

واگرایی ریختی گونه‌های جنس *Lutjanus* Bloch, 1790 (Perciformes: Lutjanidae) در دریای

عمان

هما ظفرقاسم پور^۱، فائزه یزدانی مقدم^{۱،۲*}، اشکان اژدری^۳ و احسان دامادی^۱^۱ ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی^۲ ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز پژوهشی جانورشناسی کاربردی، گروه نوآوری زیستی جانوری^۳ چابهار، مرکز تحقیقات شیلات آب‌های دور

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

چکیده

جنس *Lutjanus* گروهی از ماهیان با ارزش اقتصادی و بوم‌شناختی بالا در دریای عمان هستند که گونه‌های آن شباهت ریختی زیادی را نشان می‌دهند. این مطالعه با هدف بررسی مقایسه واگرایی ریختی ۱۱ گونه از جنس *Lutjanus* با رویکردهای ریخت‌سنجی سنتی و ریخت‌سنجی هندسی انجام شد. براساس مطالعات انجام شده ۱۱ گونه از جنس *Lutjanus* شامل *L. lutjanus*, *L. argentimaculatus*, *L. ehrenbergii*, *L. erythropterus*, *L. johnii*, *L. lemniscatus*, *L. fulviflamma*, *L. malabaricus*, *L. quinquelineatus*, *L. rivulatus*, *L. russellii* شناسایی شدند. رویکردهای ریخت‌سنجی سنتی و هندسی توانستند اکثر گونه‌های این جنس را در صفات شمارشی، اندازشی و شکل بدن بترتیب از یکدیگر تفکیک کنند. تحلیل‌های تک متغیره و چند متغیره مطابقت نسبتاً بالایی را نشان دادند، بطوریکه تعداد خارهای باله پشتی، تعداد خارهای آبششی، طول پیش‌باله شکمی، عمق بدن، طول ساقه دم و طول سر بیشترین نقش را در جدایی اعضای این جنس داشتند. مطابق با نتایج ما، تنوع گونه‌ای در ایستگاه‌های شرقی دریای عمان (تیس و بریس) نسبت به غرب آن بیشتر بود که این می‌تواند به دلیل فاکتورهای بوم‌شناختی و شرایط زیستگاهی باشد. این مطالعه استفاده از تحلیل‌های مولکولی برای تأیید گونه‌های شناسایی شده و طراحی یک برنامه ریزی دقیق حفاظتی را پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سرخوماهیان، تنوع ریختی، ریخت‌سنجی سنتی، ریخت‌سنجی هندسی، سیستم شبکه ترانس، دریای عمان

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۵۱۰۰۵۷۷، پست الکترونیکی: yazdani@um.ac.ir

مقدمه

های تیز، فک بالا با دندان نیش، کمان‌های پیش‌آبششی دنداندار و یک لکه سیاه رنگ در بالای خط جانبی می‌باشد (۱۴). بطور کلی گونه‌های جنس *Lutjanus* تنوع ریختی قابل توجهی را از لحاظ الگوی رنگی و اندازه بدن از خود نشان می‌دهند (۲۴). این جنس دارای بیشترین تعداد گونه نسبت به سایر جنس‌های خانواده سرخوماهیان می‌باشد، بطوری که در مجموع شامل ۸۱ گونه معتبر در جهان می‌باشد که از این بین، ۱۱ گونه در دریای عمان

مطالعات آرایه‌شناختی بخش اساسی بوم‌شناسی و حفاظت است. خانواده سرخوماهیان (*Lutjanidae* Gill, 1861) شامل ۴ زیرخانواده، ۱۷ جنس و ۱۱۳ گونه شناخته شده در دنیا است (۸). پراکنش جغرافیایی این خانواده غالباً منحصر به آب‌های شور نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری اقیانوس اطلس، هند و آرام می‌باشد (۱۴و۲). از مهم‌ترین ویژگی‌های جداکننده جنس *Lutjanus* می‌توان به، دهان بزرگ با قابلیت ارتجاعی، آرواره‌های بالا و پایین با دندان

نامیده می‌شوند (۸). اولین مطالعه ریختی روی فون ماهیان دریای عمان توسط Blegvad and Loppenthin (1944) انجام شد که منجر به شناسایی سه گونه *L. argentimaculatus* (Forsskal 1775)، *L. johnii* (Bloch, 1792) و *L. coeruleolineatus* (Rüppell, 1838) شد. پس از آن صدیق زاده و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به توصیف، شناسایی و مقایسه اتولیت گونه *L. johnii* (Bloch, 1792) متعلق به جنس *Lutjanus* پرداختند و به وجود دو جمعیت جداگانه از ماهیان *L. lutjanus* Bloch, 1792 در خلیج فارس و دریای عمان دست یافتند. بررسی‌های دیگر در ایران به چند گزارش و مقاله محدود می‌شود، بنابراین عملاً بررسی جامعی در مورد ریخت‌شناسی اعضای گونه‌های جنس *Lutjanus* در این منطقه صورت نگرفته است. تنها مطالعه مولکولی در محدوده آبی ایران با استفاده از ژن COI بر روی گونه‌های جنس *Lutjanus* توسط اصغریان و همکارانش در سال ۲۰۱۱ انجام گرفت که سه گونه *L. fulviflamma* (Forsskal 1775)، *erythropterus* Bloch, 1790 و *L. Lutjanus* Bloch, 1790 مورد تفکیک و شناسایی قرار دادند. بررسی صفات ریخت‌شناسی ساده‌ترین و مستقیم‌ترین راه در بین روش‌های شناسایی گونه‌ها می‌باشد. ریخت‌سنجی مطالعه تنوع شکل و تغییر آن همراه با بررسی متغیرهای دیگر می‌باشد (۵). تکنیک‌های مختلفی برای ریخت‌سنجی وجود دارد که بطور کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته سنتی و هندسی تقسیم نمود. در ریخت‌سنجی سنتی از تجزیه و تحلیل‌های آماری چند متغیره برای متغیرهای کمی مانند طول، عرض و ارتفاع استفاده می‌شود (۳). از دیگر روش‌های ریخت‌سنجی هندسی، ریخت‌سنجی براساس سیستم شبکه تراس می‌باشد که کاربردهای زیادی از جمله ریخت‌شناسی، رشد‌شناسی، شناسایی ذخایر و تفکیک گونه‌ها دارد (۱۳). این سیستم بر پایه لندمارک می‌باشد که این نقاط موقعیت (مختصات ۲ یا ۳ بعدی) روی نمونه هستند (۱۶) و متغیرها فواصل خطی بین دو لندمارک روی بدن می‌باشند که تراس

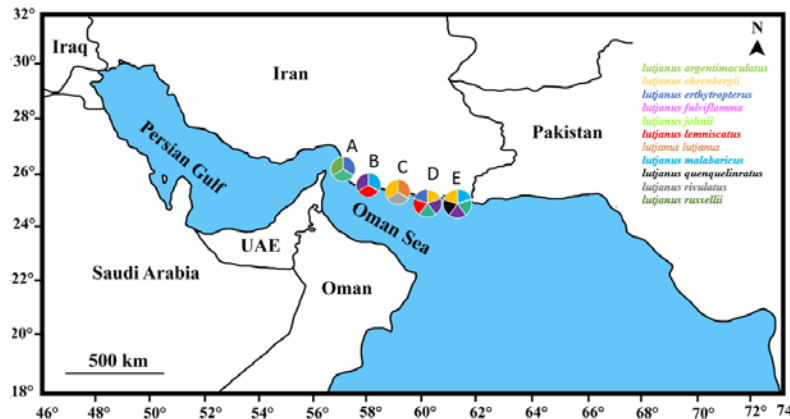
مواد و روشها

روش مطالعه: در این مطالعه نمونه برداری به وسیله تور در عمق بین ۵۰-۱۲ متر بترتیب از ۵ ایستگاه سیریک، جاسک، پزم، تیس و بریس با در نظر گرفتن فاصله جغرافیایی و تنوع زیستگاهی از جمله تنوع بستر صورت گرفت (شکل ۱). در مجموع تعداد ۱۰۸ نمونه شامل ۱۱ گونه متعلق به جنس *Lutjanus* از دریای عمان جمع‌آوری شد. سپس از سمت چپ تمامی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال Canon مدل ۱۲۳۴ ساخت کشور ژاپن با قدرت تفکیک پذیری ۸ مگاپیکسل از فاصله ۱۵ سانتی متری بر روی پایه، عکس برداری انجام گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده در شرایط تازه به موزه جانورشناسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل و سپس جهت انجام بررسی‌های ریخت‌شناسی به فریز با دمای 4°C - منتقل شدند. نمونه‌ها توسط کلیدهای شناسایی معتبر شناسایی شدند (۱۷).

تحلیل‌های ریختی

ریخت سنجی سنتی: در روش ریخت سنجی سنتی، ۱۵ صفت اندازه‌گیری روی ۱۰۸ نمونه با استفاده از نرم افزار Image J v.1.53 (18) اندازه‌گیری شد (با توجه به اینکه از تعدادی از نمونه‌ها تنها عکس تهیه شده بود) و از ۵ صفت

شمارشی برای انجام تحلیل‌های آماری استفاده شد (جدول ۱). برای حذف اثر اندازه، از تمام صفات نسبت گرفته شد (صفات تقسیم بر طول استاندارد) سپس نرمال بودن داده‌ها با تست Shapiro-Wilk مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱- پراکنندگی جغرافیایی گونه‌های مورد مطالعه جنس *Lutjanus* در دریای عمان

A: سیریک، B: جاسک، C: پزم، D: تیس، E: بریس

ریخت سنجی هندسی: در این روش تعداد ۱۷ لندمارک هم ساخت روی هر نمونه با استفاده از نرم افزار tps Dig رقمی سازی شده و فایل‌های tps از آن‌ها تهیه گردید (شکل ۲). داده‌های حاصل پس از تحلیل پروکراست (Analysis Generalized Procrust)، برای حذف اثرات غیر مرتبط با شکل (شامل: اندازه، جهت و موقعیت)، با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل تشخیص خطی (LDA) مورد تحلیل قرار گرفتند. مصور سازی تفاوت شکل بدن گونه‌های جنس *Lutjanus* مورد مطالعه در نمودار Wireframe با استفاده از نرم افزار Morpho J v1.07(12) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های نقاط لندمارک در این مطالعه در نرم افزار Morpho J مورد بررسی قرار گرفتند.

در مرحله بعدی داده‌های اندازه‌گیری و شمارشی برای انجام تحلیل‌های ریختی وارد نرم افزار (10) PAST 4.03 شدند. از تحلیل MANOVA برای بررسی تفکیک جنسیت در گونه‌ها استفاده شد. تحلیل یک طرفه واریانس ANOVA، میانگین و انحراف معیار برای مشخص کردن تفاوت‌های معنادار آماری متغیرها بین گروه‌ها انجام شد. در تمام آزمون‌ها سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. همه متغیرها توسط آزمون Shapiro-Wilk نرمال شدند. سپس با توجه به صفات اندازه‌گیری شده ظاهری، تجزیه تحلیل‌های چند متغیره شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی Principle Component Analyses (PCA) و پس از آن تحلیل تشخیص خطی Linear Discriminant Analyses (LDA) برای تأیید جدایی گونه‌ها صورت گرفت (۳). برای تمام محاسبات و تحلیل‌های ذکر شده از نرم افزار PAST v.4.03 و SPSS v.23 (SPSS Inc., Chicago IL) استفاده شد (۱۵).

جدول ۱- آماره‌های توصیفی و نتایج صفات اندازه‌شی و شمارشی ۱۱ گونه از جنس *Lutjanus*

گونه ها شمارشی	<i>L. argentimaculatus</i>	<i>L. ehrenbergii</i>	<i>L. erythropterus</i>	<i>L. fulviflamma</i>	<i>L. johnii</i>	<i>L. lemniscatus</i>	<i>L. lutjanus</i>	<i>L. malabaricus</i>	<i>L. quinquelineatus</i>	<i>L. rivulatus</i>	<i>L. russellii</i>	P-Value
تعداد خارها و شعاع نرم باله پشتی	X, 13-14 ۱۱.۷۵	X, 13-14 18.5	XI, 12-14 12	X, 12-14 11.5	X, 13-14 11.75	X, 13-14 12.25	X-XI, 12 11.5	XI, 12-14 12	X, 13-15 12	X, 15-16 20.5	X, 14 12	0.000
تعداد خارها و شعاع نرم باله مخرجی	III, 8 5.5	III, 8 5.5	III, 8-9 10	III, 8 5.5	III, 8 5.5	III, 8 5.5	III, 8 5.5	III, 8-9 5.75	III, 8 5.5	III, 9 6	III, 8 5.5	0.000
تعداد خارهای باله سینه ای	16-17 16.5	15-16 15.5	16-17 16.5	15-17 15.5	16-17 16.5	16-17 16.5	16-17 16.5	16-17 16.5	16-17 16.5	17-18 17.5	16-17 16.5	0.000
تعداد فلس‌های بالای خط جانبی	44-48 46	42-47 44.5	46-50 48	46-49 47.5	46-49 47.5	47-50 48.5	48-50 49	46-50 48	47-50 48.5	47-49 48	47-50 48.5	0.000
تعداد خارهای آبششی (بالا و پایین)	9-12, 6-8 8.75	10-14, 6-7 9.25	5-6, 13-14 9.5	6-7, 9-12 8.5	6-7, 11-12 9	10-14, 6-18 12	6-7, 17-19 12.25	4-7, 12-14 9.25	7-8, 13-15 10.75	6, 11-13 15	5-7, 11-13 9	0.000
اندازه‌شی												
عمق بدن	38.6-39.36 38.98	34.6-34.67 34.63	43.42-44.1 43.76	34.3-39.4 36.85	41.33- 43.06 37	38.47-39.7 39.08	32.48-35.6 34.22	41.86-43 42.43	38.86-38.9 38.88	40.5-44.39 42.44	33.55-37.6 35.57	0.000
عمق ساقه دم	12.1-12.64 12.37	11.34-12.1 11.72	12.1-12.49 12.29	11.4-11.78 11.59	12.31- 12.35 12.34	12.1-12.52 12.31	10.71-11.2 10.95	11.8-12.98 12.03	11.46-12.1 11.78	11.9-13.16 12.53	4-11.91 ۱۱.۱۱	0.089
طول سر	34.1-35.4 ۳۴.۷۵	39.2-43.02 41.11	31.84-32.1 31.97	36.51-36.6 36.55	37.2-38.92 33.51	33.8-35.1 34.45	29-34.9 31.95	32.05-33.1 32.57	35.8-35.97 35.88	37.1-38.22 37.66	33.46-34.7 34.08	0.000
طول پیش باله پشتی	41.84-45.3 43.57	43.6-46.97 45.28	39.58-40.5 40.04	44.8-48.63 46.71	44.3-45.3 44.38	43.47-44.7 44.08	40.1-41.32 40.71	38.8-39.01 38.90	38.6-39.98 39.29	45-45.2 45.1	41.4-44.02 42.7	0.000
عمق سر	29.5-30.23 29.86	30.03-31.2 30.75	32.3-32.4 32.35	28-29.27 28.63	32.82-33 24.93	28.47-30.3 29.38	25.4-26.9 26.15	31.32-31.6 31.46	28.9-29.1 29	31.1-33.01 32.05	27.56-28.5 28.03	0.058
طول پیش باله شکمی	34.94-39.1 37.02	43.3-49.87 46.58	37.9-38.53 38.21	35.88-40.70 38.29	41-41.83 39.02	39.15-39.3 39.22	39.03-40 39.65	36.76-36.9 36.83	40.8-40.81 40.80	43.1-44.68 43.89	38.3-41 39.65	0.000
فاصله بین ابتدای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی	37.6-39.83 38.71	34.42-34.5 34.46	42-42.2 42.1	34.1-38.15 36.12	40.6-43.51 35.89	38.22-40.5 39.36	34.61-35.5 35.05	38.86-39.7 39.28	37.8-38.31 38.05	39.6-44.04 41.82	35.27-36.7 35.98	0.000
فاصله بین انتهای باله پشتی تا انتهای باله مخرجی	16.4-18.7 17.55	15.02-16.9 15.96	17.8-18.95 18.37	14.4-14.74 14.57	15.5-16.7 14.96	17.1-17.23 17.16	13.8-14.04 14.1	18.1-18.14 18.12	15.79-16.4 16.09	13.79-14 13.89	15.67-16.46 16	0.000
طول باله پشتی	46.6-51.87 49.23	49.5-52.21 50.85	57.91-58 57.95	48.1-50.62 49.36	54.18-56.6 51.09	50.25-51.4 50.82	54.16-54.2 54.18	53.7-54 53.85	54.2-55.4 54.8	52.1-52.62 52.36	52.39-52.6 52.49	0.000
فاصله بین ابتدای باله شکمی تا انتهای باله مخرجی	46.27-47.9 47.08	44.36-45.9 45.13	50.44-53.3 51.87	49.6-53.16 51.38	46.01-50.9 44.80	42.91-44.6 43.75	51.1-53.33 52.21	46.9-47.42 47.16	49.2-49.28 49.24	46.01-47.2 46.60	46.9-48.7 47.8	0.000
فاصله بین اولین خار باله پشتی تا انتهای باله مخرجی	54.6-57.2 55.9	52.86-53.3 53.08	63.29-63.7 63.49	54.7-58.83 56.76	58.71-61.1 58.15	54.01-55.3 54.65	57.3-57.43 57.36	57.72-58 57.86	58.4-59.12 58.76	55.3-57.67 54.48	52.45-54.8 53.62	0.000
فاصله بین انتهای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی	52.9-55.04 54.15	52.56-53.3 52.93	57.2-58.48 57.84	52.7-53.55 53.12	53.78-56.3 51.1	51.88-54.2 53.04	54.99-58.3 56.64	55.6-55.94 55.77	55.5-60 57.75	52.66-53.1 53.13	55-55.25 55	0.000
فاصله بین انتهای باله شکمی تا ابتدای باله مخرجی	15.7-17 16.35	17.77-21.8 19.78	22.95-25 23.97	10.69-14.9 12.79	17.13-19.7 10.47	16.73-22.4 19.56	20.3-22.89 21.59	20.6-21.87 21.23	26.3-27.76 27.03	8.7-11.5 10.1	16.7-17.89 17.29	0.000
فاصله بین انتهای باله پشتی تا ابتدای ساقه دم (پشتی)	12.7-14.01 13.35	7.13-11.1 9.11	11.48-13.8 12.64	14.32-10.9 12.61	10.24-12.5 15.6	12.91-13.9 13.40	11.9-14.21 13.05	14.1-14.64 14.37	6.7-6.97 6.83	6.39-7.9 7.14	7.36-11.6 9.48	0.067
فاصله بین انتهای باله مخرجی تا ابتدای ساقه دم (شکمی)	13.8-16.34 15.07	10.49-14.9 12.69	12.83-14.2 13.51	12.4-14.5 13.45	10.84-15.7 11.97	15.1-17.26 16.18	13.9-18.27 16.08	18.4-19.6 19	16.27-16.3 16.28	13.9-15.39 14.64	12.8-15.54 14.17	0.000

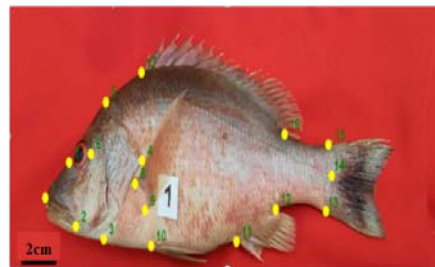
۱۰- ابتدای قاعده باله شکمی ۱۱- ابتدای قاعده باله منخرجی ۱۲-
انتهای قاعده باله منخرجی ۱۳- لبه پایینی محل اتصال باله دم ۱۴-
انتهای خط جانبی در قاعده باله دم ۱۵- لبه بالایی محل اتصال
باله دم ۱۶- انتهای قاعده باله پستی ۱۷- ابتدای باله پستی

نتایج

تحلیل ANOVA جهت بررسی جدایی جغرافیایی و جنسیت (نر و ماده) ۱۰۸ نمونه از گونه‌های جنس *Lutjanus* انجام شد و مشخص نمود که هیچ تفاوت معناداری بین نمونه‌های بررسی شده وجود ندارد. بنابراین نمونه‌های نر و ماده با یکدیگر ادغام شدند تا در بررسی‌های بعدی مورد استفاده قرار بگیرند. دو گونه *L. ehrenbergii* و *L. fulviflamma* نسبت به سایر گونه‌های دیگر در مناطق بیشتری پراکنش یافته اند که دلیل آن را می‌توان سازش پذیری بالای این دو گونه با محیط‌های مختلف نسبت به سایر گونه‌ها دانست (شکل ۱). در این مطالعه صفات ریخت‌سنجی ۱۱ گونه از جنس *Lutjanus* مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت (شکل ۳).

ریخت‌سنجی سنتی: آماره‌های توصیفی شامل کمینه، بیشینه، میانگین و p-value برای ۱۵ صفت اندازه‌گیری و ۵ صفت شمارشی روی ۱۰۸ نمونه محاسبه شده و در جدول ۱ ارائه شدند. در تحلیل واریانس یک طرفه (one way ANOVA) ۲۰ صفت برای جنس *Lutjanus* مورد بررسی قرار گرفت و مشخص نمود که همه صفات به جز عمق سر (HD)، عمق ساقه دم (CPD) و فاصله باله پستی تا ابتدای ساقه دم (DEDCF) بین گونه‌های این جنس معنی دار بودند ($P < 0.05$) (جدول ۱). مقایسه متغیرها با استفاده از آزمون توکی در بین گونه‌های جنس *Lutjanus* نشان داد که *L. lemniscatus* و *L. ehrenbergii* بیشترین تفاوت را در صفات شمارشی و گونه‌های *L. rivulatus*، *L. erythropterus* و *L. ehrenbergii* بیشترین واگرایی را در صفات اندازه‌گیری دارند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) براساس صفات شمارشی و اندازه‌گیری روی گونه‌های جنس

سیستم شبکه ترانس: در مطالعه ریخت‌سنجی به روش سیستم شبکه ترانس، ابتدا با استفاده از نرم افزار (tpsUtil 20) v.1.76 از تصاویر دیجیتالی، فایل tps تهیه، و روی تصاویر نمونه‌ها توسط نرم افزار (TpsDig2 v. 2.31) تعداد ۱۷ لندمارک گذاشته شد (۷ و ۱۱). ۱۰۵ فاصله ترانس بین ۱۷ لندمارک (شکل ۲) بر اساس فرمول اقلیدسی در محیط نرم افزار (10) PAST v.1.98 اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه صفات اندازه‌گیری ماهی برخلاف صفات شمارشی در سراسر دوران زندگی ثابت نمی‌باشد و وابسته به اندازه بدن است (۱۳) بنابراین در مطالعات ریخت‌سنجی ماهیان اثر اختلاف اندازه حذف می‌شود زیرا اختلاف بین گروه‌ها نباید به دلیل اختلاف در اندازه نسبی آنها باشد بلکه اختلاف در شکل بدن اهمیت دارد (۹). جهت حذف اثر اندازه از تحلیل Allometric Burnaby استفاده شد. برای تعیین اختلاف بین گونه‌های مورد مطالعه در هر یک از صفات از تحلیل واریانس یکطرفه (One-Way-ANOVA) استفاده شد و صفات اصلی مشخص شدند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) صورت گرفت و در مورد هر یک از صفات استخراج شده صفات اصلی مشخص گردید. همچنین تحلیل تشخیص خطی (LDA) بر روی این فواصل جهت بررسی جدایی گونه‌ها توسط نرم افزار PAST v.4.03 (10) صورت گرفت.



شکل ۲- لندمارک‌های تعیین شده بر روی نمای چپ ماهی سرخوی مالاباری *Lutjanus malabaricus* به منظور استخراج داده‌های شکل بدن.

۱- نوک دهان ۲- ابتدای دهان ۳- بخش پایینی شکاف آبششی ۴-
انتهای ترین بخش سرپوش آبششی ۵- محل اتصال سر به تنه ۶ و
۷- چشم ۸- ابتدای قاعده باله سینه‌ای ۹- انتهای قاعده باله سینه‌ای

جدایی *L. L. malabaricus*، *L. L. ehrenbergii* و *L. L. argentimaculatus* از هفت گونه دیگر را نشان می‌دهد (شکل 5. B).

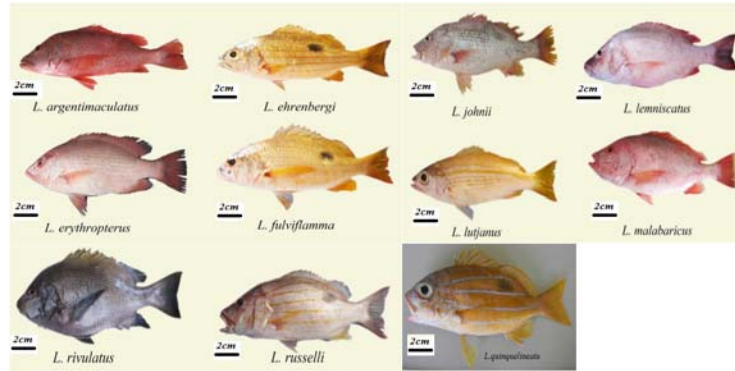
سیستم شبکه ترانس: از بین ۱۰۵ فاکتور ایجاد شده ۱۷ فاکتور اول انتخاب شدند که در مجموع ۷۷/۴۲ درصد از کل واریانس صفات ریختی بین گونه‌ها را بیان می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس روش ترانس روی گونه‌های جنس *Lutjanus* نشان داد که در مجموع ۲۴/۴۹ درصد از کل واریانس را دو مؤلفه اول (مؤلفه اول: ۳۱/۸۹ و مؤلفه دوم: ۱۷/۳۵ درصد) را شامل می‌شود (شکل ۶). در روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بیشترین مقادیر ویژه و درصد واریانس مربوط به دو مؤلفه اصلی اول است. بیشترین تغییرات به صفات ۲-۳ و ۱۰-۳ در فاکتور اصلی اول و صفات ۲-۷ و ۲-۱ در فاکتور اصلی دوم مربوط می‌شود. طبق نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی در مؤلفه اول جدایی گونه *L. erythropterus* و در مؤلفه دوم جدایی *L. argentimaculatus* را از ده گونه دیگر نشان می‌دهد (شکل 6. A). نتایج حاصل از تحلیل تشخیص خطی (LDA) در مؤلفه اول و دوم جدایی کامل همه گونه‌ها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد (شکل 6. B).

ریخت سنجی هندسی: طبق نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، از مجموع ۴۳/۹ درصد واریانس دو مؤلفه اصلی اول بترتیب ۲۷/۶۲ و ۱۶/۲۸ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. مؤلفه اول بیشترین تغییرات را در طول باله شکمی، طول باله پشتی نشان می‌دهد در حالی که در مؤلفه دوم بیشترین تغییرات مربوط به طول پوزه، طول ساقه دم، طول باله سینه‌ای و طول باله پشتی می‌باشد. در طول مؤلفه اصلی اول و دوم هم پوشانی اکثر گونه‌ها نسبت به یکدیگر را مشاهده می‌کنیم (شکل 7. A). نتایج نمودار تحلیل تشخیص خطی (LDA)، نشان می‌دهد که دو متغیر اول بترتیب ۵۱/۳۷ و ۱۵/۴ درصد از کل واریانس ۶۶/۷۷ را

Lutjanus نشان داد که در مجموع ۸۵/۱۲ درصد از کل واریانس را دو مؤلفه اول برای داده‌های شمارشی (مؤلفه اول: ۷۱/۹۱ و مؤلفه دوم: ۱۳/۲۱ درصد) و ۴۸/۹۲ درصد واریانس حاصل از دو مؤلفه اول برای داده‌های اندازه‌گیری (مؤلفه اول: ۲۹/۲۵ و مؤلفه دوم: ۱۹/۶۷ درصد) را شامل می‌شود (شکل 4). مؤلفه‌های اول و دوم بر اساس صفات شمارشی بیشترین تفاوت را در تعداد فلس‌های بالای خط جانبی، تعداد خارهای باله سینه‌ای و تعداد خارهای کمان آبششی نشان می‌دهد که مؤلفه اول موجب جدایی *L. L. malabaricus* و *L. L. argentimaculatus* از سایر گونه‌ها و مؤلفه دوم باعث جدایی *L. L. ehrenbergii*، *L. L. argentimaculatus* و *L. L. fulviflamma* از هشت گونه دیگر می‌شود (شکل 4. A). مؤلفه‌های اول و دوم بر اساس صفات اندازه‌گیری بیشترین تفاوت را بترتیب در فاصله بین انتهای باله شکمی تا ابتدای باله مخرجی، طول پیش باله پشتی و فاصله بین ابتدای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی در مؤلفه اول و طول سر و فاصله بین انتهای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی در مؤلفه دوم را از خود نشان می‌دهد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات اندازه‌گیری هم پوشانی تعداد زیادی از گونه‌ها به جز دو گونه *L. rivulatus* و *L. erythropterus* را از سایر گونه‌ها نشان می‌دهد (شکل 4. B). تحلیل تشخیص خطی (LDA) بر اساس صفات شمارشی (فاکتور اول: ۷۸/۳۹ درصد؛ فاکتور دوم: ۱۴/۹۱ درصد) و اندازه‌گیری (فاکتور اول: ۴۲/۸۶ درصد؛ فاکتور دوم: ۲۲/۹۳ درصد) را شامل می‌شود (شکل 5. A-B). مؤلفه‌های اول و دوم بر اساس صفات شمارشی بیشترین تفاوت را بترتیب در تعداد خارهای باله پشتی و کمان آبششی نشان می‌دهد که موجب جدایی همه گونه‌ها نسبت به یکدیگر می‌شود (شکل 5. A). طبق نتایج حاصل از تحلیل تشخیص خطی (LDA) بر اساس صفات اندازه‌گیری بیشترین تفاوت را در طول پیش باله شکمی و فاصله بین باله پشتی تا باله شکمی در مؤلفه اول و طول ساقه دم و فاصله بین ابتدای باله شکمی تا انتهای باله مخرجی در مؤلفه دوم نشان می‌دهد. مؤلفه اول و دوم

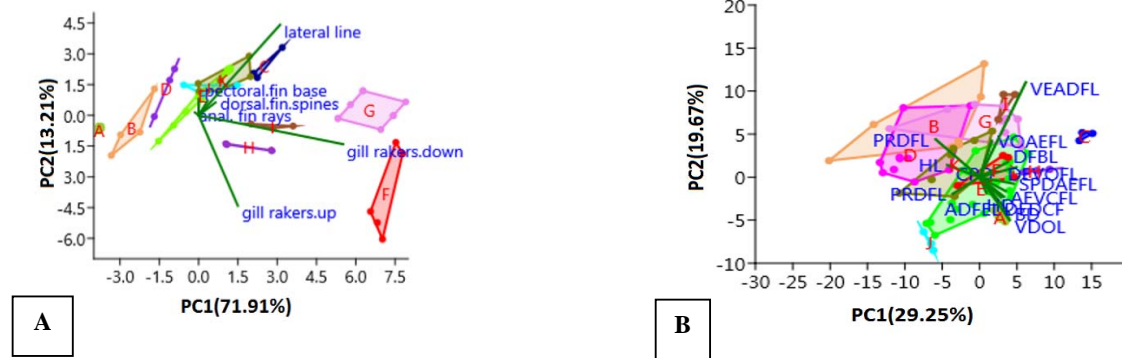
این در حالی است که در محور کانونی دوم جدایی گونه *L. lutjanus* را با توجه به تغییراتی که در مکان باله پشتی دارد نسبت به سایر گونه‌ها مشاهده می‌کنیم (شکل B. 7).

به خود اختصاص دادند (شکل A. 7). نمودار تحلیل تشخیص خطی (LDA)، در محور کانونی اول جدایی گونه *L. ehrenbergii* را با توجه به تغییراتی که در عمق بدن و مکان باله دمی دارد نسبت به سایر گونه‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۳- تصویر ۱۱ نمونه از گونه‌های جنس *Lutjanus* (تصاویر از نگارنده).

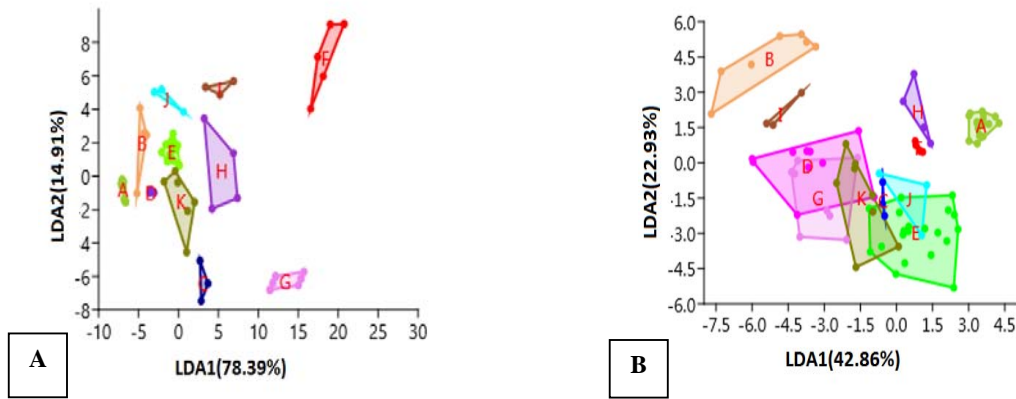
L. argentimaculatus (سرخوی حرا)، *L. ehrenbergii* (سرخوی خال سیاه)، *L. johnii* (سرخوی معمولی)، *L. lemniscatus* (سرخوی منقط زرد)، *L. erythropterus* (سرخوی خون)، *L. fulviflamma* (سرخوی خال سیاه)، *L. lutjanus* (سرخوی چشم درشت)، *L. malabaricus* (سرخوی مالاباری)، *L. rivulatus* (سرخوی قهوه‌ای)، *L. russellii* (سرخوی هشت خط)، *L. quinquefasciatus* (سرخوی پنج خط)



شکل ۴- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) جنس *Lutjanus* بر اساس صفات شمارشی (A) و اندازه‌شی (B).

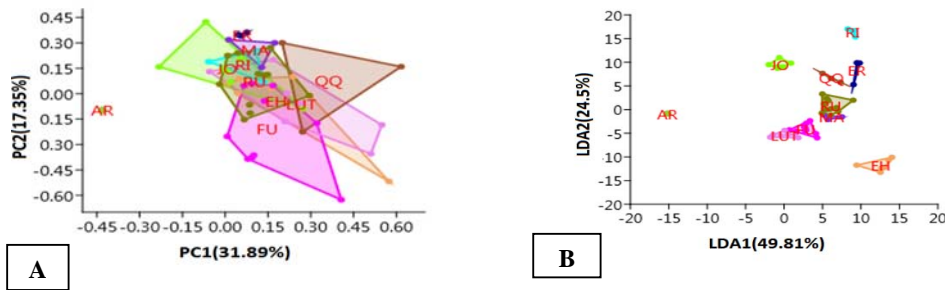
طول کل (TL)، ۲- طول استاندارد (SL)، ۳- عمق بدن (BD)، ۴- ارتفاع ساقه دمی (CPD)، ۵- طول سر (HL)، ۶- پیش باله پشتی (PRDFL)، ۷- عمق سر (HD)، ۸- پیش باله شکمی (PRDFL)، ۹- بین باله پشتی و شکمی (VDOL)، ۱۰- بین باله پشتی و مخرجی (ADFEL)، ۱۱- طول پایه باله پشتی (DFBL)، ۱۲- طول باله شکمی تا مخرجی (VOAEFL)، ۱۳- طول ابتدای باله پشتی تا انتهای باله مخرجی (SPDAEFL)، ۱۴- طول انتهای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی (DEVOFL)، ۱۵- بین باله شکمی و مخرجی (VEADFL)، ۱۶- پس باله مخرجی (AEVCFL).

A: *Lutjanus argentimaculatus*, B: *Lutjanus ehrenbergii*, C: *Lutjanus erythropterus*, D: *Lutjanus fulviflamma*, E: *Lutjanus johnii*, F: *Lutjanus lemniscatus*, G: *Lutjanus lutjanus*, H: *Lutjanus malabaricus*, I: *Lutjanus quinquefasciatus*, J: *Lutjanus rivulatus*, K: *Lutjanus russellii*



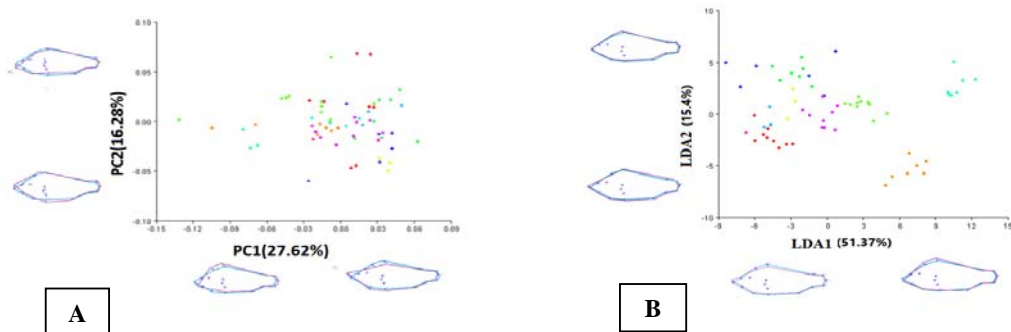
A: *Lutjanus argentimaculatus*, B: *Lutjanus ehrenbergii*, C: *Lutjanus erythropterus*, D: *Lutjanus fulviflamma*, E: *Lutjanus johnni*, F: *Lutjanus lemniscatus*, G: *Lutjanus lutjanus*, H: *Lutjanus malabaricus*, I: *Lutjanus quinquelinratus*, J: *Lutjanus rivulatus*, K: *Lutjanus russellii*

شکل ۵- نمودار تحلیل تشخیص خطی (LDA) جنس *Lutjanus* بر اساس صفات شمارشی (A) و اندازه‌شی (B)



A: *Lutjanus argentimaculatus*, B: *Lutjanus ehrenbergii*, C: *Lutjanus erythropterus*, D: *Lutjanus fulviflamma*, E: *Lutjanus johnni*, F: *Lutjanus lemniscatus*, G: *Lutjanus lutjanus*, H: *Lutjanus malabaricus*, I: *Lutjanus quinquelinratus*, J: *Lutjanus rivulatus*, K: *Lutjanus russellii*

شکل ۶- نمودار تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) (A) و نمودار تحلیل تشخیص خطی (LDA) بر اساس سیستم شبکه تراس (B).



Lutjanus argentimaculatus, *Lutjanus ehrenbergii*, *Lutjanus erythropterus*, *Lutjanus fulviflamma*, *Lutjanus johnni*, *Lutjanus lutjanus*, *Lutjanus malabaricus*, *Lutjanus quinquelinratus*, *Lutjanus rivulatus*, *Lutjanus russellii*, *Lutjanus lemniscatus*

شکل ۷- تحلیل ریخت‌سنجی شامل مؤلفه اصلی (A) و نمودار تحلیل تشخیص خطی (B) و مقایسه شکل بدن (رنگ آبی: ثابت، رنگ

بنفش: تغییرات) به صورت گراف Wireframe برای گونه‌های جنس *Lutjanus*

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه صفات ریختی ۱۱ گونه از جنس *Lutjanus* مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت (شکل ۳). تاکنون مطالعه‌ی جامعی در ارتباط با تنوع گونه‌ای ۱۱ گونه جنس *Lutjanus* با رویکردهای ریخت‌سنجی سنتی و هندسی صورت نگرفته است. تنوع گونه‌ای این جنس در شرق دریای عمان نسبت به غرب آن به خصوص در مناطق صخره‌ای تیس و بریس بیشتر بود (شکل ۱). این تنوع می‌تواند به دلیل عمق زیاد، تغییرات فصلی نسبتاً ملایم و کاهش میزان شوری آب و نزدیک بودن به اقیانوس هند باشد (۱). به دلیل شرایط موجود در محیط آبی، شکل بدن تأثیر بسزایی بر روی میزان عملکرد و رفتار ماهی دارد (۲۵). دو گونه *L. erythropterus* و *L. argentimaculatus* دارای بدنی با عمق بیشتر و ساقه دمی طویل‌تر هستند که این تغییرات می‌تواند یک انعطاف‌پذیری ریختی در ارتباط با شرایط زیستگاهی از جمله عمق زیاد آب برای این دو گونه که به یکدیگر نزدیک هستند در نظر گرفت (۱). تمامی این تغییرات ریختی نشانگر قدرت سازگاری بالا و مانور بیشتر برای این گونه‌هایی می‌باشد که عموماً شکارچیان کف‌بستر دریا هستند و باید دارای سرعت بالایی باشند (۲۶). دو گونه *L. fulviflamma* و *L. russellii* نسبت به سایر گونه‌ها دارای تغییراتی از جمله کاهش عمق بدن و کاهش طول ساقه دمی می‌باشند که می‌تواند علت آن را شباهت شرایط زیستگاهی مانند وجود صخره‌های مرجانی، عمق آب و کاهش میزان شوری آب دانست. گونه‌های جنس *Lutjanus* که دارای پراکنش وسیع و گسترده هستند تنوع ریختی بیشتری را از خود نشان می‌دهند که خود نمادی از تنوع سازگاری‌های این گونه‌ها با محیط زندگی‌شان است (۱). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دو روش ریخت‌سنجی سنتی و ریخت‌سنجی هندسی به طور کامل نتایج یکسانی را ارائه نمی‌دهند. روش ریخت‌سنجی سنتی می‌تواند به عنوان گام اولیه برای

بررسی ساختار ذخایر گونه‌های ماهی‌هایی که دارای جمعیت‌های بزرگ و پراکنده هستند مورد استفاده قرار گیرد و مطالعات متعدد، این روش را به عنوان ابزاری برای تفکیک گونه‌ها توصیف می‌کنند (۴). با توجه به هدف اصلی مطالعات ریخت‌سنجی یعنی جداسازی گونه‌ها، در این مطالعه ریخت‌سنجی سنتی براساس صفات شمارشی و سیستم شبکه تراس توانستند تفاوت میان ۱۱ گونه را مورد شناسایی و تأیید قرار دهند. در همین راستا مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۱ توسط دامادی و همکارانش بر روی خانواده سنگسر ماهیان صورت پذیرفت، توانستند با استفاده از تحلیل‌های تک‌متغیره و چند متغیره گونه‌های جنس *Pomadasy* را از یکدیگر جدا کنند. بنابراین نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تحلیل‌های تک‌متغیره و چند متغیره در روش سیستم شبکه تراس ۱۱ گونه را مورد تأیید و شناسایی قرار می‌دهند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان دادند تغییراتی از جمله فاصله بین انتهای باله شکمی تا باله منخرجی و طول پیش‌باله پشتی، فاصله بین ابتدای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی، طول سر و فاصله بین انتهای باله پشتی تا ابتدای باله شکمی، تعداد فلس‌های بالای خط جانبی، تعداد خارهای کمان آبششی و تعداد خارهای باله سینه‌ای جز بیشترین عوامل تغییر و تفکیک این گونه‌ها به شمار می‌روند (شکل ۷-۴). در تحلیل نمودار تحلیل تشخیص خطی (LDA) صفات شمارشی گونه‌های مورد نظر نسبت به صفات اندازه‌شناسی بهتر از یکدیگر تفکیک شدند. در بیشتر مطالعات ریخت‌سنجی فاکتور اندازه بدن ممکن است به میزان ۸۰٪ یا بیشتر در وجود تغییرات بین متغیرهای اندازه‌گیری شده تأثیر گذار باشد (۲۳). نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های ریخت‌سنجی اصلاح شده در روش تراس نشان داد که همه گونه‌ها توانستند به طور کامل از یکدیگر جدا شوند. در رویکرد هندسی بیشترین تغییرات مربوط به طول پیش‌باله پشتی، طول باله پشتی، طول پوزه و ساقه دمی می‌باشد (شکل ۶-۸). تحلیل آزمون تشخیص

احتمال می‌رود که تفاوت‌های مشاهده شده در روش ریخت‌سنجی سنتی و هندسی براساس تفاوت‌های ناشی از شرایط زیستگاهی، تفاوت‌های ژنتیکی و انعطاف‌پذیری ریختی باشد (۶). نتایج این مطالعه تنوع و قدرت انطباق‌پذیری ریختی ۱۱ گونه مختلف جنس *Lutjanus* را مورد بررسی قرار داد و مشخص نمود که ویژگی‌های ریختی توانایی تمایز گونه‌های مختلف این جنس را در زیستگاه‌های مختلف دارند. در مطالعات آینده استفاده از نمونه برداری بیشتر برای تایید نتایج این مطالعه و مطالعات مولکولی می‌تواند روابط بین اعضای جنس *Lutjanus* را بهتر نشان دهد.

خطی در روش هندسی جدایی *L. ehrenbergii* و *L. lutjanus* را بطور کامل از سایر گونه‌ها نشان می‌دهد. بر اساس نتایج و تفاوت‌های شکل بدن گونه‌های جنس *Lutjanus* چنین بر می‌آید که این گونه‌ها قابلیت بالایی از نظر انعطاف‌پذیری ریختی دارند (۲۲). زیستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق به طور مشخص گسترده و دارای شرایط بوم‌شناختی متنوع می‌باشد که گونه‌های مختلف این جنس در تمامی آنها پراکنش دارند بنابراین انتظار وجود تنوع ریختی بالا در بین گونه‌های این جنس درواز انتظار نیست. با توجه به تفاوت در شرایط زیستگاهی مانند (عمق آب، جنس بستر و غیره ...) و فواصل جغرافیایی این

منابع

۱. صدیق زاده، ز.، ۱۳۹۱. شناسایی گونه‌ای خانواده سرخو ماهیان و تفکیک جمعیتی ماهی سرخوی معمولی *Lutjanus johnii* (Bloch 1790) در آب‌های خلیج فارس و دریای عمان بر اساس تحلیل شکل اتولیت. پایان نامه دکتری. گروه
۲. عمادی، ح.، ۱۳۸۷. سیستماتیک و رده بندی ماهی‌ها، انتشارات علمی آریان، تهران.
3. Adams, D.C., Rohlf, F.J., and Slice, D.E., 2003. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution', *Italian Journal of Zoology*, 71, 516.
4. Asgharian, H., Sahafi, H.H., Ardalan, A.A., Shekarriz, S., and Elahi, E., 2011. Cytochrome c oxidase subunit 1 barcode data of fish of the Nayband National Park in the Persian Gulf and analysis using meta-data flag several cryptic species. *Molecular Ecology Resources*, 11(3), 461-472.
5. Bookstein, F.L., 1991. *Morphometric Tools for landmark data*. 1st edition, 435.
6. Cavalcanti, M.J., Monteiro, and Lopes, P.R., 1999. Landmark-based morphometric analysis in selected species of serranid fishes *Zoological Studies-Taipei*. 38(3), 287-294..
7. Eagderi, S., Esmaeilzadegan, E., and Pirbeigi, A., 2014. Morphological responses of *Capoeta gracilis* and *Alburnoides eichwaldii* populations (Cyprinidae) fragmented due to Tarik Dam (Sefidrud River, Caspian Sea basin, Iran). *Iranian Journal of Ichthyology*, 1(2), 114-120.
8. Fricke, R., Eschmeyer, W.N., and Fong, J.D., 2019. Species by family/subfamily. Eschmeyers catalog of fishes.
9. Haghigly, E., Sattari, M., Dorafshan, S., Keivany, Y., Khoshkholgh, M.R., and Mousavi, S.H., 2013. A Comparison of the morphological characteristics of *Spiralin*, (Cyprinidae: *Alburnoides eichwaldii*) in Karganrud and Chalus Rivers using Truss Network System.
10. Hammer., 2012. PAST: Paleontological STatistics. Oslo: Natural History Museum University of Oslo, 226.
11. Ibáñez, A.L., Espino-Barr, E., and Gallardo-Cabello, M., 2012. Population connectivity among geographic variants within the Lutjanidae (Pisces) of the Mexican Pacific coast through fish scale shape recognition. *Scientia Marina*, 76, 667-675.
12. Klingenberg, C.P., 2011. Morpho J: an integrated software package for geometric morphometrics *Molecular Ecology Resources*, 11, 353-357.
13. Khatami Nejad, S.S., Mousavi Sabet, S.H., Sattari, M., and Vatan Doust, S., 2015. A comparative study on morphometric characters of five *Spiralin* species (Cyprinidae: *Alburnus*) in Iranian inland waters using a truss network

- system. *Journal of Animal Environment*, 7(1), 247-258.
14. Nelson, J.S., 2016. *Fishes of the World*, Fifth edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 707.
 15. Parsons, K.J., Robinson, B.W., and Hrbek, T., 2003. Getting into shape: An empirical comparison of traditional truss-based morphometric methods with a newer geometric method applied to New World cichlids. *Environmental Biology of Fishes*, 67, 417-431.
 16. Pishkauptour, Z., Poorbagher, H., and Eagderi, S., 2019. Comparing efficiency of traditional and geometric morphometrics in distinguishing populations of *Alburnus doriae* in the central and western basins of Iran. *Journal of Applied Ichthyological Research*, 7(2), 1-12.
 17. Randall, J. E., 1995. *Coastal fishes of oman*. Crawford House Publishing Pty Ltd Bathurst, 196-205.
 18. Rasband. W., 2022. *Image J ver. 1/53*. Department National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA.
 19. Robinson B.W., Wilson D.S., 1994. Character release and displacement in fishes: aneglected literature. *The American Naturalist*, 144(4), 596-627.
 20. Rohlf, F., 2018. *TPS Util, ver. 1.76*. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook.
 21. Rohlf, F.J., 2016. *Tps Dig2 ver. 2.32*. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
 22. Ruehl C.B., DeWitt T.J., 2005. Trophic plasticity and fine-grained resource variation in populations of western mosquitofish, *Gambusia affinis*. *Evolutionary Ecology Research*, 7(6), 801-819.
 23. Tavera, J.J., Acero, A., Balart, E.F., and Bernardi, G., 2012. Molecular phylogeny of grunts (Teleostei, Haemulidae), with an emphasis on the ecology, evolution, and speciation history of New World species. *BMC evolutionary biology*, 12(1), 1-16
 24. Veneza, I., Silva, R.D., Silva, D.D., Gomes, G., Sampaio, I., and Schneider, H., 2019. Multiloci analyses suggest synonymy among *Rhomboplites*, *Ocyurus* and *Lutjanus* and reveal the phylogenetic position of *Lutjanus alexandrei* (Perciformes: Lutjanidae). *Neotropical Ichthyology*, 17(1), 1-12.
 25. Webb P., 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*, 24(1), 107-120.
 26. Wimberger, P.H., 1992. Plasticity of fish body shape the effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae). *Biological Journal of the Linnaean Society*, 45(3), 197-218.

Morphological Divergence of *Lutjanus* Bloch, 1790 Species (Perciformes: Lutjanidae) in Oman Sea

Zafarghasempor¹ H., Yazdani Moghaddam F.^{1,2}, Azhdari A.³ and Damadi E.¹

¹ Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R. of Iran

² Dept. of Zoological Innovations Research, Institute of Applied Zoology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R. of Iran

³ Head of Fisheries Research Center, Chabahar, I.R. of Iran

Abstract

The genus *Lutjanus* is a group of fishes of high economic and ecological value in the Oman Sea, whose species show great morphological similarity. The aim of this study was to compare the morphological variation of 11 species of the genus *Lutjanus* using traditional morphometric and geometric morphometric approaches. Based on the studies conducted, 11 species of the genus *Lutjanus* were identified, including *L. lutjanus*, *L. argentimaculatus*, *L. ehrenbergii*, *L. erythropterus*, *L. fulviflamma*, *L. johnii*, *L. lemniscatus*, *L. malabaricus*, *L. rivulatus*, *L. russellii* and *L. quinquelineatus*. Using traditional and geometric morphometric methods, most species of this genus could be distinguished from each other on the basis of count, measurement and body shape characteristics. Univariate and multivariate analyzes showed a relatively high degree of agreement, such that the number of dorsal fin spines, the number of gill spines, the length of the anterior ventral fin, the body depth, the length of the caudal peduncle and the length of the head played the greatest role in distinguishing members of this genus. According to our results, species diversity was higher in the eastern stations of the Oman Sea (Tis and Beris) than in the western one, which could be due to ecological factors and habitat conditions. In this study, the use of molecular analysis is proposed to confirm the identified species and to develop a detailed conservation plan.

Key words: *Lutjanus*, Morphological Diversity, Traditional Morphometry, Geometric Morphometry, Truss Network System, Oman Sea