

شناسایی چندشکلی در جایگاه ژنی *IGF-I* و ارتباط آن با فاکتور وضعیت در تاس ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*)

Detection of polymorphism in *IGF-I* gene and its association with condition factor in the Persian sturgeon fish (*Acipenser persicus*)

زهرا زین‌الدینی میمند^۱، سکینه یگانه^{۱*}، قدرت رحیمی میانجی^۲، ایوب فرهادی^۲

۱- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- به‌ترتیب استاد، دانشیار، گروه علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

Zeinaddini Meymand Z¹, Yeganeh S^{*1}, Rahimi-Mianji Gh², Farhadi A²

1. Graduated MSc Student, Associate Professor, Department of Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2. Professor, Associate Professor, Department of Animal Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.yeganeh@sanru.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۷)

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی چندشکلی‌های موجود در ژن *IGF-I* تاس ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) با استفاده از تکنیک PCR-SSCP و هم‌چنین بررسی ارتباط این چندشکلی‌ها با صفات مرتبط به رشد ماهی (فاکتور وضعیت، طول و وزن بدن) بود. در این تحقیق تعداد ۹۵ عدد تاس ماهی ایرانی به‌طور تصادفی از یکی از مزارع پرورشی استان گیلان انتخاب شده و نمونه‌های مورد نیاز برای استخراج DNA از باله دمی جداسازی شدند. DNA به روش نمکی بهینه‌سازی شده استخراج و دو قطعه ۱۷۱ و ۳۶۲ جفت‌بازی به‌ترتیب از نواحی 5'-UTR و 3'-UTR ژن مورد نظر تکثیر شدند. تعیین ژنوتیپ افراد در نمونه‌های تاس ماهی ایرانی، سه الگوی بانندی مختلف K, M و G برای جایگاه‌های ۱۷۱ و ۳۶۲ جفت‌بازی به‌ترتیب با فراوانی‌های ۱۳، ۳۹، ۴۸ و ۳۱، ۴۹، ۲۰ درصد را نشان داد. ژنوتیپ K در جایگاه ژنی 3'-UTR و ژنوتیپ M در جایگاه ژنی 5'-UTR دارای بیش‌ترین فراوانی ژنوتیپی بود. تجزیه و تحلیل نشانگر- صفت با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS هیچ ارتباط معنی‌دار آماری را بین الگوهای بانندی مشاهده‌شده در جایگاه‌های نشانگری و صفات مرتبط با رشد ماهیان مورد بررسی (فاکتور وضعیت، طول و وزن بدن) نشان نداد. با توجه به اهمیت جایگاه *IGF-I* به‌عنوان یک ژن کاندید احتمالی مؤثر بر صفات مرتبط به رشد، مطالعه این جایگاه ژنی در جمعیت‌هایی با اندازه بزرگ‌تر پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی

تاس ماهی ایرانی

چندشکلی

PCR-SSCP

3'-UTR

5'-UTR

Acipenser persicus

مقدمه

ماهیان خاویاری از جمله مهم‌ترین و با ارزش‌ترین ماهیان اقتصادی دریای خزر به دلیل قدمت طولانی و تولید محصولات بسیار با ارزش نظیر خاویار می‌باشند (PeykanHeyrati et al. 2010). تاس ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) یکی از گونه‌های ارزشمند بخش میانی و جنوبی دریای خزر به خصوص بسترهای شنی نواحی نزدیک به ساحل می‌باشد. این گونه نخستین بار توسط بورودین در رودخانه اورال شناسایی شد که برای تخم‌ریزی منحصراً وارد رودخانه‌های بخش جنوبی دریای خزر شده و در رودخانه‌های شمالی خزر دیده نمی‌شود (Salmroudi et al. 2013). گوشت و خاویار تاس ماهی ایرانی دارای ارزش غذایی زیادی می‌باشد، به طوری که گوشت آن ۱۱ درصد چربی و ۱۵/۶ درصد پروتئین دارد و خاویار آن نیز دارای ۱۱ تا ۱۶ درصد چربی و ۲۳ تا ۲۷ درصد پروتئین است. در سواحل ایران، ۱۵/۷۵ درصد از وزن بدن این ماهی را خاویار تشکیل می‌دهد (Abdoli and Naderi, 2008). ماهیان خاویاری بزرگ‌ترین ماهیانی هستند که در آب شیرین یافت می‌شوند. تمام گونه‌های ماهیان خاویاری به دلیل ارزش فراوان، اندازه‌ی بزرگ و آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی و صید بی‌رویه، حداقل در بخشی از محدوده‌ی خود در معرض خطر نابودی قرار دارند (Sattari et al. 2007). طبق ضوابط سازمان جهانی حفاظت از طبیعت در لیست قرمز و از سال ۱۹۹۷ نام این ماهیان در فهرست کنوانسیون بین‌المللی نظارت بر تجارت گونه‌های در معرض خطر (CITES)^۱ قرار گرفته‌است (Aghilinejad et al. 2008). این ماهیان جایگاه مهمی در تاریخ تکاملی ماهیان دارند. تاریخچه آن‌ها به زمان ژوراسیک برمی‌گردد و به همین علت به آن‌ها فسیل زنده می‌گویند (Nelson et al. 2010).

از جمله مهم‌ترین زمینه‌های فعالیت پژوهش‌های ژنتیک آبزیان می‌توان به استفاده از اصول ژنتیک و زیست‌فناوری جهت مدیریت صحیح ذخایر آبزیان، بازسازی جمعیت‌های بومی و حفاظت از ذخیره ژنی و تنوع ژنتیکی در منابع طبیعی و گونه‌های در معرض انقراض اشاره نمود. تنوع ژنتیکی، قابلیت بقای یک گونه یا

جمعیت را از طریق ایجاد توانایی سازگاری با تغییرات محیطی فراهم می‌کند و بنابراین وجود تنوع ژنتیکی برای بقای طولانی مدت یک گونه ضروری است. به طور کلی مدیریت تنوع ژنتیکی در موجودات، نیازمند ارزیابی ساختار ژنتیکی و تفکیک ذخایر گونه مورد نظر است. بنابراین آگاهی و بررسی دایمی وضعیت ژنتیکی گونه‌هایی که در معرض بهره‌برداری و صید بی‌رویه قرار دارند، برای حفظ و مدیریت آن‌ها ضروری است (Sharifi et al. 2012). به دست آوردن اطلاعاتی راجع به تنوع ژنتیکی مولدین وحشی برای مولدگیری موفقیت‌آمیز قبل از تلاش برای توسعه برنامه‌های اصلاح نژاد انتخابی یا افزایش تولید و مدیریت منابع ژنتیکی مهم است. آگاهی از تنوع ژنتیکی ذخائر از مهم‌ترین اهداف مدیریت ذخایر و اصلاح نژاد می‌باشد. نگاه داشتن سطوح کافی تنوع ژنتیکی ظرفیت جمعیت را برای پاسخ به تغییرات محیطی افزایش می‌دهد و نیز موجودات ناخالص نسبت به خالص‌ها در خیلی از صفات اقتصادی مهم مانند رشد، لقاح و مقاومت به بیماری برتری دارند. به طور کلی تنوع زیستی تعداد، غنا و ترکیب موجودات را تحت پوشش قرار داده و در سطح تنوع ژنتیکی بین گونه‌ها، میان گونه‌ها و تنوع در سطح اکوسیستم به مطالعه می‌پردازد. مطالعات روی ژنتیک ماهیان خاویاری تأمین‌کننده اطلاعات مهم برای مدیریت استفاده پایدار و حفاظت گونه‌های خاویاری می‌باشد (Chakmehdouz Ghasemi et al. 2011). از طرفی برنامه‌های انتخاب کلاسیک که بر اساس مشاهدات فنوتیپی صورت می‌پذیرند در بسیاری از موارد ایده‌آل نمی‌باشند، زیرا برخی از صفات در ابتدای زندگی موجود بیان نمی‌شوند و یا این‌که در موارد خاص رکوردگیری از صفات بعد از مرگ حیوان قابل انجام است. در نتیجه استفاده از داده‌های ژنوتیپی به عنوان یک منبع انتخاب، ابزار نیرومندی خواهد بود که می‌تواند در رفع موانع یاد شده مؤثر واقع شود.

سوماتوزنزیس یک صفت چندژنی است که از یک سری مسیرهای فیزیولوژیکی تنظیم‌کننده متابولیسم انرژی و رشد ماهیچه منتج می‌شود. در میان مسیرهای امکان‌پذیر تنظیم‌کننده رشد در مهره‌داران، ژن‌های محور سوماتوتروپیک و زیر خانواده فاکتورهای رشد تغییر شکل یافته به عنوان ژن‌های کاندید در دام و ماهیان بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اگر چه صفات تولیدی

¹ Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora

نقشه‌یابی جایگاه‌های مربوط به صفات کمی (QTL) به‌کار گرفته شده‌است که روش ژن کاندید نامیده می‌شود. ژن‌های کاندید عبارتند از ژن‌های توالی‌یابی شده‌ای که فعالیت زیستی آنها شناخته شده‌است و در تکامل یا فیزیولوژی صفت مورد نظر دخالت دارند. این ژن‌ها ممکن است ژن ساختمانی و یا ژن‌های تنظیمی و یا ژن‌های مؤثر بر مسیرهای بیوشیمیایی بروز صفت مربوطه باشند. به این ژن‌ها، ژن‌های کاندیدای عملکردی اطلاق می‌شود (Womack et al. 1995).

اگرچه مطالعاتی در ارتباط با ژن هورمون رشد و ژن *IGF-II* در ماهیان مختلف با استفاده از نشانگرها و روش‌های مختلف انجام شده است (Juhua؛ Li et al. 2009a, b؛ You et al. 2001, 2002؛ Hu et al. 2013؛ et al. 2010)، اما مطالعه‌ای در مورد تاس‌ماهی ایرانی وجود ندارد، لذا تلاش اصلی در این تحقیق شناسایی چندشکلی ژن کاندید *IGF-I* در جمعیت تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) با توجه به نقش این ژن به‌عنوان یک ژن کاندید برای صفات رشد و نیز اهمیت انکارناپذیر ماهیان خاویاری در تولید خاویار ایران و جهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ۳-۲ گرم از بافت باله دمی ۹۵ عدد تاس‌ماهی ایرانی شامل ۵۵ عدد نمونه ۸ ساله و ۴۰ عدد نمونه ۶/۵ ساله صورت گرفت. نمونه‌ها در زمستان ۱۳۹۲ از یکی از مزارع پرورشی استان گیلان تهیه شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به‌منظور استخراج DNA، در اتانول ۹۶٪ تثبیت شدند. نمونه‌ها تا زمان استخراج DNA، در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. استخراج DNA با روش بهینه‌سازی شده نمکی انجام گرفت (Miller et al. 1988) و کیفیت DNA استخراج شده با روش الکتروفورز بر روی ژل آگاروز یک درصد تعیین شد. وزن و طول کل نیز برای تعیین فاکتور وضعیت اندازه‌گیری شد. فاکتور وضعیت از رابطه $k=W/L^3*100$ محاسبه شد که در آن W وزن ماهی بر حسب گرم و L طول ماهی بر حسب سانتی‌متر است.

برای تکثیر قطعاتی با طول ۱۷۱ و ۳۶۲ جفت‌باز به‌ترتیب از نواحی 5'-UTR و 3'-UTR ژن فاکتور رشد شبه انسولین نوع ۱

تحت تاثیر ژن‌های زیادی قرار می‌گیرند، اما گرایش قابل توجهی برای شناسایی و به‌کارگیری ژن‌های عمده مرتبط با صفات تولیدی وجود دارد، از ژن‌های با اثر عمده که تاکنون مورد شناسایی قرار گرفته‌اند می‌توان به ژن هورمون رشد، گیرنده هورمون رشد و خانواده فاکتورهای مؤثر بر رشد بتا اشاره کرد. از آنجائی‌که محور سوماتوتروپیک نقشی مرکزی در تنظیم فرایند رشد دارد، لذا هر جایگاه ژنی که مؤثر در بیان هورمون‌ها، فاکتورهای رشد و یا پپتیدها در این سیستم باشد می‌تواند به‌عنوان نماینده یک ژن کاندید بالقوه و با اهمیت خاص در افزایش رشد به‌حساب آید (De-Santis and Jerry 2007). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که عمل هورمون رشد از طریق واسطه‌گری پروتئین IGF-I عمل می‌کند. به‌جز منشا کبدی، IGF-I در بسیاری از بافت‌های ماهیان نیز به‌طور موضعی و به‌صورت اتوکراین - پاراکراین ساخته و رهاسازی می‌شود (Salmroudi et al. 2013). رونویسی ژن IGF-I در بسیاری از بافت‌ها از جمله کبد، پانکراس، لوله گوارش، کلیه، قسمت قدامی کلیه، آبشش، تخمدان، بیضه، چشم و مغز ماهیان استخوانی مشاهده شده‌است (Bahrami Kamangar et al. 2010).

روش‌های مختلفی برای شناسایی تفاوت تک‌نوکلئوتیدی^۱ شامل بررسی تغییرات ساختمانی تک‌رشته‌ای (SSCP)^۲ (Sunnucks et al. 2000)، ریزماهورها^۳ و چندشکلی قطعات با طول محدودشده^۴ (Hosseini Salcاده et al. 2014) وجود دارد. PCR-SSCP یک ابزار مناسب برای ارزیابی تنوع ژنتیکی می‌باشد (Kumar et al. 2006)، این روش یک روش ارزان، حساس و ساده برای تشخیص این‌که آیا قطعات DNA در یک توالی خاص به هم مشابهند یا خیر ارائه می‌دهد و بنابراین نیاز به توالی‌یابی را کاهش می‌دهد. این روش به‌طور گسترده‌ای در پژوهش‌های زیستی-دارویی به‌کار می‌رود (Sunnucks et al. 2000).

در روش پویش ژنومی^۵ برای تعیین ژنوتیپی جمعیت حاصل از تلاقی، وقت و زمان زیادی صرف می‌شود. استراتژی دیگری برای

¹ Single nucleotide polymorphism (SNP)

² Single strand conformation polymorphism (SSCP)

³ Microsatellite

⁴ Restricted fragment length polymorphism (RFLP)

⁵ Genom scanning

SSCP (جدول ۳-۶) با ۵ میکرولیتر محصول PCR مخلوط شده و سپس با ورتکس کاملاً همگن شد، سپس رشته‌های DNA به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد دناتوره شده و روی ژل عمودی پلی‌آکریل‌آمید با ۲۹۰-۳۶۰ ولت، الکتروفورز شد. برای بررسی SSCP و مشاهده قطعات از رنگ‌آمیزی به روش نیترات نقره استفاده شد.

پس از تعیین ژنوتیپ تک‌تک نمونه‌ها برای جایگاه مورد بررسی این اطلاعات به‌همراه داده‌های مربوط به وزن، طول و فاکتور وضعیت وارد برنامه Excel شده و پس از ویرایش وارد برنامه SAS 9.1 شده و توسط رویه GLM و با استفاده از مدل زیر تجزیه و تحلیل شدند:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + e_{ij}$$

که Y_{ij} مقدار مشاهده شده برای هر صفت، μ میانگین صفت، G_i اثر جایگاه ژنی مورد نظر، A_j اثر متغیر کمکی سن و e_{ij} اثر تصادفی خطا در جمعیت می‌باشد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

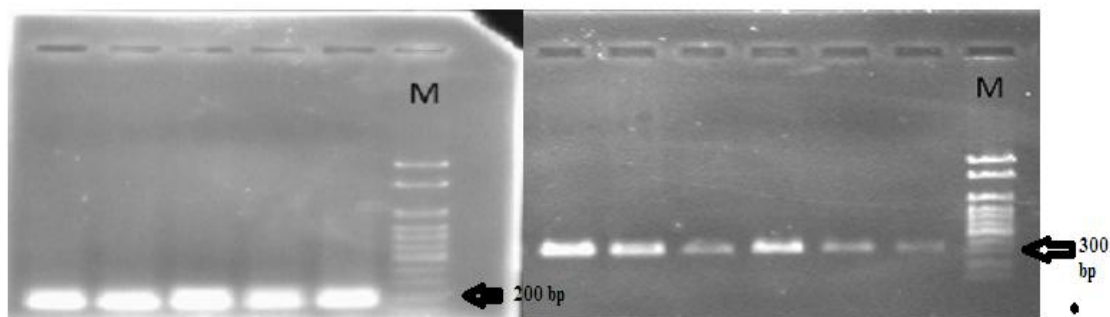
نتایج

دو قطعه با طول ۱۷۱ و ۳۶۲ جفت باز از نواحی 5'-UTR و 3'-UTR از ژن *IGF-I* با موفقیت تکثیر شدند (شکل ۱). تعیین ژنوتیپ با روش SSCP وجود ۳ الگوی بانندی مختلف را در جایگاه های 5'-UTR و 3'-UTR ژن *IGF-I* را مشخص کرد. به طوری که در هر دو جایگاه سه الگوی G، K و M مشاهده شدند (شکل ۲ و ۳).

دو جفت آغازگر اختصاصی با استفاده از توالی‌های موجود در بانک ژن (NCBI) به ترتیب با شماره دسترسی AB512770.1 با استفاده از نرم‌افزار Oligo 7 طراحی شده و به کمک تکنیک PCR قطعات مورد نظر تکثیر شدند. توالی آغازگرها به صورت 5' (forward) TGCTAAATCTCGCTCCCTC-3' و 5' (reverse) CCCAAAACCTACAAAGACCAG-3' برای جایگاه ۱۷۱ جفت‌باز از ناحیه 5'-UTR و 5' (forward) GGTTCACTTGTATTGTTTCATGC-3' و 5' (reverse) CCATTGCTGTATTTGAACCTC-3' برای جایگاه ۳۶۲ جفت‌باز از ناحیه 3'-UTR بودند.

جهت بهینه‌سازی واکنش PCR برنامه‌های حرارتی مختلفی استفاده شد، ولی در نهایت برنامه حرارتی به صورت ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای ۳ دقیقه واسرشت‌سازی اولیه، ۳۵ چرخه شامل ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای ۳۰ ثانیه، ۵۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه به ترتیب برای اتصال آغازگرهای مربوط به نواحی 5'-UTR و 3'-UTR در ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه در دستگاه ترموسایکلر (BioRad T100) اعمال شد. برای ارزیابی صحت PCR، محصولات PCR روی ژل آگارز ۱/۵ درصد الکتروفورز شده و با رنگ‌آمیزی اتیدیوم برمایند باندهای مورد نظر روی ژل ردیابی شدند.

در این مطالعه برای تعیین ژنوتیپ نمونه‌ها از روش SSCP استفاده شد. برای این منظور از الکتروفورز عمودی مدل VSTA-1002M استفاده شد (Orita et al. 1989). هشت میکرولیتر از بافر



شکل ۱- محصول PCR یک قطعه از ناحیه 5'-UTR ژن *IGF-I* (راست) و از ناحیه 3'-UTR ژن *IGF-I* (چپ) در تاس ماهی ایرانی، M: نشانگر وزن مولکولی (mi-). (E8200s).

جدول ۱- فراوانی الگوهای بانندی مشاهده شده در ناحیه 5'-UTR و 3'-UTR

ژن IGF-I

در نمونه‌های تاس ماهی ایرانی

ناحیه 3'-UTR	ناحیه 5'-UTR	الگوی بانندی
فراوانی (درصد)	فراوانی (درصد)	
۳۱	۱۳	G
۴۹	۳۹	K
۲۰	۴۸	M

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین الگوهای بانندی مختلف در ناحیه 5'-UTR

IGF-I

برای صفات فاکتور وضعیت، طول بدن و وزن نمونه‌های تاس ماهی ایرانی

فاکتور وضعیت	طول	وزن	الگوی بانندی
(gr/cm ³)	(cm)	(gr)	
۰/۴۱	۱۰۰/۴۱۷	۴۳۰/۸۳	G
۰/۴۵	۱۰۰/۹۷۳	۴۸۲۹/۷	K
۰/۴۵	۱۰۳/۱۹۶	۵۱۳۷	M
۰/۱۳۴	۰/۰۷۷۸	۰/۰۶۲۸	P-value
۰/۰۰۶۲	۱/۱۸۹	۱۷۵/۲۵	SEM

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین الگوهای بانندی مختلف در ناحیه 3'-UTR

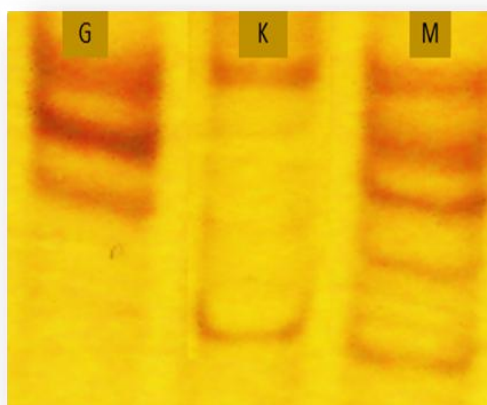
IGF-I

برای صفات فاکتور وضعیت، طول بدن و وزن نمونه‌های تاس ماهی ایرانی

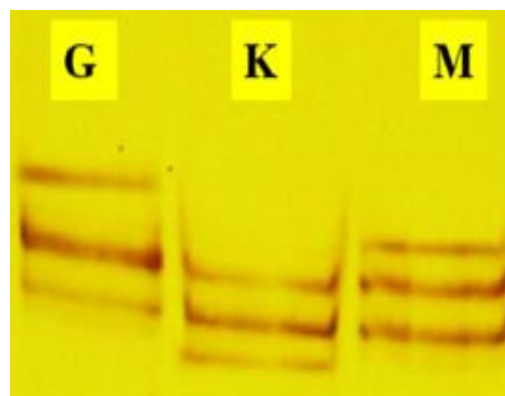
فاکتور وضعیت	طول	وزن	الگوی بانندی
(gr/cm ³)	(cm)	(gr)	
۰/۴۴	۱۰۰/۶۲۱	۴۷۴۱/۴	G
۰/۴۵	۱۰۱/۸	۴۹۴۸/۹	K
۰/۴۳	۱۰۴/۴۷	۵۰۸۴/۲	M
۰/۳۶	۰/۵	۰/۹۴	value P
۰/۰۰۶۲	۱/۱۸	۱۷۵/۲۵	SEM

بحث

در پژوهش حاضر دو قطعه از نواحی تنظیمی بالا و پایین دست ژن IGF-I در تاس ماهی با موفقیت تکثیر شد. نتایج تعیین ژنوتیپ با روش SSCP وجود ۳ الگوی بانندی را برای هر دو جایگاه نشان داد به طوری که الگوی ژنوتیپی K در گونه تاس ماهی ایرانی بیشترین فراوانی را داشتند. توالی‌های منطقه 3'-UTR می‌تواند تنظیم‌کننده بیان ژن در سطح رونویسی باشد (Barrett et al. 2012)، بنابراین چندشکلی‌های دیده شده در این منطقه ممکن است روی سطح IGF-I پلازما توسط تغییر فراوانی mRNA ژن



شکل ۲- الگوهای بانندی مشاهده شده برای ناحیه 5'-UTR ژن IGF-I در تاس ماهی ایرانی



شکل ۳- الگوهای بانندی مشاهده شده برای ناحیه 3'-UTR ژن IGF-I در تاس ماهی ایرانی

فراوانی‌های ژنوتیپی برای جایگاه‌های مورد مطالعه در گونه تاس ماهی ایرانی در جدول ۱ آورده شده است. ژنوتیپ‌های G، K و M برای جایگاه ژنی 5'-UTR به ترتیب با فراوانی‌های ۱۳، ۳۹ و ۴۸ درصد و برای جایگاه ژنی 3'-UTR به ترتیب با فراوانی‌های ۳۱، ۴۹ و ۲۰ درصد مشاهده شدند. ژنوتیپ K در جایگاه ژنی 3'-UTR و ژنوتیپ M در جایگاه ژنی 5'-UTR دارای بیشترین فراوانی ژنوتیپی بود. همچنین بررسی تأثیر چندشکلی جایگاه ژنی 5'-UTR و 3'-UTR بر صفات وزن، طول و فاکتور وضعیت نشان داد که اثر ژنوتیپ‌های جایگاه‌های مختلف IGF-I بر صفات مورد مطالعه در نمونه‌های تاس ماهی ایرانی معنی‌دار نیست (جدول ۲ و ۳).

نظر و یا تفاوت شرایط پرورش باشد. در بررسی چندشکلی آلی ژن *IGF-I* برای قطعه ۱۷۱ جفت‌بازی از ناحیه 5'-UTR ۳ الگوی ژنوتیپی در گونه تاس‌ماهی ایرانی مشاهده شد. در گونه تاس‌ماهی ایرانی ژنوتیپ M در جایگاه 5'-UTR بیشترین فراوانی را نشان داد. ناحیه 5'-UTR ژن *IGF-I* تنظیم‌کننده بیان این ژن می‌باشد، بنابراین چندشکلی‌های موجود در این منطقه از ژن می‌تواند از نظر عملکردی باعث تفاوت در میزان بیان و عملکرد این ژن شود (Li et al. 2009b). چندشکلی‌های ناحیه پروموتور و جهش‌های منطقه کدکننده ژن ارتباط مستقیم با صفات عملکردی متاثر از ژن‌های کاندید دارد (Ge et al. 2001). ارتباط بین چندشکلی‌های پروموتور ژن *IGF-I* با صفات مختلف، در انسان و دام‌های اهلی مکرر گزارش شده است (Li et al. 2009b). در توافق با نتایج پژوهش حاضر یک SNP از پروموتور *IGF-I* در ماهی شار قطبی (*Salvelinus alpinus* L.) شناسایی شد، اما ارتباطی بین SNP و رشد اولیه در این ماهیان جوان یافت نشد (Tao and Boulding 2003). یک چند شکلی دینوکلوئید تکراری CA در منطقه 5' جانبی ژن *IGF-I* در گاو و نیز در خوک تشخیص داده شد که با وزن سالانه در گاو مرتبط بوده است (Moody et al. 1994). نتایج بررسی رابطه بین چند شکلی ناحیه جانبی بخش 5' ژن *IGF-I* و صفات مرتبط به رشد را در ۹۱ ماهی باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) نشان داد که هاپلوتایپ‌ها تأثیرات عمده‌ای روی وزن و عرض بدن داشتند به‌طوری‌که افراد با ژنوتیپ AA وزن و عرض بدن بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های BB و AB داشتند (Li et al. 2009b). در پژوهش مذکور از روش‌های RFLP و SSCP برای تعیین ژنوتیپ نمونه‌ها استفاده شده و نتایج قابل ملاحظه‌ای در ژن *IGF-I* مشاهده شد (Li et al. 2009a) که نشان دهنده توانایی تکنیک SSCP در ردیابی چند شکلی‌ها در جمعیت ماهیان می‌باشد. در بررسی ارتباط بین چند شکلی در ژن *IGF-II* و صفت رشد در یک گونه تیلاپای پرورشی (*Oreochromis niloticus*)، بعد از مقایسه توالی *IGF-II* در ۱۰ نمونه مورد مطالعه، ۹ جایگاه چندشکل در ایترون‌های ۱، ۳ و ۴ جایگاه جهش خاموش در اگزون‌های ۲ و ۳ مورد مطالعه شناسایی شد. آنالیز رگرسیون نشان داد که جایگاه میکروستلایت در ایترون ۳ با رشد تیلاپای پرورشی نر ارتباط داشته است (Juhua et al.

IGF-I تأثیر بگذارد (Hu et al. 2013). نشان داده شده‌است که *IGF-I* یک هورمون پلی‌پپتیدی مؤثر بر رشد و متابولیسم سلولی در تمامی مراحل توسعه در مهره‌داران می‌باشد و بیشتر تأثیرات هورمون رشد روی فرآیند رشد سوماتیکی توسط میانجی‌گری *IGF-I* انجام می‌گیرد (Li et al. 2009a, b). علی‌رغم اینکه در پژوهش حاضر بین الگوهای ژنوتیپی قطعه ۳۶۲ جفت‌بازی از ناحیه 3'-UTR و صفات مربوط به رشد مورد مطالعه در تاس‌ماهی ایرانی ارتباط معنی‌دار آماری مشاهده نشد، اما در بعضی از مطالعات نشان داده شد که *IGF-I* یکی از QTL‌هایی است که روی وزن و اندازه بدن در خوک، گاو، گوسفند و سگ تأثیر می‌گذارد (Casas-Carrillo et al. 1997). *IGF-I* نقش فیزیولوژیکی مهمی در رشد و نمو در ماهی ایفا می‌کند، اما در مجموع بررسی‌های اندکی در مورد ارتباط بین نشانگرهای ژنتیکی در جایگاه ژنی *IGF-I* و صفات رشد در ماهیان انجام شده‌است. به‌علت نقش مهم این فاکتور روی رشد، *IGF-I* یک ژن کاندید مهم برای صفات رشد در موجودات آبی می‌باشد (Li et al. 2009b). علت عدم وجود ارتباط آماری معنی‌دار بین این ناحیه و صفات مورد نظر می‌تواند تعداد کم نمونه‌های مورد مطالعه باشد، لذا به‌نظر می‌رسد که باید پژوهش‌های بیشتری از جمله با اندازه نمونه‌های بزرگ‌تر انجام گیرد، تا بتوان به‌طور دقیق ارتباط این چندشکلی‌ها را با صفات مربوط به رشد مورد ارزیابی قرار داد. به عنوان مثال در تضاد با یافته‌های پژوهش حاضر (Hu et al. 2013) در مطالعه‌ای که روی تعداد بیشتری از ماهیان انجام شده بود، قادر به تشخیص یک چندشکلی حذف یا اضافه ۷۹ جفت‌بازی در ناحیه جانبی ۳' ژن *IGF-I* توسط PCR و توالی‌یابی در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) شدند. برای دست‌یابی به ارتباط بین این چندشکلی با صفات مربوط به رشد ۷۴۷ ماهی شامل *Cyprinus carpio* var. *wuyuanensis* ۲۶۳، *Cyprinus carpio* L. *mirror* ۲۹۲ (لاین انتخابی کپور آینه‌ای آلمانی) و *Cyprinus carpio* var. *wuyuanensis* ۲۲۵ (لاین کپور قرمز مقاوم به سرما) تعیین ژنوتیپ شدند که ژنوتیپ DD به‌طور عمده‌ای با بیشترین طول بدن، وزن بدن، وزن خالص و کوتاه‌ترین دوره زمستان‌گذرانی ارتباط داشت. مغایرت نتایج مذکور یا پژوهش حاضر می‌تواند به‌دلیل تعداد کم نمونه‌ها، جایگاه مورد

هورمون مهارکننده هورمون رشد و سوماتواستاتین (SRFI14) و همچنین پروتئین‌های باند شونده به IGF است (Murkaeva et al. 2008). بررسی ارتباط چندشکلی‌های آلی ناحیه 3'-UTR ژن *IGFBP3* در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مشخص شد که این ناحیه از ژن بسیار چند شکل بوده و به‌طور معنی‌داری صفت فاکتور وضعیت را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Mehrabi et al. 2015). با توجه به نقشی که پروتئین‌های باند شونده به IGF در فرایند رشد بازی می‌کنند، مطالعه هم‌زمان جایگاه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر با این پروتئین‌ها و همچنین مطالعه نواحی اگزونی و ایترونی ژن مورد نظر در تاس‌ماهی ایرانی پیشنهاد می‌شود.

منابع

Abdoli A, Naderi M (2008) Biodiversity of fishes in the Caspian Sea basin. Aquatics. Iran. 244 pp. (In Farsi).
Aghilinejad SM, Kolangi Miandareh H, Hoseinifar Sh (2008) Possibility of Bluga culture in pen in Gorgan basin. 1st National confrence of Caspian Sea Fisheries Resources (In Farsi).
Bahrami Kamangar B, Mojazi Amiri B, Rasaei MJ, Abtahi B, Bahmani M (2010) Immunolocalization of Insulin-Like Growth Factor-I and its Immunoreactivity during Ovary Developmental Stages of Persian Sturgeon, *Acipenser Persicus*. Cell Journal (Yakhtah) 11: 441-432. (In Farsi).
Barrett, LW, Fletcher S, Wilton SD (2012). Regulation of eukaryotic gene expression by the untranslated gene regions and other non-coding elements. Cellular and Molecular Life Sciences 69: 3613-3634.
Casas-Carrillo E, Prill-Adams A, Price SG, Clutter AC, Kirkpatr-Ick BW (1997) Relationship of growth hormone and insulin-like growth factor-I genotypes with growth and carcass traits in swine. Animal Genetics 28: 88-93.
Chakmehdouz Ghasemi F, Pourkazemi M, Tavakolli M, Yarmohammadi M, Hassanzadeh Saber M, Baradaran Noveiri S (2011) Application of microsatellite markers to determine populations of the Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) in the South of Caspian Sea. Iranian Journal of Fisheries Sciences 10: 596-606.
De-Santis C, Jerry DR (2007) Candidate growth genes in finfish-where should we be looking?. Aquaculture 272: 22-38.
Estany J, Tor M, Villalba D, Bosch L, Gallardo D, Jiménez N, Altet L, Noguera JL, Reixach J, Amills M, Sánchez A (2007) Association of CA repeat polymorphism at intron 1 of insulin-like growth factor (IGF-I) gene with circulating IGF-concentration, growth, and fatness in swine. Physiological Genomics 31: 236-243

(2010). در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر در مطالعه بر روی شناسایی چندشکلی IGF-I در جمعیت فیل‌ماهی (*Huso huso*)، الگوی باندهای D و A به‌ترتیب بیش‌ترین فراوانی را در جایگاه 5'-UTR و 3'-UTR نشان دادند و همچنین ارتباط معنی‌داری بین الگوهای باندهای مشاهده شده در جایگاه‌های نشانگری و صفات مورد مطالعه مشاهده نشد (Zeinaddini Meymand et al. 2017). علت اینکه در جمعیت مورد مطالعه، رابطه این ناحیه از ژن *IGF-I* از لحاظ آماری با صفات مربوط به رشد معنی‌دار نبود، علاوه بر تعداد نسبتاً کم نمونه‌ها، احتمالاً به این دلیل است که صفات رشد علاوه بر ژن *IGF-I* تحت تاثیر ژن‌های دیگری از جمله هورمون رشد، گیرنده هورمون رشد، هورمون آزادکننده هورمون رشد،

Ge W, Davis ME, Hines HC, Irvin KM, Simmen RCM (2001) Association of a genetic marker with blood serum insulin-like growth factor-I concentration and growth traits in Angus cattle. Journal of Animal Science 79: 1757-1762.
Hosseini Salcadedh Gh, Naghavi MR, Ghareh Jaghi B (2014) Molecular markers. Tehran University. pp. 340
Hu X, Li C, Shi L (2013) A novel 79-bp insertion/deletion polymorphism in 3'-flanking region of IGF-I gene is associated with growth-related traits in common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture Research 44: 1632-1638.
Juhua Y, Xuefeng C, Jianlin L, Yongkai T, Hongxia L, Pao X, Zaijie D (2010) Isolation of IGF2 and association of IGF2 polymorphism with growth trait in genetically improved farmed tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Aquaculture Research 41: 743-750.
Kumar D, Gupta N, Ahlawat SPS, Satyanarayana R, Sunder Sh, Gupta SC (2006) Single strand confirmation polymorphism (SSCP) detection in exon I of the α -lactalbumin gene of Indian Jamunapari milk goats (*Capra hircus*). Genetics and Molecular Biology 29: 287-289.
Li XH, Bai JJ, Ye X, Hu YC (2009a) Polymorphisms of intron 1, 3 and 4 of insulin-like growth factor I gene in Largemouth bass. Journal of Shanghai Ocean University 18: 8-13.
Li XH, Bai JJ, Ye X, Hu YC, Li SJ, Yu LY (2009b). Polymorphism in the 5' flanking region of the insulin-like growth factor-I gene are associated with growth traits in largemouth bass *Micropterus salmoides*. Fisheries Science 75: 351-358.
Mehrabi F, Khalesi MK, Farhadi A (2015) Polymorphism of insulin-like growth factor binding protein-3 (*IGFBP-3*) gene associated with growth traits in *Cyprinus carpio*. Iranian Journal of Ichthyology 2: 172-176.

- Miller SA, Dykes DD, Polesky HF (1988) A simple salting out procedure for extraction DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Research* 16: 1215.
- Moody, DED, Pomp, SN and MacNeil, MD (1994) Characterization of DNA polymorphisms and their associations with growth and maternal traits in line 1 Hereford cattle. *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Guelph, Canada, 7-12 Aug 1994, 21: 221-224.
- Murkaeva, A. 2008. Struction, evolution and expression of the duplication growth hormone genes of common carp (*Cyprinus carpio*). Zur erlangung des akademischen grades. *Doctor Rerum Naturalium*, 1-180.
- Nelson TC, Doukakis P, Lindley ST, Drauch Schreier A, Hightower JE, Hildebrand LR, Whitlock RE, Webb MAH (2010) Modern technologies for an ancient fish: tools to inform management of migratory sturgeon stocks. A report for the Pacific Ocean Shelf Tracking (POST) Project. Available: <http://www.postprogram.org>.
- Orita M, Suzuki Y, Sekiya T, Hayashi K (1989). Rapid and sensitive detection of point mutations and DNA polymorphisms using the polymerase chain reaction. *Genomics* 5: 874-879.
- PeykanHeyrati F, MojaziAmiri B, Farahmand H (2010) Sequencing of IGF-I in Beluga (*Huso huso*), *Modern Genetics Journal* 4: 17-25. (In Farsi).
- Salmroudi M, Pourkazemi M, Khoshkholq M, Azizzadeh Pormehr, L (2013) Identification the Coding Sequences Of Growth Hormone Gene of Persian (*Acipenser Persicus*) Sturgeon. 12th Iran Genetic Congress. (In Farsi).
- Sattari M, Shahsavani D, Shafiei SH (2007) *Ichthyology*. Haghshens, pp. 502.
- Sharifi M, Sourinejad I, Hoseyni SJ, Qasemi SA, Faghhih A (2012) Genetic diversity of Black Pomfret (*Parastromateus niger*) in Iranian coasts of Persian Gulf using AFLP molecular marker. *Journal of Aquatic Ecology* 2: 68-81. (In Farsi)
- Sunnucks P, Wilson ACC, Beheregaray LB, Zenger K, French J, Taylor AC (2000) SSCP is not so difficult: the application and utility of single-stranded conformation polymorphism in evolutionary biology and molecular ecology. *Molecular Ecology* 9: 1699- 1710.
- Tao WJ, Boulding EG (2003) Associations between single nucleotide polymorphisms in candidate genes and growth rate in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Heredity* 91: 60-69.
- Womack JE, Kata SR (1995) Bovine genome mapping: Evolutionary inference and the power of comparative genomics. *Current opinion in Genetic and Development* 5: 725-733.
- Yue G, Li Y, Orban L (2001) Characterization of Microsatellites in the IGF-II and GH Genes of Asian Seabass (*Lates calcarifer*). *Marine Biotechnology* 3: 1-3.
- Yue GH, Orban L (2002) Microsatellites from genes show polymorphism in two related *Oreochromis* species. *Molecular Ecology Notes* 2: 99-100.
- Zeinaddini Meymand Z, Yeganeh S, Rahimi-Mianji Gh, Farhadi A (2017) Insulin-like growth factor I gene polymorphism associated with growth traits in beluga (*Huso huso*) fish. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 16: 1257-1266