

چند شکلی ریزماهواره‌ای در جمعیت‌های طبیعی گونه در معرض تهدید ماهی کلمه خزر در سواحل استان گلستان

حدیثه کشیری، گروه شیلات، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
علی شهبانی*، گروه شیلات، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
بهاره شهبانپور، گروه شیلات، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
محمد رضایی، گروه شیلات، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

چکیده

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی و ساختار جمعیتی ماهی کلمه که یکی از گونه‌های مهم اقتصادی و در معرض تهدید دریای خزر است، ۵۸ نمونه از مناطق گرگانرود و خلیج گرگان جمع‌آوری و با استفاده از ۱۰ جفت پرایمر ریزماهواره بررسی شد. هر ۱۰ جایگاه ژنی مورد استفاده چند شکلی نشان دادند و دارای ظرفیت اطلاعات چند شکلی ۰/۷۲ تا ۰/۹۳ بودند. نتایج نشان داد که مناطق مورد بررسی از غنای اللی (تعداد ال: ۱۰/۳) و ژنی (هتروزیگوسیتی: ۰/۶۷) قابل قبولی برخوردار هستند. در بررسی تعادل هاردی-واینبرگ، ۱۰ نمونه از ۲۰ تست مورد بررسی (۱۰ جایگاه ژنی \times ۲ منطقه) انحراف معنی‌داری از تعادل نشان دادند که علت عمده آن را می‌توان ناشی از کسری هتروزیگوسیتی مشاهده شده دانست. دندروگرام UPGMA ترسیم شده بر اساس فاصله ژنتیکی Nei نیز جدایی آشکاری را بین جمعیت‌ها نشان نداد. همچنین، آنالیز واریانس مولکولی نشان داد که تنوع بالایی (۹۸٪) در درون جمعیت‌های مورد بررسی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: پرایمر، چند شکلی، خلیج گرگان، گرگانرود

مقدمه

سازگاری جمعیت‌ها در شرایط محیطی در حال تغییر قلمداد می‌گردد (Diz and Presa, 2009). آگاهی از میزان ذخایر توارثی و تنوع ژنتیکی در بین افراد یک گونه، از اهداف ارزشمند مدیریت ذخایر و اصلاح نژاد است؛ به طوری که بررسی ژنتیک جمعیت یا اکولوژی

تنوع ژنتیکی از تفاوت در توالی نوکلئوتیدهای DNA در میان افراد حاصل می‌شود (Utter, 1991). تنوع ژنتیکی، اهمیتی حیاتی برای مدیریت و حفاظت از منابع دریایی دارد و به عنوان اولین پیش‌نیاز برای حفظ

و بومی دریای خزر است که متأسفانه در سال‌های اخیر به دلیل دخالت‌های انسانی از جمعیت‌های آن کاسته شد؛ به طوری که این گونه جزو گونه‌های در معرض تهدید در منطقه محسوب می‌گردد (Kiabi et al., 1999). بازسازی ذخایر و حفاظت از این ماهی با ارزش از طریق تکثیر مصنوعی و رهاسازی بچه ماهیان به آب‌های طبیعی انجام می‌گیرد. در این راستا، از بین رفتن ذخیره ژنی این گونه بومی، از نگرانی‌های اصلی در ادامه روند تکثیر مصنوعی است. بنابراین، با توجه به اینکه اثر روش‌های تکثیر مصنوعی بر ذخایر ژنتیکی آبریان اثبات شده است و در حال حاضر نیز بیشتر ذخایر ماهی کلمه از طریق تکثیر مصنوعی حاصل می‌گردد، اطلاع از وضعیت ژنتیکی این گونه بسیار ضروری است.

جایگاه‌های ریزماهوره‌ای، توالی‌های کوتاه و تکراری DNA هستند که دارای کاربردهای فراوانی در ژنتیک تکاملی و حفاظتی هستند (Angers and Bernatchez, 1998). ریزماهوره‌ها به علت بالا بودن تعداد ال‌هایشان، در بین تمام نشانگرها، بالاترین میزان هتروزیگوسیتی را نشان می‌دهند (Liu, 2007). این چند شکلی بسیار بالا نشان می‌دهد که نشانگرهای ریزماهوره می‌توانند برای آنالیز ژنتیک جمعیت و تعیین نژادها بسیار مفید باشند (Dunham, 2004). با توجه به اهمیت بالای ماهی کلمه در بحث بازسازی ذخایر و همچنین، اهمیت آن به عنوان یک منبع غذایی و تجاری، در این تحقیق سعی شد با به‌کارگیری ۱۰

مولکولی ماهیان با ارزش اقتصادی، برای حفاظت از جمعیت آنها و حفظ صید پایدار بسیار ضروری است (Wang et al., 2007).

طی سال‌های اخیر، جمعیت‌های بسیاری از گونه‌ها به دلیل دخالت‌های مستقیم یا غیرمستقیم بشر، همچون از دست رفتن زیستگاه‌ها، بهره‌برداری بیش از حد، آلودگی، معرفی گونه‌های شکارچی و رقیب و یا ورود بیماری‌ها دچار تغییرات چشمگیری شده، در معرض خطر انقراض هستند. بنابراین، این گونه‌ها به منظور بقا در طبیعت و محفوظ ماندن از خطر انقراض به تکثیر مصنوعی نیاز دارند (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)؛ امروزه، تکثیر مصنوعی روشی معمول برای جلوگیری از انقراض گونه‌های دریایی در معرض تهدید است. با وجود مزایای برنامه‌های تکثیر حمایتی، مشکلات احتمالی قابل پیش‌بینی نیز در آنها وجود دارد. رهاسازی بچه ماهیان حاصل از تکثیر مصنوعی در طبیعت می‌تواند به کاهش تنوع ژنتیکی منجر گردد (Cross et al., 1998). در واقع، برنامه‌های بازسازی که به منظور افزایش ذخایر گونه‌های وحشی انجام می‌گیرد، اغلب به کاهش تنوع ژنتیکی درون جمعیتی ذخایر ژنی بومی و در نهایت انقراض جمعیت‌های محلی منجر می‌گردد (Machado-schiaffino et al., 2007).

ماهی کلمه (*Rutilus rutilus*) از خانواده Cyprinidae، (بزرگترین خانواده ماهیان آب شیرین (Nelson, 1994))، یکی از گونه‌های ارزشمند تجاری

Hamilton و Tylor (۲۰۰۷)، در ماهی کلمه چندشکلی نشان داده شده بودند- استفاده شد (جدول ۱). تکثیر جایگاه‌های ژنی با استفاده از واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در حجم ۲۵ میکرولیتر و شرایطی شامل ۱۵ نانوگرم DNA، ۰/۵ میکرومولار از هر پرایمر، ۴۰۰ میکرومولار نوکلئوتیدها، یک واحد بین‌المللی تگ DNA پلیمرز، بافر PCR 10X، ۱/۵ میلی‌مولار کلرید منیزیم و آب مقطر تا رسیدن به حجم، انجام گرفت. سیکل دمایی برای هر جایگاه ژنی عبارت بود از: ۱ سیکل ۳ دقیقه‌ای در دمای ۹۴ درجه (واسر رشته‌سازی اولیه)، ۳۵ سیکل ۹۴ درجه‌ای به مدت ۳۰ ثانیه (واسر رشته‌سازی)، درجه حرارت اتصال (جدول ۱) به مدت ۳۰ ثانیه (الحاق) و ۷۲ درجه به مدت ۱ دقیقه (بسط) و ۱ سیکل ۷۲ درجه‌ای به مدت ۳ دقیقه به عنوان مرحله بسط نهایی. سپس محصولات واکنش زنجیره‌ای پلیمرز بر روی ژل پلی آکریل آمید ۸ درصد (غیر یونیزه) جداسازی شدند. ژل‌ها به روش نیترات نقره (Bassam *et al.*, 1991) رنگ آمیزی شدند و پس از تهیه تصویر آنها توسط دستگاه مستندساز ژل، از نرم‌افزار Gel pro analyzer برای محاسبه طول قطعات استفاده گردید.

آنالیز آماری

ارزیابی تعداد ال در هر جایگاه ژنی، هتروزیگوسیتی مشاهده شده و مورد انتظار در بررسی چند شکلی ژنتیکی جمعیت‌ها و همچنین بررسی انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ با استفاده از

جایگاه ژنی ریزماهوره به بررسی هرچه بهتر ساختار ژنتیکی ماهی کلمه در مناطق گرگانرود و خلیج گرگان- که از مناطق عمده پراکنش این ماهی هستند- پرداخته گردد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

تعداد ۵۸ نمونه ماهی کلمه، از مناطق گرگانرود (۲۹ عدد) و خلیج گرگان (۲۹ عدد) در بهار سال ۱۳۸۶ صید گردید. حدود ۲ گرم از باله پستی هر ماهی جداسازی و تا زمان استخراج DNA در الکل اتیلیک ۹۵٪ نگهداری شد. استخراج DNA از نمونه‌ها به روش فنل-کلروفرم (Hillis *et al.*, 1996) انجام پذیرفت. DNA استخراجی پس از افزودن ۱۰۰ میکرولیتر آب مقطر دو بار تقطیر تا زمان انجام مطالعات در فریزر ۲۰- نگهداری شد. کیفیت و کمیّت DNA استخراجی نیز با استفاده از ژل آگارز ۱ درصد و اسپکتروفتومتر تعیین گردید.

واکنش زنجیری پلیمرز و الکتروفورز

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی ماهی کلمه از ۱۰ جایگاه ژنی CA1، CA3 (Dimoski *et al.*, 2000) CypG30، CypG24، CypG27، CypG3 Rru4، Rru2، (Baerwald and May, 2004) Lid1 Z21908 (Barinova *et al.*, 2004) و (<http://zfin.org>)- که در تحقیق انجام شده توسط

2004) به ترتیب برای تعیین ظرفیت اطلاعات چند شکلی (PIC) جایگاه‌های ژنی و بررسی امکان وجود ال‌های نول استفاده گردید. تعیین فاصله و شباهت ژنتیکی و رابطه فیلوژنیک بین جمعیت‌ها با استفاده از ترسیم درخت UPGMA نیز با استفاده از نرم‌افزار PopGene (Yeh *et al.*, 1999) انجام شد. به منظور تعیین تنوع ژنتیکی درون و بین جمعیتی و همچنین میزان تمایز بین جمعیتی بر اساس مدل ال‌بی نهایت (Fst) و مدل جهش پله‌ای (Rst) با استفاده از آنالیز واریانس مولکولی، بسته نرم‌افزاری Genealex استفاده گردید.

نرم‌افزار GenAlex 6.3 (Peakall and Smouse, 2006) | انجام شد. برای تعیین تفاوت بین دو منطقه در مقادیر هتروزیگوسیتی مشاهده شده، مورد انتظار و تنوع ال‌لی از تست ویلکاکسون غیر پارامتریک در نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد (Zar, 1999). برای تنظیم سطح معنی‌داری تست‌های تکرار شونده نیز ضریب تصحیح بونفرونی استفاده گردید (Rice, 1989). از نرم‌افزار FSTAT 2.9.3 (Goudet, 2001) نیز برای تعیین شاخص درون‌آمیزی (Fis) و سطح معنی‌داری آن استفاده شد. از نرم‌افزار Cervus (Marshall *et al.*, 1998) و Microchecker (Van Oosterhout *et al.*, 1998) |

جدول ۱- ویژگی‌های ۱۰ جایگاه ژنی مورد استفاده

جایگاه ژنی	توالی	کد دستیابی در بانک ژن	اندازه ال‌لی (bp)	دمای اتصال (درجه سانتی‌گراد)
Ca1	F: AAG ACG ATG CTG GAT GTT TAC R: CTA TAG CTT ATC CCG GCA GTA	AF277573	۱۰۴ - ۱۳۲	۵۵
Ca3	F: GGA CAG TGA GGG ACG CAG AC R: TCT AGC CCC CAA ATT TTA CGG	AF277575	۲۳۶ - ۳۰۰	۵۲
CypG3	F: AGT AGG TTT CCC AGC ATC ATT GT R: GAC TGG ACG CCT CTA CTT TCA TA	AY439122	۱۶۰ - ۲۲۸	۵۹
CypG24	F: CTG CCG CAT CAG AGA TAA ACA CTT R: TGG CGG TAA GGG TAG ACC AC	AY439142	۱۶۴ - ۲۱۲	۵۸
CypG27	F: AAG GTA TTC TCC AGC ATT TAT R: GAG CCA CCT GGA GAC ATT ACT	AY439145	۲۴۴ - ۳۰۸	۴۹
CypG30	F: GAA AAA CCC TGA GAA ATT CAA AAG A R: GGA CAG GTA AAT GGA TGA GGA GAT A	AY439148	۱۸۰ - ۲۰۸	۵۲
Lid1	F: TAA AAC ACA TCC AGG CAG ATT R: GGA GAG GTT ACG AGA GGT GAG	AB112732	۲۲۰ - ۲۵۶	۵۱
Rru2	F: TTC CAG CTC AAC TCT AAA GA R: GCA CCA TGC AGT AAC AAT	AB112738	۱۰۸ - ۱۴۴	۴۶
Rru4	F: TAA GCA GTG ACC AGA ATC CA R: CAA AGC CTC AAA AGC ACA A	AB112740	۱۸۴ - ۲۲۰	۵۴
Z21908	F: ATT GAT TAG GTC ATT GCC CG R: AGG AGT CAT CGC TGG TGA GT	G40270	۱۶۰ - ۱۸۰	۵۹

نتایج

نشانگر ریزماهوره، تنوع ژنی و اللی

هر ۱۰ جایگاه ژنی مورد استفاده در این بررسی چند شکلی نشان دادند و دارای ظرفیت اطلاعات چند شکلی (PIC) از ۰/۷۲ (جایگاه ژنی Z21908) تا ۰/۹۳ (جایگاه ژنی Ca3) بودند (جدول ۲). داده‌های حاصل از ارزیابی تنوع ژنتیکی در جمعیت‌های مورد بررسی (تنوع اللی و ژنی) در جدول ۳ آورده شده است. تعداد متوسط ال‌های مشاهده شده در جمعیت‌های مورد بررسی برای هر جایگاه ژنی در محدوده ۱۷-۵ به دست آمد که در این میان، جایگاه Ca3 (۱۷ ال) بالاترین و جایگاه Z21908 پایین‌ترین (۵ ال) تنوع اللی را نشان داد. در بررسی تنوع اللی در سطح جمعیتی نیز، جمعیت متعلق به گرگانرود و خلیج گرگان، به ترتیب دارای میانگین اللی ۱۰/۲ و ۱۰/۴ بودند. میانگین هتروزیگوسیتی مشاهده شده (Ho) و مورد انتظار (He) در رودخانه گرگانرود به ترتیب، ۰/۶۹ و ۰/۸۳ و در خلیج گرگان نیز ۰/۶۹ و ۰/۸۴ به دست آمد. همچنین، تفاوت معنی‌داری از نظر تنوع اللی و ژنی بین جمعیت‌ها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

تعادل هاردی - واینبرگ، شاخص درون آمیزی و

جریان ژنی

نتایج مربوط به بررسی تعادل هاردی-واینبرگ (HWE) در جدول ۳ آورده شده است. از ۲۰ تست ممکن (۱۰ جایگاه ژنی 2×2 منطقه) تنها ۵ مورد در تعادل HW قرار داشتند و بقیه نمونه‌ها انحراف معنی‌داری از تعادل نشان دادند ($P \leq 0.05$)، در حالی که پس از اعمال ضریب تصحیح بونفرونی، ۱۰ مورد از ۲۰ تست مورد بررسی، به طور معنی‌داری انحراف از تعادل HW داشتند ($P \leq 0.005$). در بررسی شاخص Fis، جایگاه‌های ژنی CypG3، CypG27، Lid1، Rru4 و Z21908 در منطقه گرگانرود و جایگاه‌های CypG27، CypG30، Rru4 و Z21908 در منطقه خلیج گرگان کسری هتروزیگوسیتی معنی‌داری ($P \leq 0.002$) پس از اعمال ضریب تصحیح توسط نرم‌افزار Fstat نشان دادند (جدول ۳). همچنین، جریان ژنی بالایی (میانگین: ۲۵/۰۶) در سطح جایگاه‌های ژنی مشاهده گردید (جدول ۴).

جدول ۲- تعداد کل ال‌های مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات چند شکلی (PIC) جایگاه‌های ژنی مورد استفاده

Z21908	Rru4	Rru2	Lid1	CypG30	CypG27	CypG24	CypG3	Ca3	Ca1	جایگاه ژنی
۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۹	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸	PIC
۶	۸	۷	۹	۱۷	۱۲	۱۳	۱۷	۱۹	۸	تعداد کل ال

جدول ۳- تنوع ژنتیکی جایگاه‌های ژنی مورد استفاده در جمعیت‌های مورد بررسی

جایگاه ژنی منطقه	Ca1	Ca3	CypG3	CypG24	CypG27	CypG30	Lid1	Rru2	Rru4	Z21908
گرگانرود	۸	۱۴	۱۶	۱۲	۹	۱۵	۹	۷	۷	۵
Na	۶/۱۷	۱۰/۲۶	۸/۶۷	۴/۸۶	۶/۸۷	۱۰/۶۴	۶/۶۸	۶	۳/۶۸	۳/۵۹
Ne	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۸۸	۰/۳۷	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۸۸	۰/۴۴	۰/۱۸
Ho	۰/۸۳	۰/۹	۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۷۲
He	-۰/۱۷	-۰/۰۴	۰/۳۸	-۰/۱	۰/۵۷	۰/۲	۰/۳۶	-۰/۰۴	۰/۴	۰/۷۵
Fis	۰/۰۳۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۷۶	۰/۰۴۳	۰/۱۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
P	۸	۱۷	۱۵	۱۱	۹	۱۵	۹	۷	۷	۶
Na	۵/۸۷	۱۳/۶۲	۱۰/۷۲	۸/۳۷	۵/۳۲	۸/۶۷	۷/۵۱	۵/۴	۴/۴۱	۴/۲۵
Ne	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۴
Ho	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۹	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۶
He	-۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۲	۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۱۲	-۰/۰۷	۰/۶۷	۰/۴۸
Fis	۰/۱۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۷	۰/۲۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
P										

Na: تعداد الل‌های مشاهده شده؛ Ne: تعداد الل‌های مؤثر؛ Ho: هتروزیگوسیتی مشاهده شده؛ He: هتروزیگوسیتی مورد انتظار؛ P: تست احتمال هاردی-واینبرگ پس از اعمال ضریب تصحیح بونفرونی (Fis: شاخص درون‌آمیزی) (مقادیر معنی‌دار به صورت پُر رنگ مشخص هستند).

جدول ۴- میزان جریان ژنی (Nm) و تمایز (Fst) در سطح ۱۰ جایگاه ژنی مورد استفاده

جایگاه ژنی	Ca1	Ca3	CypG3	CypG24	CypG27	CypG30	Lid1	Rru2	Rru4	Z21908	میانگین
Nm	۱۲۱/۶	۱۱/۶۹	۱۵/۷۳	۶/۶	۶/۰۷	۱۶/۱۱	۱۳/۰۴	۴۴/۵	۵/۸۲	۹/۴۲	۲۵/۰۶
Fst	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۱۶	۰/۰۳۶	۰/۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۴۱	۰/۰۲۶	۰/۰۲

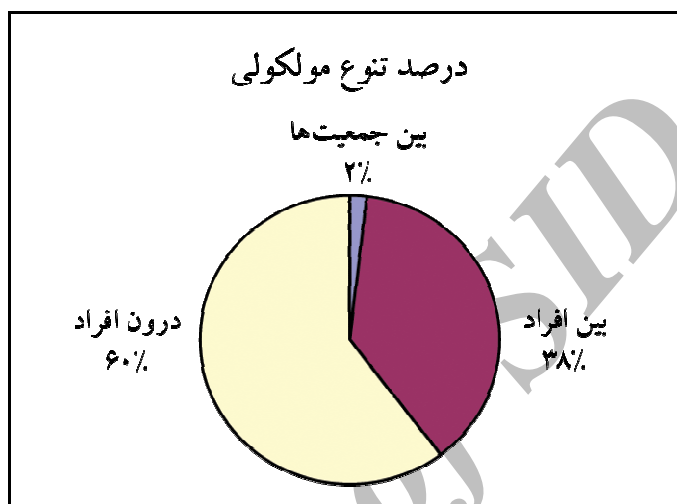
آنالیز واریانس مولکولی (AMOVA)

نتایج حاصل از آنالیز واریانس مولکولی در جدول ۵ آورده شده است. مقدار RST و FST به عنوان شاخص‌های تمایز از طریق آنالیز واریانس مولکولی به

ترتیب ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲ (جدول ۴) محاسبه شد. همچنین، نتایج حاصل از AMOVA نشان داد که ۹۸ درصد از تنوع مشاهده شده مربوط به درون جمعیت‌ها و تنها ۲ درصد از تنوع مربوط به بین جمعیت‌هاست (شکل ۱).

جدول ۵- آنالیز واریانس مولکولی (AMOVA). df (درجه آزادی)، SS (مجموع مربعات)، Ms (انحرافات میانگین مربع)، Prob (معنی دار بودن انحراف پس از ۹۹ جایگزینی تصادفی).

Prob	Value	Stat	%	Est.var.	MS	SS	df	
			۲ درصد	۰/۱۰۹	۱۰/۱۷	۱۰/۱۷	۱	بین جمعیت‌ها
۰/۰۱۰	۰/۰۲	Fst	۹۸ درصد	۴/۲۷	۴/۲۷	۴۵۲/۹۲	۱۰۶	درون جمعیت‌ها

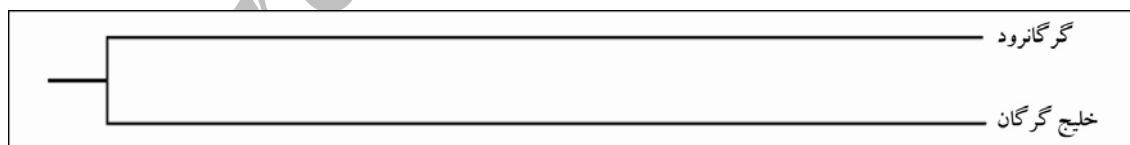


شکل ۱- توزیع تنوع ژنتیکی تحت معیار R_{ST}

مقدار فاصله ژنتیکی نیز جدایی آشکاری را بین مناطق مورد بررسی نشان نداد (شکل ۲).

شباهت و فاصله ژنتیکی

بر اساس معیار فاصله ژنتیکی Nei، میزان شباهت و فاصله ژنتیکی بین دو منطقه به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۲۶ به دست آمد. دندروگرام UPGMA ترسیم شده بر اساس



شکل ۲- دندروگرام UPGMA برای مناطق مورد بررسی

بهره‌برداری پایدار از آن‌ها دارد. عملیات آبرزی‌پروری می‌تواند روی تنوع ژنتیکی یک گونه اثرگذار باشد (Norris *et al.*, 1999). اندازه مؤثر کوچک جمعیت و برنامه‌های کنترل نشده تکثیر مصنوعی، از عوامل عمده

بحث

تنوع ژنتیکی به عنوان پایه‌ای برای توانایی تکامل جمعیت‌هاست. اطلاعات مربوط به تنوع ژنتیکی و ساختار جمعیتی گونه‌ها، نقشی اساسی در حفاظت و

حاکمی از تنوع ژنتیکی بالاتر در جمعیت‌های کلمه مورد بررسی در این تحقیق نیز باشد. هتروزیگوسیتی نیز به عنوان معیاری از سنجش تنوع ژنتیکی جمعیت‌ها، مورد توجه اکولوژیست‌ها و آبرزی‌پروان است (Xu et al., 2001). متوسط هتروزیگوسیتی مشاهده شده و مورد انتظار برای جمعیت‌های مورد بررسی به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۸۴ به دست آمد (جدول ۳).

به طور کلی، تنوع اللی و ژنی در جمعیت‌های مورد بررسی کلمه در این تحقیق، بسیار نزدیک به سطح تنوع موجود برای ماهیان آنادروموس (Dewoody and Avis, 2000) به دست آمد. این مطلب، بیانگر آن است که به‌رغم مسایلی همچون تکثیر مصنوعی ماهی کلمه، فشار صید و جمعیت بسته دریای خزر، تنوع ژنتیکی این ماهی ارزشمند هنوز هم در سطح قابل قبولی قرار دارد. به نظر می‌رسد تکثیر مصنوعی و رهاسازی بچه ماهیان به طبیعت، هنوز اثر درخور توجهی روی سطح تنوع ژنتیکی ماهی کلمه نداشته است. با وجود این، با توجه به این حقیقت که بازسازی ذخایر این ماهی از طریق تکثیر مصنوعی در حال انجام بوده، در آینده نیز ادامه خواهد یافت، ایجاد تدابیری برای حفظ و تقویت تنوع مشاهده شده و اجتناب از مشکلات حاصل از درون‌آمیزی و برون‌آمیزی ضروری به نظر می‌رسد.

در جمعیت‌های ماهیان، انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ زیاد دیده می‌شود (Lucentini et al., 2006). با توجه به این که تعادل هاردی-واینبرگ بر اساس جفت‌گیری تصادفی در یک جمعیت است، بنابراین، ما

از دست رفتن تنوع ژنتیکی در گونه‌های پرورشی است (Hansen et al., 2000)، بنابراین، حفظ تنوع ژنتیکی باید به عنوان اولویت اصلی در برنامه‌های تکثیر حمایتی در نظر گرفته شود.

در این تحقیق، از ۱۰ جایگاه ژنی ریزماهواره برای بررسی هرچه بهتر تنوع ژنتیکی ماهی کلمه استفاده گردید. جایگاه‌های Ca3، CypG3، CypG24 و CypG30، ظرفیت اطلاعات چند شکلی و تنوع اللی درخور توجهی را بدون امکان حضور ال‌های نول نشان دادند (جدول ۲). بنابراین، استفاده از این جایگاه‌های ژنی در بررسی‌های ژنتیکی آتی ماهی کلمه توصیه می‌گردد.

کاهش تعداد ال‌های مشاهده شده در سطح جمعیت می‌تواند بیانگر کاهش تنوع ژنتیکی باشد (Lind et al., 2009). در بررسی‌های تنوع ژنتیکی، غنای اللی نسبت به هتروزیگوسیتی دارای ارزش بالاتری است. در واقع، بالا بودن غنای آللی، نشان‌دهنده بالا بودن اندازه مؤثر جمعیت بوده، استفاده از غنای آللی برای ارزیابی تنوع ژنتیکی در جمعیت‌هایی که برای برنامه‌های به‌گزینی یا حفاظت انتخاب شده‌اند، مناسبتر است (Diz and Presa, 2009). در این بررسی، متوسط تعداد ال‌های مشاهده شده ۱۰/۳ به دست آمد (جدول ۳). تعداد ال‌های مشاهده شده در برخی از جایگاه‌های ژنی بیشتر از تعداد گزارش شده برای ماهی کلمه اروپایی با استفاده از پرایمرهای مشابه بود (Hamilton and Tylor, 2007). این اختلاف ممکن است به علت تفاوت در تعداد نمونه‌ها باشد، اما می‌تواند

نمی‌توان تنها با یک عامل توجیه نمود و مجموعه‌ای از عوامل که بیشتر ناشی از تکثیر مصنوعی ماهی کلمه در مناطق مورد بررسی هستند، می‌توانند دلایلی برای کسری مشاهده شده و انحراف از تعادل در جمعیت‌های مورد بررسی باشند.

آنالیز واریانس مولکولی به عنوان یک آنالیز آماری، ابزاری مناسب برای مشخص کردن ساختار جمعیت و میزان تمایز ژنتیکی بین جمعیت‌هاست (Grassi *et al.*, 2004). آنالیز واریانس مولکولی نشان داد که ۹۸٪ تنوع در درون جمعیت‌ها و تنها ۲٪ تنوع در بین جمعیت‌ها وجود دارد (جدول ۵). میزان *Fst* و *Rst* نیز به عنوان شاخص‌های تمایز به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۱۸ به دست آمد که نشان از وجود تمایز پایین بین مناطق مورد بررسی است. مقادیر *Fst* و *Rst* حاصل از آنالیز واریانس مولکولی معمولاً با یکدیگر مشابه بوده، درحالی که Slatkin (۱۹۹۵) عنوان داشت که برای ریزماهورها، میزان *Rst* می‌تواند بیشتر از *Fst* باشد. اما تحت شرایط بالا بودن نرخ مهاجرت، مقادیر این دو شاخص معمولاً نزدیک به هم هستند. پایین بودن شاخص‌های تمایز و تنوع بین جمعیت‌ها نشان‌دهنده وجود جریان ژنی بالا در بین جمعیت‌هاست (Pinera *et al.*, 2007). نتایج این بررسی نیز حاکی از وجود جریان ژنی بالا بین مناطق مورد بررسی است (جدول ۴). در بررسی مقادیر فاصله و شباهت ژنتیکی نیز فاصله ژنتیکی نسبتاً پایینی بین مناطق مورد بررسی مشاهده شد. در صورت نبود جریان ژنی و یا جریان ژنی اندک بین جمعیت‌ها، انتظار می‌رفت تمایز ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای

انتظار عدم تعادل را در در جمعیت‌های پرورشی و یا به‌گزینی شده داریم (Dixon *et al.*, 2008). در این بررسی، ۱۰ مورد از ۲۰ تست ممکنه (۱۰ جایگاه ژنی × ۲ منطقه) پس از اعمال ضریب تصحیح، انحراف معنی دار از تعادل هاردی-واینبرگ نشان دادند (جدول ۳). در این مورد، در بررسی شاخص *Fis*، جایگاه‌های ژنی *CypG3*، *CypG27*، *Lid1*، *Rru4* و *Z21908* در منطقه گرگانرود و جایگاه‌های ژنی *CypG27*، *CypG30*، *Rru4* و *Z21908* در منطقه خلیج گرگان کسری هتروزیگوسیتی معنی‌داری نشان دادند (جدول ۳). دلایل بیولوژیک چنین کسری به خوبی شناخته نشده و فاکتورهای زیادی، همچون به‌گزینی، اثر وهلانند، درون‌آمیزی و الل‌های نول برای توجیه آن مطرح است. جدا از دلایل بیولوژیک معمول در ایجاد کسری هتروزیگوسیتی، مایکروستلایت‌ها به طور خاص مستعد این پدیده هستند (Diz and Presa, 2009).

Xu و همکاران در سال ۲۰۰۱ نیز وجود الل‌های نول را عامل عمده کسری هتروزیگوسیتی عنوان نمودند. در واقع، وجود الل‌های نول در ماهی پدیده‌ای کاملاً عادی است و وجود این الل‌ها در توارث ریزماهورها در ماهیان تأیید گردیده است (Rodzen and May, 2002). نتایج حاصل از نرم‌افزار Microchecker نیز امکان وجود الل نول را در اکثر جایگاه‌های ژنی که کسری هتروزیگوسیتی بالا نشان دادند، تأیید نمود. همچنین با توجه به تکثیر مصنوعی ماهی کلمه، درون‌آمیزی و به‌گزینی نیز می‌تواند عامل مهمی محسوب گردد. روی هم رفته، انحراف از تعادل را

ماهی کلمه از طریق تکثیر مصنوعی، ایجاد تدابیری در خصوص حفظ و تقویت تنوع مشاهده شده و اجتناب از مشکلات درون آمیزی و برون آمیزی ناشی از تکثیر مصنوعی و در نتیجه کاهش بقای آن‌ها در طبیعت و از دست رفتن تمایز ژنتیکی بین نمونه‌های مناطق مورد بررسی ضروری به نظر می‌رسد. در این خصوص بهترین روش، احیای محل‌های تخم‌ریزی طبیعی این گونه ارزشمند و فراهم نمودن شرایط لازم برای ورود مولدین به این مناطق است و در صورت نیاز به تکثیر مصنوعی نیز به کارگیری تدابیری، همچون استفاده از حداکثر تعداد مولدین و همچنین نسبت‌های جنسی برابر به منظور جلوگیری از کاهش اندازه مؤثر جمعیت ضروری است.

بین آنها ایجاد گردد. جریان ژنی بالا می‌تواند ناشی از مهاجرت طبیعی بین مناطق باشد، اما بالا بودن مقدار آن در این بررسی می‌تواند ناشی از روش رهاسازی لاروهای حاصل از تکثیر مصنوعی در مراکز تکثیر نیز باشد که در این روش لاروهای به دست آمده را بدون توجه به محل صید مولدین در مکان‌های مختلف رهاسازی می‌کنند که این امر به ازدیاد جریان ژنی در بین مناطق و کاهش تنوع و تمایز ژنتیکی بین آن‌ها منجر می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد تنوع ژنتیکی مناطق مورد بررسی در حد قابل قبولی قرار دارد، با وجود این، با توجه به برنامه بازسازی ذخایر

منابع

- Angers, B. and Bernatchez, L. (1998) Combined use of SMM and non SMM methods to infer fine structure and evolutionary history of brook charr (*Salvelinus fontinalis*, Salmonidae) populations from microsatellites. *Molecular Biology Evolution* 15: 143-159.
- Baerwald, M. R. and May, B. (2004) Characterization of microsatellite loci for five members of the minnow family Cyprinidae found in the Sacramento-San Joaquin Delta and its tributaries. *Molecular Ecology Notes* 4: 385-390.
- Barinova, A., Yadrenkina, E., Nakajima, M. and Taniguchi, N. (2004) Identification and characterization of microsatellite DNA markers developed in the *Leuciscus idus* and Siberian roach *Rutilus rutilus*. *Molecular Ecology Notes* 4: 86-88.
- Bassam, B. J., Caetano-Anolles, G. and Gresshoff, G. M. (1991) Fast and sensitive silver staining of DNA in polyacrylamide gels. *Animal Biochemistry* 84: 680-683.
- Cross, T. F., Galvin, P. and McGinnitty, P. (1998) Genetic considerations in stocking of Atlantic salmon, *Salmo salar*. In: *Stocking and Introduction of Fish* (ed. Cowx, I. G.). Hull International Fisheries Institute 355-370.
- Dewoody, J. A. and Avise, J. C. (2000) Microsatellite variation in Marine, freshwater and anadromous fishes compare with other animal. *Journal of Fish Biology* 56: 461-473.

- Dimoski, P., Toth, G. P. and Bagley, M. J. (2000) Microsatellite characterization in central stoneroller *Campostoma anomalum* (Pisces: Cyprinidae). *Molecular Ecology* 9: 2187-2189.
- Dixon, T. J., Coman, G. J., Arnold, S. J., Sellars, M. J., Lyons, R. E., Dierens, D., Preston, N. P. and Li, Y. (2008) Shifts in genetic diversity during domestication of Black Tiger shrimp, *Penaeus monodon*, monitored using two multiplexed microsatellite systems. *Aquaculture* 283: 1-6.
- Diz, P. A. and Presa, P. (2009) The genetic diversity pattern of *Mytilus alloprovincialis* in Galician Rías (NW Iberian estuaries). *Aquaculture* 287: 278-285.
- Dunham, R. A. (2004) Aquaculture and fisheries biotechnology genetic approaches. Canadian Association of Business Incubation Publishing, London.
- Goudet, J. (2001) FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3).
- Grassi, F., Imazio, S., Gomasca, S., Citterio, S., Aina, R., Sgorbati, S., Sala, F., Patrignani, G. and Labra, M. (2004) Population structure and genetic variation within *Valeriana wallrothii* Kreyer in relation to different ecological locations. *Plant Science* 166: 1437-1441.
- Hamilton, P. B. and Tylor, C. R. (2007) Identification of microsatellite loci for parentage analysis in roach (*Rutilus rutilus*) and eight other cyprinid fish by cross-species amplification and a novel test for detecting hybrids between roach and other cyprinids. *Molecular Ecology Resources* 8(2): 462-465.
- Hansen, M. M., Ruzzante, D. E., Nielsen, E. E. and Mensberg, K. D. (2000) Microsatellite and mitochondrial DNA polymorphism reveals life history dependent interbreeding between hatchery and wild brown trout (*Salmo trutta* L.). *Molecular Ecology* 9: 583-594.
- Hillis, D. M., Mortiz, C. and Mable, B. (1996) Molecular systematics. 2nd ed., Sinauer Associates, Sunderland.
- Kiabi, B. H., Abdoli, A. and Naderi, M. (1999) Status of the fish fauna in the South Caspian basin of Iran. *Journal of Zoology in the Middle East* 18: 57-65.
- Lind, C. U., Evans, B. S., Knauer, J., Taylor, J. J. U. and Jerry, D. R. (2009) Decreased genetic diversity and a reduced effective population size in cultured silver-lipped pearl oysters (*Pinctada maxima*). *Aquaculture* 286: 12-19.
- Liu, Z. (2007) Aquaculture Genome Technologies. Blackwell Publishing, Oxford.
- Lucentini, L., Palomba, A., Lancioni, H., Gigliarelli, L., Natali, M. and Panara, F. (2006) Microsatellite polymorphism in Italian populations of northern pike (*Esox lucius*). *Fisheries Research* 80: 251-262.
- Machado-schiaffino, G., Depico, E. and Garcia-vazquez, E. (2007) Genetic variation losses in Atlantic salmon stocks created for supportive breeding. *Aquaculture* 264: 59-65.
- Marshall, T. C., Slate, J., Kruuk, L. E. B. and Pemberton, J. M. (1998) Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology* 7: 639-655.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: Current state and trends, Volume 1: Findings of the conditions and trends working group of the millennium ecosystem assessment. Island Press, Washington D.C.
- Nelson J. (1994) Fishes of the World. 3rd ed., John Wiley and Sons, NewYork.

- Norris, A. T., Bradley, D. G. and Cunningham, E. P. (1999) Microsatellite genetic variation between and within farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Aquaculture* 180: 247-264.
- Peakall, R. and Smouse, P. E. (2006) GENALEX 6: genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288-295.
- Pinera, J. A., Blanco, G., Vázquez, E. and Sánchez, J. A. (2007) Genetic diversity of blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*) populations in Spanish Coasts: a preliminary study. *Marine Biology* 151:2153-2158.
- Rice, W. R. (1989) Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43: 223-225.
- Rodzen, J. A. and May, B. (2002) Inheritance of microsatellite loci in the polyploidy white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Genome* 54: 1064-1076.
- Slatkin, M. (1995) A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics* 139:457-462.
- Utter, F. M. (1991) Biochemical genetics and fishery management: an historical perspective. *Journal of Fish Biology* 39: 1-20.
- Van Oosterhout, C., Hutchinson, W. F., Wills, D. P. M. and Shipley, P. (2004) MICROCHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes* 4: 535-538.
- Wang, C., Yu, X. and Tong, J. (2007) Microsatellite diversity and population genetic structure of redfin culter (*Culter erythropterus*) in fragmented lakes of the Yangtze River. *Hydrobiologia* 586: 321-329.
- Yeh, F. C., Yang, R. C. and Boyle, T. (1999) POPGENE version 1.3.1. Microsoft Window-bases Freeware for population Genetic Analysis. University of Alberta, Canada.
- Xu, Z., Primavera, J. H., De la Pena, L. D., Pettit, P., Belak, J. and Warren, A. A. (2001) Genetic diversity of wild and cultured black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) in the Philippines using microsatellites. *Aquaculture* 199: 13-40.
- Zar, J. H. (1999) Biostatistical analysis, 4th ed., Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.