰/۷۶	۰/۴۵
Prepelvic length	۰/۸۰	-۰/۱۲
Postdorsal length	-۰/۵۶	-۰/۹۳
Head length	۰/۷۱	۰/۱۱
Body depth	-۰/۶۱	۰/۰۲
Caudal peduncle length	-۰/۷۶	-۰/۴۴
Postorbital length	-۰/۷۹	۰/۲۹
Dorsal fin length	۰/۱۳	۱/۱۷
Caudal peduncle depth	-۰/۷۵	-۰/۴۳
Snout length	۰/۷۴	-۰/۵۳
Anal fin length	-۰/۵۴	۰/۹۵
Eye diameter	۰/۳۲	-۱/۱۹
Pectoral fin length	-۰/۸۰	۰/۱۷

جدول ۵- نمرات محاسبه شده پارامترهای محیطی برای دومین مؤلفه اصلی و میانگین آن‌ها

ایستگاه	نمره حاصل از PCA منحنای همپوشانی آشیان اکولوژیک									میانگین
	pH	درجه حرارت	EC	TDS	DO	عمق	سرعت جریان	عرض رود	قطر سنگ	
ایستگاه ۱	-۱/۲۱	-۰/۶۷	-۰/۵۷	-۰/۵۵	-۰/۷۷	-۰/۷۷	-۰/۶۷	-۱/۲۴	-۰/۶۰	-۰/۷۸
ایستگاه ۲	۰/۰۴	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۷۰	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۴۷
ایستگاه ۳	-۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۴۹	-۰/۰۷	۰/۵۶	۰/۳۷
ایستگاه ۴	-۲/۵۶	-۲/۰۲	-۱/۹۲	-۱/۹۱	-۲/۱۳	-۲/۱۲	-۲/۰۲	-۲/۵۹	-۱/۹۵	-۲/۱۴

جدول ۶- گرسیون خطی برای بررسی رابطه بین نمرات PC1 ایستگاه‌ها که با تفاوت آن نمرات و میانگین همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه شده برای پارامترهای محیطی است

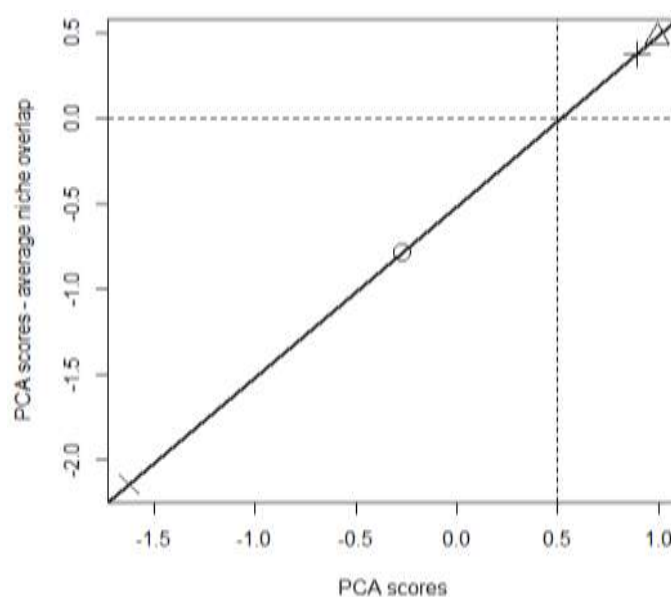
	Estimate	Std. Error	T value	Pr(> t)	
(Intercept)	۰/۵۲	۰/۰۰۰۰۲	-۲۷۸۸۴	$1/29 \times 10^{-9}$	***
PC1 scores	۱	۰/۰۰۰۰۲	۵۶۷۹۶	$3/10 \times 10^{-10}$	***

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که هر چه نمرات PC1 بزرگتر می‌شود، مقدار نمرات از مقدار متوسط همپوشانی آشیان اکولوژیک فزونی می‌گیرد. به عبارتی هر چه Fork length، Preanal length، Predorsal length، Prepelvic length، Head length، Dorsal fin length، Snout length و Eye diameter بزرگتر شده و Standard length، Postdorsal، Caudal peduncle length، Body depth، length، Anal fin، Caudal peduncle depth، Postorbital length و Pectoral fin length کوچکتر شوند مقدار همپوشانی آشیان اکولوژیک نسبت به تغییر شکل کمتر می‌شود. ایستگاه ۲ و ۳ دارای نمرات PC بیشتر از مقادیر همپوشانی آشیان اکولوژیک بودند.

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که هر چه نمرات PC1 بزرگتر می‌شود، مقدار نمرات از مقدار متوسط همپوشانی آشیان اکولوژیک فزونی می‌گیرد. به عبارتی هر چه Fork length، Preanal length، Predorsal length، Prepelvic length، Head length، Dorsal fin length، Snout length و Eye diameter بزرگتر شده و Standard length، Postdorsal، Caudal peduncle length، Body depth، length، Anal fin، Caudal peduncle depth، Postorbital length و Pectoral fin length کوچکتر شوند مقدار همپوشانی آشیان اکولوژیک نسبت به تغییر شکل کمتر می‌شود. ایستگاه ۲ و ۳ دارای نمرات PC بیشتر از مقادیر همپوشانی آشیان اکولوژیک بودند.

بدست آمد، معرف شکل بوده و حدوداً ۷۲٪ از واریانس داده‌ها را تعریف نمود.

رابطه بین همپوشانی آشیان اکولوژیک و مورفومتری هندسی: نتایج حاصل از PCA در جدول ۷ نشان داد شده است. مؤلفه اول که بعد از حذف اثر سایز از داده‌ها



شکل ۱۱- تغییرات تفاوت بین نمرات PC1 چهار ایستگاه نمونه برداری (۴: ×، ۳: +، ۱: O، ۲: Δ) و متوسط مقدار همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه شده برای پارامترهای محیطی.

جدول ۷- نتایج حاصل از PCA بر روی داده‌های میانگین (consensus) لندمارک‌ها

	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱
Proportion Explained	۰/۷۱	۰/۲۱	۰/۰۷
Cumulative Proportion	۰/۷۱	۰/۹۳	۱

جدول ۸- مقادیر بار (loading) مربوط به میانگین (consensus) لندمارک‌های نمونه‌های هر ایستگاه

شماره لندمارک	PC1	PC2	PC3
۱	-۰/۲۱	۰/۰۳	-۰/۰۷
۲	-۰/۰۹	-۰/۴۱	-۰/۱۲
۳	-۰/۰۵	۰/۱۰	-۰/۰۵
۴	-۰/۱۴	-۰/۰۱	-۰/۱۹
۵	۰/۱۳	۰/۱۷	-۰/۰۳
۶	-۰/۱۱	۰/۰۴	-۰/۰۰۶
۷	-۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۱۷
۸	-۰/۰۴	۰/۱۵	-۰/۱۸
۹	۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۳۰
۱۰	-۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۵۳
۱۱	-۰/۰۶	۰/۱۳	-۰/۱۱
۱۲	-۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۰۶
۱۳	۰/۳۱	-۰/۰۷	-۰/۰۵

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که هر چه نمرات PC1 بزرگتر می‌شود، اختلاف نمرات از مقدار متوسط همپوشانی آشیان اکولوژیک کمتر می‌شود. ایستگاه‌های یک و سه دارای بیشترین اختلاف بین نمرات حاصل از PCA و متوسط همپوشانی آشیان اکولوژیک بودند.

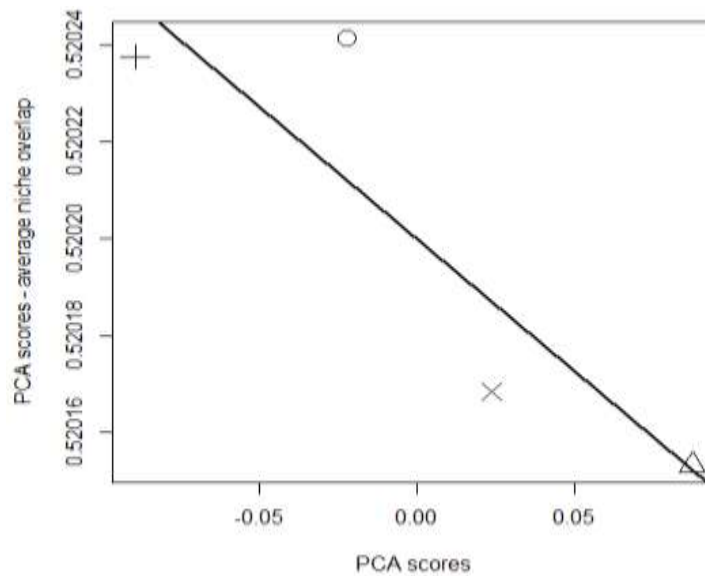
اختلاف بین میانگین نمرات محاسبه شده برای اولین مؤلفه اصلی حاصل از نمونه‌های هر ایستگاه و مقدار محاسبه شده برای همپوشانی آشیان اکولوژیک یک پارامتر خاص در جدول ۹ آورده شده است. رابطه بین نمرات PC1 ایستگاه‌ها با تفاوت آن نمرات و میانگین همپوشانی آشیان اکولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۱۰).

جدول ۹- نمرات محاسبه شده پارامترهای محیطی برای اولین مؤلفه اصلی و میانگین آن‌ها

ایستگاه	نمره حاصل از PCA منهای همپوشانی آشیان اکولوژیک									
	pH	درجه حرارت	EC	TDS	DO	عمق	سرعت جریان عرض رود	قطر سنگ	میانگین	
ایستگاه ۱	-۰/۹۶	-۰/۴۲	-۰/۳۲	-۰/۳۱	-۰/۵۳	-۰/۵۲	-۰/۴۲	-۰/۹۹	-۰/۳۵	-۰/۵۴
ایستگاه ۲	-۰/۸۵	-۰/۳۲	-۰/۲۱	-۰/۲۰	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۳۱	-۰/۸۸	-۰/۲۴	-۰/۴۳
ایستگاه ۳	-۱/۰۳	-۰/۴۹	-۰/۳۹	-۰/۳۷	-۰/۶۰	-۰/۵۹	-۰/۴۹	-۱/۰۶	-۰/۴۲	-۰/۶۰
ایستگاه ۴	-۰/۹۲	-۰/۳۸	-۰/۲۸	-۰/۲۶	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۳۸	-۰/۹۵	-۰/۳۱	-۰/۴۹

جدول ۱۰- رگرسیون خطی برای بررسی رابطه بین نمرات PC1 ایستگاه‌ها که با تفاوت آن نمرات و میانگین همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه شده برای پارامترهای محیطی است

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-۰/۵۲	۰/۰۰۰۰۱	۴۰۴۸۲	6×10^{-9}	***
PC1 scores	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	-۲/۷۴۵	۰/۱۱۱	



شکل ۱۲- تغییرات تفاوت بین نمرات PC1 چهار ایستگاه نمونه‌برداری و (Δ: ۲، O: ۱، +: ۳، x: ۴) و متوسط مقدار همپوشانی آشیان اکولوژیک محاسبه شده برای پارامترهای محیطی

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان دادند که طول پیش باله پشتی و طول پیش باله سینه‌ای تغییرپذیری زیادی در ماهیان ایستگاه‌های مختلف در پاسخ به متغیرهای محیطی داشتند که از بین این متغیرهای محیطی، قطر سنگ، بالاترین اثرگذاری را به صورت افزایش طول این صفات داشت. همچنین از لحاظ انتخاب قطر سنگ برای آشیان اکولوژیک، بین این دو گروه سائزی مورد مطالعه (ماهیان کوچک و بزرگ)، همپوشانی کمی وجود داشت. اگرچه هر دو گروه سائزی ماهیان، قطر سنگ بستر کوچکتر را ترجیح می‌دادند اما در رابطه با قطر سنگ بستر به نظر می‌رسد احتمالاً نوعی تقسیم آشیان اکولوژیک بین ماهیان بزرگ و کوچک حاصل شده است. به بیانی دیگر فراوانی فضاهایی با قطر سنگ کم، مانع از افزایش همپوشانی بین دو گروه می‌شود و به نظر می‌رسد در رابطه با این فاکتورها رقابت کمی وجود دارد.

مطالعه Mouludi Saleh و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که طول پیش باله سینه‌ای و طول پیش باله مخرجی بیشترین نقش را در تفکیک جمعیت‌های مختلف ماهی سفید نمک در رودخانه‌های حوضه نمک داشتند که این نتایج در رابطه با تغییرپذیری بالای طول پیش باله سینه‌ای، با نتایج مطالعه حاضر در انطباق است. هرچند در رابطه با طول پیش باله مخرجی با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی ندارد. همچنین در مطالعه‌ی آنها در میان صفات اندازه‌ی، پوزه دارای تغییرپذیری بالایی در میان ماهیان جنس *Squalius* بود که در مطالعه حاضر نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد (Mouludi Saleh *et al.*, 2017). در رابطه با قطر سنگ بستر، یافته‌های مطالعه حاضر در انطباق با مطالعه Radkhah و همکاران (۲۰۲۴) است که بیان داشتند ترجیح زیستگاهی گونه *Squalius namak* نواحی از بستر رودخانه قره‌چای است که قطر سنگ به نسبت کوچکتر است (Radkhah *et al.*, 2024).

از صفات ریختی مهمی که تحت تأثیر شرایط زیست‌محیطی رودخانه‌ها قرار می‌گیرند شکل بدن و فرم باله‌ها می‌باشند (Mouludi Saleh & Keivany, 2019). ممکن است تغییر جایگاه باله سینه‌ای برای افزایش قدرت مانور برای مقابله با مسیر جریان آب باشد. شکل بدن همچنین می‌تواند در موفقیت تغذیه و اجتناب از شکارچی

مؤثر باشد (Sharifiniya & Mousavi Sabet, 2016).

چنانچه بتوان تفاوت‌های ریختی در موجودات را به صورت یک عملکرد در نتیجه سازگاری ترجمه کرد، می‌توانند حائز اهمیت فراوانی باشند (Eagderi *et al.*, 2017).

همچنین یافته‌های این مطالعه در بخش ریخت‌سنجی هندسی نشان داد که بیشترین جابه‌جایی لندمارک‌ها مربوط به باله‌های سینه‌ای، پشتی، شکمی و پوزه ماهیان بود و با بررسی ۹ پارامتر محیطی تأثیرگذار در تغییر موقعیت لندمارک‌ها، مشخص شد که عمق رودخانه، قطر سنگ بستر و عرض رودخانه نقش بیشتری در ایجاد تغییرات شکلی در ماهیان *S.namak* داشتند. این تغییرات شکلی متأثر از متغیرهای محیطی مذکور، مربوط به تفاوت‌های ریختی مرتبط با حرکت در نظر گرفته می‌شوند. همچنین لندمارک‌های مربوط به قطر چشم و سر ماهی تحت تأثیر عرض رودخانه و قطر سنگ بستر، تغییرات نسبتاً بالایی داشتند. در رابطه با عمق و عرض رودخانه همپوشانی اندکی در آشیان اکولوژیک گروه‌های سائزی (ماهیان کوچک و بزرگ) *S.namak* وجود داشت.

در شرایط گوناگونی که ماهیان در آن شنا می‌کنند نیازمند پاسخ‌های حرکتی متفاوتی خواهند بود که لازمه‌ی آن تغییرات شکل ظاهری بدن ماهی است (Rahmani, 2017). تفاوت‌های مربوط به ابعاد سر نیز می‌توانند به عنوان سازگاری‌های مربوط به شرایط هیدرودینامیکی و یا تغذیه‌ای قلمداد شوند (Ghojoghi *et al.*, 2018). Eagderi و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که تفاوت‌های شکل سر و ساختارهای آن و تغییر جایگاه باله‌ها می‌توانند به عنوان سازگاری به ویژگی‌های زیستگاهی تلقی گردند (Eagderi *et al.*, 2017). حضور ماهی سفید رودخانه‌ای در نقاط عمیق‌تر رودخانه می‌تواند دسترسی به مواد غذایی را برای این گونه تسهیل نماید و علاوه بر آن، زیستگاه مناسبی برای پنهان شدن ماهیان ایجاد کند (Radkhah *et al.*, 2024). عرض رودخانه نیز معرف اندازه رودخانه و همچنین بیان کننده تنوع زیستگاهی در مقیاس محلی است (Rahmani & Haghparast, 2023). با در نظر گرفتن اندازه نسبتاً کوچک رودخانه جاجرود می‌توان عنوان کرد که این قبیل رودخانه‌ها به ویژه آنهایی که به لحاظ ساختاری پیچیده‌اند، دارای زیستگاه‌های ساحلی نسبتاً بیشتری هستند و ممکن است زیستگاه‌های مناسب به لحاظ هیدرولیکی برای تخم‌ریزی، پرورش و

در رابطه با دمای آب شاهد تقسیم آشیان اکولوژیک بودیم و ماهیان با سایز بزرگتر در دمای بالاتر فراوانتر بودند و می‌توانستند بر خاصیت روانروی آب غلبه نمایند. این نتایج احتمالاً به دلیل ارتباط دما و نرخ واکنش‌های متابولیسمی و مصرف انرژی، تولید مثل، رشد و رفتار گونه‌هاست (Asadi, 2016).

در بررسی گروه‌های مطالعه شده از نظر اندازه (سایز ماهیان)، الگوهای مشابهی در رابطه با دو پارامتر زیستگاهی یعنی سرعت جریان آب و pH وجود داشت و درجه بالای همپوشانی را نشان دادند، بالاترین میزان همپوشانی برای سرعت جریان آب با مساحت‌های یکسان از لحاظ آشیان اکولوژیک دیده شد که زیاد بودن مساحت مشترک، بیانگر الگوی اشغال آشیان اکولوژیک تقریباً مشابه و وجود رقابت برای قرار گرفتن در زیستگاه به لحاظ سرعت جریان کمتر بین دو گروه ماهیان (کوچک و بزرگ) مورد مطالعه است. ماهیان رودخانه‌ای در نقاطی از رودخانه و در سرعت‌هایی دیده می‌شوند که انرژی دریافتی از تغذیه در حداکثر مقدار خود باشد (Mahmoudi & Abdoli, 2023). سرعت پایین رودخانه سبب افزایش پوشش‌های جلبکی و حشرات آبی که غذای این گونه محسوب می‌شوند خواهد شد (Rostamian *et al.*, 2022). بنابراین مصرف انرژی بالا در شدت جریان زیاد و شسته شدن غذای حشرات آبی و موجودات بنتیک می‌تواند دلیل عدم ترجیح نواحی با شدت جریان‌های زیاد باشد (Mouludi-Saleh *et al.*, 2022). سرعت جریان می‌تواند فاکتور pH را تحت تأثیر قرار دهد و با توجه به نیاز اکسیژنی، گونه‌های ماهیان در ایستگاه‌های مختلف با سرعت جریان متفاوت حضور داشته باشند (Ghafouri *et al.*, 2023).

در هر دو گروه ماهیان کوچک و بزرگ، هرچه طول باله‌ها بزرگتر و بدن دوکی شکل و باریک‌تر می‌شود میزان همپوشانی آشیان اکولوژیک بیشتر شده و احتمالاً رقابت بین این ماهیان برای منابع بیشتر خواهد شد. روند این افزایش برای هر دو روش ریخت‌سنجی (هندسی و سنتی) مشابه بود. بر اساس نتایج می‌تواند استدلال کرد که هرچه ماهیان این گونه کوچکتر باشند عامگراتر بوده و در ترجیح زیستگاهی غیر تخصصی می‌باشند اما با افزایش سایز شاهد تخصص‌گرایی و در نتیجه افزایش همپوشانی در آشیان اکولوژیک مطلوب این گونه هستیم.

زمستان‌گذرانی نسبت به رودهای بزرگ به خصوص آن‌هایی که فاقد پیچیدگی حاشیه‌ای مرتبط با زیستگاه ساحلی و دشت سیلابی هستند، فراهم کنند (Eagderi *et al.*, 2024).

اما در رابطه با سایر فاکتورهای محیطی مورد بررسی مانند اکسیژن محلول، دما، EC و TDS با توجه به همپوشانی اندک ترسیم شده برای آشیان اکولوژیک دو گروه و دسترسی‌پذیری بالای این فاکتورها برای ماهیان، چنان استنباط می‌شود که این پارامترها تعیین کننده و مستعد رقابت نیستند. با توجه به اینکه بستر رودخانه جاجرود به دلیل آبراهه‌های زیادی که در مسیر رودخانه قرار دارند، بستر گراولی و ماسه‌ای دارد، ذرات محلول فراوانی به این رودخانه وارد می‌شوند. فراوان بودن فضاهایی با EC و TDS، مانع از افزایش همپوشانی بین دو گروه می‌شود و به نظر می‌رسد در رابطه با این فاکتورها رقابت کمی وجود دارد. با افزایش مقدار هدایت الکتریکی، پراکنش و فراوانی گروه‌های سایزی این گونه نیز تغییر پیدا کرد و باعث تغییر در پراکنش ماهیان شد. EC یا هدایت الکتریکی که در آن غلظت اجزاء یونی آب سنجیده می‌شود در درجه اول به زمین‌شناسی منطقه‌ای بستگی دارد که در آن آب جاری است. افزایش این پارامتر نیز ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری اطراف رودخانه است (Pishkahpour *et al.*, 2019). هدایت الکتریکی، توانایی یک محلول برای حمل جریان الکتریکی است و به مقدار زیادی با مواد جامد محلول کل (TDS) و غلظت بسیاری از مواد در ارتباط است. همچنین می‌توان علت این موضوع را تفاوت در دبی جریان در طول رودخانه دانست. براساس بررسی‌های صورت گرفته در محیط‌های رودخانه‌ای افزایش هدایت الکتریکی باعث کاهش حضور و فراوانی گونه‌ها می‌شود (Ganjali *et al.*, 2024).

دما نیز یکی از پارامترهای مهم در زیست‌شناسی و فرآیندهای مهم تولیدمثلی و مهاجرت ماهیان است (Shahbazi Naserabad *et al.*, 2023). در دمای بالاتر نیز آب از خاصیت روانروی بیشتری برخوردار است و ماهی برای اینکه از اثرات نیروی کششی آب در قسمت انتهایی بدن خود بکاهد مجبور است شکلی را انتخاب کند که سطح اصطکاک کمتری با آب داشته باشد و نیروی وارد بر قسمت جلو و عمق بدن را یکنواخت نماید (Nasrolah-Pourmoghdam & Eagderi, 2013) که در این مطالعه

- rearing temperature on the body shape of swordtail (*Xiphophorus hellerii*) during the early development using geometric morphometrics. *Poeciliid Research* 5(1), 24-30.
5. **Eagderi, S., Kelary Ebrahimi, S., Ashrafi, S. and Jalili, P., 2017.** Population variation of *Capoeta heratensis* in Hari River and Dasht-e Kavir basins using geometric morphometric technique. *Aquaculture Sciences*, 5(1), 37-44.
 6. **Eagderi, S., Mouludi-saleh, A., Esmaeli, H. R., Sayyadzadeh, G. and Nasri, M., 2022.** Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology*, 46(6), 500-522.
 7. **Eagderi, S., Zamani-Faradonbeh, M., Mouludi-Saleh, A. and Poorbagher, H., 2024.** Comparison of habitat suitability of Namak scraper, *Capoeta buhsei* Kessler, 1877 in autumn and winter seasons in the Jajroud River, Namak Lake basin. *Environmental Researches*, 14(28), 41-54.
 8. **Elliott, J. and Hurley, M., 1995.** The functional relationship between body size and growth rate in fish. *Functional Ecology*, 9(4), 625-627.
 9. **Esmaeili, H.R., Sayyadzadeh, G., Eagderi, S. and Abbasi, K., 2018.** Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa*, 3(3), 1-95.
 10. **Froese, R. and Pauly, D., 2023.** FishBase. World Wide Web electronic publication. Available at: www.fishbase.org (Accessed on 25 July 2023).
 11. **Ganjali, Z., Mouloudi-Saleh, A. and Eagderi, S., 2024.** Evaluation and habitat preference of *Oxynoemacheilus zarzianus* Freyhof & Geiger, 2017 in the Sirvan River, Persian Gulf basin. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 12(1), 11-20.
 12. **Ghafouri, Z., Eagderi, S. and Poorbagher, H., 2023.** Study and comparison of the habitat suitability indices of *Cyprinion macrostomum* Heckel, 1843 from Zab River in four seasons. *Journal of Natural Environment*, 76(1), 105-115.
 13. **Ghojoghi, F., Eagderi, S. and Nasri, M., 2018.** Body shape comparison of kutum fish *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) from southern Caspian Sea using geometric morphometric methods. *Journal of Aquaculture Development*, 12(1), 63-73.
 14. **Han, Z., Yang, X., Zhang, L., Jiguet, F., Tryjanowski, P. and Wang, H., 2025.** Niche Overlap Between Two Sympatric Steppe Birds in Inner Mongolia: Habitat Selection and Insights for Conservation. *Ecology and Evolution*, 15(2), e71010.
 15. **Hetzel, C. and Forsythe, P., 2023.** Phenotypic plasticity of a generalist fish species resident to lotic environments: Insights from the Great
- به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان کرد که دو گروه مورد مطالعه در این گونه در رودخانه جاجرود از طریق ترجیح زیستگاه و بهره‌برداری از منابع، رقابت درون گونه‌ای را کاهش داده‌اند. اگرچه در برخی پارامترها همپوشانی بالایی مشاهده شد، اما به طور کلی همپوشانی آشیان اکولوژیک بین گروه‌های مختلف این ماهیان در حد متوسطی قرار داشت و این اکوسیستم با در اختیار قرار دادن زیستگاه ترجیحی گونه‌ها تا حد زیادی رقابت را کاهش داده است. اما با توجه به بدتر شدن شرایط رودخانه جاجرود به دلیل دخالت‌های انسانی، آلودگی و کم‌آبی این روند می‌تواند در آینده تغییر نماید و همپوشانی شدیدی در منابع زیستگاهی ماهیان ایجاد شده و در نتیجه با افزایش رقابت درون گونه‌ای شاهد فشار بر این گونه باشیم.
- برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود تا میزان دسترسی به غذا برای آشیان‌های اکولوژیک و تغذیه‌ای و تأثیر پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی آب بر حضور غذای مطلوب گروه‌های سائزی مختلف ماهیان این گونه و تأثیر پارامترهای محیطی زیستگاه بر سائز ماهیان در فصول مختلف مورد بحث قرار گیرد. نتایج این مطالعه می‌تواند تصمیم‌گیری را برای حفاظت از گونه‌های آبی و بازیابی اکوسیستم‌های تخریب‌شده هدایت کند. مدیران محیط‌زیست می‌توانند اجرای این مدل‌ها را در ارزیابی‌های اثرات محیط‌زیستی و طرح‌های احیا در نظر بگیرند.

منابع

1. **Ahmdzadeh, M., Poorbagher, H. and Eagderi, S., 2019.** Calculating the habitat suitability index of Siahmahi (*Capoeta buhsei*, Kessler 1877) using the kernel smoothing in the Jajroud River, Namak basin of Iran. *Aquaculture Sciences*, 6(2), 99-108.
2. **Asadi, H., 2016.** Determination of habitat suitability index of spined loach *Oxynoemacheilus bergianus* (Derjavin, 1934) from Totkabon River (a tributary of Sefidrud River basin). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 5(1), 13-23.
3. **CABI (Centre for Agriculture and Biosciences International), 2023.** Centre for Agriculture and Bioscience International. *Squalius* (European chub). CABI press, USA, New York. 32 P. DOI:10.1079/cabicompndium.117313.
4. **Eagderi, S., Poorbagher, H., Parsazade, F. and Mousavi-Sabet, H., 2015.** Effects of

- Caspian Sea over a decadal period. Iranian journal of Ecohydrology, 11(3), 395-410.
27. **Mouludi Saleh, A. and Keivany, Y., 2019.** Comparison of Transcaucasian Chub (*Squalius turcicus* De Filippi, 1865) populations in south-western Caspian Sea basin using geometric morphometric method. Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology), 32(3), 233-243.
 28. **Mouludi-Saleh, A. and Keivany, Y., 2018a.** Morphological diversity in three species of Chubs (*Squalius* spp.) populations in Iranian Basins. Nova Biologica Reperta, 5(2), 192-204.
 29. **Mouludi-Saleh, A. and Keivany, Y., 2018b.** Morphometric analysis of *Squalius namak* Khaefi *et al.* 2016 in Khaznagh and Ghare-Chai rivers. Sri Lanka Journal of Aquatic Science, 23(2), 173-178.
 30. **Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Poorbagher, H. and Esmaeili H.R., 2024.** Ecological niche overlap from occurrence of two cyprinid sympatric species, *Paracapoeta trutta* and *Capoeta damascina* in the Sirvan River, Persian Gulf Basin. *nbr*; 11 (1), 87-95.
 31. **Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Poorbagher, H. and Jafari, B., 2022.** Investigation of habitat characteristics of *Capoeta shajariani* in Dinorab River, Karkheh River drainage. Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology), 35(2), 113-121.
 32. **Mouludi-Saleh, A., Eagderi, S., Poorbagher, H. and Kazemzadeh, S., 2019.** The effect of body shape type on differentiability of traditional and geometric morphometric methods: A case study of *Channa gachua* (Hamilton, 1822). European Journal of Biology, 78(2), 165-168.
 33. **Mouludi-Saleh, A., Keivany, Y. and Jalali, S.A.H., 2017.** Geometric morphometric comparison of Namak Chub (*Squalius namak*, Khaefi *et al.*, 2016) in rivers of lake Namak basin of Iran. Research in Zoology, 7(1), 1-6.
 34. **Naderi, M.H., Salarijazi, M. and Shabanloo, H., 2023.** Incorporating Habitat Requirements of the Life Cycle of *Salmo trutta* into the Estimation of the Ecological Flow Regime of Karaj River. Journal of Applied Ichthyological Research, 11(3), 62-84.
 35. **Nair, R.J., 2024.** Basics of Ecomorphology.
 36. **Najimi, F., Aminnejad, B. and Nourani, V., 2023.** Assessment of Climate Change's Impact on Flow Quantity of the Mountainous Watershed of the Jajrood River in Iran Using Hydroclimatic Models. Sustainability, 15(22), 15875.
 37. **Nasrolah-Pourmoghdam, M. and Eagderi, S., 2013.** Effect of rearing temperature on the body shape of Angel fish (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823) during early Lakes region. Ecology and Evolution, 13(11), e10715.
 16. **Hosseinabadi, F., Hashemi, S.H., Abdoli, A. and Mehrjo, F., 2022.** Development of multimetric index based on benthic macroinvertebrate for water quality assessment of Jajrood River in Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 77-88.
 17. **Hu, Y., Wang, H., Jia, H., Pen, M., Liu, N., Wei, J. and Zhou, B., 2022.** Ecological niche and interspecific association of plant communities in alpine desertification grasslands: a case study of Qinghai Lake Basin. *Plants*, 11(20), 2724.
 18. **Jawad, L.A., Abed, J.M., Ibáñez, A.L. and Al-Faisal, A., 2022.** Morphometric and meristic characters of cultured and wild carp, *Cyprinus carpio* L., populations (southern Iraq). *Fisheries & Aquatic Life*, 30(2), 95-103.
 19. **Kachi, J.B., Binashikhubkr, K. and Naim, D.M., 2025.** Morphological differentiation of *Pennahia aneus* (Bloch, 1793) populations from Northern Peninsular Malaysia using geometric morphometrics. *Nusantara Bioscience*, 17(1).
 20. **Keivany, Y., Mouludi Saleh, A. and Jalali, S.A.H., 2018.** Biometry of Chub (*Squalius namak* Khaefi *et al.*, 2016) in rivers of Namak Basin. *Experimental animal Biology*, 7(1), 107-118.
 21. **Khaefi, R., Esmaeili, H.R., Sayyadzadeh, G., Geiger, M.F. and Freyhof, J., 2016.** *Squalius namak*, a new chub from Lake Namak basin in Iran (Teleostei: Cyprinidae). *Zootaxa*, 4169(1), 145-159.
 22. **Larocque, S.M., Johnson, T.B. and Fisk, A.T., 2021.** Trophic niche overlap and abundance reveal potential impact of interspecific interactions on a reintroduced fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(6), 765-774.
 23. **Luo, D., 2024.** Quantitative Analysis of Fish Morphology Through Landmark and Outline-based Geometric Morphometrics with Free Software. *Bio-protocol*, 14(20), e5087.
 24. **Mahmoudi, S. and Abdoli, A., 2023.** Modelling habitat requirements of *Alburnus atropatena* in the Jajrood protected River. *Environmental Sciences*, 21(2), 81-94.
 25. **Martinez-Leiva, L., Landeira, J.M., Fatira, E., Díaz-Pérez, J., Hernández-León, S., Roo, J. and Tuset, V.M., 2023.** Energetic implications of morphological changes between fish larval and juvenile stages using geometric morphometrics of body shape. *Animals*, 13(3), 370.
 26. **Moëzzi, F. and Eagderi, S., 2024.** Assessing ecological niche shift for the Caspian Kutum (*Rutilus frisii*) in southern waters of the

- tabarestanensis* in the Kelarud River (a tributary of the Babel River). *Journal of Aquatic Ecology*, 11(4), 49-56.
47. **Schoenfuss, H.L. and Blob, R.W., 2007.** The importance of functional morphology for fishery conservation and management: applications to Hawaiian amphidromous fishes. *Bishop Museum Bulletin in Cultural and Environmental Studies*, 3(125-141).
48. **Senay, C., Boisclair, D. and Peres-Neto, P.R., 2015.** Habitat-based polymorphism is common in stream fishes. *Journal of Animal Ecology*, 84(1), 219-227.
49. **Shabanloo, H., Poorbagher, H. and Eagderi, S., 2022.** Effect of size on the relationship between habitat suitability index and niche overlap in Namak chub (*Squalius namak* Khaefi *et al.*, 2016) in Jajrood River, Namak Lake basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 9(4), 751-759.
50. **Shahbazi Naserabad, S., Poorbagher, H., Eagderi, S. and Nematollahi, M.A., 2023.** Modeling prediction and seasonal habitat preference of Karun barbel (*Barbus karunensis* Khaefi, Esmaeili, Geiger & Eagderi, 2017). *Aquaculture Sciences*, 11(2), 120-131.
51. **Sharifiniya, M. and Mousavi Sabet, H., 2016.** Comparison of morphological variations among populations of the crested loach, genus paracobitis, in the southeast Caspian Sea Basin using geometric morphometric method. *Journal of oceanography*, 7(27), 49-57.
52. **Skoglund, S., Siwertsson, A., Amundsen, P.A. and Knudsen, R., 2015.** Morphological divergence between three Arctic charr morphs—the significance of the deep-water environment. *Ecology and evolution*, 5(15), 3114-3129.
53. **Strauss, R.E. and Bond, C.E., 1990.** Taxonomic methods: morphology. *Methods for fish biology*, 109-140.
54. **Svanbäck, R. and Eklöv, P., 2002.** Effects of habitat and food resources on morphology and ontogenetic growth trajectories in perch. *Oecologia*, 131, 61-70.
55. **Tiddy, I.C., Schneider, K. and Elmer, K.R., 2024.** Environmental correlates of adaptive diversification in postglacial freshwater fishes. *Journal of Fish Biology*, 104(3), 517-535.
56. **Yedier, S., Bostanci, D. and Türker, D., 2023.** Morphological and morphometric features of the abnormal and normal saccular otoliths in flatfishes. *The Anatomical Record*, 306(3), 672-687.
- development using geometric morphometric method. *Journal of Aquatic Ecology*, 3(2), 36-30.
38. **Pessanha, A.L.M., Araújo, F.G., Oliveira, R.E.M., Silva, A.F.D. and Sales, N.S., 2015.** Ecomorphology and resource use by dominant species of tropical estuarine juvenile fishes. *Neotropical Ichthyology*, 13(02), 401-412.
39. **Pessoa, L.A., Baumgartner, M.T., Santana Junior, M.P., Pagotto, J.P.A., Pessoa, L.G.A. and Goulart, E., 2021.** Effect of land-use types on the ecomorphological structure of fish assemblage in distinct mesohabitats of neotropical streams. *Biota Neotropica*, 21, e20201034.
40. **Pishkauptour, Z., Poorbagher, H. and Eagderi, S., 2019.** Effects of ecological conditions and physical variables of the Dinvarab river in the Kermanshah Province on the habitat suitability index of *Alburnus sellal* Heckel (1843). *Journal of Fisheries*, 71(4), 317-328.
41. **Prado, A.V., Goulart, E. and Pagotto, J.P., 2016.** Ecomorphology and use of food resources: inter-and intraspecific relationships of fish fauna associated with macrophyte stands. *Neotropical Ichthyology*, 14(04), e150140.
42. **Radkhah, A.R., Eagderi, S., Poorbagher, H. and Nowferesti, H., 2015.** Morphological differences in populations of Sawbelly, *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855) in Zarineh River and Anzali Wetland using geometric morphometric technique. *Journal of Aquatic Exploitation and Aquaculture*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 5(1), 73-82.
43. **Radkhah, A., Eagderi, S. and Poorbagher, H., 2024.** Study of habitat suitability of Namak chub (*Squalius namak*) in Qarachai River from Namak Lake basin. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 33(1), 53-69.
44. **Rahmani, H., 2017.** Evaluation of sexual dimorphism in *Ponticola cyrius* in Tajan River using geometric-morphometric and traditional morphometric methods. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(1), 68-78.
45. **Rahmani, H. and Haghparast, S., 2023.** Evaluation of habitat suitability index of *Alburnoides eichwaldii* in Lavij River, Nour, Mazandaran province, Iran. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 11(1), 21-29.
46. **Rostamian, N., Eagderi, S. and Vatandoust, S., 2022.** Large-scaled habitat suitability indices of *Tabarestan spirilin*, *Alburnoides*





Studying the Relationship Between Morphological Characteristics and Ecological Niche Overlap of the Namak Chub (*Squalius namak*) in the Jajroud River

Hamed Shabanloo^{1*}, Hadi Poorbagher¹, Soheil Eagderi¹

^{1*} - Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Original Article

Received:
2025.02.06

Accepted:
2025.03.01

Keywords:
Ecological Niche
Overlap,
Geometric
Morphometry,
Traditional
Morphometry,
Chub,
Squalius namak

Abstract

Introduction: The degree of overlap in ecological niches can indicate the extent of resource sharing and potential interspecific competition. The intensity or effects of resource sharing and competition may also be partially related to species abundance, especially in resource-limited conditions. In this context, adaptive morphological changes can create differences in species performance, ultimately leading to variations in resource utilization. Morphological characteristics such as body shape, fin placement, and mouth orientation in fish have evolved to be compatible with their specific habitats. The namak chub (*Squalius*) is a recently recognized genus within the Cyprinidae family, and consequently, limited studies have been conducted on it. Therefore, the information obtained from this research can contribute to understanding ecological processes and how the namak chub (*Squalius namak*) responds to environmental challenges by comparing various patterns in morphological and ecological traits.

Materials and Methods: A total of 103 namak chub (*S. namak*) were sampled from the Jajroud river. To determine ecological niches, nine environmental variables were used. For morphometric studies, photographs of the samples were taken. Using the 2TpsDig software, 13 landmarks were defined on the two-dimensional images. In traditional morphometric analysis, 17 morphometric characters were assessed from the images using ImageJ. Initially, using data from traditional morphometry (total length, fork length, etc.) and k-means clustering, the fish were grouped based on size. The method used for ecological niche overlap was habitat suitability curves. A non-parametric method known as kernel smoothing was used to plot the relationship between each environmental variable and the number of fish at each site. Using PCA, data from geometric and traditional morphometry were combined into a single score. Finally, linear regression was used to examine the relationship between station scores and the average differences in ecological niche overlaps.

Results: The river stone diameter showed the highest significant positive correlation with dorsal fin length and pectoral fin length, and the highest significant negative correlation with post-dorsal fin length, caudal peduncle

length, and postorbital length. EC and TDS exhibited the highest significant positive correlations with fork length, eye diameter, and snout length, respectively. Based on landmark displacement patterns, the greatest differences were related to landmarks located in the posterior half of the body, although the tip of the snout also demonstrated high variability. The ecological niche overlap curves indicated that the highest overlap occurred for water flow velocity. TDS and EC showed the lowest levels of overlap. Based on the results, it can be argued smaller individuals of this species are more generalized and prefer non-specialized habitats; however, as size increases, specialization occurs, leading to increased overlap in preferred ecological niches and potentially competition among these fish.

Discussion: The two studied groups of this species in the Jajrood river have reduced intraspecific competition through habitat preference and resource exploitation. Although high overlap was observed in some parameters, in general, the ecological niche overlap between different groups of these fish was moderate, and this ecosystem has greatly reduced competition by providing the species with preferred habitat. For future studies, it is suggested that the level of food availability and the effect of water physicochemical parameters on the presence of suitable food for sized groups of this species and the impact of environmental parameters on fish in different seasons should be discussed.