

ارزیابی اندازه جمعیت مؤثر مولدین و تأثیر آن بر تنوع ژنتیکی

نسل F_1 در شیوه فعلی تکثیر مصنوعی ماهی آزاد دریای خزر

Salmo trutta caspius با استفاده از نشانگرهای ریزماهوره

ایمان سوری نژاد^۱، محمدرضا کلباسی^{۲*}، پائولینو مارتینز^۳

۱- دانشجوی دکتری شیلات، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس،

ایران

۲- دانشیار شیلات، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۳- مرکز تحقیق و توسعه بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۴- دانشیار ژنتیک، دانشکده دامپزشکی دانشگاه USC، اسپانیا

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Kalbassi_m@modares.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۹)

چکیده

بازسازی صحیح ذخایر طبیعی ماهی آزاد دریای خزر *Salmo trutta caspius* نیازمند توجه جدی به حفظ تنوع ژنتیکی در تکثیر مصنوعی این گونه در معرض خطر انقراض است. در حال حاضر اطلاعی در خصوص چگونگی تأثیر شیوه فعلی تکثیر مصنوعی ماهی آزاد بر اندازه جمعیت مؤثر مولدین که پارامتری مهم در حفظ تنوع ژنتیکی نسل بعد می باشد در دست نیست. شیوه فعلی تکثیر مصنوعی ماهی آزاد که شامل افزودن مایع منی دو تا چهار مولد نر بر روی مخلوط تخمک همین تعداد مولد ماده می باشد، در قالب دو تیمار مختلف بررسی گردید. در تیمار اول تعداد دو و در تیمار دوم تعداد چهار مولد نر، امکان مشارکت در لقاح تخمک های چهار مولد ماده را داشتند. ردیابی والدین و نسل F_1 با استفاده از نرم افزار (Family Assignment) FAP (Program) پس از بررسی اولیه تنوع ژنتیکی ۹ آغازگر ریزماهوره در هشت مولد مورد تحقیق و انتخاب سه آغازگر که دارای بیشترین میزان تنوع ژنتیکی بودند، انجام شد. بیش از ۹۸ درصد از آلون های تولید شده به شیوه لقاح مخلوط در هر دو تیمار به والدین خود منتسب شدند. مشارکت متفاوت مولدین نر و ماده در تولید آلون ها در هر دو تیمار باعث کاهش اندازه مؤثر مولدین نسبت به تعداد واقعی مولدین و در نتیجه کاهش تنوع ژنتیکی گردید. در تیمار دوم، تنها یکی از چهار مولد نر مورد استفاده حدود ۷۰ درصد و سه مولد دیگر مجموعاً حدود ۳۰ درصد از آلون ها را تولید نمودند. به نظر می رسد عامل اصلی مشارکت نامتعادل مولدین نر در تولید آلون ها، پدیده رقابت اسپرم در تکثیر مصنوعی این گونه باشد. بررسی بیشتر رقابت اسپرم و ارتباط آن با خصوصیات کیفی اسپرم مولدین، مدیران مراکز تکثیر را در اتخاذ الگوی لقاح مناسب جهت حفظ تنوع ژنتیکی نسل بعد یاری خواهد نمود.

واژه های کلیدی

تنوع ژنتیکی،

اندازه جمعیت مؤثر،

رقابت اسپرم،

ماهی آزاد دریای خزر،

Salmo trutta caspius

مقدمه

تنوع ژنتیکی یک شاخص مهم تنوع زیست شناختی بوده و توانایی سازگاری و مقاومت را در برابر شرایط زیان آور و تغییر یافته زیست محیطی برای جوامع فراهم می‌نماید (۱۵). مشکلی که عموماً در ارتباط با تکثیر و پرورش مصنوعی آزادماهیان و سایر گونه‌هایی که برای بازسازی ذخایر طبیعی استفاده می‌شوند وجود دارد، کاهش میزان تنوع ژنتیکی در مراکز تکثیر است (۷). کاهش میزان تنوع ژنتیکی منجر به اثرات بالقوه مضر روی ویژگی‌های عملکردی مختلف از جمله بازماندگی و رشد در ماهیان می‌گردد و استفاده از این ماهیان برای بازسازی ذخایر، کاهش تنوع ژنتیکی در جوامع طبیعی، افزایش میزان آمیزش خویشاوندی و در نهایت انقراض نسل آنها را به دنبال خواهد داشت (۱۰). میزان انتقال تنوع ژنتیکی در یک جمعیت از یک نسل به نسل بعدی بر اساس اندازه جمعیت مؤثر (Effective Population Size) تعریف می‌شود (۱۳). اندازه جمعیت مؤثر N_e ، تعداد واقعی مولدینی است که در یک برنامه تکثیر از میان تمامی مولدین مورد استفاده (Census size)، در تشکیل لاروها مشارکت می‌کنند. با محاسبه این عامل، مدیران مراکز تکثیر از میزان انتقال تنوع ژنتیکی مولدین به نسل F_1 آگاهی می‌یابند. در مراکز تکثیر اندازه جمعیت مؤثر به واسطه پارامترهای مرتبط با محیط از قبیل اتخاذ شیوه لقاح مخلوط در تکثیر (Mixed milt fertilization) (۲۰۲۰) و مشارکت نابرابر والدین در تشکیل لاروها به‌خصوص میزان مشارکت متغیر جنس نر (۶،۱۱) که بر بازده تکثیر مؤثر است اغلب پایین‌تر از تعداد سرشماری شده مولدین N_e است (۱). این پارامترها مشارکت واقعی مولدین را در تولید مثل و ترکیب ژنتیکی لاروهای حاصله نسبت به تعداد کل مولدین موجود کاهش می‌دهند. در این صورت مولدین تکثیر شده، در تولید لاروها و انتقال صفات خود به نسل بعد به یک میزان مشارکت ژنتیکی نمی‌نمایند و در نتیجه میزان تنوع ژنتیکی در نسل F_1 کاهش خواهد یافت (۱۰،۱).

ماهی آزاد دریای خزر، گونه‌ای از خانواده آزاد ماهیان، از گونه‌های بومی و در معرض خطر انقراض دریای خزر بر اساس معیار IUCN می‌باشد (۴). ذخایر پر ارزش این گونه طی دهه‌های

اخیر به دلیل افزایش فشار صیادی، نابودی مکان‌های تخم ریزی و تخریب زیستگاه‌ها به شدت کاهش یافته است (۱۶). عوامل مذکور منجر به کاهش شدید تکثیر طبیعی این گونه با ارزش شده است و لذا شیلات ایران به منظور حفظ و بازسازی ذخایر ماهی آزاد اقدام به صید مولدین، تکثیر مصنوعی و رهاسازی آن به رودخانه‌های منتهی به دریای خزر نموده است. طبق روند مرسوم سال‌های گذشته تاکنون جهت تکثیر مولدین ماهی آزاد از شیوه لقاح مخلوط به صورت اضافه نمودن مایع منی ۲-۴ مولد نر به صورت انفرادی بر روی مخلوط تخمک همین تعداد مولد ماده استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد اتخاذ این شیوه، امکان مشارکت ژنتیکی متعادل همه مولدین استفاده شده در تکثیر مصنوعی ماهی آزاد را به دلایل ذکر شده فراهم نمی‌نماید. تا زمان ظهور تکنیک‌های مولکولی ردیابی والدین با استفاده از DNA، ردیابی اطلاعات مربوط به والدین و تعیین میزان مشارکت مولدین در لقاح تخمک‌ها و تولید فرزندان، در طی مراحل تفریح و رشد برای بسیاری از گونه‌های آبی پروری دشوار بود. جهت داشتن لاروهای دارای شناسنامه مشخص، گروه‌های لاروی می‌باید به طور جداگانه تا زمانی که بتوان آنها را با استفاده از علائم فیزیکی نشانه گذاری نمود پرورش یابند که این کار هزینه بر و زمان بر بوده و تنها در شرایط آزمایشگاهی قابل انجام است. ظهور نشانگرهای ژنتیکی با منشأ DNA خصوصاً ریزماهورها (Microsatellite)، برقراری اطلاعات مولکولی والدین و تعیین میزان تنوع ژنتیکی را ساده کرده است (۸). نشانگرهای ریزماهوره که توالی‌های کوتاه (۱-۶ جفت باز) تکرار شونده در ژنوم موجودات می‌باشند، یک نوع علائم طبیعی زیست شناختی بوده که پس از لقاح، از والدین به فرزندان منتقل می‌شوند و به دلیل توارث همباز (Codominant)، تنوع بالا و فراوانی در ژنوم، ابزار قدرتمندی برای مطالعات ردیابی والدین می‌باشند (۳). این نشانگرها به طور موفقیت آمیزی جهت بررسی میزان مشارکت واقعی مولدین و تعیین اندازه جمعیت مؤثر در چند گونه ماهی پرورشی از جمله هالیبوت اقیانوس اطلس *Hippoglossus hippoglossus* (۸)، باس آسیایی *Lates calarifer* (۶)، کفشک سنگالی *Solea senegalensis* (۱۱) و آزاد ماهی اقیانوس اطلس

منی دو مولد نر دیگر (شماره ۳ و ۴) برای باروری مخلوط تخمک‌ها استفاده گردید. تخم‌های لقاح یافته در تیمارهای مختلف تا مرحله جذب کامل کیسه زرده انکوباسیون شده و درصد لقاح و میزان تفریح در تیمارهای مختلف محاسبه شد. در هر تکرار، پس از جذب کیسه زرده تعداد حداقل ۱۵ آلوین به ازای امکان تشکیل هر جفت تلاقی، نمونه برداری شده و در اتانول مطلق جهت مطالعات مولکولی تثبیت شدند. به‌طور کلی، ۲۵۰ آلوین از تیمار اول و ۵۰۰ آلوین از تیمار دوم نمونه برداری گردیدند. همچنین همزمان با زیست سنجی اولیه مولدین بخشی از باله دمی آنها در اتانول مطلق جهت تجزیه مولکولی تثبیت گردید.

استخراج DNA و واکنش زنجیره‌ای پلیمرز

DNA ژنومی از باله دمی مولدین به روش استاندارد فنل-کلروفرم (۱۴) و از آلوین کامل به روش Chelex[®] Resin (۱۹) در آزمایشگاه ژنتیک دانشگاه Santiago de Compostela کشور اسپانیا استخراج شد. مولدین با استفاده از ۹ آغازگر ریزماهواره (جدول ۱) تعیین ژنوتیپ شدند و نهایتاً ۳ آغازگر ۵۸ Str، ۷۳ Str و ۵۹۱ Str که میزان بالاتری از تنوع ژنتیکی را در ماهی آزاد دریای خزر نشان دادند به منظور تجزیه ردیابی والدین در تیمارها انتخاب شدند. واکنش زنجیره‌ای پلیمرز با استفاده از ۳۰ نانوگرم DNA در حجم نهایی ۱۵ میکرولیتر برای هر واکنش و میزان هر آغازگر ۰/۶۶ μM، مقدار dNTP برابر با ۱۰۰ μM، PCR buffer با غلظت ۱ X، MgCl₂ برابر با ۱/۵ mM و Taq DNA polymerase برابر با ۰/۵ U (۵۹۱ Str برابر با ۱ U) و با تغییر دامنه حرارتی و تنظیم دمای الحاق مطابق جدول ۱ و برنامه اجرایی دستگاه ترموسایکلر (MJ research PTC-100) مطابق جدول ۲ بهینه گردید. ژنوتیپ مولدین و آلوین‌های تولید شده در آغازگرهای ریزماهواره با استفاده از دستگاه توالی‌یاب خودکار ABI PRISM[®] 3730 (Applied Biosystems) به دست آمد و امتیازدهی به آل‌ها با نرم افزار GeneMapper نسخه ۴ انجام شد.

Salmo salar (۷) استفاده شده‌اند. در یکی از جدیدترین تحقیقات صورت پذیرفته در آزادماهیان، مطالعه مشارکت مولدین نر و ماده ماهی آزاد اقیانوس اطلس در تولید آلوین‌ها در شیوه لقاح مخلوط و تأثیر آن بر میزان تنوع ژنتیکی با استفاده از شش آغازگر ریزماهواره، بیانگر مشارکت نامتعادل مولدین نر و ماده در آلوین‌های تولید شده بود که در نهایت باعث کاهش میزان تنوع ژنتیکی گردید (۷). با توجه به موارد مذکور و اهمیت بازسازی صحیح ذخایر ماهی آزاد دریای خزر در این تحقیق تلاش می‌گردد تا نشانگرهای ریزماهواره دارای تنوع بالا برای مطالعات ردیابی ژنتیکی والدین و فرزندان شناسایی شده و در مرحله بعد با استفاده از تکنیک ردیابی والدین، تأثیر روش فعلی تکثیر مصنوعی ماهی آزاد دریای خزر بر میزان اندازه جمعیت مؤثر مولدین ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

تکثیر مولدین، تولید آلوین ها و نمونه برداری

تکثیر مولدین در کارگاه تکثیر آزاد ماهیان کلاردشت و به روش لقاح خشک صورت پذیرفت. تخمک و اسپرم مورد نیاز برای آزمایش‌ها از چهار مولد ماده (۵۵/۷۵±۴/۵۲ cm) و چهار مولد نر (۵۷/۲۵±۳/۰۹ cm) و ۱۸۲۵±۴۹۵/۶۰ gr و ۲۱۵۰±۲۵۳/۳۱ gr ماهی آزاد که در فصل تکثیر ۱۳۸۷ از رودخانه چشمه کيله تنکابن صید شده بودند، استحصال گردید. در شیوه فعلی لقاح مخلوط در کارگاه تکثیر از نسبت متغیر مولدان نر (۲ تا ۴ مولد نر) به ماده (معمولاً ۴ مولد ماده) استفاده می‌شود، لذا در این بررسی نیز تکثیر مولدین در دو تیمار مختلف (در دو تکرار همزمان) با استفاده از ۲ مولد نر در تیمار اول و ۴ مولد نر در تیمار دوم و با حجم نامساوی مایع منی و همچنین تعداد نامساوی تخمک انجام پذیرفت. تخمک چهار مولد ماده (شماره ۱، ۲، ۳ و ۴) به طور کامل استحصال شده و به آرامی با هم مخلوط شدند تا در چهار قسمت مساوی به عنوان دو تکرار برای تیمار اول و دو تکرار برای تیمار دوم مورد استفاده قرار گیرند. در تیمار اول، از مایع منی دو مولد نر (شماره ۱ و ۲) و در تیمار دوم، از باقیمانده منی دو مولد نر مذکور و همچنین مایع

جدول شماره ۱- آغازگرهای ریزماهواره استفاده شده در تجزیه اولیه و تعیین ژنوتیپ مولدین ماهی آزاد دریای خزر

آغازگر	ترادف	شماره بانک ژنی یا مرجع	دمای الحاق (°C)
Ssa ۸۵	5'-AGGTGGGTCTCCAAGCTAC-3' 5'-ACCCGCTCCTCACTTAATC-3'	U43692	۶۰
Str ۶۰	5'-CGGTGTGCTTGTTCAGGTTTC-3' 5'-GTCAAGTCAGCAAGCCTCAC-3'	(۵)	۶۰
Str ۱۵	5'-TGCAGGCAGACGGATCAGGC-3' 5'-AATCCTCTACGTAAGGGATTTGC-3'		۵۸
Str ۷۳	5'-CCTGGAGATCCTCCAGCAGGA-3' 5'-CTATTCTGCTTGTAAGTACTAGACCTA-3'		۵۸
Str ۵۸	5'-AACAATGACTTTCTCTGAC-3' 5'-AAGGACTTGAAGGACGAC-3'	U60223	۵۶
Str ۸۵	5'-GGAAGGAAGGGAGAAAGGT-3' 5'-GGAAATCAATACTAACA-3'	(۱۲)	۵۵
Str ۵۴۳	5'-ATTCTTCGGCTTTCTCTTGC-3' 5'-ATCTGGTCAGTTTCTTTATG-3'		۵۵
Str ۵۹۱	5'-CTGGTGGCAGGATTTGA-3' 5'-CACTGTCTTTCGTTCTT-3'		۵۵
SsoSI ۴۳۸	5'-GACAACACACAACCAAGGCAC-3' 5'-TTATGCTAGGTCTTTATGCATTGT-3'	Z49134	۵۵

جدول شماره ۲- برنامه اجرایی دستگاه ترموسایکلر برای تکثیر DNA به روش ریزماهواره

مراحل PCR	دما (درجه سانتیگراد)	زمان	تعداد چرخه
واسرشته سازی اولیه	۹۵	۱۰ دقیقه	۱
واسرشته سازی الحاق	۹۴	۴۵ ثانیه	۳۵
بسط	۶۰-۵۵	۵۰ ثانیه	
	۷۲	۵۰ ثانیه	
بسط نهایی	۷۲	۱۰ دقیقه	۱

ردیابی والدین و اندازه جمعیت مؤثر

پارامترهای تنوع ژنتیکی (تعداد آلل‌ها N_A ^۱، هتروزیگوسیتی مورد انتظار He^2 و مشاهده شده Ho^3 ، ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسیم (PIC^4) و فراوانی آلل‌های خاموش (NU) برای هر آغازگر ریزماهواره در ۸ مولد مورد تحقیق با استفاده از نرم افزار CERVUS نسخه ۳ محاسبه شد (۹). قدرت ردیابی والدین هنگامی که اطلاعات ژنتیکی یکی از والدین موجود نباشد ($Excl1$) و یا اطلاعات ژنتیکی هر دو والد موجود باشد ($Excl2$) با استفاده از نرم افزار CERVUS نسخه ۳ تعیین گردید. قدرت ترکیبی ردیابی والدین (CPE^5) در مجموع آغازگرها برای $Excl1$ و $Excl2$ نیز طبق روابط A و B محاسبه شد (۱۸).

رابطه A: مقدار PE^6 هر آغازگر = قدرت ردیابی هر آغازگر
($Excl$) منهای عدد یک

رابطه B: مقدار CPE = حاصلضرب PE تمام آغازگرهای مورد مطالعه منهای عدد یک

ردیابی والدین بر اساس روش حذف^۷ و با استفاده از ۳ آغازگر دارای بیشترین قدرت ردیابی از طریق نرم افزار FAP نسخه ۳/۵ انجام گردید (۱۷). بر پایه اطلاعات نرم افزار فوق، تعداد آلل‌های تولید شده توسط هر مولد ماده و نر در هر تیمار تعیین شده و سپس درصد مشارکت هر مولد در تولید آلل‌ها محاسبه شد. از آزمون مربع کای جهت تعیین میزان انحراف تعداد آلل‌های تولید شده توسط هر مولد ماده و نر هم به طور کلی و هم در خصوص هر جفت مولد ترکیب شده، از فرض اولیه مشارکت متعادل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. برای محاسبه N_e از رابطه C استفاده گردید.

رابطه C: $N_e = 4(n-2) / ((Ks+Vs/Ks) + (Kd+Vd/Kd) - 2)$
در این رابطه n تعداد آلل‌ها نمونه برداری شده، Ks و Kd میانگین تعداد آلل‌ها تولید شده توسط مولدین نر و ماده و Vs و Vd

¹ Number of alleles

² Expected Heterozygosity

³ Observed Heterozygosity

⁴ Polymorphic Information Content

⁵ Combined Probability of Exclusion

⁶ Probability of Exclusion

⁷ Exclusion

نتایج

درصد لقاح و میزان تفریح

میانگین درصد لقاح در تحقیق حاضر در تیمار اول $91 \pm 1/6$ درصد و در تیمار دوم $92 \pm 1/4$ درصد محاسبه شد که فاقد تفاوت معنی‌دار بود ($P > 0/05$). چشم زدگی تخم‌های لقاح یافته در دمای ۷ درجه سانتیگراد ۳۲ روز و تفریح تخم‌های چشم زده ۳۰ روز به طول انجامید و با موفقیت $89 \pm 1/7$ درصد در تیمار اول و $90 \pm 1/2$ درصد در تیمار دوم همراه بود که تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P > 0/05$). جذب کامل کیسه زرده آلل‌ها نیز ۳۱ روز طول کشید. درصد بالای لقاح و تفریح بیانگر رسیدگی مناسب مولدین و موفقیت عمل تکثیر و همچنین شرایط مساعد دمایی و مکانی در انکوباسیون تخم‌ها می‌باشد.

تنوع ژنتیکی مولدین ماهی آزاد

نتایج تجزیه تنوع ژنتیکی مولدین با استفاده از ۹ آغازگر ریزماهواره نشان داد که تعداد آلل‌ها در مولدین از یک آلل در آغازگرهای ۶۰ Str و ۴۳۸ SsoSI تا ۹ آلل در آغازگر ۵۸ Str و با میانگین ۴ آلل متغیر بود (جدول ۳). هتروزیگوسیتی مشاهده شده و مورد انتظار دامنه‌ای بین صفر در آغازگرهای ۶۰ Str و ۴۳۸ SsoSI تا یک و ۰/۹۰۸ در آغازگر ۵۸ Str داشت. میزان بیشتر هتروزیگوسیتی مشاهده شده نسبت به مورد انتظار (Heterozygosity excess) خصوصاً در مورد آغازگر ۱۵ Str به دلیل تعداد کم (هشت قطعه) مولدین تجزیه شده می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه تنوع ژنتیکی مولدین، سه آغازگر ۵۸ Str، ۷۳ Str و ۵۹۱ Str جهت ردیابی والدین انتخاب شدند. میانگین تعداد آلل‌ها و هتروزیگوسیتی مورد انتظار برای این سه آغازگر به ترتیب ۷ و ۰/۸ بود. نتایج تخمین فراوانی آلل‌های خاموش در همه آغازگرها منفی بود (جدول ۳).

جدول ۳- تخمین پارامترهای تنوع ژنتیکی در مولدین ماهی آزاد دریای خزر با استفاده نرم افزار CERVUS نسخه ۳

NU.	Excl2	Excl1	PIC	He	Ho	N.A.	آغازگر
-۰/۲۶۹	۰/۲۵۲	۰/۱۴۵	۰/۴۴۷	۰/۵۷۵	۰/۸۷۵	۳	Str ۱۵
-۰/۰۷۷	۰/۷۰۶	۰/۵۴۳	۰/۸۳۵	۰/۹۰۸	۱	۹	*Str ۵۸
-	-	-	-	-	-	۱	Str ۶۰
-۰/۰۹۳	۰/۳۲۹	۰/۱۹۵	۰/۵۳۰	۰/۶۵۰	۰/۶۲۵	۴	*Str ۷۳
-۰/۰۴۶	۰/۰۵۵	۰/۰۰۷	۰/۱۱۰	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۲	Str ۸۵
-۰/۰۴۰	۰/۴۷۲	۰/۳۰۱	۰/۶۷۵	۰/۷۷۵	۰/۷۵۰	۴	Ssa ۸۵
-	-	-	-	-	-	۱	SsoSI ۴۳۸
-۰/۱۵۲	۰/۲۳۳	۰/۰۹۰	۰/۳۸۷	۰/۴۴۲	۰/۵۰۰	۴	Str ۵۴۳
-۰/۰۵۳	۰/۶۱۱	۰/۴۳۱	۰/۷۶۶	۰/۸۴۲	۰/۸۷۵	۸	*Str ۵۹۱
	-	-	۰/۴۱۶	۰/۴۷۹	۰/۵۲۷	۴	میانگین تمام آغازگرها
	-	-	۰/۷۱۰	۰/۸۰۰	۰/۸۳۳	۷	میانگین آغازگرهای منتخب

آغازگرهای انتخاب شده با علامت ستاره مشخص شده‌اند. N.A تعداد آلل‌ها، He هتروزیگوسیتی مورد انتظار، Ho هتروزیگوسیتی مشاهده شده، PIC ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم و NU فراوانی آلل‌های خاموش می‌باشد.

ردیابی قرابت والدین

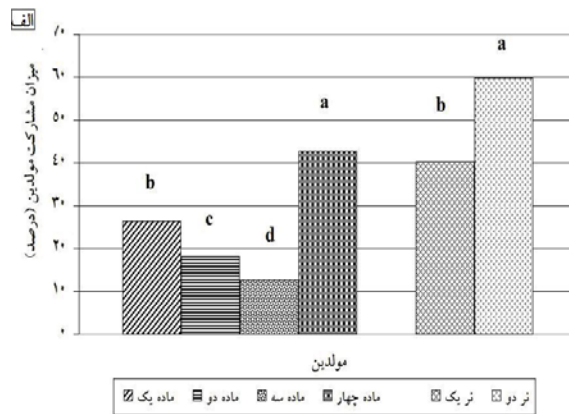
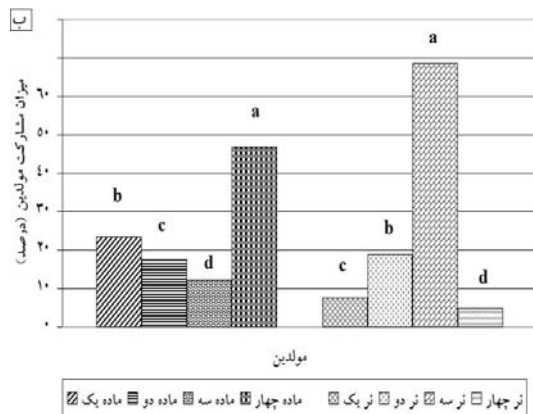
قدرت ترکیبی ردیابی والدین برای مجموع آغازگرها ۰/۸۸۶ (Excl1) و ۰/۹۷۸ (Excl2) و برای سه آغازگر انتخاب شده ۰/۷۹۰ (Excl1) و ۰/۹۲۳ (Excl2) در مولدین استفاده شده بود، هرچند قدرت واقعی ردیابی والدین در تیمار اول به دلیل استفاده از تنها ۲ مولد نر طبیعتاً بیشتر از مقدار ذکر شده می‌باشد. تجزیه ردیابی والدین در خصوص آلون‌های تولید شده، جفت مولد نر و ماده تشکیل دهنده ۹۸/۴ درصد از آلون‌های تولید شده در تیمار اول و ۹۸/۸ درصد از آلون‌های تولید شده در تیمار دوم را مشخص ساخت.

مشارکت مولدین در تولید آلون‌ها و اندازه جمعیت مؤثر

در تیمار اول مولد نر شماره دو ۵۹/۷۶ درصد و مولد ماده شماره چهار ۴۲/۶۹ درصد از آلون‌ها را تولید نمودند. میزان کلی مشارکت در تولید آلون‌ها در بین مولدین نر ($P=۰/۰$, $x^2=۹/۳۶$) و در بین مولدین ماده ($P=۰/۰$, $x^2=۵۰/۵۲$) به طور معنی‌داری

متفاوت بود (شکل ۱). میزان مشارکت همچنین بین مولدین ماده در ترکیب با مولد نر شماره یک ($P=۰/۰$, $x^2=۳۱/۸۶$) و در ترکیب با مولد نر شماره دو متفاوت بود ($P=۰/۰$, $x^2=۲۶/۷۴$). علاوه بر این، میزان مشارکت بین مولدین نر در ترکیب با مولد ماده شماره یک متفاوت ($P=۰/۰$, $x^2=۱۲/۹۳$) اما در ترکیب با مولدین ماده شماره دو، سه و چهار فاقد تفاوت معنی‌دار بود ($P \geq ۰/۰۵$). تفاوت در میزان مشارکت مولدین ماده و نر در تولید آلون‌ها باعث کاهش N_e به ۴/۶۹ در این تیمار در مقایسه با N_e برابر با ۶ گردید.

در تیمار دوم میزان کلی مشارکت در تولید آلون‌ها در بین مولدین نر ($P=۰/۰$, $x^2=۵۲۲/۹۲$) و در بین مولدین ماده ($P=۰/۰$, $x^2=۱۳۷/۴۶$) به طور معنی‌داری متفاوت بود. در بین مولدین نر، مولد نر شماره سه بیش از ۶۸ درصد آلون‌ها و در بین مولدین ماده، مولد ماده شماره چهار بیش از ۴۶ درصد آلون‌ها را تولید نمود (شکل ۱).



شکل ۱- (الف) میزان مشارکت مولدین در تولید آلودین‌های ماهی آزاد دریای خزر در تیمار اول با دو مولد نر و چهار مولد ماده و (ب) میزان مشارکت مولدین در تولید آلودین‌های ماهی آزاد دریای خزر در تیمار دوم با چهار مولد نر و چهار مولد ماده

ترتیب ۰/۸۰۸، ۰/۸۳۳ و ۰/۷۰۲ و در آلودین‌ها به ترتیب ± 0.009 ، ۰/۷۱۴، ۰/۷۳۹ ± 0.014 و ۰/۶۶۲ ± 0.010 بود (جدول ۴).

پارامترهای تنوع ژنتیکی مولدین و آلودین‌ها در تیمار دوم در جدول ۵ ارائه شده است. تعداد آلل‌ها بین مولدین و آلودین‌ها در دو آغازگر Str ۵۸ و Str ۷۳ یکسان بود ولی در آغازگر Str ۵۹۱ در آلودین‌ها نسبت به مولدین کمتر بود. هتروزیگوسیتی مورد انتظار و مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم در هر سه آغازگر مورد بررسی در آلودین‌ها نسبت به والدین کاهش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). میانگین هتروزیگوسیتی مورد انتظار و مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم در والدین به ترتیب ۰/۸، ۰/۸۳۳ و ۰/۷۱۰ و در آلودین‌ها به ترتیب ± 0.009 ، ۰/۶۸۴ ± 0.011 و ۰/۷۲۳ ± 0.008 بود.

میزان مشارکت همچنین بین مولدین ماده در ترکیب با مولد نر شماره ۱ ($x^2 = 10/21$ ، $P = 0.01$)، شماره ۲ ($x^2 = 8/11$ ، $P = 0.04$)، شماره ۳ ($x^2 = 116/87$ ، $P = 0.0$) و شماره ۴ ($x^2 = 10/33$)، $P = 0.01$) به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. میزان مشارکت بین مولدین نر نیز در ترکیب با مولد ماده شماره یک ($x^2 = 120/82$ ، $P = 0.0$)، شماره ۲ ($x^2 = 80/12$ ، $P = 0.0$)، شماره ۳ ($x^2 = 48/93$)، $P = 0.0$) و شماره ۴ ($x^2 = 280/04$ ، $P = 0.0$) تفاوت معنی‌داری داشت. تفاوت زیاد در میزان مشارکت مولدین ماده و نر در تولید آلودین‌ها باعث کاهش شدید N_e به ۴/۲۵ در این تیمار در مقایسه با N_e برابر با ۸ گردید.

مقایسه تنوع ژنتیکی در مولدین و آلودین‌های تولید شده

پارامترهای تنوع ژنتیکی مولدین و آلودین‌ها در تیمار اول در جدول ۴ ارائه گردیده است. تعداد آلل‌ها بین مولدین و آلودین‌ها در هر سه آغازگر یکسان بود. هتروزیگوسیتی مورد انتظار و مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم در هر سه آغازگر ریزماهواره مورد بررسی در آلودین‌ها نسبت به والدین کاهش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). میانگین هتروزیگوسیتی مورد انتظار و مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم در والدین به

جدول ۴- تخمین پارامترهای تنوع ژنتیکی در مولدین و آلون‌های ماهی آزاد دریای خزر با ۳ آغازگر منتخب ریزماهواره در تیمار اول

PIC		Ho		He		N.A.*		
والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	آغازگر
۰/۷۹۵	۰/۸۳۰	۰/۸۸۶	۱	۰/۸۲۷	۰/۹۲۴	۸	۸	Str ۵۸
۰/۵۵۰	۰/۵۵۹	۰/۶۴۲	۰/۶۶۷	۰/۶۲۸	۰/۶۸۲	۴	۴	Str ۷۳
۰/۶۴۳	۰/۷۱۹	۰/۶۹۱	۰/۸۳۳	۰/۶۸۹	۰/۸۱۸	۶	۶	Str ۵۹۱
^b ۰/۶۶۲ ± ۰/۰۱۰		^a ۰/۷۰۲		^b ۰/۷۳۹ ± ۰/۰۱۴		^a ۰/۸۰۸		میانگین

* N.A. تعداد آلل‌ها، He هتروزیگوسیتی مورد انتظار، Ho هتروزیگوسیتی مشاهده شده و PIC ظرفیت اطلاعات پلی مورفسم می‌باشد.

جدول ۵- تخمین پارامترهای تنوع ژنتیکی در مولدین و آلون‌های ماهی آزاد دریای خزر با ۳ آغازگر منتخب ریزماهواره در تیمار دوم

PIC		Ho		He		N.A.*		
والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	والدین	آلون ها	آغازگر
۰/۷۹۱	۰/۸۳۵	۰/۹۳۵	۱	۰/۸۱۲	۰/۹۰۸	۹	۹	Str ۵۸
۰/۴۶۵	۰/۵۳۰	۰/۵۵۳	۰/۶۲۵	۰/۵۵۷	۰/۶۵۰	۴	۴	Str ۷۳
۰/۶۳۵	۰/۷۶۶	۰/۶۸۳	۰/۸۷۵	۰/۶۸۵	۰/۸۴۲	۷	۸	Str ۵۹۱
^b ۰/۶۳۰ ± ۰/۰۰۸		^a ۰/۷۱۰		^b ۰/۷۲۳ ± ۰/۰۱۱		^a ۰/۸		میانگین

* N.A. تعداد آلل‌ها، He هتروزیگوسیتی مورد انتظار، Ho هتروزیگوسیتی مشاهده شده و PIC ظرفیت اطلاعات پلی مورفسم می‌باشد.

بحث

استفاده از تعداد حداقل نشانگرهای ریزماهواره و در عین حال دستیابی به میزان بالای قدرت ردیابی والدین در شیوه لقاح مخلوط گامت‌ها از اهداف عمده برنامه‌هایی است که تکنیک ردیابی والدین را در حفاظت از ذخایر ژنتیکی آبزیان به کار می‌برند (۳). در تحقیق حاضر، این تکنیک موفقیت بیش از ۹۸ درصد را در ماهی آزاد دریای خزر با استفاده از تنها سه آغازگر ریزماهواره نشان داد. شناسایی و استفاده از نشانگرهای دارای بیشترین تنوع ژنتیکی در ماهی آزاد که بر اساس تجزیه اولیه تعداد زیادی از نشانگرهای ریزماهواره گزارش شده در آزاد ماهیان تعیین شده بودند و همچنین عدم وجود آلل‌های خاموش در آغازگرهای استفاده شده در مولدان از جمله دلایل مؤثر در رسیدن به درصد بالای ردیابی در تیمارها بود (۱۱). از دیگر عوامل مؤثر در رسیدن به قدرت ردیابی بالا در این تکنیک، وجود آلل‌های

یگانه (Unique alleles) در هر سه آغازگر ریزماهواره در مولدین استفاده شده بود. در آغازگر Str ۵۸، ۵۶ درصد از آلل‌های تشخیص داده شده، آلل‌های یگانه بودند که فقط در یک مولد وجود داشتند. در آغازگر Str ۷۳، ۵۰ درصد و در آغازگر Str ۵۹۱ نیز ۶۳ درصد از آلل‌ها، آلل‌های یگانه بودند.

نگهداری سطح بالای تنوع ژنتیکی و سطح پایین آمیزش خویشاوندی از هدف‌های اصلی در برنامه‌های حفاظت تنوع ژنتیکی (Conservation programs) می‌باشد (۶). در ماهی آزاد دریای خزر نتایج ردیابی والدین مؤید مشارکت نابرابر مولدین در تولید آلون‌ها در هر دو تیمار مورد بررسی بود. در تیمار اول، مشارکت کلی مولد نر شماره دو حدود ۲۰ درصد بیشتر از مولد نر اول بود و در بین مولدین ماده نیز مولد شماره ۴ بیش از ۴۲ درصد آلون‌ها را تولید نمود. مشارکت نامتعادل مولدین در این تیمار باعث کاهش N_e/N_c به ۰/۷۸ گردید. در تیمار دوم نیز مولد

نر شماره سه حدود ۷۰ درصد و در بین مولدین ماده نیز مولد شماره ۴ حدود ۴۷ درصد آلون‌ها را تولید نمود. مشارکت بسیار نامتعادل مولدین در این تیمار باعث کاهش شدید N_e/N_e به ۰/۵۳ یعنی در حدود نصف اندازه سرشماری شده مولدین گردید. کاهش N_e در مولدین که کاهش تنوع ژنتیکی در فرزندان را به دنبال دارد به عنوان یک بحران در مراکز تکثیر مصنوعی ماهیان مطرح می‌باشد (۱،۶). تحقیقات صورت گرفته در ماهی باس آسیایی (۶)، کفشک سنگالی (۱۱) و آزاد ماهی اقیانوس اطلس (۷) نیز بر این نکته دلالت دارند که عدم مشارکت یکسان همه مولدین شرکت داده شده در تکثیر به شیوه لقاح مخلوط، موجب کاهش N_e در مولدین و در نتیجه کاهش تنوع ژنتیکی در آلون‌ها می‌شود. در تطابق با کاهش N_e ، دیگر پارامترهای تنوع ژنتیکی از قبیل هتروزیگوسیتی مورد انتظار و مشاهده شده و ظرفیت اطلاعات پلی مورفیسم نیز دارای کاهش معنی‌دار در آلون‌ها نسبت به مولدین بودند. کاهش تنوع ژنتیکی از مولدان به آلون‌ها در تطابق با تحقیق Porta و همکاران در کفشک سنگالی (۱۱) و تحقیق Jackson و همکاران در هالیبوت اقیانوس اطلس (۸) بوده و به دلیل عدم مشارکت متعادل مولدان در تولید فرزندان و انتقال نامناسب ذخیره ژنی به آنها در شیوه لقاح مخلوط گامت‌ها اتفاق می‌افتد.

بررسی میزان مشارکت مولدان در تولید آلون‌ها در تیمارهای اول و دوم نشان می‌دهد که در تیمار دوم با اضافه نمودن دو مولد نر جدید و افزایش تعداد مولدین از دو به چهار عدد، اختلافات بسیار شدیدی در میزان مشارکت مولدان نر نسبت به میزان مشارکت مولدان ماده به وقوع پیوست به طوری که یکی از مولدین به تنهایی حدود ۷۰ درصد و سه مولد دیگر در مجموع حدود ۳۰ درصد از آلون‌ها را تولید نمودند. دیگر گزارش‌های منتشر شده در زمینه لقاح مخلوط نیز عمدتاً به میزان مشارکت متغیر و نامتعادل مولدان نر در این شیوه اشاره می‌نمایند. در ماهی کفشک سنگالی، تنها ۱۸ درصد مولدین نر در تولید لاروها به شیوه لقاح مخلوط مشارکت داشتند و این مشارکت کم مولدین نر در تولید لاروها، کاهش N_e در مولدین و کاهش تنوع ژنتیکی در فرزندان را موجب گردید (۱۱). در ماهی باس آسیایی نیز از بین

۲ مولد ماده و ۷ مولد نر مورد آزمایش، ۵۵ درصد لاروهای تولید شده از یک مولد نر بودند. محققان بیان می‌کنند که اختلافات زیاد در میزان مشارکت جنس نر در تولید لاروها به دلیل بروز پدیده رقابت اسپرم (Sperm competition) در شیوه لقاح مخلوط گامت‌ها می‌باشد (۲،۲۰). رقابت اسپرم بدین معنی است که در هنگام بارورسازی تخمک‌ها اسپرم چند مولد نر برای لقاح تخمک‌ها با هم به رقابت بپردازند. به نظر می‌رسد در ماهی آزاد دریای خزر نیز رقابت اسپرم دلیل اصلی مشارکت نامتعادل مولدین نر در تولید آلون‌ها در شیوه لقاح مخلوط گامت‌ها و با حجم نامساوی مایع منی باشد. بررسی دقیق‌تر پدیده رقابت اسپرم در شرایط یکسان سازی حجم مایع منی به ازای هر مولد نر به عنوان موضوع مهمی برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود. در دیگر تحقیقات صورت پذیرفته در ماهی باس آسیایی (۶)، کفشک سنگالی (۱۱) و ماهی هالیبوت اقیانوس اطلس (۸) که گونه‌هایی با لقاح جمعی (Mass spawning) هستند نیز با وجود حجم نامساوی مایع منی و تعداد نامساوی تخمک به ازای هر مولد نر و ماده، رقابت اسپرم به عنوان عامل احتمالی نامتعادل شدن مشارکت مولدان نر بیان گردید. عمده تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه ردیابی والدین و فرزندان در آبی پروری، بر مشارکت متغیر مولدان نر در تولید فرزندان تأکید داشته‌اند اما نگاهی عمیق‌تر به نتایج به دست آمده در تحقیق پیش رو نشان می‌دهد که مشارکت مولدان ماده نیز هر چند به میزان کمتر نسبت به مولدان نر، نامتعادل بود. مشارکت نامتعادل مولدان ماده در تولید آلون‌ها که بر کاهش N_e در تیمارها تأثیرگذار بود، احتمالاً به دلیل تعداد نامساوی تخمک‌های استفاده شده به ازای هر مولد می‌باشد. همانگونه که بیان گردید در شیوه فعلی تکثیر مصنوعی ماهی آزاد که تحقیق پیش رو مطابق آن تنظیم شده بود گامت‌های استحصال شده از مولدان نر و ماده بدون در نظر گرفتن حجم مایع منی و تعداد تخمک به ازای هر مولد به شیوه مخلوط لقاح داده می‌شوند. در نتیجه، تعداد نابرابر تخمک‌ها می‌تواند منجر به تفاوت در تعداد آلون‌های تولید شده به ازای هر مولد ماده شده و منجر به کاهش N_e گردد.

7. Horreo J L, Machado-Schiaffino G, Griffiths A, Bright D, Stevens J, Garcia-Vazquez E (2008) Identification of differential broodstock contribution affecting genetic variability in hatchery stocks of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 280:89-93
8. Jackson T R, Martin-Robichaud D J, Reith M E (2003) Application of DNA markers to the management of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) broodstock. *Aquaculture*, 220:245-259. Kalinowski S T, Taper M L, Marshall T C (2007) Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology*, 16:1099-1106
10. Machado-Schiaffino G, Dopico E, Garcia-Vazquez E (2007) Genetic variation losses in Atlantic salmon stocks created for supportive breeding. *Aquaculture*, 264:59-65
11. Porta J, Porta J M, Martinez-Rodriguez G, Alvarez M D C (2006) Development of a microsatellite multiplex PCR for Senegalese sole (*Solea senegalensis*) and its application to broodstock management. *Aquaculture*, 256:159-166
12. Presa P, Guyomard R (1996) Conservation of microsatellites in three species of salmonids. *Fish Biology*, 49:1326-1329
13. Primack R B (1998) The problems of small populations. *Essentials of conservation biology*. Sinauer Associates, Sunderland, 253-276
14. Sambrook J, Fritsch E F, Maniatis T (1989) *Molecular cloning: a laboratory manual*, Second edition. Cold Spring Harbor Laboratory press, New York
15. Snyder N F R, Derrickson S R, Beissinger S R, Wiley J W, Smith T B, Toone W D, Miller B (1996) Limitations of captive breeding in endangered species recovery. *Conservation Biology*, 10:338-348
16. Sonstebo J H, Borgstrom R, Heun M (2007) Genetic structure of brown trout (*salmo trutta*) from the Hardangervidda mountain plateau (Norway) analyzed by microsatellite DNA: a basis for conservation guidelines. *Conservation Genetics*, 8:33-44
17. Taggart J B (2007) FAP: an exclusion-based parental assignment program with enhanced predictive functions. *Molecular Ecology Notes*, 7:412-415
18. Vandeputte M, Kocour M, Mauger S, Dupont-Nivet M, De Guerry D, Rodina M, Gela D, Vallod D, Chevassus B, Linhart O (2004) Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 235:223-236
19. Walsh P S, Metzger D A, Higuchi R (1991) Chelex® 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, 10:506-513
20. Wedekind C, Rudolfson G, Jacob A, Urbach D, Muller R (2007) The genetic consequences of Hatchery-induced sperm competition in a salmonid. *Biological Conservation*, 137:180-188

در جمع‌بندی نهایی، شناسایی نشانگرهای ریزماهواره دارای تنوع ژنتیکی بالا در ماهی آزاد دریای خزر و انجام تجزیه ردیابی والدین با استفاده از آنها، با درصد موفقیت بالایی در تعیین مولدین مشارکت کننده در تولید آلومین‌ها و تخمین N_e در مولدین همراه بود. نتایج تجزیه ردیابی والدین نشان داد که مشارکت مولدین در تولید آلومین‌ها در شیوه لقاح مخلوط گامت‌ها نامتعادل بوده و در این خصوص اختلافات زیادی خصوصاً در میزان مشارکت مولدین نر در تولید آلومین‌ها مشاهده گردید. مشارکت نامتعادل مولدین نر و ماده در ترکیب ژنتیکی آلومین‌های ایجاد شده، کاهش N_e در مولدین و در نتیجه کاهش تنوع ژنتیکی در فرزندان را به دنبال داشت. به نظر می‌رسد در خصوص مولدان نر، رقابت اسپرم عامل مهمی در عدم مشارکت یکسان مولدین در تولید آلومین‌ها در ماهی آزاد دریای خزر به شیوه لقاح مخلوط باشد. بررسی بیشتر رقابت اسپرم و ارتباط آن با خصوصیات کیفی اسپرم مولدین در شرایط یکسان سازی حجم مایع منی به ازای هر مولد نر، مدیران مراکز تکثیر را در اتخاذ الگوی لقاح مناسب و کنترل بهتر عوامل کاهش دهنده N_e در مولدین و در نتیجه کاهش دهنده تنوع ژنتیکی نسل بعد یاری خواهد نمود.

منابع

1. Brown R C, Woolliams J A, McAndrew B J (2005) Factors influencing effective population size in commercial populations of gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture*, 247:219-225
2. Campton D C (2004) Sperm competition in salmon hatcheries: the need to institutionalize genetically benign spawning protocols. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133:1277-1289
3. Castro J, Pino A, Hermida M, Bouza C, Chavarrías D, Merino P, Sánchez L, Martínez P (2007) A microsatellite marker tool for parentage assessment in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 272:210-216
4. Coad BW (2000) Criteria for assessing the conservation status of taxa (as applied to Iranian freshwater fishes). *Biologia*, 55(5):539-557
5. Estoup A, Largiader C R, Perrot E, Chourrout D (1996) Rapid one-tube DNA extraction for reliable PCR detection of fish polymorphic marker and transgenes. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 5:295-298
6. Frost L A, Evans B S, Jerry D R (2006) Loss of genetic diversity to hatchery culture practices in barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture*, 261:1056-1064