

اثر پارامترهای محیطی بر صفات ریختی ماهی سفید نمک (*Squalius namak*, Khaefi et al., 2016) در رودخانه جاجرود

حامد شعبانلو، هادی پورباقر*، سهیل ایگدري

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول poorbagher@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۲

چکیده

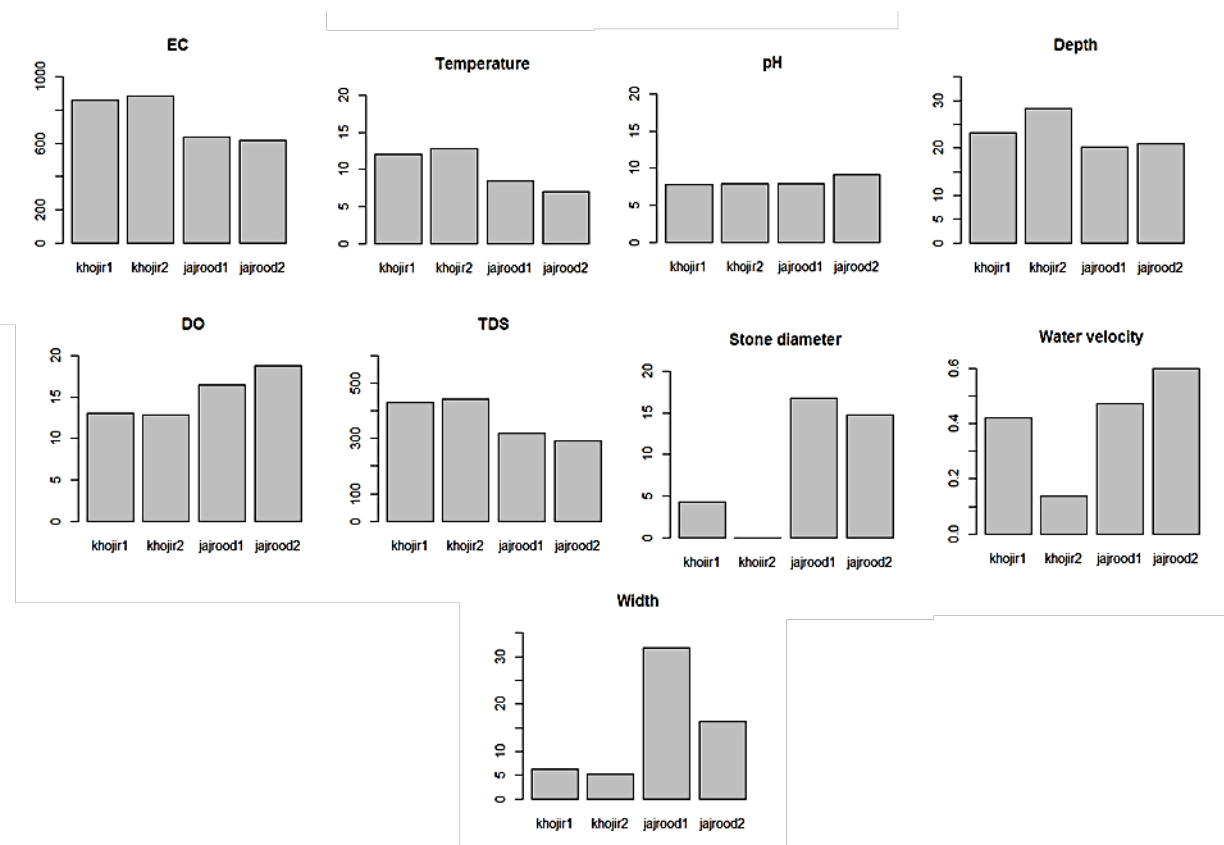
شکل بدن ماهیان تحت تاثیر شرایط محیطی تغییرپذیر بوده و در مطالعات ریخت‌سنجی کمتر به نحوه ارتباط ویژگی‌های ریختی با فاکتورهای محیطی پرداخته می‌شود. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغییرات شکل بدن جمعیت‌های مختلف ماهی سفید نمک *Squalius namak* متأثر از فاکتورهای محیطی رودخانه جاجرود و ارزیابی سهم هر یک از این فاکتورها در تغییرات ریختی به اجرا درآمد. برای این منظور تعداد ۱۰۳ ماهی سفید نمک از رودخانه جاجرود جمع‌آوری شدند. فاکتورهای محیطی شامل سرعت جریان آب، عمق، دما، pH، اکسیژن، قطر سنگ بستر، EC و TDS در محل نمونه‌برداری ثبت شدند. از نمونه‌ها عکسبرداری شدند و تعداد ۱۳ لندمارک برای استخراج داده‌های ریختی در روش ریخت‌سنجی هندسی با استفاده از نرم افزار TPSDig2 رقومی و ۱۷ صفت اندازه‌شی به عنوان داده‌های ریخت‌سنجی سنتی اندازه‌گیری شد. داده‌های هندسی با بسته Geomorph در نرم‌افزار R مورد آنالیز قرار گرفتند. رابطه بین صفات اندازه‌شی در روش ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی دوبلوکه آنالیز شدند. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت معنی‌داری بین متغیرهای ریخت‌سنجی و متغیرهای محیطی وجود داشت. قطر سنگ بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌داری با صفات اندازه‌شی شامل طول پیش‌باله پشته‌ی، طول پیش‌باله‌ی سینه‌ای داشت. در رابطه با ریخت‌سنجی هندسی، بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار با عمق رودخانه مربوط به لندمارک‌های شماره ۴، ۹، ۵ و ۶ بود. مطالعه حاضر نشان داد که چندشکلی ریختی تحت تاثیر فاکتورهای محیطی در سفید ماهیان نمک در رودخانه جاجرود وجود دارد.

واژگان کلیدی: ریخت‌سنجی سنتی، ریخت‌سنجی هندسی، جاجرود، انعطاف‌پذیری.

مقدمه

رودخانه‌ها محیط‌های ناهمگنی هستند که هم از نظر فضائی و هم از نظر زمانی، شرایط متغیر و ناپایداری دارند. تغییرپذیری وضعیت زیستگاه‌های آب جاری می‌تواند شرایط اکولوژیک و تکاملی متنوعی در مقابل آبریان قرار دهد (صالحی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵). اساساً در رودخانه‌ها، آبریانی زیست می‌کنند که خود را با این محیط جهت تغذیه، پناهگاه، تولیدمثل و سایر نیازها سازگار کنند (پیشگاه‌پور و همکاران، ۱۳۹۷)، بنابراین پارامترهای محیطی بر ریخت ماهیان تاثیرگذار می‌باشد (Poorbagher et al., 2017)؛ به عبارت دیگر شکل بدن در ماهیان نسبت به شرایط محیطی از قبیل سرعت آب، دبی، عمق آب، دما و نوع غذا تغییرپذیر است (Radkhah et al., 2017).

صفات ریختی در ماهیان معمولاً برای درک بسیاری از جنبه‌های مدیریت منابع، بوم‌شناسی و انعطاف‌پذیری ریختی استفاده می‌شوند (Mouludi-Saleh et al., 2019). برخلاف روش ریخت‌سنجی سنتی که داده‌های آن فواصل اندازه‌گیری بر روی بدن ماهی است، ریخت‌سنجی هندسی با استفاده از لندمارک‌ها شکل بدن موجودات را به تصویر می‌کشد (اسماعیل‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۲) و مبتنی بر آمار چندمتغیره به منظور تحلیل اشکال بدن می‌باشد (زمانی‌فرادنبه و همکاران، ۱۳۹۲). ماهیان آب‌شیرین برای مطالعه روند سازگاری به شرایط محیطی الگوهای عالی محسوب می‌شوند (Keeley et al., 2007). براساس آخرین چک لیست، ماهیان آب شیرین ایران ۲۹۷ گونه می‌باشد



شکل ۱- پارامترهای محیطی اندازه گیری شده در رودخانه جاجرود.

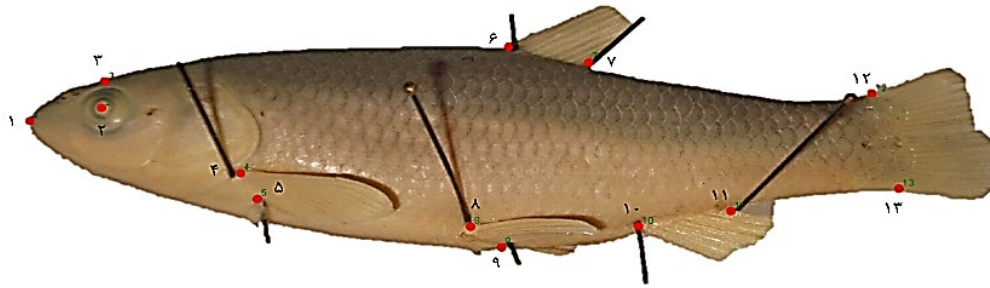
گونه‌ها و ویژگی‌های محیطی اکوسیستم آبی کمک می‌کند (ایگدري و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین این مطالعه با هدف بررسی تغییرات شکل بدن جمعیت‌های مختلف ماهی سفید نمک متأثر از فاکتورهای محیطی رودخانه جاجرود و ارزیابی سهم هر یک از این فاکتورها در تغییرات ریختی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

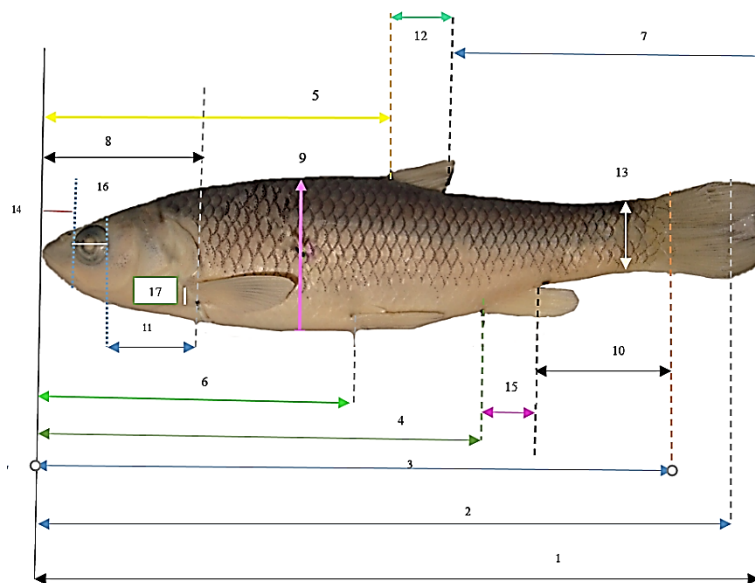
نمونه‌برداری و ثبت فاکتورهای محیطی: رودخانه جاجرود یکی از رودخانه‌ها با جریان دائمی حوضه دریاچه نمک در استان تهران است که از کوه‌های کلون بستک در شمال روستای دربندسر سرچشمه گرفته و به ارتفاعات پایین‌تر جریان دارد و وارد سد لتیان و سپس سد ماملو در پایین دست می‌گردد (ایگدري و همکاران، ۱۳۹۵). با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای و بازدید میدانی، تعداد چهار ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه جاجرود انتخاب شدند.

(Esmaeili et al., 2018) و در بین آن‌ها ماهیان سفید جنس *Squalius* از خانواده کپورماهیان دارای چهار گونه *S. turcicus* در حوضه‌های آبریز خزر و دریاچه ارومیه، ماهی سفید نمک *S. namak* از حوضه دریاچه نمک و *S. berak* و *S. lepidus* از حوضه آبریز تیگریس را شامل می‌شود. ماهی سفید نمک به واسطه ویژگی‌هایی از قبیل خال‌های درشت به رنگ خاکستری یا قهوه‌ای بر روی بدن، داشتن برجستگی ضخیم و عریض روی فک پایینی، حاشیه محدب در قسمت پشتی باله مخرجی، لکه‌های گرد یا هلالی شکل بر روی لبه خلفی فلس‌های پهلوها و رنگ نارنجی شعاع‌های باله دم، مخرجی و لگنی قابل تشخیص می‌باشد (Mouludi-Saleh et al., 2017).

صفات ریختی علاوه بر انعکاس ساختار ژنتیکی ماهیان، شرایط محیط و زیستگاه ماهیان را نیز نشان می‌دهند (ایگدري و کمال، ۱۳۹۲). به عبارت دیگر مطالعات ریخت‌شناسی به درک ارتباط متقابل بین



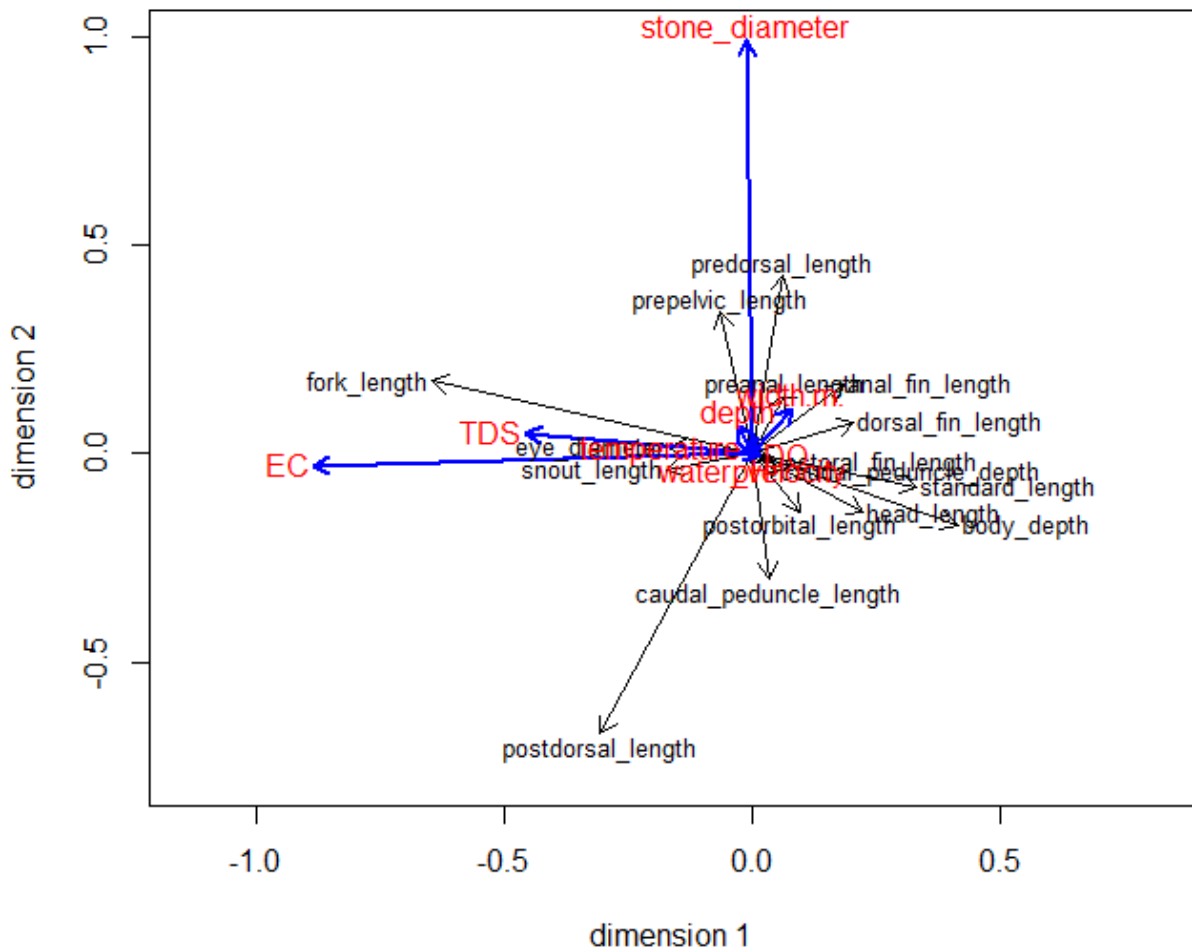
شکل ۲- لندمارک‌های تعریف شده برای ماهی. ۱. ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا، ۲. نقطه وسط چشم، ۳. امتداد خطی عمود از لندمارک شماره ۲ به سمت بالای بدن، ۴. ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۵. انتهایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای، ۶. ابتدای قاعده باله پشتی، ۷. انتهای قاعده باله پشتی، ۸. ابتدایی‌ترین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



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 باله مخرجی، ۵. نوک پوزه تا ابتدای باله پشتی، ۶. نوک پوزه تا ابتدای باله شکمی، ۷. انتهای باله پشتی تا انتهای باله شکمی، ۸. طول سر، ۹. ارتفاع بدن، ۱۰. طول ساقه دم، ۱۱. طول انتهای چشم تا سرپوش آبخشی، ۱۲. طول باله پشتی، ۱۳. ارتفاع ساقه دم، ۱۴. طول پوزه، ۱۵. طول باله مخرجی، ۱۶. قطر چشم و ۱۷. طول باله سینه‌ای.

گردید و سپس تعداد محدودی در فرمالین بافری ده درصد تثبیت و به آزمایشگاه منتقل شدند و بقیه ماهیان در همان محل صید رهاسازی شدند. داده‌های محیطی مورد بررسی (شکل ۱) شامل EC (هدایت الکتریکی)، TDS (جامدات محلول کل)، pH، اکسیژن محلول (DO)، عرض رودخانه، سرعت جریان آب، عمق متوسط، قطر سنگ و دمای آب بودند. سرعت جریان آب با استفاده از روش جسم شناور، عمق متوسط آب با متر فلزی در ۲۰ نقطه هر ایستگاه و میانگین‌گیری از آن‌ها، درجه

با استفاده از دستگاه الکتروشوکر SAMUS۲۵ تعداد ۱۰۳ نمونه‌ی سفیدماهی نمک نمونه‌برداری شدند. طول هر ایستگاه نمونه‌برداری در حدود ۹۰ متر به صورت سه تکرار ۳۰ متری بود. نمونه‌برداری در هر ایستگاه براساس روش دو رفت برخلاف جهت جریان انجام شد. همچنین به منظور جلوگیری از فرار ماهیان، در کلیه ایستگاه‌ها از تورهای پشتیبان در بالادست و پایین‌دست استفاده شد (Ahmdzadeh *et al.*, 2019). از نمونه‌های صید شده در هر ایستگاه، پس ثبت تعداد، از سمت چپ عکسبرداری



شکل ۴- دو نمودار حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه بین داده‌های ریخت سنتی و پارامترهای محیطی.

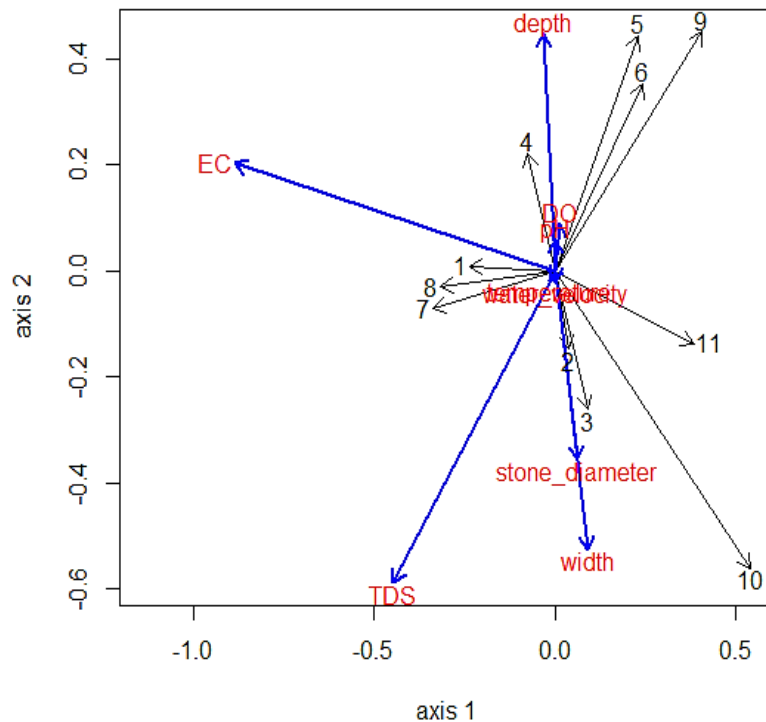
شد. سپس با استفاده از نرم افزار TpsDig2 بر روی تصاویر دو بُعدی تعداد ۱۳ لندمارک تعریف (شکل ۲) و رقومی شدند و فایل tps ایجاد گردید. فایل tps حاوی مختصات لندمارک‌ها بود با بسته Geomorph در نرم افزار R آنالیز شدند (Eagderi *et al.*, 2015).

استخراج داده‌ها در روش ریخت‌سنجی سنتی: در روش ریخت‌سنجی هندسی تعداد ۱۷ صفات اندازه‌گیری بر روی تصاویر تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ براساس روش Armbruster (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شدند (شکل ۳). دقت اندازه‌گیری‌ها ۰/۱ میلی‌متر بود.

رابطه بین صفات اندازه‌گیری در روش ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی: برای حذف اثر اندازه در روش سنتی از روش Elliot و همکاران (۱۹۹۵)

حرارت آب، pH، EC، TDS با دستگاه پرتابل چندکاره (Eutech)، اکسیژن محلول با اکسیژن‌متر (Lutron551)، عرض رودخانه در محل نمونه‌برداری با متر لیزری (Hyundai 504DM) در سه قسمت ابتدا، وسط و انتهای ایستگاه و قطر متوسط سنگ‌های بستر رودخانه با خط‌کش به تعداد ۲۰ عدد در هر ترانسکت ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر به تعداد ده ترانسکت در هر ایستگاه اندازه‌گیری شدند. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها نیز با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (Garmin etrex 30) ثبت گردید.

استخراج داده‌ها در روش ریخت‌سنجی هندسی: برای مطالعات ریخت‌سنجی از سطح سمت چپ نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال کداک ۶ مگاپیکسل مجهز به پایه تصویربرداری، عکس‌برداری



شکل ۵- دونموداره حاصل از رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه بین لندمارک‌ها و پارامترهای محیطی.

براساس نتایج قطر سنگ بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول پیش پستی و طول پیش سینه‌ای و بیشترین رابطه‌ی منفی معنی‌دار را با طول پس پستی، طول ساقه دم‌ی و طول پس چشمی (Postorbital length) نشان داد. EC و TDS به ترتیب بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار را با طول چنگالی، قطر چشم و طول پوزه نشان دادند. EC و TDS به ترتیب بیشترین رابطه‌ی منفی معنی‌دار با ارتفاع ساقه‌ی دم‌ی، طول استاندارد، طول باله سینه‌ای و طول پیش باله پستی داشتند (شکل ۴).

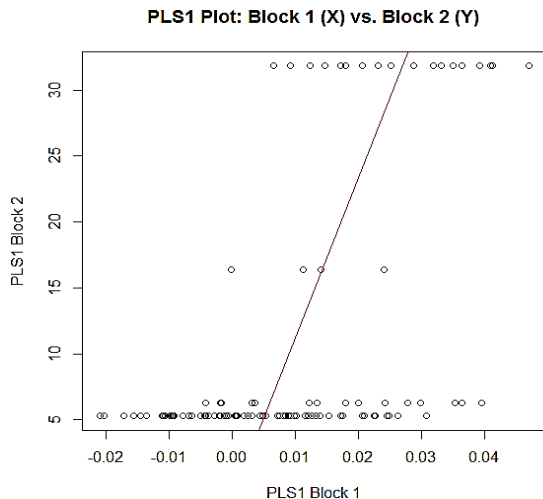
روش ریخت‌سنجی هندسی: دونموداره حاصل از PLS برای داده‌های ریخت‌سنجی هندسی در شکل ۵ ارائه شده است. براساس نتایج بیشترین رابطه‌ی مثبت معنی‌دار با عمق رودخانه مربوط به لندمارک‌های شماره چهار (ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای)، ۹ (انتهای‌ترین نقطه قاعده باله شکمی)، پنج (انتهای‌ترین نقطه قاعده باله سینه‌ای)، شش (ابتدای قاعده باله پستی) بود و بیشترین ارتباط منفی معنی‌دار با عمق مربوط به لندمارک‌های شماره سه (امتداد خطی عمود از لندمارک شماره دو به

استفاده شد. رابطه بین صفات اندازه‌ی و متغیرهای محیطی با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه (Two-block partial least squares = PLS) در نرم‌افزار انجام شد. این آزمون یک مجموعه بردار ارائه می‌کند که توصیف‌گر همبستگی بین متغیرهای محیطی و شکل بدن ماهیان می‌باشد.

بررسی رابطه بین داده‌های ریختی در روش ریخت‌سنجی لندمارک پایه و متغیرهای محیطی: ابتدا اثر اندازه شامل اندازه، جهت و موقعیت نمونه‌ها یا استفاده از آنالیز پروکراست حذف شدند. سپس فاصله‌های پروکراست نمونه‌ها محاسبه شدند. برای بررسی همبستگی بین متغیرهای محیطی و فاصله تا مرکز از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه (PLS) استفاده شد.

نتایج

روش ریخت‌سنجی سنتی: مقادیر پارامترهای محیطی مورد بررسی در شکل ارائه شده است.



شکل ۷- همبستگی بین متغیرهای ریخت هندسی و متغیرهای محیطی با رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه.

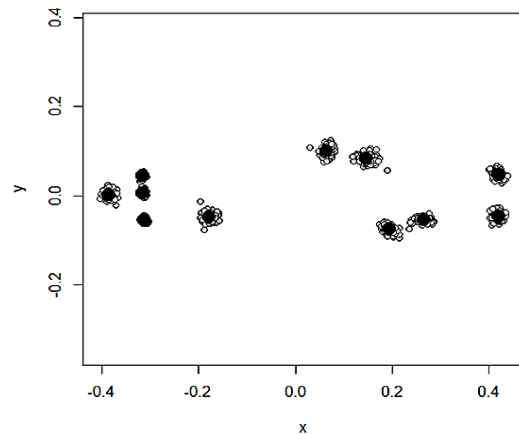
(جابه‌جایی لندمارک‌های ساقه دم) و تا حدودی افزایش طول قاعده‌ی باله‌ی مخرجی (جابه‌جایی لندمارک‌های ۱۰ و ۱۱) است که حاکی از وجود الگوی تنوع ریختی از نظر لندمارک‌های مذکور در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است (شکل ۶).

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

رابطه ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی: PLS نشان داد که همبستگی مثبتی بین متغیرهای ریخت‌سنجی و متغیرهای محیطی وجود داشت ($r = 0/45$, $P = 0/45$, شکل ۸).

بحث

نتایج نشان داد که طول پیش‌باله پشتی و طول پیش‌باله سینه‌ای تغییرپذیری بالایی در ماهیان ایستگاه‌های مختلف در پاسخ به فاکتورهای محیطی داشتند که در میان این فاکتورهای محیطی، قطر سنگ بیشترین اثرگذاری را به صورت افزایش طول این صفات داشت. در مطالعه‌ی زیست‌سنجی ماهی سفید نمک در رودخانه‌های حوضه نمک (Mouludi - Saleh *et al.*, 2017)، بررسی صفات اندازه‌ی نشان



شکل ۶- شکل اجماع لندمارک‌ها و تغییرات شکلی آن‌ها بعد از آنالیز پروکراست (GPA).

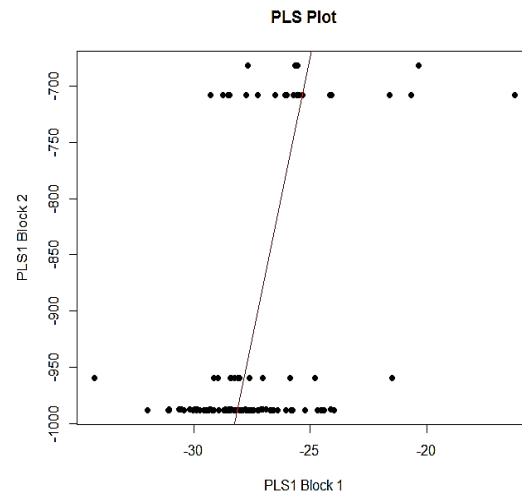
سمت بالای بدن) دو (نقطه وسط چشم) و ۰- (ابتدای قاعده باله مخرجی) می‌باشد. همچنین لندمارک‌های شماره یک (ابتدایی‌ترین بخش پوزه در قسمت فک بالا)، هفت (انتهای قاعده باله پشتی) و هشت (ابتدایی‌ترین نقطه قاعده باله شکمی) با EC و TDS بیشترین همبستگی را داشتند. شکل اجماع (Consensus shape) جمعیت‌های ماهی و میزان جابه‌جایی لندمارک‌ها مصورسازی شدند و این تغییر شکل بر اثر جابه‌جایی موقعیت لندمارک‌ها در نمونه‌های صید شده تعریف شده است (شکل ۶).

براساس الگوهای جابه‌جایی لندمارک‌ها بیشترین تفاوت مربوط به جایگاه لندمارک‌های مستقر در نیمه‌ی خلفی 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)، ۱۰ (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 (جابه‌جایی لندمارک‌های شماره شش و هفت)، افزایش طول ساقه‌ی دم

مشاهده شدند و به عنوان 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 تغییرات نسبتاً بالایی داشتند.

در این مطالعه مشخص شد که تغییرات ریختی ماهی سفید نمک به علت تفاوت در شرایط محیطی ایستگاه‌ها بوده است، بنابراین شکل بدن این ماهی در رودخانه جاجرود تحت تأثیر عوامل مختلف تأثیرگذار بر زیستگاه، انعطاف‌پذیری ریختی را نشان می‌دهد. در مطالعه مولودی صالح و کیوانی (۱۳۹۷) در مورد ماهی سفید نمک در رودخانه‌های خزنق و قره‌چای، تفاوت معنی‌دار ریختی بین جمعیت‌های دو رودخانه حاکی از انعطاف‌پذیری بالای این گونه که در تأیید نتایج مطالعه حاضر است. در مطالعه مولودی صالح و کیوانی (۱۳۹۷) جمعیت خزنق نوک پوزه بلندتر و ارتفاع بدن و ارتفاع ساقه دم کمتری نسبت به جمعیت قره‌چای داشت. در مطالعه رادخواه و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر فاکتورهای محیطی بر ریخت ماهی با استفاده از ریخت‌سنجی هندسی بیشترین تفاوت‌ها را در ارتفاع بدن و ارتفاع ساقه دم بیان شده و در میان فاکتورهای محیطی سرعت جریان و دبی رودخانه را مؤثرترین فاکتور نشان داد. تغییرات ریختی ماهیان به واسطه انعطاف‌پذیری ریختی در پاسخ به شرایط زیستگاهی می‌تواند بدلیل تغییر در الگوهای تکاملی ماهیچه‌ها و استخوان‌ها باشد (Poorbagher *et al.*, 2017). مطالعات ریخت‌سنجی ماهیان اثر عوامل مختلف مانند فاکتورهای زیستگاهی را در تغییر شکل بدن ماهیان نشان می‌دهند و درک بهتری از این تغییرات را ارائه می‌دهند.

در بررسی اثرات فاکتورهای محیطی در تغییرات ریختی سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*) در رودخانه زرینه‌رود، با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی دوبلوکه مشخص شد که سرعت جریان آب و دبی رودخانه، فاکتورهای اصلی در ایجاد



شکل ۸- همبستگی بین ریخت‌سنجی سنتی و متغیرهای محیطی با رگرسیون حداقل مربعات جزئی دو بلوکه.

داد که طول پیش باله سینه‌ای و طول پیش باله مخرجی بیشترین نقش را در تفکیک جمعیت‌های مختلف این ماهیان داشته‌اند که این یافته‌ها در رابطه با تغییرپذیری بالای طول پیش باله سینه‌ای تحت شرایط محیطی مختلف، با نتایج مطالعه حاضر در انطباق است. همچنین در مطالعه‌ای که توسط مولودی صالح و کیوانی (۱۳۹۷) در صفات اندازه‌ی، پوزه دارای تغییرپذیری بالایی در میان ماهیان جنس *Squalius* بود که در مطالعه حاضر نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد. انعطاف‌پذیری ریختی، قابلیت یک موجود در تغییر ریخت در پاسخ به شرایط محیطی می‌باشد که موجب می‌گردد حتی با وجود ژنوتیپ یکسان، جمعیت‌های مختلف، فنوتیپی متفاوتی را نشان دهند (Eagderi *et al.*, 2015).

همچنین نتایج 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 و عرض رودخانه نقش بیشتری در ایجاد تغییرات شکلی در ماهیان *S. namak* داشتند. این تغییرات شکلی متأثر از فاکتورهای محیطی مذکور، مربوط به تفاوت‌هایی بود که در نواحی باله‌های سینه‌ای، شکمی و پشتی

تغییرات ریختی بوده‌اند (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر دما بر شکل بدن ماهی آنجل (*Pterophyllum scalare*) در مراحل اولیه تکوین با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی مشخص شد در دمای بالاتر، ماهیان شکل بدن پهن‌تر و مخروطی، ارتفاع ساقه دم کم‌تر و طول سر بیشتر داشتند (نصرالله پورمقدم و ایگدری، ۱۳۹۲). نتایج این تحقیق نشان داد که یک نوع پلی‌مورفیسم (چندشکلی) ریختی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی در سفید ماهیان نمک در رودخانه جاجرود وجود دارد.

منابع

احمدزاده م، پورباقر ه، ایگدری س. ۱۳۹۷. تعیین شاخص مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی مرکزی (*buhsei*) هسته‌ای در رودخانه جاجرود، حوضه دریاچه نمک ایران. مجله علوم آبرزی پروری، ۶(۲): ۹۹-۱۰۸.

اسماعیل‌زادگان ا، ایگدری س، پیربیگی ع، ندائی ش. ۱۳۹۲. اثر سد تاریک رودخانه سفیدرود بر شکل بدن ماهیان خیاط (*Alburnoides eichwaldi*) (De Filippi, 1863) با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، ۱(۲): ۳۹-۴۶.

ایگدری س، کمال ش. ۱۳۹۲. کاربرد روش ریخت‌سنجی هندسی در مطالعات انعطاف‌پذیری ریختی در ماهیان، مطالعه موردی مقایسه شکل بدن جمعیت‌های ماهی گورخری (*Aphanius sophiae*) (Heckel, 1847) چشمه علی دامغان و رودخانه شور اشتهارد. مجله پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، ۱(۲): ۴۷-۵۲.

ایگدری س، پورباقر ه، زمانی‌فرادنبه م. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات شکل بدن در جمعیت‌های ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) (De Filippi, 1863) در حوضه دریای خزر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۵(۴): ۸-۱.

ایگدری س، پورباقر ه، زمانی‌فرادنبه م. ۱۳۹۵. شاخص مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی مرکزی (*Capoeta*)

بuhsei, Kessler 1877) در رودخانه جاجرود (حوضه دریاچه نمک) در چهارمین کنفرانس ماهی‌شناسی ایران (سی‌ام تا سی و یکم تیر) خلاصه مقالات، مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۵.

ایگدری س، کلاری ابراهیمی س، اشرفی س، جلیلی پ. ۱۳۹۶. بررسی تنوع جمعیتی سیاه‌ماهی هراتی (*Capoeta heratensis*) در حوضه‌های آبریز هریرود و دشت کویر با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله علوم آبرزی پرور ۵ (۶): ۳۷-۴۴.

پیشگاه‌پور ز، پورباقر ه، ایگدری س. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر شرایط اکولوژیکی و متغیرهای فیزیکی رودخانه دینورآب استان کرمانشاه بر شاخص مطلوبیت زیستگاه ماهی شاه‌کولی سلال (*Alburnus sellal*) Heckel, 1843. مجله شیلات، ۷۱(۴): ۳۱۷-۳۲۸.

رادخواه ع، پورباقر ه، ایگدری س، نصری م. ۱۳۹۴. بررسی فاکتورهای محیطی مؤثر در انعطاف‌پذیری ریختی سس ماهی کورا (*Barbus lacerta*, Heckel, 1843) در رودخانه‌ی زرینه‌رود، حوضه‌ی دریاچه ارومیه. مجله شیلات (منابع طبیعی ایران)، ۶۸(۴): ۵۳۱-۵۲۱.

زمانی‌فرادنبه م، ایگدری س، نصری م. ۱۳۹۲. ریخت‌سنجی هندسی دو جمعیت ماهی واسپی (*Aspidoparia morar*) (Hamilton, 1822) در حوضه‌های ماشکیل و مکران. در همایش ملی علوم جانوران آبرزی (پنجم تا هفتم شهریور). گیلان: دانشگاه گیلان، ۱۳۹۲.

زمانی‌فرادنبه م، ایگدری س، زارعی ن. ۱۳۹۴. بررسی شاخص مطلوبیت زیستگاه سیاه‌ماهی (*Capoeta gracilis*, Keyserling 1861) در رودخانه‌ی طالقان. مجله شیلات (منابع طبیعی ایران)، ۶۸(۳): ۴۱۹-۴۰۹.

صالحی‌نیا د، ایگدری س، خراسانی ن، زمانی‌فرادنبه م. ۱۳۹۵. مطالعه اثر سد سنگبان بر ویژگی‌های ریختی جمعیت‌های سیاه‌ماهی (*Capoeta gracilis*, Keyserling 1864) با استفاده از دو روش ریخت‌سنجی هندسی و سنتی. مجله زیست‌جانوری، ۸(۲): ۹۷-۱۰۴.

مولودی صالح ع، کیوانی ی. ۱۳۹۷. تنوع ریختی جمعیت‌های سه گونه ماهی سفید رودخانه‌ای در حوضه‌های آبی ایران. مجله یافته‌های نوین در علوم

- of Namak Chub (*Squalius namak*, Khaefi et al., 2016) in rivers of lake Namak basin of Iran. *Research in Zoology* 7(1), 1-6.
- Poorbagher H., Eagderi S., Pirbeigi A. 2017. Temperature-Induced Phenotypic Plasticity in *Aphanius arakensis* Teimori, Esmaeili, Gholami, Zarei, & Reichenbacher, 2012 (Teleostei: Aphaniidae). *European Journal of Biology* 76(1), 1-6.
- Radkhah A.R., Poorbagher H., Eagderi S. 2017. Habitat effects on morphological plasticity of Saw-belly (*Hemiculter leucisculus*) in the Zarrineh River (Urmia Lake basin, Iran). *Journal of BioScience and Biotechnology* 6(1), 37-41.
- زیستی، (۲)۵: ۲۰۴-۱۹۲.
- مولودی صالح ع.، کیوانی ی.، جلالی ا. ۱۳۹۷. مقایسه زیست‌سنجی ماهی سفید رودخانه‌ای (*Squalius namak*, Khaefi et al., 2016) در رودخانه‌های حوضه نمک. مجله پژوهشی زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۷(۱): ۱۱۸-۱۰۷.
- نصرالله پورمقدم م.، ایگدری س. ۱۳۹۲. تاثیر درجه حرارت بر شکل بدن ماهی آنجل (*Pterophyllum scalare* Lichtenstein, 1823) در مراحل اولیه رشد با استفاده از روش ریخت‌سنجی هندسی. مجله بوم‌شناسی آبیان، ۳(۲): ۳۰-۳۶.
- Ahmdzadeh M., Poorbagher H., Eagderi S. 2019. Calculating the habitat suitability index of Siahmahi (*Capoeta buhsei*, Kessler 1877) using the kernel smoothing in the Jajrood River, Namak basin of Iran. *Aquaculture Sciences* 6(2), 99-108.
- Armbruster J.W. 2012. Standardized measurements, landmarks, and meristic counts for cypriniform fishes. *Zootaxa* 3586, 8-16.
- Eagderi S., Poorbagher H., Parsazade F., Mousavi-Sabet H. 2015. Effects of rearing temperature on the body shape of swordtail (*Xiphophorus hellerii*) during the early development using geometric morphometrics. *Poeciliid Research* 5(1), 24-30.
- Elliott N.G., Haskard K., Koslow J.A. 1995. Morphometric analysis of the orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) population off the continental slope of southern Australia. *Journal of Fish Biology* 46(2), 202-220.
- Esmaeili H.R., Sayyadzadeh G., Eagderi S., Abbasi K. 2018. Checklist of freshwater fishes of Iran. *FishTaxa* 3(3), 1-95.
- Keeley E., Parkinson, E., Taylor E. 2007. The origins of ecotypic variation of rainbow trout: a test of environmental vs. genetically based differences in morphology. *Journal of Evolutionary Biology* 20(2), 725-736.
- Mouludi-Saleh A., Eagderi S., Poorbagher H., 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.
- Mouludi-Saleh A., Keivany Y., Jalali S.A.H. 2017. Geometric morphometric comparison

Effects of environmental parameters on morphological traits of *Squalius namak* in the Jajrood River

Hamed Shabanloo, Hadi Poorbagher*, Soheil Eagderi

Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding author: poorbagher@ut.ac.ir

Received: 2020/6/1

Accepted: 2021/8/23

Abstract

Fish shape is influenced by variable environmental parameters and in morphological studies, the relationship between the morphological features and environmental parameters are barely investigated. Therefore, the present study aimed to investigate the body shape of Namak Whitefish (*Squalius namak*) being influenced from environmental factors of the Jajrood River and also evaluate the contribution of each factor in shape variation. 103 specimens were collected from the Jajrood River. The environmental factors, i.e. water velocity, depth, temperature, pH, oxygen, the diameter of substrate stones, EC and TDS were record in the sapling points. The specimens were photographed and 13 landmarks for the geometric morphometric methods using TPSDig2 and 17 distance features for traditional morphometrics were measured. The geometric morphometric data were analysed using the package Geomorph in R software. The relationship between distance features in the traditional morphometric and the environmental factors were examined using two-block partial square regression. That was a positive significant correlation between the variables of traditional morphometrics and the environmental factors. The diameter of stone had the greatest positive significant relationship with the morphological features including pre-dorsal and pre-pectoral lengths. As to the geometric morphometrics, the greatest positive relationship was found between the depth and the landmarks 4, 9, 5 and 6. The present study indicated that there was polymorphism in Namak Whitefish because of environmental factors.

Keywords: Traditional morphometrics, Geometric morphometrics, Jajrood, *Squalius*.