

تبارزایی مولکولی گاوماهیان ایران بر اساس نشانگرهای میتوکندریایی و هسته‌ای

مهدی قنبری فردی^{۱*} و احسان دامادی^۲

^۱ ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

^۲ ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

چکیده

گاوماهیان متنوع‌ترین خانواده ماهیان استخوانی بوده و تقریباً ۱۹۴۳ گونه متعلق به ۲۵۸ جنس را در خود جای داده است. این خانواده از پنج زیرخانواده شامل Sicydiinae, Gobionellinae, Oxudercinae, Amblyopinae و Gobiinae تشکیل شده‌اند. تاکنون ۲۴ گونه گاوماهی متعلق به ۱۹ جنس از آب‌های ایرانی خلیج فارس و دریای عمان گزارش شده‌اند. هدف مطالعه حاضر بررسی روابط تبارزایی گاوماهیان ایران با استفاده از ۶۴ توالی (نشانگرهای COI, Rag1 و Rho) مربوط به ۲۱ گونه است. در این مطالعه، نشانگرهای مولکولی سه گونه *Bathygobius meggitti* (چابهار، ژن ردوپسین)، *Stonogobios* *nematodes* و *Valenciennea strigata* (جزیره قشم، ژن COI) برای اولین بار تعیین توالی شده‌اند. گاوماهیان ایران متعلق به دودمان‌های مولکولی متنوعی هستند که عبارتند از: *Periophthalmus*-lineage، *Gobiopsis*-lineage، *Glossogobius*-lineage، *Cryptocentrus*-lineage، *Gobiodon*-lineage، *Valenciennea*-lineage. تعیین توالی ژن‌های هسته‌ای تمام گونه‌های شناسایی شده در جنوب ایران و حوضه دریای خزر می‌تواند تصویر بهتری از روابط تبارزایی تاکسون‌های این خانواده نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: گاوماهیان، تبارزایی مولکولی، خلیج فارس، دریای عمان، حوضه دریای خزر

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۴۳۱۱۳۶۳۶۲، پست الکترونیکی: mehdi.ghanbarifardi@science.usb.ac.ir

مقدمه

گاوماهیان متنوع‌ترین خانواده ماهیان استخوانی و تقریباً ۱۹۴۳ گونه متعلق به ۲۵۸ جنس را در خود جای داده است (۱۰). این ماهیان معمولاً کوچک و ساکن آب‌های شور هستند، باله‌های پشتی خاردار، و باله‌های لگنی معمولاً به یکدیگر متصل شده و تشکیل یک دیسک را می‌دهند. الگوهای رنگی متنوعی در این ماهیان مشاهده می‌شوند که معمولاً برای استتار جانور مفید هستند و مشاهده اعضای این خانواده را در محیط زیست شان دشوار و در برخی مواقع غیرممکن می‌کند (۴۱). این خانواده از پنج زیرخانواده شامل Sicydiinae, Amblyopinae, Oxudercinae, Gobionellinae و

Gobiinae تشکیل شده است (۴۸). رده‌بندی‌های متفاوتی براساس صفات ریخت‌شناسی برای راسته Gobiiformes Günther, 1880 ارائه شده است که این رده‌بندی‌ها در مورد تعداد خانواده‌ها و زیرخانواده‌ها با یکدیگر توافق ندارند (۳، ۴، ۵، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۲۴ و ۲۸). مطالعات تبارزایی مولکولی، دودمان‌های گاوماهی شکلان عمده را براساس نشانگرهای میتوکندریایی و هسته‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند (۱، ۲، ۲۳، ۴۴، ۴۵ و ۴۷). در یکی از اولین مطالعات (۳۹) سه ژن میتوکندریایی ND1، ND2 و COI مورد استفاده قرار گرفته و تک‌نیایی خانواده‌های تعریف شده با صفات ریختی تحت آزمون مولکولی قرار گرفتند.

بررسی شد و دو دودمان اصلی شامل دودمان Gobiidae بررسی شد و دو دودمان اصلی شامل دودمان (sensu stricto of Thacker 2009) و دودمان (sensu Thacker 2009) Gobionellidae شناسایی شدند. یکی از کامل‌ترین مطالعات مولکولی روی دودمان Gobiodei با استفاده از دو ژن میتوکندریایی (rRNA و cytb) و سه ژن هسته‌ای (RAG1، zic1، sreb2) انجام گرفت (۲). نتایج این بررسی نشان داد که Rhyacichthyidae و Odontobutidae گروه خاوه‌ری تمام دودمان‌های دیگر هستند و همچنین در کلاد دیگری خانواده‌های Butidae و Gobiidae به صورت دو دودمان خاوه‌ری قرار گرفته‌اند. درون خانواده Gobiidae دو کلاد gobiine-like و gobionelline-like تشخیص داده شده‌اند که هر یک از این کلادها دارای تعدادی از دودمان‌های شناسایی شده‌اند که الزاماً منطبق بر ویژگی‌های ریختی و سازگاری‌های بوم‌شناختی نیستند.

تاکنون ۲۴ گونه متعلق به ۱۹ جنس از گاوماهیان از آب‌های ایرانی خلیج فارس و دریای عمان گزارش شده‌اند (۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۲۱، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۳۷). اگرچه ۶۱ گونه متعلق به ۳۵ جنس از این خانواده از آب‌های ساحلی کشور عمان گزارش شده است (۳۱). تفاوت نسبتاً زیاد در تعداد گونه‌های گزارش شده از این مناطق می‌تواند نشان‌دهنده حضور گونه‌های گزارش نشده و یا ناشناخته در بخش‌های شمالی خلیج فارس و دریای عمان باشد. تبارزایی مولکولی سه گونه گلخورک آب‌های سواحل جنوبی ایران (*Boleophthalmus dussumieri*، *Periophthalmus waltoni*، *Scartelaos tenuis*) با استفاده از دو ژن میتوکندریایی (COI و Cyt b) و یک ژن هسته‌ای (Rag1) مطالعه شده‌اند (۱۳ و ۲۹). روابط تبارزایی هفت گونه‌ی گوبی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از دو ژن هسته‌ای (Rag1 و Rho) بررسی شد و نشان داد که می‌توان ۲ کلاد و ۴ زیرکلاد را تعریف کرد (۱۴). چهار گونه از منطقه زیرجزرمدی جزیره قشم متعلق به دو جنس از گاوماهی‌ها (*Gobiodon citrinus*، *Valenciennea*)

نتایج این مطالعه نشان داد که خانواده Xenisthmida درون Eleotridae و همچنین Eleotridae با توجه به Gobiidae، Kraemeriidae، Ptereleotridae، Microdesmidae و Schindleriidae پیراتبار است. به علاوه، کلاد Gobionellinae با توجه به Kraemeriidae، Sicydiinae، Oxudercinae و Amblyopinae پیراتبار است. مطالعه مذکور نتیجه‌گیری می‌کند که کاهش صفات ریختی در بسیاری از گونه‌های گاوماهیان چندین بار و به طور مستقل از یکدیگر تحت فشارهای بوم‌شناختی رخ داده است. مطالعه بعدی (۴۴) با استفاده از چهار ژن میتوکندریایی (COI، ND1، ND2، cytb) تبارزایی دودمان Gobiodei را بررسی کرد. در این مطالعه خانواده‌های Rhyacichthyidae و Odontobutidae تک‌نیای خانواده‌های Eleotridae، Xenisthmidae و Gobiidae پیراتبار تشخیص داده شدند. بررسی دوباره خانواده Gobiidae (۴۰) با استفاده از چهار ژن میتوکندریایی (ND1، ND2، COI و cytb) منجر به معرفی خانواده Gobionellidae گردید که اعضای آن شامل چهار زیرخانواده Amblyopinae، Oxudercinae، Gobionellinae و Sicydiinae می‌باشند و اعضای زیرخانواده Gobiinae در یک خانواده با نام قدیمی Gobiidae باقی‌ماندند. گردآوری داده‌های مولکولی و رسم درخت تبارزایی مربوطه (۱) نیز تک‌نیایی زیرخانواده‌های Gobionellinae، Amblyopinae و Oxudercinae را تایید نکرده است. در تحلیل مولکولی بعدی (۴۵) نشانگرهای مولکولی میتوکندریایی (ND1، ND2، COI) و هسته‌ای (RAG2، Rhodopsin و RNF213) برای مطالعه تبارزایی زیرخانواده Gobiinae مورد استفاده قرار گرفتند و ۱۳ دودمان شناسایی شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان Lagoon gobies، Silt shrimp gobies، Flapheaded gobies و Burrowing paired gobies را نام برد. در تحلیل دیگری (۴۷) با استفاده از دو ژن هسته‌ای (Rag1 و Rhodopsin) تبارزایی پنج زیرخانواده متعلق به خانواده Gobiidae

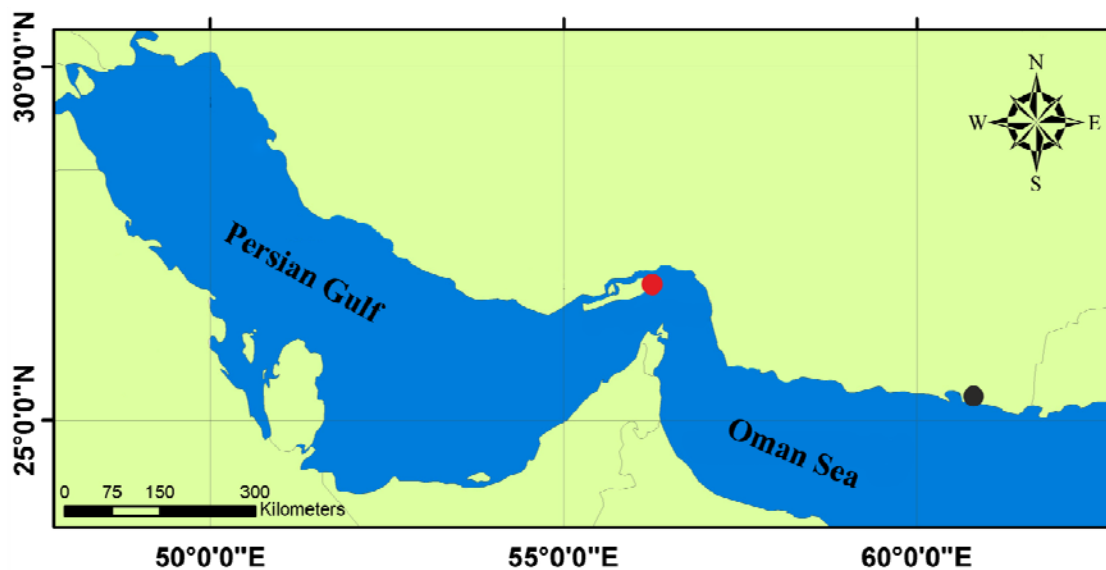
nematodes (جزیره قشم $26^{\circ}55'38.8''$ N $56^{\circ}14'57.7''$ E) و *Valenciennea strigata* (جزیره قشم) جمع‌آوری شدند (شکل ۱). *B. meggitti* از منطقه بین جزرو مدی و *S. nematodes* و *V. strigata* از منطقه زیرجزرو مدی جمع‌آوری شدند. نحوه تکثیر ژن ردوپسین برای گونه *B. meggitti* در مقاله Mohammadi and Ghanbarifardi, 2020 و نحوه تکثیر ژن COI برای دو گونه *S. nematodes* و *V. strigata* در مقاله Kovačić et al. (2020) توضیح داده شده است. هر سه نمونه در موزه جانورشناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان (ZMUSB) نگهداری می‌شوند. سه توالی حاصل در بانک ژنی با شماره‌های بازیابی MZ379281، MZ427500، MZ379280 قرار گرفتند. ۶۱ توالی مربوط به ۲۱ گونه گاوماهی از طریق بانک ژنی در دسترس هستند (جدول ۱) و برای رسم درخت تبارزایی گاوماهیان ایران استفاده شده‌اند. لازم به ذکر است اکثر توالی‌های مورد استفاده از نمونه‌های ایرانی استخراج شده‌اند و در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۳، ۱۴، ۲۱، ۲۵ و ۲۹).

با استفاده از دو نشانگر میتوکندریایی و هسته‌ای (Rho و COI) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (۲۵). بررسی صفات ریخت‌شناسی و مولکولی موجب شناسایی گونه جدید *Silhouettea ghazalae* از جزیره قشم شده است، همچنین ۱۲ گونه از گاوماهیان آب‌های سواحل جنوبی ایران با استفاده از ژن میتوکندریایی COI مورد مطالعه و روابط تبارزایی آن‌ها مشخص گردید (۲۱).

هدف از مطالعه حاضر، بررسی روابط تبارزایی گاوماهیان ایران (۲۰ گونه از گاوماهیان گزارش شده از جنوب ایران و یک گونه از گاوماهیان حوضه دریای خزر) با استفاده از داده‌های سه ژن تعیین توالی شده در مطالعه حاضر و داده‌های موجود در بانک ژنی مربوط به یک ژن میتوکندریایی (COI) و دو ژن هسته‌ای (Rho و Rag1) می‌باشد.

مواد و روشها

نمونه‌های ماهی از سه گونه *Bathygobius meggitti* (چابهار $25^{\circ}20'48.8''$ N $60^{\circ}35'47.6''$ E)، *Stonogobius*



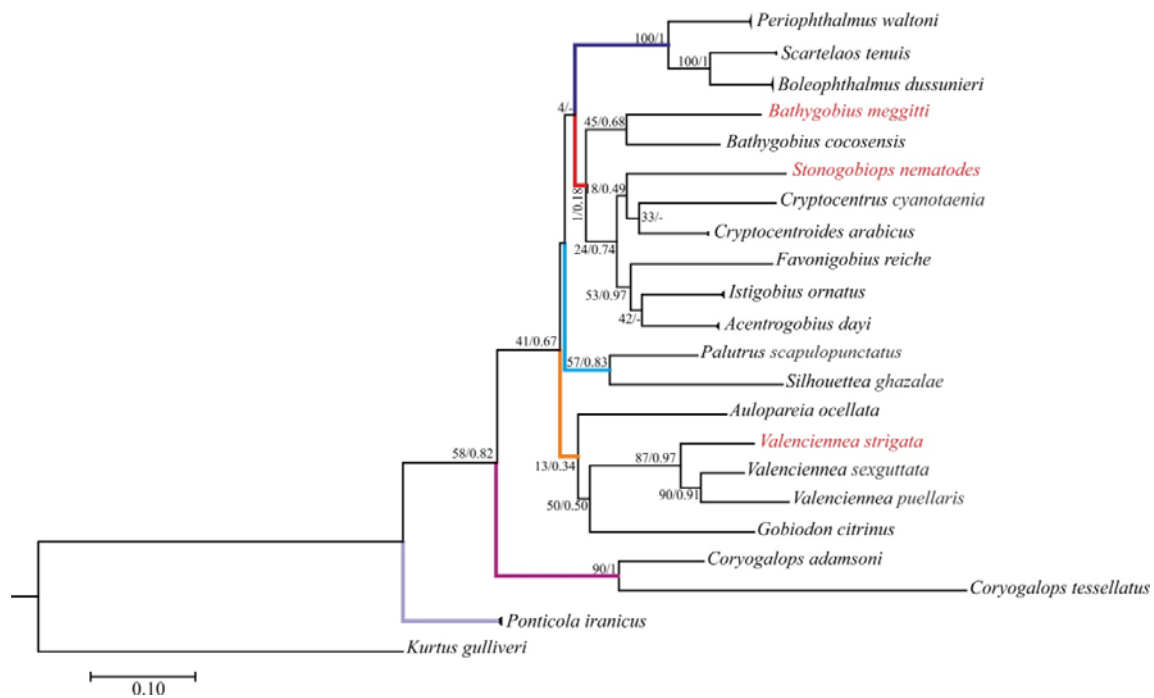
شکل ۱- ایستگاه‌های جمع‌آوری سه گونه *Bathygobius meggitti* (دایره سیاه)، *Stonogobius nematodes* و *Valenciennea strigata* (دایره قرمز) از چابهار و جزیره قشم.

جدول ۱- آرایه‌ها، نشانگرهای مولکولی و شماره‌های بازیابی توالی‌های مورد استفاده در تحلیل تبارزایی مولکولی مطالعه حاضر. خط فاصله بیانگر این است که توالی ژن مربوطه برای گونه مورد نظر در بانک ژنی وجود ندارد.

ردیف	گونه	GenBank acc. numbers, Rag1	GenBank acc. numbers, Rho	GenBank acc. numbers, COI
۱	<i>Acentrogobius dayi</i>	MK570134	MK570152	MN938958
۲	<i>Acentrogobius dayi</i>	MK570133	MK570151	MN938957
۳	<i>Aulopareia ocellata</i>	-	-	MN938980
۴	<i>Bathygobius meggitti</i>	-	This study	MN938988
۵	<i>Bathygobius cocosensis</i>	JN575273	-	MN938991
۶	<i>Boleophthalmus dussumieri</i>	MK570139	MK570146	KT368129
۷	<i>Boleophthalmus dussumieri</i>	MK570139	MK570145	KT368128
۸	<i>Coryogalops tessellatus</i>	-	-	MN938998
۹	<i>Coryogalops adamsoni</i>	-	-	MN938999
۱۰	<i>Cryptocentroides arabicus</i>	MK570135	MK570155	MN938985
۱۱	<i>Cryptocentroides arabicus</i>	-	MK570154	MN938981
۱۲	<i>Cryptocentrus cyanotaenia</i>	MN938986	-	-
۱۳	<i>Favonigobius reichei</i>	MN938976	-	MN938976
۱۴	<i>Gobiodon citrinus</i>	MK496401	MT273939	MF123900
۱۵	<i>Istigobius ornatus</i>	MK570131	MK570149	MN938973
۱۶	<i>Istigobius ornatus</i>	MK570130	MK570132	MN938972
۱۷	<i>Palutrus scapulopunctatus</i>	-	-	MN939000
۱۸	<i>Periophthalmus waltoni</i>	MK570137	MK570144	KT368117
۱۹	<i>Periophthalmus waltoni</i>	MK570136	MK570143	KT368116
۲۰	<i>Ponticola iranicus</i>	-	-	MK123974
۲۱	<i>Ponticola iranicus</i>	-	-	MG800827
۲۲	<i>Ponticola iranicus</i>	-	-	MK123975
۲۳	<i>Scartelaos tenuis</i>	MK570141	MK570148	KT368132
۲۴	<i>Scartelaos tenuis</i>	MK570140	MK570147	KT368131
۲۵	<i>Silhouettea ghazalae</i>	-	-	MN938979
۲۶	<i>Stonogobiops nematodes</i>	MK570142	MK570153	This study
۲۷	<i>Valenciennea strigata</i>	KP194902	MT273940	This study
۲۸	<i>Valenciennea sexguttata</i>	KF235458	MT273941	FJ584224
۲۹	<i>Valenciennea puellaris</i>	-	MT273942	KU176381
۳۰	<i>Kurtus gulliveri</i> (outgroup)	EU167889	JQ937981	KF930008

تکرار انجام گرفتند. برای توالی‌های مورد استفاده در این مطالعه بهترین مدل جایگزینی نوکلئوتیدی با استفاده از Partition Finder version 2 (۲۲) مشخص شد و مدل جایگزینی GTRGAMMAI برای تحلیل‌های تبارزایی استفاده شد.

Kurtus gulliveri با توجه به مطالعه مولکولی گاوماهیان به عنوان برون‌گروه انتخاب شد (۲). درخت‌های تبارزایی با روش بیشینه‌درست‌نمایی (ML) (۹) و بیژین (BI) (۱۹) رسم شدند. تحلیل ML با استفاده از RAxML v.8.1.24 (۳۸) با ۱۰۰۰ تکرار بوت‌استرپ و تحلیل BI با استفاده از MrBayes v.3.2.6 (۳۲) با ۱۰ میلیون نسل



شکل ۲- روابط تبارزایی خانواده گاوماهیان حاصل از روش بیشینه درست‌نمایی شامل دو ژن هسته‌ای (Rag1 و Rho) و یک ژن میتوکندریایی (COI) (مجموعاً ۲۴۸۳ جفت باز). اعداد به ترتیب نشان دهنده بوت استرپ حاصل از آنالیز بیشینه درست‌نمایی و احتمال پسین از تحلیل بیژین می‌باشد. در این مطالعه، نشانگرهای مولکولی سه گونه *Bathygobius meggitti* (ردپسین)، *Stonogobiops nematodes* و *Valencienna strigata* (COI) برای اولین بار تعیین توالی شده‌اند که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند. رنگ‌های مختلف کلادها به ترتیب از بالا به پایین نشان دهنده خوشه‌های ۱ تا ۶ می‌باشند که در متن توضیح داده شده‌اند. آرایه‌های خوشه اول متعلق به زیرخانواده Oxudercinae و خوشه‌های دو تا شش متعلق به زیرخانواده Gobiinae می‌باشند.

نتایج

زیادی به یکدیگر دارند، البته در طول شاخه‌ها و میزان حمایت با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند.

درخت تبارزایی شکل ۲ را می‌توان متشکل از ۶ خوشه اصلی دانست. خوشه اول شامل سه گونه گلخورک *P. waltoni*، *B. dussumieri*، *S. tenuis* متعلق به زیرخانواده Oxudercinae، خوشه دوم متشکل از *B. meggitti*، *B. cocosensis*، *S. nematodes*، *I. ornatus*، *F. reiche*، *C. arabicus*، *C. cyanotaenia*، *A. dayi*، خوش سوم شامل *P. scapulopunctatus*، *Silhouettea ghazalae*، خوشه چهارم در برگیرنده *V. strigata*، *V. sexguttata*، *A. ocellata*، *G. citrinus*، *V. puellaris*، *G. citrinus*، *V. puellaris*، *V.* خوشه پنجم شامل

نشانگر هسته‌ای ردپسین برای گونه *Bathygobius meggitti* برای اولین بار تعیین توالی گردید؛ همچنین نشانگر COI برای دو گونه *Stonogobiops nematodes* و *Valencienna strigata* صید شده از جزیره قشم تعیین توالی شد. داده‌های ترکیبی (جدول ۱) شامل ۲۴۸۳ جفت باز (Rag1: 1162, COI: 651, Rhodopsin: 670) که از این تعداد ۷۷۵ جفت باز متغییر (Rag1: 349, COI: 263, Rhodopsin: 163) و ۶۵۸ جفت باز دارای اطلاعات پاسیمونی (Rag1: 271, COI: 249, Rhodopsin: 138) بودند. هر دو درخت بیشینه درست‌نمایی و بیژین شباهت

عنوان یک آرایه بکار نمی‌برد. خوشه دوم شباهت‌هایی به سه دودمان *Glossogobius-lineage* (*Bathygobius*)، *Cryptocentrus-lineage* (*Cryptocentrus*) و *Gobiopsis-lineage* (*Cryptocentroides*) و *Favonigobius*، *Istigobius* و *Acentrogobius* در مطالعه آگورتا و همکاران (۲۰۱۳) (۲) دارد که به صورت خوشه‌های خواهری در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در دودمان *Cryptocentrus-lineage* (۲) جنس *Stonogobiops* در نظر گرفته نشده است ولی در دودمان *Cryptocentrus-lineage* مطالعات تک‌بر (۲۰۱۵) و قنبری فردی و لکزبان (۲۰۱۹) جنس *Stonogobiops* نیز جز دودمان مذکور قرار می‌گیرد. *Stonogobiops* و *Cryptocentrus* از لحاظ شکل غشای آبششی و ساختارهای استخوان‌های تیغه‌ای و استخوان‌های کامی دارای خویشاوندی نزدیکی هستند (۴۶) که این خویشاوندی در درخت تبارزایی مطالعه حاضر (شکل ۲) نیز نشان داده شده است. تک‌بر و روح (۲۰۱۱) سیزده دودمان گاماهیان را براساس داده‌های مولکولی و ریخت‌شناسی تعریف کرده‌اند که دودمان گوبی‌های تالابی (*Gobiopsis-lineage*) جنس‌های *Acentrogobius*، *Istigobius*، *Favonigobius*، *Silhouettea* و *Aulopareia* را در برمی‌گیرد؛ مطالعه حاضر نیز تا حدی تبارزایی مشابهی را ارائه می‌دهد. در مطالعه حاضر فقط ژن COI برای سه گونه *Silhouettea ghazalae*، *Aulopareia ocellata* و *Palutrus scapulopunctatus* مورد استفاده قرارگرفت و به نظر می‌رسد برای تعیین جایگاه دقیق‌تر تبارزایی این سه گونه بایستی ژن‌های بیشتری تعیین توالی و مورد استفاده قرار گیرند. دودمان‌های *Gobiodon-lineage* و *Valenciennea-lineage* (خوشه چهارم) از جمله دودمان‌های با خویشاوندی تقریباً نزدیک در خانواده گاماهیان هستند (۲ و ۴۳) البته خویشاوندی *Valenciennea* با جنس‌های *Signigobius* و *Amblygobius* و همچنین خویشاوندی *Gobiodon* با

C. tessellatus، *C. admsoni* و خوشه ششم دارای *P. iranicus* هستند. هرکدام از خوشه‌ها روی شکل ۲ با رنگ‌های متفاوتی نشان داده شده‌اند. آرایه‌های خوشه‌های ۲ تا ۶ همگی متعلق به زیرخانواده *Gobiinae* می‌باشند.

بحث

میزان‌های جهش در ژن‌های هسته‌ای کمتر از ژن‌های میتوکندریایی هستند؛ بنابراین ژن‌های هسته‌ای که دارای کپی‌های ژنی کدکننده پروتئینی محدودی می‌باشند، روش‌های مناسبی را برای استنباط تبارزایی فراهم می‌کنند (۸، ۱۶ و ۲۶) و به همین دلیل است که تحلیل‌های مولکولی گاماهیان در سال‌های اخیر از نشانگرهای هسته‌ای استفاده کرده‌اند (۲، ۱۴، ۴۵، ۴۷).

خوشه اول در این مطالعه از سه گونه گلخورک (*S. tenuis*، *B. dussumieri*، *P. waltoni*) تشکیل شده است که در سواحل گلی و جنگل‌های حرای جنوب ایران پراکنش دارند و جز دودمان *Periophthalmus-lineage* محسوب می‌شوند (۲، ۱۳، ۱۴، ۲۹). برخی از مطالعات مولکولی دلایلی را ارائه می‌دهند که بر طبق آن‌ها خانواده گاماهیان به دو کلاد عمده به نام‌های خانواده *Gobiidae* (*Gobionellidae*) و *Oxudercidae* تقسیم بندی می‌شوند. خانواده *Oxudercidae* شامل چهار زیرخانواده *Gobionellinae*، *Oxudercinae*، *Amblyopinae* و *Sicydiinae* می‌باشد که از ۸۶ جنس تشکیل شده و توسط برخی صفات ریخت‌شناسی حمایت می‌شود (۲، ۲۷، ۳۹، ۴۰، ۴۱ و ۴۵). رده‌بندی‌های عمده ماهی‌شناسی هنوز هم خانواده گاماهیان را به عنوان یک خانواده با پنج زیرخانواده معتبر می‌دانند (۱۰) یا اینکه از واژه زیرخانواده استفاده نمی‌کنند و تمام اعضای مورد مطالعه را در خانواده *Gobiidae* قرار می‌دهند (۲)، بنابراین مطالعه حاضر هم از رده بندی خانواده گاماهیان با پنج زیرخانواده استفاده می‌شود و خانواده (*Gobionellidae*) *Oxudercidae* را به

برای مطالعه دقیق‌تر تبارزایی گاوماهیان ایران بایستی تمام گونه‌ها برای نشانگرهای هسته‌ای و میتوکندریایی یکسانی تعیین توالی شوند، همچنین جنس‌هایی مانند *Neogobius* و *Heteroleotris* به علت نبودن توالی‌های مربوط به نمونه‌های ایران در این مطالعه بررسی نشدند که می‌توانند هدف مطالعات آینده باشند.

Paragobiodon با استفاده از مارکرهای میتوکندریایی و هسته‌ای مشخص شده است (۲۵). *Coryogalops* و *Ponticola* هر دو در دودمان *Gobius-lineage* قرار می‌گیرند (۲)، لازم به ذکر است که جنس *Coryogalops* بیشتر در سواحل آفریقا و دریای سرخ پراکنش دارد (۲۰) در حالی که پنج گونه *Ponticola* در آب‌های شیرین حوضه آبریز Ponto-Caspian پراکنش دارند (۴۹).

منابع

1. Agorreta, A., and Rüber, L., 2012. A standardized reanalysis of molecular phylogenetic hypotheses of Gobioidae, Systematics and Biodiversity, 10, PP: 375-390.
2. Agorreta, A., San Mauro, D., Schlieven, U., Van Tassell, J. L., Kovačić, M., Zardoya, R., and Rüber, L., 2013. Molecular phylogenetics of Gobioidae and phylogenetic placement of European gobies, Molecular Phylogenetics and Evolution, 69(3), PP: 619-633.
3. Akihito, P., Hayashi, M., Yoshino, T., Shimada, K., Yamamoto, T., and Senou, H., 1984. Suborder Gobioidae, in The Fishes of the Japanese Archipelago, Tokyo: Tokai Univ. Press, PP: 236-289.
4. Akihito, P., Sakamoto, K., Ikeda, Y., and Iwata, A., 2000. Suborder Gobioidae, in Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species, 2nd ed., Tokyo: Tokai University, PP: 5-15.
5. Birdsong, R. S., Murdy, E. O., and Pezold, F. L., 1988. A study of the vertebral column and median fin osteology in gobioid fishes with comments on gobioid relationships, Bulletin of Marine Science, 42, PP: 174-214.
6. Blegvad, H., and Löppenthin, B., 1944. Fishes of the Iranian Gulf. Danish Scientific Investigations in Iran, Einar Munksgaard Copenhagen, 247 p.
7. Bosaghzadeh, F., Ghanbarifardi, M., Pehpuri, A., Maddahi, H., 2015. Intertidal ichthyofauna of the Persian Gulf and Makran Sea with a new record from the Persian Gulf, The Third Iranian Conference of Ichthyology, Shiraz University, PP: 6-7.
8. Cho, S., Mitchell, A., Regier, J. C., Mitter, C., Poole, R. W., Friedlander, T. P., and Zhao, S., 1995. A highly conserved nuclear gene for low-level phylogenetics: elongation factor-1 alpha recovers morphology-based tree for heliothine moths, Molecular biology and evolution, 12(4), PP: 650-656.
9. Felsenstein, J., 1981. Evolutionary trees from DNA sequences: a maximum likelihood approach, Journal of Molecular Evolution, 17(6), PP: 368-376.
10. Fricke, R., Eschmeyer, W. N., and Fong, J. D., 2021. Species by family/subfamily in Eschmeyer's Catalog of Fishes, Online Version,
11. Ghanbarifardi, M., and Malek, M., 2007. Permanent intertidal fish from the Persian Gulf and Gulf of Oman, Iranian Journal of Animal Biosystematics, 3(1), PP: 1-14.
12. Ghanbarifardi, M., and Malek, M., 2009. Distribution, diversity, and abundance of rocky intertidal fishes in the Persian Gulf and Gulf of Oman, Iran, Marine Biology Research, 5(5), PP: 496-502.
13. Ghanbarifardi, M., Esmaceli, H. R., Gholami, Z., Aliabadian, M., and Reichenbacher, B., 2016. Molecular phylogeny of three mudskippers (Gobiidae) from the Persian Gulf and Gulf of Oman (Makran), Journal of Applied Ichthyology, 32(3), PP: 416-420.
14. Ghanbarifardi, M., and Lagzian, M., 2019. Molecular Phylogeny of Gobies (Teleostei, Gobiidae) from Iranian Water Bodies with a New Record, Russian Journal of Marine Biology, 45(5), PP: 385-392.
15. Gill, A. C., and Mooi, R. D., 2012. Thalasseleotrididae, new family of marine gobioid fishes from New Zealand and temperate Australia, with a revised definition of its sister taxon, the Gobiidae (Teleostei: Acanthomorpha), Zootaxa, 3266, PP: 41-52.
16. Haag-Liautard, C., Coffey, N., Houle, D., Lynch, M., Charlesworth, B., and Keightley, P. D., 2008. Direct estimation of the mitochondrial DNA mutation rate in *Drosophila melanogaster*, PLoS Biology, 6(8), 204 p.
17. Hoese, D. F., 1984. Gobioidae: relationships, in, Ontogeny and Systematics of Fishes, American Society of Ichthyology and Herpetology, Special Publication no. 1, Lawrence, Kans, Allen Press, PP: 588-591.
18. Hoese, D. F., and Gill, A. C., 1993. Phylogenetic relationships of eleotridid fishes (Perciformes:

- Gobioidei), Bulletin of Marine Science, 52, PP: 415-440.
19. Huelsenbeck, J. P., Ronquist, F., Nielsen, R., and Bollback, J. P., 2001. Bayesian inference of phylogeny and its impact on evolutionary biology, Science, 294(5550), PP: 2310-2314.
 20. Kovačić, M., Bogorodsky, S. V., and Mal, A. O., 2016. A new species of *Coryogalops* (Perciformes: Gobiidae) and the first adult record of *Feia nympha* from the Red Sea. Zootaxa, 4097(3), PP: 341-352.
 21. Kovačić, M., Sadeghi, R., and Esmaili, H. R., 2020. New species of *Silhouettea* (Teleostei: Gobiidae) from Qeshm Island, Iran and the DNA barcoding of the Persian Gulf and Oman Sea gobies, Zootaxa, 4750(1), PP: 49-66.
 22. Lanfear, R., Frandsen, P. B., Wright, A. M., Senfeld, T., and Calcott, B., 2016. Partition Finder 2, new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses, Molecular Biology Evolution, 34(3), PP: 772-773.
 23. Larmuseau, M. H., Huyse, T., Vancampenhout, K., Van Houdt, J. K., and Volckaert, F. A., 2010. High molecular diversity in the rhodopsin gene in closely related goby fishes: A role for visual pigments in adaptive speciation?, Molecular Phylogenetics and Evolution, 55(2), PP: 689-698.
 24. Miller, P. J., 1973. The osteology and adaptive features of *Rhyacichthys aspro* (Teleostei: Gobioidei) and the classification of gobioid fishes, Journal of Zoology, 171, PP: 397-434.
 25. Mohammadi, M., and Ghanbarifardi, M., 2020. Molecular phylogenetic affinities of some subtidal gobies (Teleostei: Gobiidae) from Qeshm Island Iranian Journal of Animal Biosystematics, 16(1), PP: 11-19.
 26. Moriyama, E. N., and Powell, J. R., 1997. Synonymous substitution rates in *Drosophila*: mitochondrial versus nuclear genes, Journal of Molecular Evolution, 45(4), PP: 378-391.
 27. Nelson, J. S., Grande, T. C., and Wilson, M. V., 2016. Fishes of the World. John Wiley and Sons, 707 p.
 28. Pezold, F., 1993. Evidence for a monophyletic Gobiinae, Copeia, 3, PP: 634-643.
 29. Polgar, G., Ghanbarifardi, M., Milli, S., Agorreta, A., Aliabadian, M., Esmaili, H. R., and Khang, T. F., 2017. Ecomorphological adaptation in three mudskippers (Teleostei: Gobioidei: Gobiidae) from the Persian Gulf and the Gulf of Oman, Hydrobiologia, 795(1), PP: 91-111.
 30. Rahimian, H., and Pehpuri, A., 2006. Intertidal Fishes of Qeshm Island the Persian Gulf. I. Gobiidae (Pisces: Perciformes), Journal of Science (University of Tehran), 334, PP: 69-76.
 31. Randall, J. E., 1995. Coastal Fishes of Oman, Honolulu: University of Hawaii Press, p. 432.
 32. Ronquist, F., Teslenko, M., Van Der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M. A., and Huelsenbeck, J. P., 2012. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space, Systematic Biology, 61(3), PP: 539-542.
 33. Sadeghi, R., Esmaili, H. R., Fricke, R., and Larson, H., 2017. New geographical record and morphological features of the Indo-Pacific tropical sand goby, *Favonigobius reichei* (Bleeker, 1854) from Iranian coast of the Makran Sea (Teleostei, Gobiidae), Check List, 13, PP: 641-645.
 34. Sadeghi, R., and Esmaili, H. R., 2019a. Cocos Frillgoby, *Bathygobius cocosensis* (Bleeker, 1854): an additional fish element for the Iranian marine waters (Teleostei: Gobiidae), International Journal of Aquatic Biology, 7(3), PP: 117-122.
 35. Sadeghi, R., and Esmaili, H. R., 2019b. First documentation of an uncommon goby genus and species, *Palutrus scapulopunctatus* (de Beaufort, 1912) from the Persian Gulf (Teleostei: Gobiidae), Iranian Journal of Ichthyology, 6(3), PP: 143-149.
 36. Sadeghi, R., Ebrahimi, M., and Esmaili, H. R., 2019. Tessellate goby, *Coryogalops tessellatus* Randall, 1994 (Teleostei: Gobiidae), an additional fish element for the Iranian marine waters, FishTaxa, 4(2), PP: 25-30.
 37. Sadeghi, R., Esmaili, H. R., Riazi, M., Taherizadeh, M. R., and Safaie, M., 2019. Lagoon shrimp goby, *Cryptocentrus cyanotaenia* (Bleeker, 1853) (Teleostei: Gobiidae), an additional fish element for the Iranian waters, Iranian Journal of Ichthyology, 6(2), PP: 98-105.
 38. Stamatakis, A., 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies, Bioinformatics, 30(9), PP: 1312-1313.
 39. Thacker, C. E., 2003. Molecular phylogeny of the gobioid fishes (Teleostei: Perciformes: Gobioidei), Molecular phylogenetics and evolution, 26(3), PP: 354-368.
 40. Thacker, C. E., 2009. Phylogeny of Gobioidei and placement within Acanthomorpha, with a new classification and investigation of diversification and character evolution, PP: 93-104.
 41. Thacker, C. E., 2011. Systematics of Gobiidae, in The Biology of Gobies, Boca Raton, Fla.: CRC, PP: 129-136.
 42. Thacker, C. E., 2013. Phylogenetic placement of the European sand gobies in Gobionellidae and characterization of gobionellid lineages

- (Gobiiformes: Gobioidae), Zootaxa, 3619(3), PP: 369-382.
43. Thacker, C. E., 2015. Biogeography of goby lineages (Gobiiformes: Gobioidae): origin, invasions and extinction throughout the Cenozoic, Journal of Biogeography, 42(9), PP: 1615-1625.
44. Thacker, C. E., and Hardman, M. A., 2005. Molecular phylogeny of basal gobioid fishes: Rhyacichthyidae, Odontobutidae, Xenisthmidae, Eleotridae (Teleostei: Perciformes: Gobioidae), Molecular phylogenetics and evolution, 37(3), PP: 858-871.
45. Thacker, C. E., and Roje, D. M., 2011. Phylogeny of Gobiidae and identification of gobiid lineages, Systematics and Biodiversity, 9(4), PP: 329-347.
46. Thacker, C. E., Thompson, A. R., and Roje, D. M., 2011. Phylogeny and evolution of Indo-Pacific shrimp-associated gobies (Gobiiformes: Gobiidae). Molecular phylogenetics and evolution, 59(1), PP: 168-176.
47. Tornabene, L., Chen, Y., and Pezold, F., 2013. Gobies are deeply divided: phylogenetic evidence from nuclear DNA (Teleostei: Gobioidae: Gobiidae), Systematics and Biodiversity, 11(3), PP: 345-361.
48. Van der Laan, R., Eschmeyer, W. N., and Fricke, R., 2014. Family-group names of Recent fishes, Zootaxa, 3882(1), PP: 1-230.
49. Vasil'eva, E. D., Mousavi-Sabet, H., and Vasil'ev, V. P., 2015. *Ponticola iranicus* sp. nov. (actinopterygii: perciformes: gobiidae) from the Caspian Sea basin. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 45(2), PP: 189-197.

Molecular phylogeny of Gobiidae from Iran based on mitochondrial and nuclear markers

Ghanbarifardi M.¹ and Damadi E.²

¹Dept. of Biology, Faculty of Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, I.R. of Iran

²Dept. of Biology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, I.R. of Iran

Abstract

Gobiidae is the most species-rich family of teleost fishes, with approximately 1943 valid species belonging to 258 genera. This family is composed of five subfamilies, including Sicydiinae, Gobionellinae, Oxudercinae, Amblyopinae, Gobiinae. 24 species from 19 genera of Gobiidae have been reported in Iranian waters of the Persian Gulf and the Gulf of Oman. The aim of the present study is to survey phylogenetic relationships of Gobiidae representatives from Iran using 64 sequences (Rhodopsin, Rag1 and COI markers) belong to 21 species. In this study, specimens from *Bathygobius meggitti* (Chabahar, sequenced for Rhodopsin), *Stonogobiops nematodes*, and *Valenciennea strigata* (Qeshm Island, sequenced for COI) have been examined for the first time. Gobiidae members recorded from Iran are classified in diverse molecular lineages, including *Periophthalmus*-lineage, *Gobiopsis*-lineage, *Glossogobius*-lineage, *Cryptocentrus*-lineage, *Gobiodon*-lineage and *Valenciennea*-lineage. Sequencing nuclear markers of all recorded species from the Iranian Southern water bodies and the Caspian Sea basin could determine more detail of phylogenetic relationships of this family.

Keywords: Gobiidae, Molecular phylogeny, Persian Gulf, Gulf of Oman, Caspian Sea Basin